



**Evaluación de la actividad coagulante de la semilla de Papaya (*Carica papaya*) en muestras de agua recolectadas en la cuenca alta del Río Bogotá**

Isabella Mrad García

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería Ambiental  
Bogotá, Octubre 2019

**Evaluación de la actividad coagulante de la semilla de Papaya (*Carica papaya*) en muestras de agua recolectadas en la cuenca alta del Río Bogotá**

Isabella Mrad García

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

Director (a):  
Oscar Eduardo Rodríguez Aguirre, Lic. - M.Sc. – Ph.D

Línea de Investigación:  
Salud y Ambiente

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería Ambiental  
Bogotá, Colombia

2019

**Evaluación de la actividad coagulante de la semilla de Papaya (*Carica papaya*) en muestras de agua recolectadas en la cuenca alta del Río Bogotá**

Acta de sustentación

## **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 velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

*(Dedicatoria)*

- *Para mis padres que me han enseñado que se debe tener Amor, compromiso y dedicación en cada uno de nuestros proyectos para cumplir nuestros sueños.*
- *Para mi hermano que es mi ejemplo a seguir*

## **Agradecimientos**

A la Universidad el Bosque por estos cinco años de aprendizaje, que me han hecho hoy en día la mujer que soy.

Quiero agradecerle a la Universidad Fundación Universitaria Juan N Corpas y el Ingeniero Luis Miguel Pombo por haberme permitido utilizar las instalaciones de los laboratorios de la Universidad y realizar toda la parte experimental de mi trabajo de grado Evaluación de la actividad coagulante de la semilla de Papaya (*Carica papaya*) en muestras de agua recolectadas en la cuenca alta del Río Bogotá.

De igual forma quiero expresar mis más grandes agradecimientos, al Ingeniero William Andrade y a mi director Oscar Eduardo Rodríguez, por ser parte del proceso de investigación de mi trabajo de grado, porque sin sus conocimientos, apoyo y dedicación no hubiera sido posible realizar esta investigación.

## 1 Tabla de Contenido

<b>1 Tabla de Contenido</b> .....	<b>vii</b>
<b>2 Listado de Tablas</b> .....	<b>ix</b>
<b>3 Listado de Figuras</b> .....	<b>x</b>
<b>4 Resumen</b> .....	<b>12</b>
<b>5 Abstract</b> .....	<b>13</b>
<b>6 Introducción</b> .....	<b>14</b>
<b>7 Planteamiento del problema</b> .....	<b>15</b>
- 7.1 Pregunta de investigación .....	16
- 7.2 Hipótesis.....	16
<b>8 Justificación</b> .....	<b>17</b>
<b>9 Objetivos</b> .....	<b>18</b>
- 9.1 GENERAL.....	18
- 9.2 Específicos .....	18
<b>10 Marco de referencia</b> .....	<b>20</b>
- 10.1 Antecedentes .....	20
- 10.2 Marco Teórico Conceptual.....	24
10.2.1 Alternativas en el tratamiento de calidad del agua del Río Bogotá .....	24
10.2.2 Características de la semilla de la papaya ( <i>Carica papaya</i> ) .....	25
10.2.3 Coagulación en el tratamiento del agua .....	27
10.2.4 Taninos y su aporte en el proceso de la coagulación .....	31
10.2.5 Turbidez .....	31
- 10.3 Marco Normativo .....	31
- 10.4 Marco Geográfico .....	33
- 10.5 Marco Institucional .....	35
<b>11 Metodología</b> .....	<b>36</b>

- 11.1 Recolección de Muestras de agua y obtención de semillas de Carica Papaya...	38
- 11.2 Materiales, equipos e insumos de laboratorio .....	38
- .....	39
- 11.3 Preparación de coagulantes .....	39
- Primera fase: Metodología para evaluar la actividad coagulante de los extractos acuosos, etanólico 10% y acético 10% de la semilla de <i>Carica papaya</i> en fresco y en seco, así como la presencia de los galotaninos en la semilla usada como coagulante. ....	40
- Segunda fase: Metodología para confirmar la actividad coagulante del Sulfato de Aluminio y Taninos (Quebrado, Mimosa y Castaño) usados como referencia. ....	40
- 11.4 Análisis estadístico.....	42
<b>12 Plan de trabajo .....</b>	<b>43</b>
<b>13 Resultados.....</b>	<b>44</b>
<b>14 Análisis y discusión de resultados.....</b>	<b>52</b>
- 14.1 Confirmación de calidad y estado del Sulfato de Aluminio .....	52
- 14.2 Confirmación de la actividad coagulante de los patrones (Sulfato de Aluminio y taninos; Quebracho, Mimosa y Castaño). ....	52
- 14.3 Eficiencia de remoción de la actividad coagulante de la semilla de papaya ( <i>Carica papaya</i> ). ....	53
- 14.4 Confirmación de la capacidad coagulante de la semilla <i>Carica papaya</i> . ....	53
- 14.5 Comparación del % de eficiencia de remoción de la semilla <i>Carica papaya</i> en comparación con los patrones (Sulfato de Aluminio y Taninos; Quebracho, Mimosa y castaño). ....	54
- 14.6 Comparación de la eficiencia de remoción en relación con los coagulantes naturales ya estudiados por la industria. ....	54
<b>15 Conclusiones.....</b>	<b>55</b>
<b>16 Recomendaciones.....</b>	<b>56</b>
<b>17. Bibliografía .....</b>	<b>57</b>
<b>18 Anexos .....</b>	<b>61</b>
<b>19 Glosario de términos .....</b>	<b>63</b>

## 2 Listado de Tablas

Tabla 1 Productos naturales considerados para reducir la turbidez.....	21
Tabla 2 Dosificación de Hidroxicloruro de Aluminio en el agua del municipio de Chocontá .....	23
<i>Tabla 3 Comparación entre los distintos tipos de coagulantes.</i> .....	28
<i>Tabla 4 Coagulantes naturales que han sido probados y sus referencias.</i> .....	29
Tabla 5 Legislación que abarca el estudio .....	31
Tabla 6 Resultados de las propiedades del agua de la cuenca alta del río Bogotá, Sector Guaymaral-Chía .....	34
Tabla 7 Actividades desarrolladas. ....	37
Tabla 8 Equipos, materiales e insumos empleados en laboratorio .....	38
Tabla 9 Valores de porcentajes de remoción por concentración (evaluación del efecto coagulante) .....	48
Tabla 10 Valores de % eficiencia de remoción por tratamiento .....	50
Tabla 11 Valores de % de eficiencia de remoción por tratamiento (tomando el sulfato de aluminio como 100%).....	50

### 3 Listado de Figuras

Figura 1 Comparación del % de remoción de especies naturales y el sulfato de aluminio ..	30
Figura 2 Mapa de zona de muestreo .....	34
Figura 3 Lugar de toma de muestra .....	34
Figura 4 Logo Fundación Universitaria Juan N. Corpas .....	35
Figura 5 Logo Universidad El Bosque.....	35
Figura 6 Logo Corporación Autónoma Regional .....	35
Figura 7 Logo alcaldía Mayor de Bogotá .....	35
Figura 8 Logo Empresa de Acueducto, alcantarillado y aseo de Bogotá .....	35
Figura 9 Tritura de la semilla <i>Carica papaya</i> .....	41
Figura 10 Semilla seca, después de 1 semana al sol .....	41
Figura 11 Extractos de la semilla <i>Carica papaya</i> , en reflujos por 1 semana .....	41
Figura 12 Filtrado de los extractos acuoso, etanólico 10% y acético 10% en composición seca.....	41
Figura 13 Prueba de coagulación del agua del río Bogotá por técnica espectrofotométrica	41
Figura 14 Actividades Realizadas.....	43
Figura 15 Actividad coagulante del sulfato de aluminio frente a los patrones (Arcilla y Caolín).....	44
Figura 16 Efectividad de remoción del Sulfato de Aluminio y taninos.....	45
Figura 17 Efecto de la concentración por extracto; acuoso, etanólico 10% y acético 10% de la semilla <i>Carica papaya</i> .....	46
Figura 18 curva de Calibración con ácido gálico.....	47
Figura 19 Efecto coagulante de los extractos acuoso, acético 10% y etanólico 10% de la semilla <i>Carica papaya</i> en comparación con los patrones .....	49
Figura 20 Efecto coagulante del extracto etanólico en seco de la semilla <i>Carica papaya</i> ...	49
Figura 21 Comparación del efecto coagulante de los extractos de la semilla <i>Carica papaya</i> contra los tratamientos .....	51
Figura 22 Árbol de problemas .....	61
Figura 23 Cronograma de actividades .....	61
Figura 24 Cronograma de actividades .....	62
Figura 25 Presupuesto.....	62

#### 4 Resumen

Se evaluó la eficiencia de la semilla *Carica papaya* al emplearla como coagulante natural, en muestras de agua tomadas de la cuenca alta del Río Bogotá sector Guaymaral-Chía, con una turbiedad inicial de 49,3 NTU, aplicando la metodología desarrollada por el Grupo de Microbiología Aplicada al Medioambiente del Departamento de Biotecnología de la Universidad Hungliga Tekniska Högskolan de Estocolmo (Suecia) basada en una particularización a escala de laboratorio del extendido test de Jaras.

Para la determinación de cambios en la turbidez del agua, se llevaron a cabo las pruebas en laboratorio, donde se utilizó un volumen total de 900 ml de agua; para la aplicación de la metodología espectrofotométrica, fue necesario el uso de equipos tales como Turbidímetro 1500 P TURBIQUANT, peachímetro, medidor de conductividad Cobra4 Sensor-Unit Conductivity, Conductividad / Temperatura (Pt1000). Para establecer los parámetros óptimos de la metodología se determinó la actividad coagulante con Sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  en soluciones de Caolín (Silicato básico) y Arcilla (Silicato de aluminio hidratado), así como en la muestra de agua. Se utilizaron tres especies de Taninos: Mimosa (*Acacia mollissima*), Quebracho (*Schinopsis balansae*) y Castaño (*Castanea sativa*) como floculantes naturales aportando al proceso de clarificación del agua.

Los resultados indican que al aplicar la semilla en composición fresca y seca de la *Carica papaya* en solución etanólica al 10%, con una concentración en solución de 1500 ppm, presenta un 66,45% de efectividad remoción de turbidez, mientras que en la solución de ácido acético al 10% disminuye su efectividad de remoción de turbidez al 44,54%.

*Palabras clave: Coagulación, Coagulantes naturales, Semilla Carica papaya, Turbidez*

## 5 Abstract

The efficiency of the *Carica papaya* seed was evaluated by using it as a natural coagulant of vegetable type to remove turbidity in the water samples taken in the upper basin of the Bogotá River, Guaymaral-Chía River, this water had an initial turbidity of 49,3 NTU applying the meth developed by the Microbiology Group applied to the Environmental Biotechnology department of the Stockholm University of Hungliga Tekniska Högskolan (Sweden) based on a laboratory scale of particularization of the extended Jaras test.

For the determination of changes in water turbidity, laboratory tests were carried out, where a total volume of 900 milliliters of water was used, for the application of the spectrophotometric methodology. Likewise, it was necessary to use equipment such as Turbidimeter 1500 P TURBIQUANT, peach meter, conductivity meter Cobra4 Sensor-Unit Conductivity +, Conductivity / Temperature (Pt1000). To establish the initial and subsequently optimal parameters of the natural coagulant such as dose and concentration. Likewise, the natural coagulant was compared with the chemical coagulant Aluminum sulfate  $Al_2(SO_4)_3$  in Kaolin (Basic Silicate) and Clay (Hydrated Aluminum Silicate), as well as in the water sample. Three species of Tannins were used: Mimosa (*Acacia mollissima*), Quebracho (*Schinopsis balansae*) and Castaño (*Castanea sativa*) as flocculants contributing to the water clarification process.

The results indicate that when applying the seed in fresh and dry composition of *Carica papaya* in 10% aqueous solution in ethanol, it has a high removal effectiveness rate of 66.45% as a coagulant in water with a concentration of 1500 ppm, while in the 10% acetic acid solution it is observed that its effectiveness decreases to 44.54%.

*Keywords: coagulation, Natural coagulants, Carica papaya seed, Turbidity*

## 6 Introducción

El agua es sin duda el recurso esencial para la humanidad y factor clave en la calidad de vida de las poblaciones, así como para el equilibrio ambiental de los ecosistemas, en la productividad y el desarrollo económico de las regiones y en el bienestar general de las comunidades (Antov, 2007). Sin embargo, esta fuente de agua potable está bajo la amenaza creciente de la contaminación, (UNICEF, 2014), este es uno de los principales problemas cada día más grandes a nivel mundial relacionado con la salud.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que la mayoría de las enfermedades podrían prevenirse mejorando el abastecimiento del agua, saneamiento, higiene y gestión adecuada de los recursos hídricos, por lo menos el 11% de la población mundial no tiene acceso aún al agua potable (OMS, 2012) No obstante, para lograr su potabilización, se hace necesario utilizar tratamientos elementales como la clarificación, desinfección, acondicionamiento químico y organoléptico.

La clarificación es una etapa importante en la potabilización del agua cruda que incluye el proceso de coagulación-floculación en el cual las partículas presentes en el agua se aglomeran formando pequeños gránulos con un peso específico mayor; de esta forma las partículas sedimentan y ocurre la remoción de los materiales en suspensión, lo que permite que el agua alcance las características físicas y organolépticas idóneas para el consumo humano según las normas y estándares de salud pública (Rodríguez, 2002).

Entre los coagulantes más usados se encuentra el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , el cual se ha demostrado que puede ser nocivo para la salud de las personas si son ingeridos en altas concentraciones (OMS, 2012), en el caso del aluminio se encuentra asociado con el desarrollo de algunas enfermedades como el Alzheimer (Olivero, 2013); así también, pueden generar grandes cantidades de lodos que al no ser utilizados como biosólidos, impactan negativamente los suelos y el agua (Miller, 2008)

Por tanto, en las últimas décadas se han realizado investigaciones de procesos alternativos enfocados a mejorar la calidad del agua, con el fin de emplear coagulantes naturales de origen vegetal entre estos podemos encontrar la semilla *Carica papaya* para eliminar la turbidez del agua en el ámbito doméstico, en reemplazo de los coagulantes inorgánicos y sintéticos, los cuales no son tóxicos para el consumo humano, se ha comprobado la efectividad de estos coagulantes como clarificantes que permiten sustituir parcial o totalmente los productos inorgánicos (Ramírez, 2015)

Las ventajas que se presentan en el uso de los coagulantes naturales, son costo eficientes, además de generar una reducción significativa del uso de sustancias químicas que afectan el ecosistema, no cambian extremadamente el pH del agua, remueven la turbiedad, producen lodo de fácil remoción, elimina patógenos, destruyen algas, eliminan las sustancias que producen sabor y olor desagradable, son biodegradables y sus recursos se pueden encontrar con facilidad ya que se encuentran en los frutos que se consumen a diario pero que no se le da un uso más que como un desecho, así que se puede generar un aprovechamiento del mismo. (Okuda, 2001)

Existen estudios y diversas metodologías se han reportado con respecto al diseño de bio-floculantes a base de taninos para el tratamiento de aguas residuales (aminometilación de taninos condensados) (Mikkonen, 1992), evidenciando altas remociones de los parámetros de turbidez y color implicando que los taninos provenientes de Acacia (*Acacia mearnsii*) y Quebracho (*Schinopsis balansae*).

Por lo anterior expuesto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de la *Carica papaya* al usarla como coagulante natural de tipo vegetal, para remover la turbiedad presente en las muestras de agua recolectadas en la cuenca alta del Río Bogotá, con el fin de alcanzar los parámetros de calidad de agua establecidos por la normatividad. En este mismo sentido, se realiza la comparación con otros coagulantes - floculantes naturales obtenidos de tres (3) especies de tipo tanino extraído de plantas: Mimosa (*Acacia mollisima*), Quebracho (*Schinopsis balansae*) y Castaño (*Castanea sativa*), que sirvan para realizar procesos de clarificación, junto con el coagulante químico sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ .

## 7 Planteamiento del problema

La contaminación del agua se debe principalmente al crecimiento poblacional y al mal manejo que se le da a los cuerpos de agua; el consumo y riego de los cultivos con aguas contaminadas o mal tratadas, causa la muerte de millones de personas en el mundo (Antov, 2007).

Esta problemática se asocia a entornos rurales por la falta de recursos económicos, a las limitaciones que existen en cuanto a infraestructura y soluciones tecnológicas, y a los crecientes procesos de privatización del servicio, el uso de tecnologías convencionales de potabilización no es posible ni adecuada, por su elevado costo de inversión y mantenimiento. En conjunto, todos estos factores limitan las posibilidades de garantizar una adecuada cobertura y abastecimiento para toda la población, lo que ha originado que la comunidad realice su abastecimiento de agua directamente del río, sin tomar precauciones en cuanto a su tratamiento. Para el tratamiento convencional se utiliza la coagulación donde el principal coagulante es el Sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  utilizado para controlar sedimentos, a través del cual se remueven las partículas en suspensión lo cual mejora apariencia, pureza y potabilidad, a través del uso de agentes químicos con propiedades coagulantes (Guzmán, 2013). Sin embargo, se ha demostrado que puede ser nocivo para la salud de las personas si son ingeridos en altas concentraciones el aluminio residual, tal como lo indica la OMS.

Esta preocupación, nos motivó a buscar otra alternativa de potabilización convencional de coagulación acordes a la economía, que sean ambientalmente viables, utilizando especies de origen vegetal, las cuales no son tóxicas para el consumo humano, permitiendo así, mejorar la calidad de vida de la comunidad.

Por tal razón, el presente trabajo se orientó a investigar la actividad coagulante de las semillas de papaya (*Carica papaya*) sobre la calidad del agua recolectada en la cuenca alta del río Bogotá sector Guaymaral-Chía, que presenta grandes rasgos de turbiedad y por ende contiene sólidos en suspensión, que puede ocasionar grandes daños a la salud de los consumidores. La papaya es una fruta tropical que se consume en jugos o como fruta fresca, tiene un alto consumo a nivel mundial, generando gran cantidad de semilla como material de desperdicio, (Cruz S. Z., 2016). Ese material de desecho (semillas) se puede encontrar con facilidad y en grandes cantidades, si se tiene en cuenta el alto consumo poblacional de la fruta.

### - 7.1 Pregunta de investigación

¿Cuál es la eficiencia de la semilla de *Carica papaya* como coagulante natural en la remoción de turbiedad del agua recolectada en la cuenca alta del río Bogotá sector Guaymaral-Chía?

### - 7.2 Hipótesis

**Hipótesis nula (H<sub>0</sub>).** La turbidez encontrada en las muestras de agua colectadas en la cuenca alta del Río Bogotá, sector Guaymaral-Chía, disminuirá con la utilización de la semilla de *Carica papaya* como coagulante natural en la determinación de la calidad del agua.

**Hipótesis alterna (H<sub>a</sub>).** La turbidez encontrada en las muestras de agua colectadas en la cuenca alta del Río Bogotá, sector Guaymaral-Chía, NO disminuirá con la utilización de la semilla de *Carica papaya* como coagulante natural en la determinación de la calidad del agua.

## 8 Justificación

Es de gran importancia desarrollar nuevas alternativas en el tratamiento de agua, por ello la importancia de incluir en el tratamiento coagulante –floculantes de origen vegetal en proceso de clarificación del agua podría ser la solución al problema de la turbidez, preparando el agua para su posterior desinfección (Ramírez, 2015). A través del uso de coagulantes naturales, que no solo resultan ser más costo-efectivos para dinamizar el desarrollo de los procesos y mejorar la cobertura del recurso, sino que también más amigables con el ambiente, evitando la toxicidad y aportando una solución real al tratamiento del agua. Así mismo, como lo explica (Thakur, 2014), el uso de los coagulantes naturales resulta ser importante en el contexto de las economías emergentes, que deben aprovechar como principal recurso los elementos que se encuentran presentes en el entorno, reduciendo de esta manera gastos y favoreciendo un proceso más consciente sobre las medidas de protección ambiental.

En este proyecto de investigación se efectuaron pruebas correspondientes en cuanto a efectividad en la disminución de la turbidez del agua recolectada en la cuenca alta del río Bogotá sector Guaymaral-Chía, usando semilla de *Carica papaya* como coagulante natural Vegetal.

En contraste con los floculantes químicos, los coagulantes naturales generalmente se consideran seguros, libres de tóxicos, ecológicos, no corrosivos (lo que reduce la preocupación por desgaste de las tuberías), ahorran dinero en las plantas de tratamiento, ya que generan menor cantidad de lodos metálicos que deban ser tratado y no son necesarios los ajustes de pH post-tratamiento. Son de fácil extracción y no necesitan ser purificados, lo cual ahorra tiempo y dinero (Choy et al. 2014).

Por otro lado, se ha estimado que, en una planta de tratamiento de capacidad de potabilización de 190 millones de litros por día, en la que se utiliza sulfato de aluminio como coagulante, se producen al menos 3 toneladas métricas de residuos sólidos (secos); es decir, en una planta de la mencionada capacidad se producen anualmente 1000 toneladas métricas de desechos sólidos (Choy et al., 2014). Es esta disposición final la que conlleva un problema ambiental de manejo de residuos sólidos.

Esto contribuirá a la solución del problema de la turbidez del agua, utilizando sus propios recursos que no son aprovechados; además cabe recalcar que el uso de estas especies no es tóxico y no causan riesgos para la salud. Adicionalmente, se ve involucrado la minimización de gastos en el tratamiento del agua, por usar los recursos naturales existentes que son de

fácil alcance, minimizando la generación de biosólidos. Los agentes coagulantes y floculantes naturales, principalmente polisacáridos, son considerados ambientalmente amigables en comparación con los agentes orgánicos e inorgánicos debido a su biodegradabilidad (Diamadopoulos, 2009). Para este estudio se utilizó la semilla de la papaya (*Carica papaya*) debido a su bajo costo de adquisición, fácil acceso y más importante porque tienen taninos, en un estudio realizado por (Quispe Meza, 2017), identificaron abundantes concentraciones de taninos en la semilla de la *Carica papaya* por medio de un extracto hidroalcohólico.

## 9 Objetivos

### - 9.1 GENERAL

Evaluar la actividad coagulante de la semilla de *Carica papaya* en muestras de agua colectadas en la cuenca alta del Río Bogotá sector Guaymaral-Chía.

### - 9.2 Específicos

1. Calcular la actividad coagulante del Sulfato de Aluminio y taninos (Quebracho, Mimosa y Castaño) con respecto a soluciones de diferentes concentraciones de Caolín, Arcilla y agua colectadas de la cuenca alta del Río Bogotá sector Guaymaral-Chía como patrones.
2. Valorar la actividad coagulante de los extractos acuoso, etanólico 10% y acético 10% en diferentes concentraciones de la semilla *Carica papaya*, en aguas colectadas de la cuenca alta del Río Bogotá sector Guaymaral-Chía.
3. Determinar la efectividad de los extractos de la semilla *Carica papaya* frente a los patrones.

## **Pertinencia**

Los coagulantes naturales o también denominados biocoagulantes son ciertamente seguros, amigables con el medio ambiente y libres de toxicidad (bajo condiciones adecuadas de uso). Sus compuestos bioactivos son proteínas, polisacáridos, mucílagos, taninos y alcaloides. En la remediación de aguas residuales industriales o potabilización del agua, los coagulantes naturales permiten la desestabilización de la contaminación coloidal asociada a la Turbidez, sólidos suspendidos y remoción de sólidos disueltos en términos de DQO. Se ha comprobado la eficiencia en la adsorción de metales pesados como plomo, cromo, cadmio y zinc mediante extractos de plantas (Sotheeswaran, 2011). Los biocoagulantes generan mínima cantidad de lodos residuales; incluso esta producción es cinco veces más pequeña que la de lodos con coagulantes químicos (Choy, 2014). Los coagulantes naturales no consumen alcalinidad en comparación con los compuestos basados en aluminio o hierro; por tanto, no generan cambios bruscos de pH en la calidad del agua

## **Impacto Social**

La importancia de esta investigación reside en establecer la factibilidad de las semillas de Papaya (*Carica papaya*) como coagulante natural en los procesos de tratamiento de agua, aplicables al proyecto de diseño y construcción de una planta de tratamiento de agua que use este biocoagulante, esto mejorara la calidad de vida en comunidades donde existen escasas posibilidades de acceder a tecnologías convencionales.

Estos biocoagulantes debido a que en condiciones adecuadas de uso logran ser libres de toxicidad, con ayuda de sus compuestos; proteínas, polisacáridos, mucílagos, taninos y alcaloides, logran no solamente la remoción de turbidez, sólidos disueltos, además logran la adsorción de metales pesados (Plomo, cromo, cadmio y zinc). (Sotheeswaran, 2011)

Lo anterior resulta ser una gran ventaja sobre los coagulantes sintéticos, debido a que con la aplicación de semilla *Carica papaya* no se compromete el proceso de coagulación y no hay la necesidad de estabilizar el pH luego de su uso, como suele ser necesario al utilizar sales de hierro y aluminio (FERIA DIAZ & BERMUDEZ ROA, 2014)

## **Aspecto ingenieril**

Durante el proceso de potabilización del agua cruda, comúnmente se utilizan coagulantes inorgánicos y/o polímeros sintéticos para la reducción de sólidos suspendidos, bacterias y virus, entre otros microorganismos. En la actualidad, hay principalmente dos productos químicos que se utilizan para el proceso de coagulación en países en vías de desarrollo: el sulfato de aluminio y el cloruro férrico (Ledo, 2009). Sin embargo, la limitada disponibilidad y el relativo alto costo de estos productos sintéticos, hace que exista una necesidad urgente de encontrar soluciones alternativas para la purificación de agua (ayudas de coagulación) en aldeas y zonas rurales (Pritchard, 2010)

Esta investigación, es una iniciativa ambiental sostenible capaz de generar una producción más limpia en los diferentes sectores productivos, ya que se está convirtiendo un residuo en un subproducto, es decir pasaría de ser un material que es considerado desecho en la industria de alimentos a ser un producto con un nuevo uso.

Con la identificación de estas nuevas alternativas del uso de la semilla de Papaya (*Carica papaya*), como coagulante natural en el tratamiento de agua, y utilizando procesos tecnológicos y de innovación, en consideración a la tendencia de las regulaciones medioambientales, se puede llegar a mejorar o potencializar este producto, lo que permite aumentar la competitividad del sector frutícola nacional o generar nueva línea de negocio enfocadas a sistemas para el tratamiento preliminar del agua.

## 10 Marco de referencia

### - 10.1 Antecedentes

(Ridwan, 2011) han empleado la *Moringa oleifera*, como elemento de tipo orgánico para los procesos de coagulación del agua. Diversos estudios, han demostrado que el uso de la *Moringa oleifera* ayuda a reducir la turbidez del agua, la concentración de metales pesados y la demanda química de oxígeno (DQO) ( Ndabigengensere, 1998), (Okuda, 2001) y (Ghebremichael, 2005). Por su parte (Antov, 2007), realizó estudios de los extractos de la semilla de frijol común, para obtener resultados similares en cuanto a limpieza y purificación del agua. (Fengel, 1995) usaron el quebracho colorado (*Schinopsis balansae*) como coagulante, obteniendo igualmente resultados positivos; Fatombi, Lartiges, Aminou, (Fatombi, 2013) hicieron uso del cocotero; y (Ramírez, 2015) comprobaron que los almidones tienen una capacidad de coagulación similar a la del cloruro férrico, asegura (Ortiz, 2013), que existen muchas otras que no han sido probadas como coagulantes, y que pueden ayudar a generar un proceso de cambio definitivo en la manera en la cual se establecen los protocolos de tratamiento del agua.

(Pritchard, 2010) Informan que se han adelantado estudios sobre el desempeño como coagulantes de los extractos de plantas, como el árbol de nirmali (*S. potatorum*), de tamarindo (*Tamerindous indica*), de guar (*Cyamopsis psoraloides*), de red sorella (*Hibiscus sabdariffa*), de fenugreco o alholva (*Trigonella foenum*) y de lentejas (*Lens esculenta*), usando agua cruda, con turbiedad en los rangos de 50 a 750 NTU (Antov, 2007)

Tradicionalmente, se han usado Taninos para el curtido de pieles, pero varios de ellos también se han empleado como floculantes. Su origen natural es como metabolitos secundarios de plantas, encontrándose en cortezas, en frutos y en hojas; las cortezas de la Acacia y la *Schinopsis* constituyen el principal recurso para la industria marroquinera, las de otros árboles no tropicales, como el *Quercus ilex*, *Q. suber* y *Q. robur*, el *Castanea* y el *Pinus* también son ricos en taninos (Sánchez, Beltran, Carmona, & Gibello, 2011) En este contexto, los taninos catiónicos pueden ser el recurso de nuevos agentes de coagulación. A escala experimental, se ha demostrado que es posible sintetizar coagulantes derivados de los taninos

a partir de varias materias primas: *Acacia mearnsii*, *Sch. balansae*, *P. pinaster*, *C. sativa*, a través de un procedimiento simple, que involucra la reacción de Mannish. (Sánchez J. B., 2010a)

En este mismo sentido, se ha investigado la viabilidad del uso de semillas de papaya (PS), residuos abundantemente disponibles en Malasia, para la adsorción de colorantes catiónicos (azul de metileno). Se realizaron estudios de adsorción por lotes para estudiar los efectos del tiempo de contacto, la concentración inicial (50–360 mg/L), el pH (3–10) y la dosis de adsorbente (0,05–1,00 g) en la eliminación del azul de metileno (MB) a temperatura de 30°C. Los datos de equilibrio fueron analizados por las isothermas de Langmuir, Freundlich y Temkin. Los datos se ajustan bien al modelo Langmuir con una capacidad de adsorción máxima de 555.56 mg/g. La cinética de pseudo-segundo orden fue la mejor para la adsorción de MB por PS con buena correlación. Los resultados demostraron que el PS es muy efectivo para eliminar el azul de metileno de las soluciones acuosas. (Babu, 2005)

La mayoría de los extractos naturales se derivan de semillas, de hojas, de cortezas o savia, de raíces y de frutas, extraídos de árboles y de plantas (Pritchard, 2010). Los polímeros orgánicos naturales se han usado por más de 4000 años en India, en África y en China como coagulantes eficientes y como ayudantes de coagulación de aguas con alta turbidez, para uso doméstico en áreas rurales (Asrafuzzaman, 2011). En esas regiones, se han usado plantas nativas, como las semillas del árbol de Nirmali - *Strychnos potatorum*, granos tostados de maíz (*Zea mays*) o savia del cactus *Opuntia ficus indica* (Šćiban M. K., 2005). Esos coagulantes naturales, se pueden usar solos o como substitutos de coagulantes y de floculantes químicos (Carreño, 2011) y se aplican para reducir la turbidez y los microorganismos en aguas (Ghebremichael, 2005), para el ablandamiento de aguas y para el acondicionamiento de lodos.

Ahora bien, existen un gran número de estudios o referencias bibliográficas que nos aportan valiosa información de los diferentes coagulantes naturales que tienen como finalidad reducir de manera progresiva el uso de productos sintéticos en el tratamiento del agua, además de mejorar su calidad. “A partir de estos procesos físicos y químicos, se obtiene la eliminación de sólidos totales suspendidos, turbidez, color y metales pesados lo que conlleva a la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)” (Bravo, 2017). A continuación, se presentan los diferentes naturales considerados positivos para reducir la turbidez.

Tabla 1 Productos naturales considerados para reducir la turbidez.

Material Vegetal	Turbidez Inicial (NTU)	Eficiencia De Remoción (%)	Dosis óptima (mg/L)	Referencia
<b>Coagulantes aniónicos</b> Nirmali ( <i>Strychnos potatorum</i> )	18 – 21; 38– 42; 130 - 135	83 - 88	1,0 – 2,0	(Babu, 2005)
<b>Coagulantes catiónicos</b> <i>Moringa oleifera</i>	18 – 21; 38 – 42; 130 - 135	94,0 – 99,0	100-200	

Evaluación de la actividad coagulante de la semilla de Papaya (*Carica papaya*) en muestras de agua recolectadas en la cuenca alta del Río Bogotá

<i>Amorpha fruticosa</i> (Falso Indigo Bush)	17,5; 30; 70	80; 70; 80	5 ; 5 ; 10	(Babu, 2005)
<i>Ceratonia siliqua</i> (Carob)	17,5; 30; 70	100; 80; 80	20; 10; 10	(Babu, 2005)
<i>Robinia pseudoacacia</i> (Black Locust)	17,5; 30; 70	60; 60; 60	5; 10; 10	
<i>Phaseolus vulgaris</i> (Cargamanto)	17,5; 30; 70	80; 60; 65	5; 10; 10	(Šćiban M. K., 2005)
<i>Cactaceous opuntia</i>	176	90	30 - 50	(Zhang, 2006)
Polímero catiónico a base de Tanino (TBP) pH entre 4,0 y 7,0	100	85	0,15 – 0,30	Graham <i>et al.</i> 2008
<i>Acacia siamea</i> (exudado gomoso)	10 - 100	80 - 95	50	(Fernández, 2008)
<i>Opuntia</i> spp.	125	90 - 92	5 – 15	(Antov, 2007)
<i>Moringa oleifera</i>	125	90 – 92	15	(Miller, 2008)
<i>Aesculus hyppocastanum</i> (Castaño)	70; 35; 17,5	40 – 85	0,5	(Šćiban M. K., 2009)
<i>Castanea sativa</i> (Castaño común)	70; 35; 17,5	40 – 85	0,5	
<i>Quercus robur</i> (Roble común)	70; 35; 17,5	40 – 85	0,5	
<i>Quercus cerris</i> (Roble turco)	70; 35; 17,5	40 – 85	0,5	
<i>Quercus rubra</i> (Roble rojo)	70; 35; 17,5	40 – 85	0,5	
<i>Moringa oleifera</i>	49	96 ± 2	250	(Pritchard, 2010)
<i>J. curcas</i>	49	95 ± 1	50	
<i>Schinopsis balansae</i> (Quebracho)	123	80 – 95	0,25	(Sánchez, Beltran, Carmona, & Gibello, 2011)
<i>Acacia mearnsii</i> (Acacia Australiana)	200	75	12,5	(Sánchez, Beltran, Carmona, & Gibello, 2011)
Tanfloc (Coagulante a base de taninos)	100	50 – 60	2	(Sánchez J. B., 2010a)
Tanfloc (Coagulante a base de taninos)	80	100	20	
<i>Moringa oleifera</i>	80	95	20	
<i>Silvaflor</i> (Coagulante a base de taninos)	80	85	20	(Sánchez J. G., 2010b)
<i>Phaseolus vulgaris</i> (Frijol común)	35	72.3	0,7 – 1,0	(Antov, 2007)
<i>Moringa oleifera</i>	90 - 120	86,9	50	(Asrafuzzaman, 2011)
<i>Dolichos lablab</i>	90 - 120	84,5	50	
<i>Cicer arietinum</i>	90 - 120	93,8	50	
Coagulantes no iónicos: <i>Cyamopsis tetragonolobus</i>	49	90 ± 2	50	(Pritchard, 2010)

Fuente: Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica (2013)

En cuanto a los coagulantes químicos, nos remitimos a la investigación (Benito, 2015), en la cual se analizan los procesos y parámetros que orientan el tratamiento del agua en el municipio de Chocontá, lugar donde se encuentra una PTAR (Planta de tratamiento de aguas residuales), se explica que en los procesos de coagulación química usando el Hidroxicloruro de Aluminio (Policloruro de Aluminio)  $Al_2(OH)_3Cl$ , el cual se dosifica de forma líquida o sólida dependiendo de la calidad con que llega el agua de la fuente. Éste proceso se efectúa por medio de una bomba dosificadora de operación eléctrica, que se encuentra en la parte superior del vertedero rectangular, dentro de un tanque con capacidad de 500 litros, mediante un conducto que va desde el interior del mismo hasta la entrada del vertedero (Benito, 2015)

En la tabla No 2. Se muestra la dosificación de Hidroxicloruro de Aluminio según la calidad del agua en el municipio.

Tabla 2 Dosificación de Hidroxicloruro de Aluminio en el agua del municipio de Chocontá

Calidad del agua	Características	Dosificación de Hidroxicloruro de Aluminio.
Buena	pH promedio: 6.0-8.5 Turbiedad: < 2 UNT Color aparente: <10 UPC	No aplica
Regular	pH promedio: 5.0-9.0 Turbiedad: 2-40 UNT Color aparente: 10-20 UPC	11 ppm (líquida)
Deficiente	pH promedio: 3.8-10.5 Turbiedad: 40-150 UNT Color aparente: 20-40 UPC	15-17 ppm (líquida)
Muy deficiente	pH promedio: 3.8-10.5 Turbiedad: > 150 UNT Color aparente: $\geq$ 40 UPC	$\geq$ 48ppm (sólida)

Fuente: (Benito, 2015)

El hidroxicloruro de Aluminio es un coagulante inorgánico cuya principal función es la de remover materia coloreada y coloidal en el agua, a través de la polimerización, neutralización ácida y concentración de  $Al_2O_3$ . Se ha establecido como un químico versátil que permite

tratar líquidos con diferentes niveles de turbiedad y contenido de materia (Torra, 1998). En este sentido, el hidroxicloriguro de aluminio se encasilla dentro de la nueva generación de coagulantes inorgánicos pre polimerizados (PAC's), los cuales se han venido desarrollando en los últimos 30 años, y que tienen un comportamiento diferente a los coagulantes tradicionales (compuestos inorgánicos de aluminio o hierro como el sulfato de aluminio, cloruro férrico y aluminato de sodio), debido a sus características de especiación química.

Los PAC's tienen diferentes fases sólidas en las reacciones hidrolíticas respecto a los coagulantes convencionales: los flóculos de PAC's tienden a ser grupos de pequeñas esferas y/o estructuras tipo cadena con tamaño menor a 25 mm, mientras que los flóculos de sulfato de aluminio son usualmente estructuras esponjosas y porosas con tamaño de 25 a 100 mm (Cogollo, 2010). Sin embargo, según (Cogollo, 2010), cuando se utiliza el hidroxicloriguro de Aluminio en un pH demasiado alto se puede bajar la remoción de la sustancia orgánica, de tal manera que las partículas permanecen en el agua que finalmente es consumida por las personas. Otro problema, es el elevado costo de los PAC's, ya que generalmente son más costosos que los coagulantes tradicionales, como el sulfato de aluminio. Además, el uso de este químico también está asociado a la alta generación de lodos, lo cual genera importantes problemáticas ambientales en las regiones.

## - 10.2 Marco Teórico Conceptual

A continuación, se presenta el análisis de conceptos claves para orientar el desarrollo del proyecto. En primer lugar, se explica la importancia de promover alternativas de tratamiento de la calidad de agua del río Bogotá. Posteriormente, se explica el concepto de turbidez como parámetro fundamental en la medición de la presente investigación, así mismo se considera la coagulación en el tratamiento de agua donde se evalúan los diferentes tipos de coagulantes naturales y químicos que existen, comprendiendo sus diferencias, además de sus beneficios y desventajas. En este segmento, también se muestran las diferentes especies naturales que han sido utilizadas para reemplazar a los coagulantes inorgánicos. En este sentido, se explican las propiedades de la semilla de *Carica Papaya*, como coagulante natural y por último se relaciona información de los taninos como acción de coagulantes naturales.

### 10.2.1 Alternativas en el tratamiento de calidad del agua del Río Bogotá

La dinámica poblacional y las transformaciones que se generan de manera continua en las formas de vida urbana, generan una reducción de la oferta de bienes y servicios ambientales de los ecosistemas (Yan, 2014)

En este sentido, a través de los últimos años ha sido fundamental desarrollar nuevos enfoques con adaptaciones técnicas y tecnológicas que permitan reorientar los procesos y actividades, generando alternativas efectivas, como por ejemplo minimizar el uso de químicos, con la finalidad de obtener resultados confiables en torno a los aspectos de tipo ambiental que se tratan de mejorar, y a la vez estudiar y comprender las características propias de un territorio o región determinada. (Bautista, 2004). Esto permite avanzar en el mejoramiento del uso y calidad de recursos naturales como el agua.

En el presente caso estudio, el Río Bogotá, presenta importantes problemáticas asociadas a la calidad del agua y a los tratamientos desarrollados a lo largo de la cuenca. Para ello, es preciso, partir de una información detallada sobre el estado actual de los recursos y de los procesos asociados a su tratamiento, con el fin de proponer estrategias en la mejora, uso, capacidad, calidad y cobertura de un recurso tan importante como el agua a la población de la cuenca alta del río Bogotá, esto puede ayudar a alcanzar los retos y las metas que se han propuesto los gobiernos en los últimos años, en torno a la solución y eliminación de aspectos que inciden de manera negativa en el bienestar de una región determinada, específicamente en todo aquello que se relaciona con el uso y aprovechamiento de los recursos naturales (Carreño, 2011). Es importante mencionar que se debe complementar el presente proyecto, con una correlación y/o análisis sobre la cantidad, cantidad de agua disponible, así como cobertura y en qué condiciones se utiliza para satisfacer las distintas necesidades de los sectores que componen al municipio, con el fin de llevar un proyecto piloto y porque no a gran escala en caso de ser factible.

Por tanto, de acuerdo con la argumentación que se ha planteado, a continuación, se analizan elementos importantes de enfoque conceptual para orientar el desarrollo de la alternativa que se pretende estudiar en el presente proyecto, para determinar la actividad de las semillas de la *Carica papaya* como coagulante natural en el tratamiento del agua previo a su potabilización.

- **Absorbancia:** Medida de la atenuación de una radiación al atravesar una sustancia, que se expresa como el logaritmo de la relación entre la intensidad saliente y la entrante.
- **Biodegradable:** Dicho de una sustancia: Que puede ser degradada por acción biológica.

### 10.2.2 Características de la semilla de la papaya (*Carica papaya*)

La *Carica papaya* es una fruta tropical que se consume ya sea en jugos o como fruta fresca. Tiene un alto consumo a nivel mundial, y en cuanto a su apariencia estética se puede decir que es una baya de tamaño y forma variable, con una pulpa dulce de color amarillo, rojo o naranja. En el consumo de la fruta se genera un alto desperdicio de la semilla, a pesar de que existen investigaciones que analizan y muestran los efectos beneficiosos para la salud. Por ejemplo, (Nwofia, 2012) explican que la semilla tiene altos contenidos de vitamina A, B y C. Por su parte, (Elgadir, 2014), explican que tienen propiedades antivirales, anti fúngicas y antibacterianas.

Actualmente no existe una caracterización de las propiedades funcionales de la semilla, lo cual es clave para promover su valorización y su uso con diferentes fines. En particular (Cruz S. Z., 2016) demuestran que la semilla tiene la capacidad de formar tanto emulsiones como espumas, posee gran capacidad de hidratación, puede eliminar grasa y agua:

Con el fin de comprender de manera integral las propiedades de la semilla de papaya, es importante reconocer los diferentes usos que se le han dado:

- Se ha utilizado como sustituto de la pimienta (Elgadir, 2014)
- La semilla también se ha utilizado como ablandador de carnes (Nwofia, 2012)
- En algunas culturas de la India se ha utilizado como método anticonceptivo (Pradesh, 2013) (Pradesh y Pradesh, 2013).
- Se ha utilizado como antihelmíntico para las ascariasis (Nayak, 2012)
- Se ha demostrado su efecto en la digestión y en las lesiones causadas por fuego en la piel (Singh, 2011)
- También se ha utilizado como elemento limpiador y polvo dental (Ettlenger, 1956)
- Se identificaron abundantes concentraciones de taninos en la semilla de la *Carica papaya* por medio de un extracto hidroalcohólico. (Quispe Meza, 2017)

En cuanto a factores asociados al cuidado y conservación de la semilla, se resaltan las apreciaciones de (Lobo, 1995)

El fruto contiene gran cantidad de semillas que están cubiertas de una capa gelatinosa, que ha de eliminarse para facilitar la germinación, frotando las semillas con la mano y un puñado de tierra, con dos telas o con una esponja de caucho; después se lavan, se escurren y se colocan sobre una hoja de papel para que se sequen. La semilla de papaya sana, secada al aire, es un material bastante duradero ya que, guardada en un recipiente impermeable al aire con un poco de cloruro cálcico, conserva su viabilidad por 2-3 años. Además, una vez secas, están rodeadas de una corteza externa y una cubierta espinosa. Contienen una cantidad considerable de vitamina C que aparece en el aceite de la semilla el cual, cuando se libera al molerlas para convertirlas en polvo, desprende un aroma semejante al de chocolate tostado. La composición aproximada de esta semilla, en base seca, se caracteriza por un contenido promedio de aceite de 33% y un 29% de proteína (Cruz S. Z., 2016). En síntesis, como se puede apreciar, la semilla de papaya contiene un conjunto de propiedades funcionales que deben ser aprovechadas mediante el desarrollo de investigaciones aplicadas en distintos campos del conocimiento. Lo anterior es importante, teniendo en cuenta una problemática particular que se presenta en la industria alimentaria, pues se generan grandes cantidades de residuos orgánicos que están subvalorados en el mercado, las semillas de la papaya constituyen entre el 12-22% del producto de desecho del fruto. Si estos residuos, como las semillas, no se utilizan o aprovechan, pueden generar importantes problemas ambientales, lo cual obliga a evaluar su reutilización.

La papaya, como tal, contiene una gran cantidad de semillas que generalmente son arrojadas a la basura, de tal manera que su uso en procesos de coagulación y limpieza del agua puede resultar clave para aportar no solo en la reutilización de las semillas, sino también en maneras innovadoras, sostenibles a nivel ambiental y económicas de tratar y mejorar la calidad del agua.

### 10.2.3 Coagulación en el tratamiento del agua

Proceso de desestabilización de las partículas coloidales el cual está provocado por un coagulante al contacto con la solución a tratar, este proceso neutraliza las cargas que enlazan a dichas partículas. De acuerdo al tamaño y naturaleza de los coloides estos pueden demorar incluso hasta 100 años para sedimentar de forma natural por acción de la gravedad, el coagulante cumple la función de reducir este tiempo en horas e incluso en minutos (Antov, 2007) Se encuentran diferentes factores que influyen en el proceso de la coagulación del agua, los principales son; las características del agua (alcalinidad, temperatura, pH) y variables químicas del coagulante (dosis óptima del coagulante, pH óptimo para el agua a tratar, concentración óptima del coagulante), (SIDESA). Los coagulantes más utilizados son las sales de metales trivalentes (coagulantes inorgánicos), como el Sulfato de Aluminio  $Al_2SO_4)_3$  o el Cloruro Férrico ( $FeCl_3$ ) (Andía, 2000) El uso de bioagulantes que son a base de plantas y especies naturales utilizados para el tratamiento del agua, es un proceso que se ha venido desarrollando desde hace muchos milenios (Sanghi, 2002). Sin embargo, en los últimos años se ha incrementado el interés por esta clase de procesos, con la finalidad de evitar el uso de químicos en el proceso del tratamiento del agua, que es parte fundamental a fin de prevenir y evitar el desarrollo de Enfermedades de Transmisión Alimentaria (ETAs), que puedan afectar la salud y el bienestar de la población, debido al consumo de sustancias, alimentos o productos que no cumplen con todas las condiciones básicas de higiene, color, sabor, temperatura, control, almacenamiento, refrigeración y calidad necesarias. (Ghebremichael, 2005)

Partiendo de este marco, desde el cual se ha valorado la importancia de mejorar continuamente los procesos asociados al tratamiento del agua, con el fin de garantizar su calidad satisfactoria para el consumo humano aceptable desde el punto de vista estético, es decir, estar exenta de turbidez, de color y de sabor perceptibles, y debe tener una temperatura razonable, se han venido desarrollando diferentes investigaciones para reemplazar los coagulantes inorgánicos por coagulantes naturales, estos resultados han proporcionado efectos positivos en relación a su actividad coagulante (Poddar, 2004)

Las principales ventajas son las siguientes:

1. Los coagulantes químicos están asociados a la presencia de enfermedades para la salud humana (Fatombi, 2013)
2. Los coagulantes químicos generan problemas ambientales como la producción de lodo y la variación en los niveles de pH del agua (Ghebremichael, 2005)
3. Los coagulantes naturales no se asocian al desarrollo de ningún tipo de problema para la salud pública (Nwofia, 2012)
4. Los coagulantes naturales son más económicos y se asocian a una reducción drástica del uso de procesos químicos que afectan el medio ambiente (Fatombi, 2013)

5. Los coagulantes naturales son mucho menos costosos que los inorgánicos, y se encuentran en el medio ambiente como recursos que pueden ser aprovechados (Okuda, 2001). La biodegradabilidad del lodo producido, así como la estabilidad del pH del agua tratada con dicha sustancia. (Ndabigensere, 1998)

El principal inconveniente que presenta los coagulantes naturales, es que cuando se adicionan al agua, incrementan la carga orgánica de ésta, de manera significativa añadiendo hasta un 90 % de sustancias orgánicas que no actúan como agentes floculantes. Este hecho, impide almacenar el agua tratada por un tiempo superior a 24 horas (Vásquez, 1994)

Con la finalidad de orientar la discusión que se ha venido planteando, en la tabla No. 3 se presenta un comparativo entre los distintos tipos de coagulantes que existen para el agua:

*Tabla 3 Comparación entre los distintos tipos de coagulantes.*

<b>Coagulantes metálicos</b>	<b>Polielectrolitos</b>	<b>Coagulantes naturales</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son los que más se han utilizado en el tratamiento del agua.</li> <li>- Al ser disueltos forman compuestos complejos hidratados.</li> <li>- Lo más utilizados son: sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico y el aluminato de sodio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Después de los metálicos, son los que mayor uso han tenido.</li> <li>- Son orgánicos y sintéticos.</li> <li>- Tienen mayor tamaño molecular.</li> <li>- Muy eficaces con amplios rangos de pH.</li> <li>- Su costo es más elevado que el de los coagulantes metálicos, pero se compensa en la medida en que no se necesita tanta cantidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solo en la última década se las ha comenzado a dar una mayor importancia a través del desarrollo de investigaciones mediante las cuales se prueban nuevas especies como coagulantes.</li> <li>- Fuente alternativa con potenciales que aún no se han explotado.</li> <li>- Presentan mínima o nula toxicidad.</li> <li>- Al igual que los químicos, aglomerar partículas en suspensión del agua.</li> </ul>

Fuente: (Antov, 2007)

Cabe tener en cuenta que la gran mayoría de los coagulantes naturales se derivan de semillas, hojas, raíces, frutas, cortezas y savia. Dentro de los principales elementos que se han utilizado, y sobre los cuales se ha probado una importante eficiencia en la coagulación del agua, similar a la que obtienen los productos químicos se destacan los siguientes:

Tabla 4 Coagulantes naturales que han sido probados y sus referencias.

Coagulantes naturales probados	Autores	Año
- Nirmali ( <i>Strychnos potatorum</i> ) - Moringa oleífera	Babu & chaudhari	2005
- <i>Amorpha fruticosa</i> - (Falso Indigo Bush) - <i>Ceratonia siliqua</i> (Carob) - <i>Robinia pseudoacacia</i> (Black Locust) - <i>Phaseolus vulgaris</i> (Cargamanto)	Šćiban et al	2005
- <i>Aesculus hippocastanum</i> (Castaño) - <i>Castanea sativa</i> (Castaño común) - <i>Quercus robur</i> (Roble común) - <i>Quercus cerris</i> (Roble turco) - <i>Quercus rubra</i> (Roble rojo)	Šćiban et al.	2009
- <i>Tanfloc</i> (Coagulante a base de taninos) - <i>Tanfloc</i> (Coagulante a base de taninos) - <i>Moringa oleífera</i> - <i>Silvafloc</i> (Coagulante a base de taninos)	Sánchez et al.	2010a 2010b
- <i>Phaseolus vulgaris</i> (Frijol común)	Antov et al.	2007
- <i>Moringa. oleífera</i> - <i>Dolichos lablab</i> - <i>Cicer arietinum</i>	Asrafuzzaman et al.	2011

Evaluación de la actividad coagulante de la semilla de Papaya (*Carica papaya*) en muestras de agua recolectadas en la cuenca alta del Río Bogotá

- <i>Cyamopsis tetragonolobus</i> (Goma Guar)	Pritchard et al.	2010
- <i>Cocos Nucifera</i> (Cocotero)	Fatombi, et al.	2013
- <i>Cactaceous opuntia</i>	Zhang et al.	2006
- <i>Acacia siamea</i> (exudado gomoso)	Fernández et al.	2008
- <i>Opuntia ficus-indica</i> (Nogal)	Ortíz	2013
- <i>Opuntia spp</i>	Miller et al.	2008

Fuente: Elaboración del autor

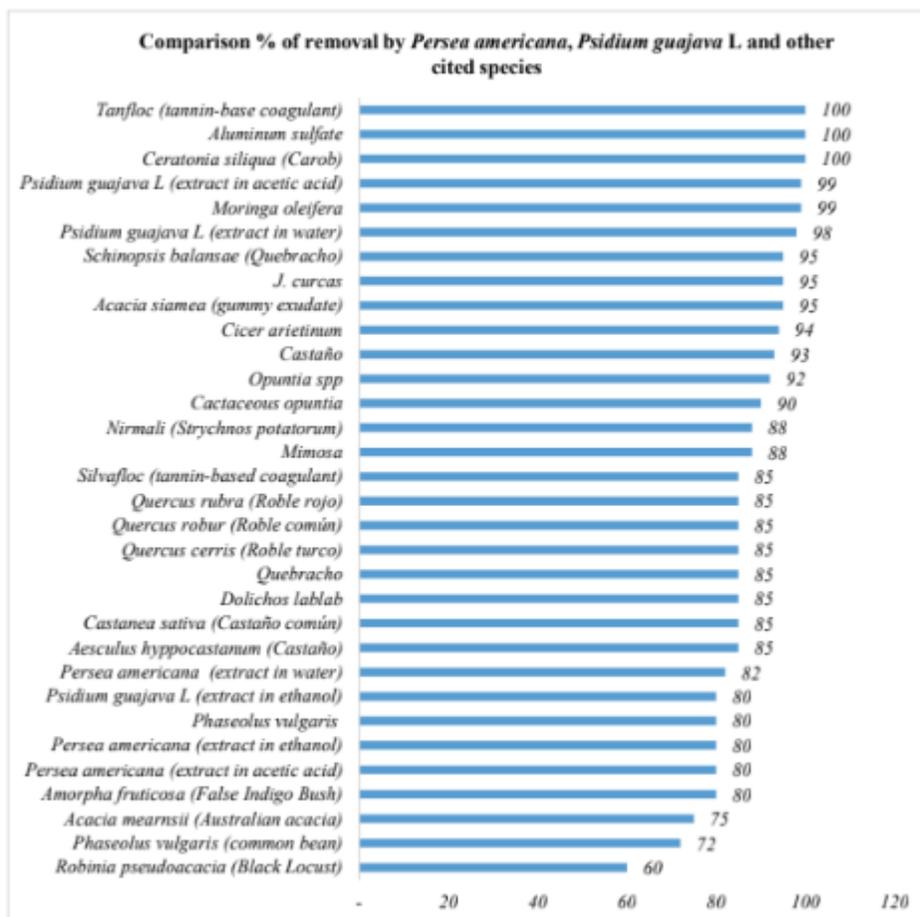


Figura 1 Comparación del % de remoción de especies naturales y el sulfato de aluminio

Fuente: (Chivitá, 2018)

**Espectrofotometría:** Procedimiento analítico para medir la cantidad de luz absorbida por una sustancia con respecto a una longitud de onda determinada.

- **Floculo:** un grumo de materia orgánica formado por agregación de sólidos en suspensión. (Suarez, J. 1987).

#### 10.2.4 Taninos y su aporte en el proceso de la coagulación

Son metabolitos secundarios polifenólicos, se pueden considerar fuentes de taninos ciertos alimentos, para el caso de los taninos; mimosa, quebracho y castaño son obtenidos de maderas y cortezas de algunas especies de árboles y arbustos (A., 2008), se clasifican de acuerdo a su estructura; galotaninos, elagitaninos, taninos completos y taninos condensados (Khanbabae, 2001)

En continua investigación, se encuentran los taninos como coagulantes naturales, considerados bio-floculantes, utilizados para suplir desventajas e impactos ambientales que se presentan debido a la aplicación de floculantes convencionales. (Lee C, 2014)., Los galotaninos se hidrolizan en ácido gálico en medio acuoso (un compuesto polar y fenólico catiónico), mediante un estudio realizado con las semillas *Strychnos potatorum* (Subbaramiah, 1937), se evidencio como el responsable del proceso de coagulación a los galotaninos.

#### 10.2.5 Turbidez

Definida como propiedad óptica de una muestra para disipar y absorber la luz en vez de transmitirla en línea recta, siendo en el caso del agua causada por material coloidal particulado ya sea mineral, arcilloso, diminutas partículas de materia orgánica e inorgánica, algas, plancton y microorganismos, provocando la coloración del agua. La turbidez aparente de una suspensión está directamente relacionada con el número, masa, índice de refracción y concentración de las partículas, siendo la causa principal de la turbidez del agua la dispersión de arcilla, ya que esta abarca una amplia gama de compuestos, pero generalmente son silicatos de aluminio con diversas formas, adquiriendo plasticidad al mezclarse con el agua (Melo & Turriago, 2012)

### - 10.3 Marco Normativo

Tabla 5 Legislación que abarca el estudio

Conpes 3810/2014	Ministerio de Vivienda	Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural, ratificada en el Artículo 25 de la Declaración Universal de los
---------------------	------------------------	--

Evaluación de la actividad coagulante de la semilla de Papaya (*Carica papaya*) en muestras de agua recolectadas en la cuenca alta del Río Bogotá

			Derechos Humanos de Naciones Unidas, de Diciembre de 1948.
Ley 9 de 1979.		Congreso de Colombia	Código Sanitario Nacional, por la cual se dictan Medidas Sanitarias.
Decreto 1449	1978	Ministerio de Agricultura.	Artículo 2do obligaciones de los propietarios de predios en relación con la conservación, protección y aprovechamiento de las aguas.
Resolución 2145	2005	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Planes de Saneamiento y Manejo de vertimientos.
Decreto 1323	2007	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH)
Decreto 1575	2007	Ministerio de la Protección Social	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano
Resolución 2115	2007	Ministerio de la Protección Social Y El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano
Resolución 811 de 2008		Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Dispone el procedimiento que deben seguir las personas prestadoras del servicio público de acueducto y las Entidades Territoriales de Salud, para definir y concertar los lugares y puntos de Muestreo en la red de distribución.
Decreto 3930	2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Permitirá el control de las sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de agua vertidas por actividades productivas
Resolución 4716 de 2010		Ministerio De La Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial.	Define el procedimiento para que la autoridad ambiental y las Entidades Territoriales de Salud, con el apoyo de las administraciones municipales y distritales y las personas prestadoras del

			Servicio público de acueducto, elaboren el Mapa de riesgo de la calidad de agua de los sistemas de suministro de agua para consumo humano.
Decreto 1076 de 2015		Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible“: En su título 3 corresponde a las cuencas hidrográficas.
Resolución 0631	2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales.
Decreto 1898 de 2016		Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.	Por el cual se adiciona el Título 7, Capítulo 1, a la Parte 3, del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015, que reglamenta parcialmente el artículo 18 de la Ley 1753 de 2015, en lo referente a esquemas diferenciales para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en zonas rurales.

*Elaborado por el Autor.* (Datos tomados de la página del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible).

#### - 10.4 Marco Geográfico

El río Bogotá, ubicado en el centro del país, en el Departamento de Cundinamarca, y con un área integrada por 41 municipios, en su recorrido de 380 kilómetros, el río Bogotá drena 599.568 hectáreas de superficie a través de los ríos Sisga, Neusa, Tibitó, Negro, Teusacá, Frío, Chicú, Salitre, Funza, Tunjuelito, Balsillas (que recoge las aguas del río Subachoque y Bojacá), Calandaima, y Apulo, creando una red hidrográfica con diversidad de paisajes y condiciones topográficas y climatológicas típicas de la zona tropical andina. El río alcanza un área de influencia cercana a los 6.000 Km<sup>2</sup>, donde habitan alrededor de 8,3 millones de habitantes y el Distrito Capital. Se calcula que el 20% de la población colombiana habita en la Cuenca del Río Bogotá y que allí tiene lugar el 28% de la actividad económica de la Nación. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014)

Para el presente estudio se tiene como área de influencia la cuenca alta del río Bogotá, sector Guaymaral - Chía, es allí donde los efectos ambientales negativos se pueden ver reflejados a aguas abajo en el trayecto de la cuenca. En las siguientes figuras 1 y 2, se puede evidenciar el punto de localización para la toma de muestras de agua cruda de la cuenca alta del río Bogotá específicamente en las Coordenadas N 04°51'56.4" W 074°02'24.9", respectivamente.



## - 10.5 Marco Institucional

Las entidades involucradas directamente en el desarrollo del proyecto son la Universidad El Bosque y la Fundación Universitaria Juan N Corpas,



FUNDACIÓN UNIVERSITARIA  
**JUAN N. CORPAS**

*Figura 4 Logo Fundación Universitaria Juan N. Corpas*



UNIVERSIDAD  
**EL BOSQUE**

*Figura 5 Logo Universidad El Bosque*

Las entidades involucradas indirectamente son la CAR, la Secretaría de ambiente y el Acueducto y Alcantarillado de Bogotá



*Figura 6 Logo Corporación Autónoma Regional*



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

*Figura 7 Logo alcaldía Mayor de Bogotá*



*Figura 8 Logo Empresa de Acueducto, alcantarillado y aseo de Bogotá*

## 11 Metodología

El trabajo experimental se valora adoptando la metodología desarrollada por el Grupo de Microbiología Aplicada al Medioambiente del Departamento de Biotecnología de la Universidad Hungliga Tekniska Högskolan de Estocolmo (Suecia) basada en una particularización a escala de laboratorio del extendido test de Jaras. Consiste en medir la densidad óptica a 500 nm (DO500) de una suspensión de agua turbia sintética (caolín y arcilla) y muestras problemas del río Bogotá cuenca alta, a la que se le añade un volumen variable del extracto coagulante a estudiar en una cubeta de vidrio (espectroscópica). De esta forma se redujo el volumen de agua turbia necesaria para la realización de los análisis así como la dosis de extracto crudo requerida, permitiendo además la realización de varios ensayos simultáneamente y evitando la descomposición natural del agua. (Ghebremichael et al., 2005). La metodología experimental, llevada a cabo en las instalaciones de laboratorio de la Fundación universitaria Juan N. Corpas en la ciudad de Bogotá D.C. A continuación, se describen los métodos y ecuación usados:

**Método de espectrometría:** La espectrofotometría es uno de los métodos de análisis más usados, y se basa en la relación que existe entre la absorción de luz por parte de un compuesto y su concentración. Cuando se hace incidir luz monocromática (de una sola longitud de onda) sobre un medio homogéneo, una parte de la luz incidente es absorbida por el medio y otra transmitida, como consecuencia de la intensidad del rayo de luz sea atenuada desde  $P_0$  a  $P$ , siendo  $P_0$  la intensidad de la luz incidente y  $P$  la intensidad del rayo de luz transmitido. Dependiendo del compuesto y el tipo de absorción a medir, la muestra puede estar en fase líquida, sólida o gaseosa. En las regiones visibles y ultravioleta del espectro electromagnético, la muestra es generalmente disuelta para formar una solución. Cada sustancia tiene su propio espectro de absorción, el cual es una curva que muestra la cantidad de energía radiante absorbida, Absorbancia, por la sustancia en cada longitud de onda del espectro electromagnético, es decir, a una determinada longitud de onda de la energía radiante, cada sustancia absorbe una cantidad de radiación que es distinta a la que absorbe otro compuesto.

**Método rodanina:** Por medio de condiciones anaeróbicas se realiza una hidrólisis de los galotaninos, consiste en la reacción del ácido gálico con la rodanina produciendo un color rosa, (Kenneth H. Inoue K, 1988) se realiza la medición de su absorbancia máxima en 520 nm de longitud de onda (Enemuor, 2009), se utilizó este método debido a que no presenta interferencias con otros fenoles y presenta una alta sensibilidad y precisión.

**Ecuación utilizada para medir la efectividad del coagulante:** En cuanto a la efectividad del coagulante de la semilla *Carica papaya*, se mide de acuerdo a los resultados de turbidez inicial menos la final, dividido en la inicial, por cien como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\%ER = \frac{\text{Turbiedad inicial} - \text{Turbiedad final}}{\text{Turbiedad inicial}} \times 100$$

\* Se entiende como eficiente el número que se acerque más el 100%.

Fuente: (Šćiban M. K., 2009)

En la siguiente tabla se presenta un pequeño resumen de las actividades ejecutadas en el desarrollo experimental del proyecto.

Tabla 7 Actividades desarrolladas.

Actividades	Técnicas	Instrumentos	Resultados esperados
Preparación de soluciones patrones Sulfato de aluminio 20.000 ppm y Taninos a 10.000 ppm Arcilla y Caolín 1000 ppm	Reflujo	Plancha de calentamiento  Balanza analítica	Obtener las soluciones con las concentraciones especificadas
Recolección de muestras	Recolección manual	Frascos recolectores Hielo Cava Icopor	Obtención de muestras de agua del Río Bogotá
Realizar las pruebas por medio de la técnica de espectrofotometría	Espectrofotometría	Espectrofotómetro  Pipeta	Confirmar la capacidad coagulante de los patrones
Preparación de los extractos	Reflujo	Triturador Plancha de calentamiento Balanza analítica	Obtener las soluciones acuosa, etanólica 10% y acética 10% con características fresca y seca de la semilla <i>Carica papaya</i> .
Realizar la prueba de espectrofotometría.	Espectrofotometría	Espectrofotómetro	Determinar la capacidad coagulante de la semilla <i>Carica papaya</i> con cada de sus extractos.
Cuantificar el contenido de Galotaninos presentes en los extractos utilizados	Prueba hidrólisis de ácido gálico y rodanina	Balanza analítica Plancha de calentamiento Rota evaporador Baño de ultrasonido Espectrofotómetro	Conocer la cantidad de Galotaninos en la semilla <i>Carica papaya</i> .
Efectividad por medio del %eficiencia de remoción	Ecuación %Eficiencia de Remoción	N/A	Conocer el % de efectividad de remoción de los extractos de la semilla <i>Carica papaya</i> con respecto a los patrones

Hacer un análisis estadístico de los datos	estadística descriptiva  análisis de varianza a dos vías, prueba de tukey	GraphPad Prism	Determinar estadísticamente cuál tratamiento es más efectivo
--	---	----------------	--

*Elaborado por el Autor.*

**- 11.1 Recolección de Muestras de agua y obtención de semillas de *Carica Papaya*.**

Se realizó la recolección de muestras de agua el 7 de agosto del 2019, posteriormente se refrigeraron para ser llevadas al laboratorio, donde se dio inicio su etapa experimental durante 30 días.

Para la obtención de la semilla de la papaya (*Carica Papaya*) de la variedad Maradol, se realiza la solicitud a la empresa Pato Company Pizzería Calle 148 # 95-61 Barrio San Jorge, Bogotá, en Marzo del 2019, donde se adquirió el tejido vegetal requerido para las muestras a tratar.

**- 11.2 Materiales, equipos e insumos de laboratorio**

En este apartado se mencionan los equipos, materiales e insumos empleados en laboratorio para la ejecución del presente trabajo de investigación. Tabla 6.

*Tabla 8 Equipos, materiales e insumos empleados en laboratorio*

<b>Equipos utilizado en la actividad experimental de laboratorio</b>		
<b>Equipo</b>	<b>Referencia</b>	<b>Casa comercial</b>
Espectrofotómetro	Spectronic 20	Bausch & Lomb
Rota evaporador	RV 10	IKA
Plancha de Calentamiento	MSH 130	BOECO GERMANY
Baño ultrasonido	P60H	ELMASONIC P
Medidor de pH, conductividad	Cobra 4 Mobile-link	PHYWE
Turbidímetro	1500 P	TURBIQUANT
Balanza analítica	AS 220	RADWAG

Insumos	Materiales
Agua destilada	Vasos de precipitado
Semillas de Carica papaya	Balón aforado 25, 50 y 100 ml
Quebracho, mimosa y castaño	Tubos de ensayo
Sulfato de Aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ )	Buretas
Caolín y Arcilla	Pipetas
Alcohol etílico al 96%	Tamiz
Ácido acético	Matraz
Rodamina	Otros: Cava Icopor, Papel filtro, baldes, recipientes para toma de muestra, etc.
Hidróxido de Potasio	
Acetona	

Elaborado por el autor

-

### - 11.3 Preparación de coagulantes

El presente estudio se realizó en una unidad muestral total de 900 ml, desarrollada en dos fases a fin de tener un patrón en el comportamiento de diferentes coagulante (Naturales y Químico).

En la Primera fase se evaluó la muestra del agua cruda junto con el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  a diferentes concentraciones y la actividad coagulante del sulfato de aluminio con caolín y arcilla. Seguidamente, se desarrolló el mezclado del agua cruda con los 3 taninos (Quebracho, Mimosa y Castaño), con el fin de tomar como referencia la actividad coagulante de estas sustancias comúnmente utilizadas en los procesos y estudios de remoción de turbidez del agua tomada en el río Bogotá, mediante el método de espectrofotometría.

En la segunda fase se utilizó la semilla de la papaya (*Carica papaya*) con el fin de estudiar su capacidad coagulante en composición seca y fresca. Utilizando extracto acuoso, etanólico 10% y acético 10%, así mismo determinar la presencia de los galotaninos en la semilla usada como coagulante.

La actividad coagulante de una semilla está dada por los taninos que se presentan en esta como se mencionó anteriormente, en este caso se determinó la presencia de Galotaninos en la semilla de la papaya, el etanol y el ácido acético extraen los taninos de la semilla con mayor facilidad que el agua, por esto se verificó la actividad coagulante en los diferentes extractos, se tomaron al 10% (baja cantidad de etanol y ácido acético) con el fin de no alterar la composición de la molécula de la semilla de la papaya.

- **Primera fase: Metodología para confirmar la actividad coagulante del Sulfato de Aluminio y Taninos (Quebrado, Mimosa y Castaño) usados como referencia.**

Se inició con el pesaje 20.000 g de sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  los cuales se añadieron a un balón aforado de 100 ml, donde se completó el volumen total con agua destilada, así mismo se tomaron 10.000 gr de los taninos (quebracho, mimosa y castaño), realizando el mismo procedimiento de llevar a un balón aforado de 100 ml y completado su volumen con agua destilada. Esto con el fin de obtener las soluciones para determinar la medición de la actividad coagulante tanto del sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , así como la de los taninos.

Con el objetivo de confirmar la actividad coagulante del sulfato de aluminio se realizó la preparación de agua cruda y se efectuó una suspensión de agua turbia sintética con Caolín y Arcilla de 1000 ppm, las cuales se llevaron a diferentes concentraciones 2500, 2000, 1500, 1000, 500 y 250 ppm. Este mismo procedimiento se repitió con la solución realizada con taninos.

Para la determinación de la actividad coagulante, se utilizó el método de espectrofotometría con 4 tubos de ensayo de volumen de 5 mL a 500 nm de longitud de onda tomando mediciones a tiempo 0 (Sin coagulante) y a las 2 horas después de haber aplicado el coagulante en el agua se tomó la medición final.

- **Segunda fase: Metodología para evaluar la actividad coagulante de los extractos acuosos, etanólico 10% y acético 10% de la semilla de *Carica papaya* en fresco y en seco, así como la presencia de los galotaninos en la semilla usada como coagulante.**

Se pesaron 20.000 g de la semilla *Carica papaya* en fresco la cual fue triturada con anterioridad, para cada extracto, en un balón de 100 ml, adicionando posteriormente 10 ml de etanol y de ácido acético, completando con agua destilada hasta los 100 ml, se realiza el mismo procedimiento, solamente con agua para el extracto acuoso. Seguidamente, se lleva a una plancha de calentamiento y por medio de reflujo se deja el extracto por una semana. Para el caso de la semilla en composición seca, se realiza el mismo procedimiento, luego de dejar la semilla secando por una semana, tal como se evidencia en la figura 9. Posteriormente se realiza la prueba de espectrofotometría con las mismas concentraciones y condiciones que se mencionan previamente, con cada uno de los extractos de la semilla de la papaya y el agua recolectada en la cuenca alta del río Bogotá sector Guaymaral-Chía.

Para la determinación de la actividad coagulante, se utilizó el método de espectrofotometría con 4 tubos de ensayo de volumen de 5 mL a 500 nm de longitud de onda tomando mediciones a tiempo 0 (Sin coagulante) y a las 2 horas después de haber aplicado el coagulante en el agua se tomó la medición final, se llevaron a diferentes concentraciones 2500, 2000, 1500, 1000, 500 y 250 ppm, tomada a partir de la concentración de 20.000 ppm.

Evaluación de la actividad coagulante de la semilla de Papaya (*Carica papaya*) en muestras de agua recolectadas en la cuenca alta del Río Bogotá



Figura 9 Tritura de la semilla *Carica papaya*



Figura 10 Semilla seca, después de 1 semana al sol



Figura 11 Extractos de la semilla *Carica papaya*, en reflujo por 1 semana



Figura 12 Filtrado de los extractos acuoso, etánolico 10% y acético 10% en composición seca



Figura 13 Prueba de coagulación del agua del río Bogotá por técnica espectrofotométrica

Para demostrar la eficiencia de la coagulación del agua con esta semilla *Carica papaya*, se procedió en laboratorio a verificar la acción de galotánicos, para lo cual se utilizó el método de la Rodanina, en donde se realiza una curva de calibración con 5 soluciones metanólicas de ácido gálico: 1,000 mg/ml, 0,500 mg/ml, 0,250 mg/ml, 0,125 mg/ml, 0,0625 mg/ml., se preparó una concentración (estándar) de 200 ppm en H<sub>2</sub>O 0.1% ácido fórmico y se diluyó 5 veces, a cada dilución se le realizó el ensayo de rodanina, con el fin de cuantificar la cantidad de galotánicos en la muestra con respecto a la curva de calibración en equivalentes de ácido gálico.

Se realiza la preparación de la muestra se pesa 80,936 g de la semilla en fresco de la papaya (*Carica papaya*) en seco, en una plancha de calentamiento con etanol se deja en reflujo 1 día. Se obtiene la muestra y por medio del rota evaporador se separa del etanol, al finalizar, se le adicionan 10 mL de acetona y se deja por 26 h en el baño de ultrasonido. Después de 26 h, se lleva a 50 mL de volumen con agua destilada, en tiempo cero se hace una mezcla de 1 mL de la muestra y 1,5 mL del reactivo (0,667% de la solución metanólica de rodanina), 5 minutos después se agregó 1 mL de 0,5 M de KOH, 2,5 minutos después es diluida con agua destilada hasta obtener 25mL. Al finalizar este procedimiento se lee la absorbancia a 520 nm (estándar), a tiempo 0, 5 y 10 minutos (Ricco F, 2015)

#### - 11.4 Análisis estadístico

Para la validación estadística de los resultados de turbidez en las pruebas de del coagulante natural y químico, los valores de transmitancia se presentan como el valor  $\pm$  SEM (error estándar de la media). Con el fin de evaluar si existen diferencias significativas de los tratamientos ensayados con respecto al agua sin tratar, se empleó un análisis de varianza a dos vías (Two-Way ANOVA; fuentes de variación: tratamientos y concentraciones) con un post test de Tukey; se consideraron diferencias significativas para una  $p < 0,05$ .

### 12 Plan de trabajo

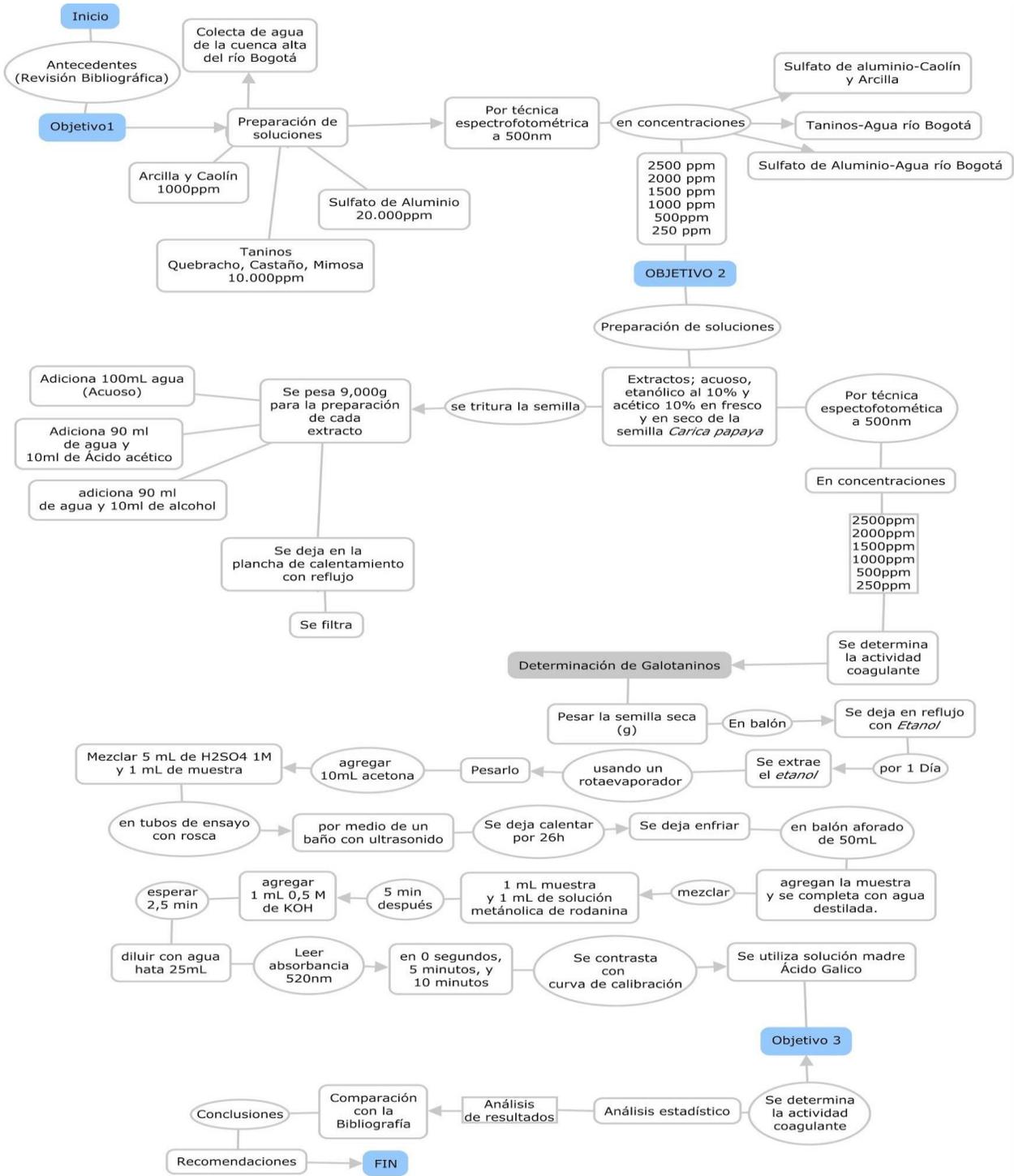


Figura 14 Actividades Realizadas

Fuente: Elaborado por el autor

### 13 Resultados

**Objetivo Específico 1:** “ *Calcular la actividad coagulante del Sulfato de Aluminio y taninos (Quebracho, Mimosa y Castaño) con respecto a soluciones de diferentes concentraciones de Caolín, Arcilla y agua colectadas de la cuenca alta del Río Bogotá sector Guaymaral-Chía como patrones*”

Con el objetivo de confirmar la actividad coagulante del sulfato de aluminio a diferentes concentraciones y la calidad y estado del reactivo analítico, se llevó a cabo un experimento empleando patrones conocidos como elementos que afectan la turbidez del agua, arcilla y caolín. Los resultados del efecto coagulante del sulfato de aluminio, frente a los patrones mencionados, se observa en la figura 16, se utilizan el caolín y la arcilla ya que al entrar en contacto con el agua y por medio de arrastre, generan turbiedad en el agua de río (FAO, 2015)

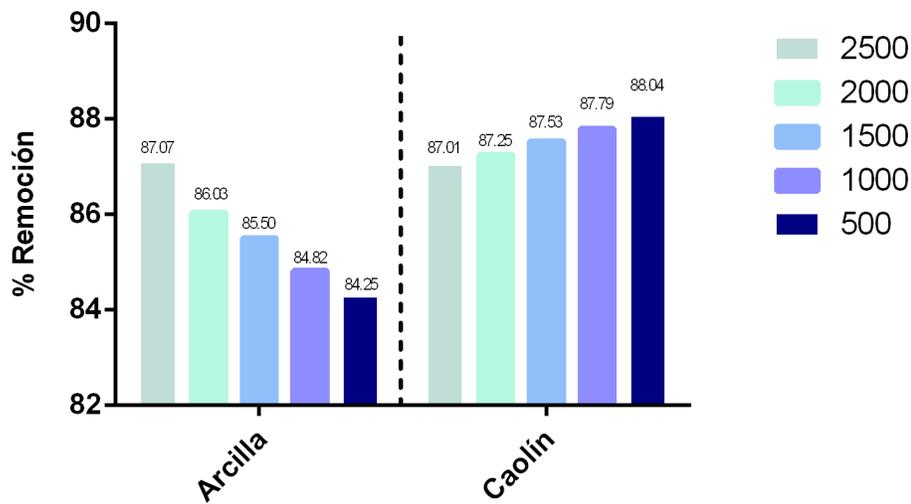


Figura 15 Actividad coagulante del sulfato de aluminio frente a los patrones (Arcilla y Caolín)

En la figura 16 Se confirma la actividad coagulante de los patrones (Sulfato de aluminio y taninos; Mimosa, Quebracho y Castaño), por concentración 2500, 2000, 1500, 1000, 500, 250 ppm, teniendo una actividad descendiente a medida que se reduce la concentración a estudiar.

### Efectividad de los controles empleados en el estudio

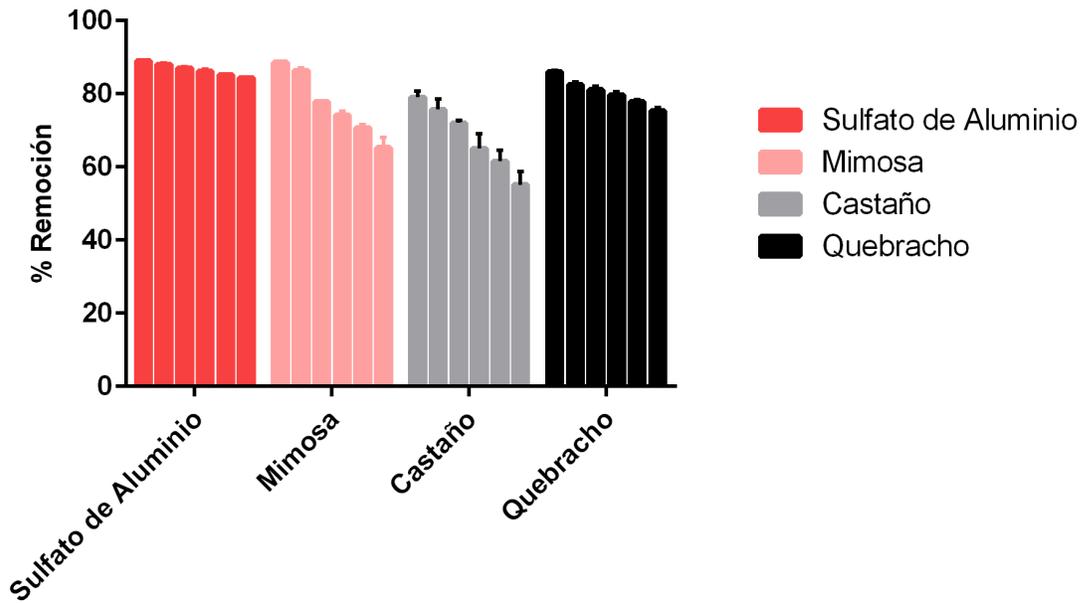


Figura 16 Efectividad de remoción del Sulfato de Aluminio y taninos

**Objetivo Específico 2** “Valorar la actividad coagulante de los extractos acuoso, etanólico 10% y acético 10% en diferentes concentraciones de la semilla *Carica papaya*, en aguas colectadas de la cuenca alta del Río Bogotá sector Guaymaral-Chía.”

En la figura 17 se observa el efecto de los diferentes extractos de la semilla de *Carica papaya*, en función de la concentración y en comparación con el agua sin tratamiento, con el fin de visualizar el comportamiento de las diferentes concentraciones evaluadas con respecto al valor de la transmitancia (concentración-dependencia). Para el agua sin tratamiento se siguió el mismo procedimiento de dilución que se empleó con los diferentes tratamientos.

Evaluación de la actividad coagulante de la semilla de Papaya (*Carica papaya*) en muestras de agua recolectadas en la cuenca alta del Río Bogotá

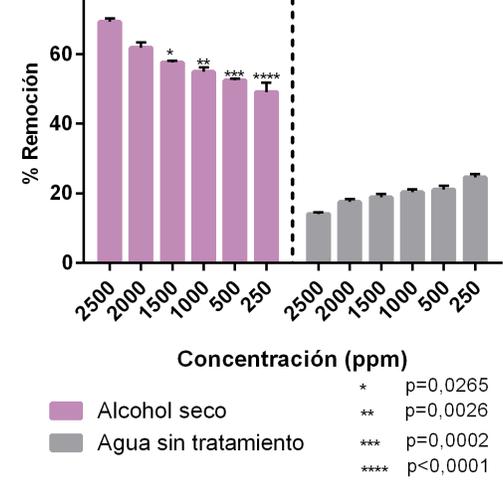
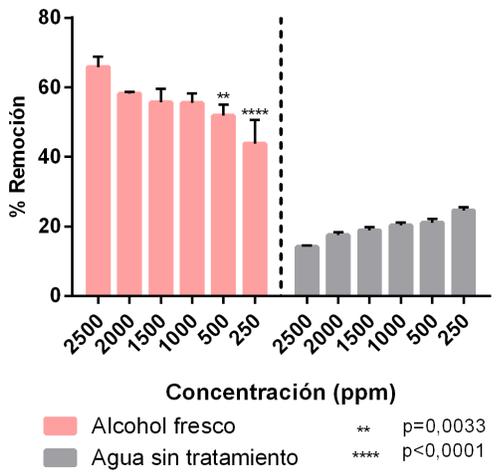
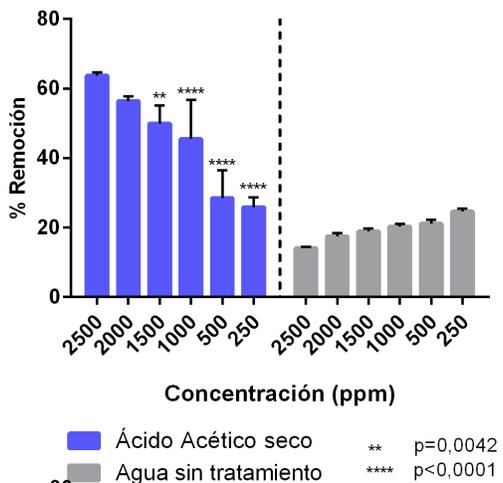
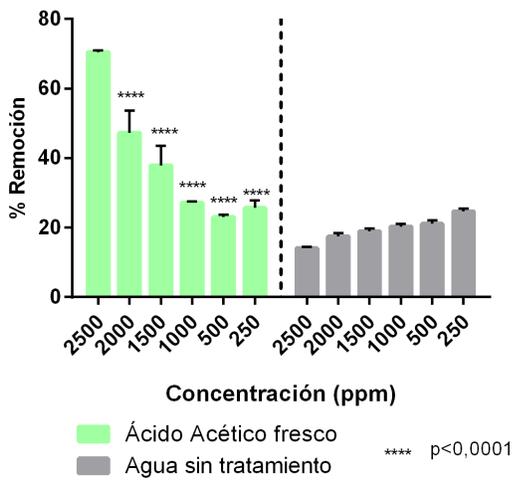
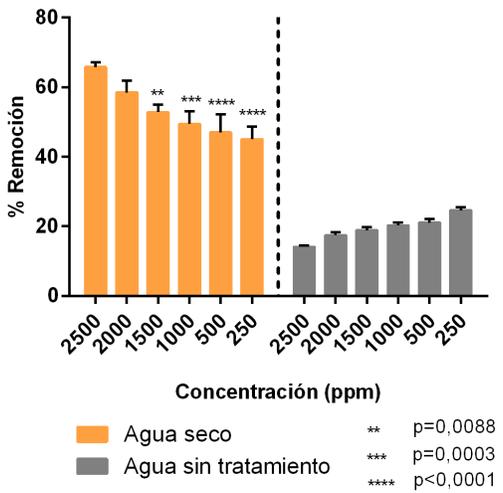
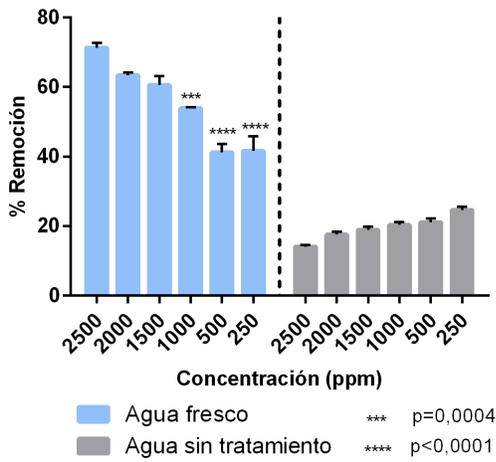


Figura 17 Efecto de la concentración por extracto; acuoso, etanólico 10% y acético 10% de la semilla *Carica papaya*

En relación a los antecedentes del efecto coagulante de los taninos, específicamente de los galotaninos, se cuantifico el contenido de éstos compuestos fenólicos, en las semillas de la papaya con el fin de confirmar su capacidad coagulante. En la figura 18, se muestra la curva de calibración obtenida, siguiendo los protocolos mencionados en la metodología (técnica de la rodanina).

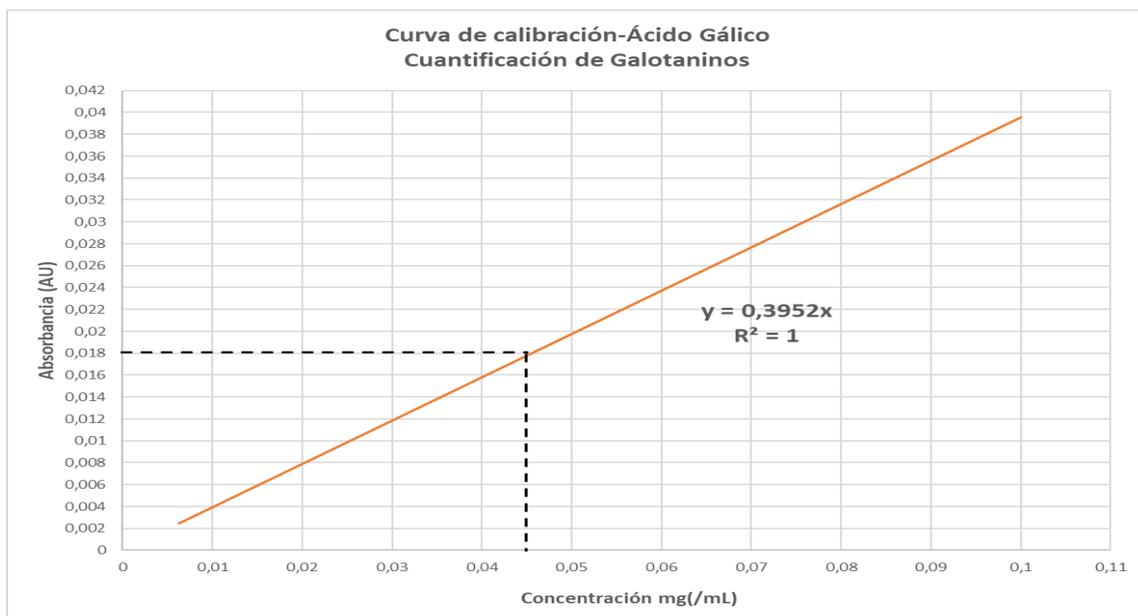


Figura 18 curva de Calibración con ácido gálico

De la curva de calibración se interpola, con el valor de absorbancia obtenido para la muestra, después de realizar una hidrólisis ácida, una concentración de 0,046 mg/mL. Aplicando los factores de dilución, y el peso seco del extracto de la semilla *Carica papaya*, se obtuvo un porcentaje de Galotaninos de 3,54% en equivalentes de ácido gálico.

**Objetivo Específico 3** “Determinar la efectividad de los extractos de la semilla *Carica papaya* frente a los patrones.”

En la siguiente tabla se presentan los porcentajes de remoción por concentración de los diez tratamientos usados y el efecto del coagulante de la semilla *Carica papaya* de los extractos acuoso, acético 10% y etanólico 10%, en comparación con los patrones Sulfato de aluminio, Mimosa, Quebracho y Castaño., utilizando la metodología espectrofotométrica.

Evaluación de la actividad coagulante de la semilla de Papaya (*Carica papaya*) en muestras de agua recolectadas en la cuenca alta del Río Bogotá

Tabla 9 Valores de porcentajes de remoción por concentración (evaluación del efecto coagulante)

Tratamiento		Concentración (ppm) y resultados de % eficiencia de remoción promedio de Turbidez					
Nº	Extracto de la semilla de <i>Carica papaya</i>	2500	2000	1500	1000	500	250
1	En Fresco en agua	71,3±1,33	63,4±0,79	60,6±2,46	53,9±0,14	41,3±3,34	41,8±4,20
2	En Seco en agua	65,8±1,43	58,5±3,36	52,9±2,16	49,5±3,74	47,0±5,17	45,1±3,59
3	En Fresco en Ácido acético	70,5±0,54	47,3±6,44	37,9±5,61	27,2±0,42	23,1±0,71	25,6±2,18
4	En Seco en Ácido acético	63,7±1,02	56,4±1,31	49,9±5,29	45,5±11,3	28,4±8,13	25,9±2,83
5	En Fresco en Alcohol	65,9±2,84	58,2±0,55	55,7±3,92	55,5±2,71	51,8±3,28	43,8±6,86
6	En Seco en Alcohol	69,3±1,02	61,9±1,48	57,7±0,47	54,9±1,19	52,4±0,62	49,1±2,61
7	Sulfato de aluminio	88,9±0,13	88,0±0,40	87,0±0,35	86,2±0,52	85,1±0,30	84,4±0,08
8	Mimosa	88,7±0,06	86,3±0,77	77,9±0,25	74,1±1,10	70,9±0,86	65,3±2,82
9	Castaño	79,1±1,73	75,7±2,82	72,0±0,80	65,0±3,99	61,6±3,10	55,1±3,57
10	Quebracho	85,9±0,43	82,5±0,85	81,1±0,90	79,7±0,79	77,8±0,62	75,4±0,86

\* Valor ± SEM (error estándar de la media)

La figura 19, es una representación gráfica correspondiente a la eficiencia de remoción de turbidez concentraciones de 2500, 2000, 1500, 1000, 500, 250 ppm en los 10 diferentes tratamientos, comparando así, con el agua sin ningún tratamiento. En la columna señalada en color rojo, el tratamiento con mayor efecto coagulante (Extracto alcohólico de las semillas secas) con un porcentaje de remoción del 69,3% a la concentración de 2500 ppm.

Para ello, se amplía en la figura 20, en mayor detalle el valor de la transmitancia (concentración-dependencia) del efecto del extracto de la semilla de *Carica papaya* en seco en alcohol, en función de las diferentes concentraciones y en comparación con el agua sin tratamiento.

Evaluación de la actividad coagulante de la semilla de Papaya (*Carica papaya*) en muestras de agua recolectadas en la cuenca alta del Río Bogotá

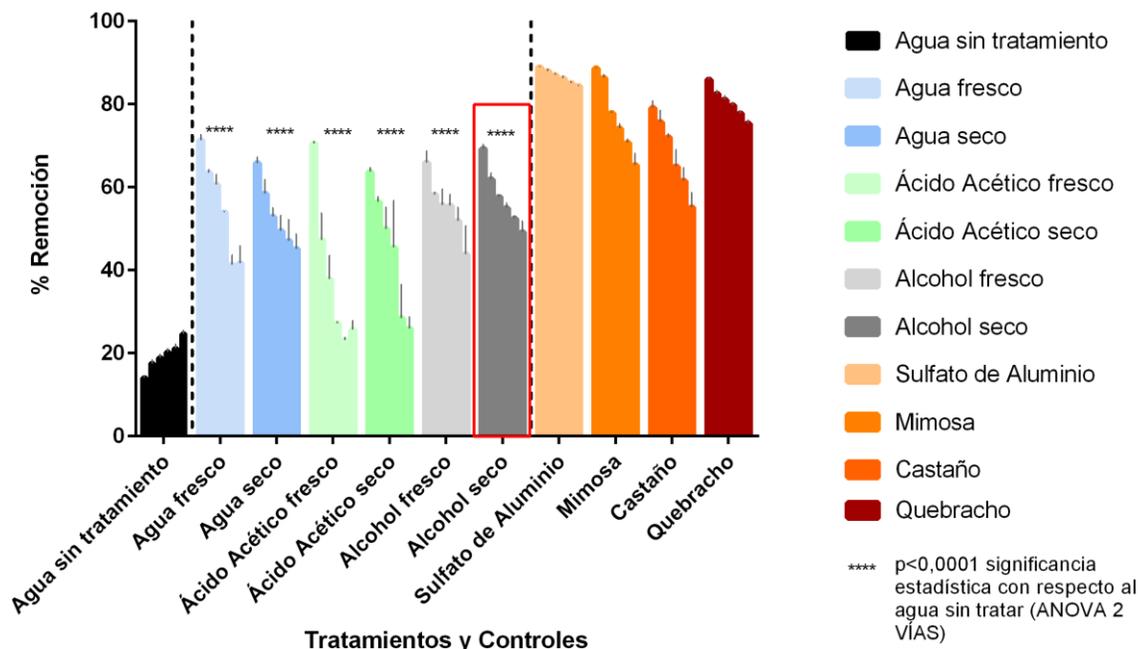


Figura 19 Efecto coagulante de los extractos acuoso, acético 10% y etanólico 10% de la semilla *Carica papaya* en comparación con los patrones

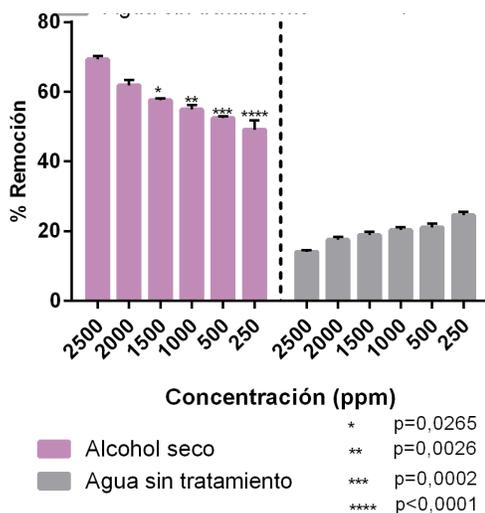


Figura 20 Efecto coagulante del extracto etanólico en seco de la semilla *Carica papaya*

En la tabla 10, se observa la eficiencia de acuerdo a los datos tomados de turbiedad inicial con los datos promedios arrojados en los diferentes tratamientos los cuales obtenidos para una concentración promedio de 1300 ppm.

Evaluación de la actividad coagulante de la semilla de Papaya (*Carica papaya*) en muestras de agua recolectadas en la cuenca alta del Río Bogotá

Tabla 10 Valores de % eficiencia de remoción por tratamiento

Nº	Tratamiento	%Eficiencia de remoción de turbidez	Desviación Estándar
1	Agua fresco	55,39	12,13
2	Agua seco	53,13	7,804
3	Ácido acético fresco	38,58	18,09
4	Ácido acético seco	44,97	15,13
5	Alcohol fresco	55,16	7,278
6	Alcohol seco	57,56	7,215
7	Sulfato de aluminio	86,62	1,731
8	Mimosa	77,16	9,038
9	Castaño	68,08	9,102
10	Quebracho	80,39	3,69

En la tabla 11, se realizó una comparación de los tratamientos en relación con el 86,62% de efectividad del sulfato de aluminio a la misma concentración, y arroja que no existe una variación significativa en el porcentaje de eficiencia del extracto de semilla de *Carica papaya* fresco en agua (61,34%) y en alcohol (63,68%), sin embargo, en alcohol presenta menor desviación estándar.

Tabla 11 Valores de % de eficiencia de remoción por tratamiento (tomando el sulfato de aluminio como 100%)

Nº	Tratamiento	%Eficiencia de remoción de turbidez	Desviación Estándar
1	Agua fresco	63,95	12,13
2	Agua seco	61,34	7,804
3	Ácido acético fresco	44,54	18,09
4	Ácido acético seco	51,92	15,13
5	Alcohol fresco	63,68	7,278
6	Alcohol seco	66,45	7,215
7	Mimosa	89,08	9,038
8	Castaño	78,60	9,102
9	Quebracho	92,81	3,69

En la Figura 21, se pueden observar los valores de efectividad, respecto al efecto que tiene el coagulante natural en los diferentes tratamientos, para lo cual se puede decir que no es significativo, ya que solo presenta una ligera variación.

Se estableció que el coagulante natural de semillas de *Carica papaya*, se encuentra con un porcentaje de eficiencia del 66,45%, cercano a los taninos, esto puede explicarse porque tanto los taninos como semillas de frutos, son coagulantes naturales que contienen polímeros que incrementan ligeramente la carga iónica del agua, ya que su carga iónica no es elevada (Molano, 2011) Se incluye el sulfato de aluminio como referencia efectividad, sin embargo es de aclarar que no es objeto de estudio, con el fin de hacer una comparación entre la efectividad de remoción de los patrones frente a cada uno de los tratamientos utilizados (Extractos), por su concentración, con el fin de determinar si se presenta un porcentaje de remoción que se asimile o acerque a los coagulantes tradicionales, y así presentar una coagulación efectiva.

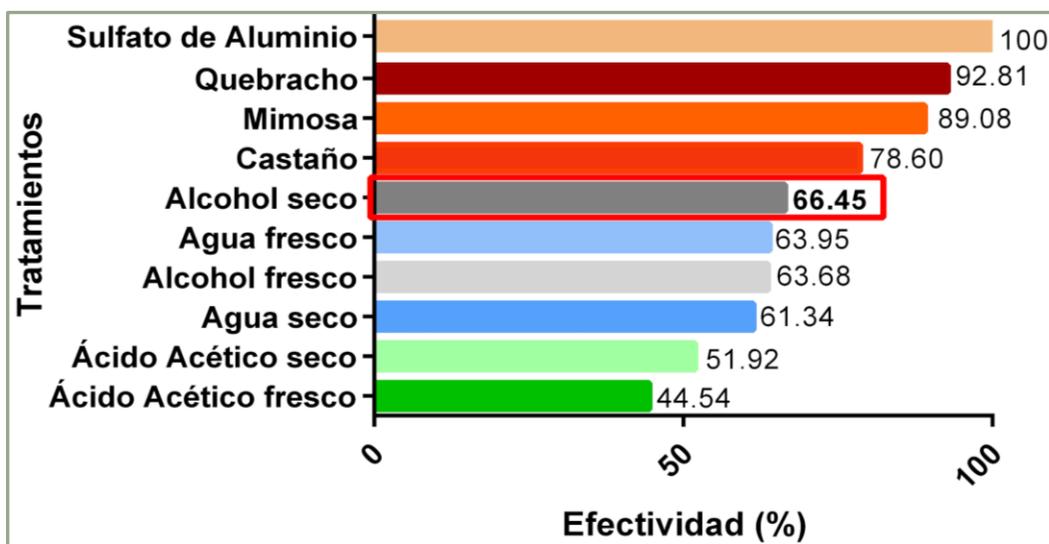


Figura 21 Comparación del efecto coagulante de los extractos de la semilla *Carica papaya* contra los tratamientos

## 14 Análisis y discusión de resultados

Se realizó un análisis de varianza de dos vías “Two-Way ANOVA” a los resultados obtenidos a partir de las pruebas de espectrofotometría a los extractos en composición fresco y seco de la semilla de la papaya y a los patrones (Sulfato de aluminio y Taninos), con el fin de hacer una comparación confiable de la capacidad coagulante de los diferentes objetos de estudio, y así determinar si la semilla *Carica papaya* podría ser una alternativa como un coagulante natural.

### - 14.1 Confirmación de calidad y estado del Sulfato de Aluminio

Se evaluó la actividad coagulante del Sulfato de aluminio en Caolín (Silicato básico) y Arcilla (Silicato de aluminio hidratado), estos poseen gran capacidad de absorber agua. Como se puede evidenciar en la figura 24, varía la actividad coagulante con relación a la concentración del coagulante. En el caso del caolín a menor concentración mayor actividad coagulante, según (Bravo, 2017) a mayor concentración de caolín menor dosis del coagulante, La remoción se debe a la adsorción y neutralización de cargas, a partir de la partículas de colín y el coagulante se forman puentes de estos que forman coágulos.

(Okuda, 2001). Por otra parte, la arcilla a mayor concentración mejor actividad coagulante, la estructura laminar de estas permite el almacenamiento de agua en espacio inter laminar, formando así agregados lodosos difíciles de romper (Lozano, 2014). Diversos estudios han analizado la capacidad coagulante de coagulantes naturales en aguas con arcilla y caolín entre ellos la *moringa oleífera* (Okuda, 2001), uno de los coagulantes naturales más efectivos y estudiados en el campo. Así como el *Phaseolus vulgaris* (Frijol común) (Antov, 2007)

Se da una confirmación de la calidad y el estado del patrón Sulfato de aluminio, observando en la figura 16 una actividad coagulante esperada. Basándose en los resultados de los estudios anteriormente mencionados y la actividad que se presenta en estas aguas turbias sintéticas al ser tratadas con el sulfato de aluminio como coagulante.

### - 14.2 Confirmación de la actividad coagulante de los patrones (Sulfato de Aluminio y taninos; Quebracho, Mimosa y Castaño).

En la figura 16 se evidencia la actividad coagulante de los coagulantes sulfatos de aluminio y taninos, presentando un porcentaje de eficiencia de remoción mayor del 65% para el castaño siendo el menos eficiente de los taninos, usados como coagulantes naturales, y presentando mayor efectividad el quebracho con una eficiencia de 80,39%. Respondiendo favorablemente en el proceso de remoción de la turbidez del agua recolectada de la cuenca alta del río Bogotá.

El coagulante inorgánico estudiado como patrón (Sulfato de aluminio), presentó una efectividad mayor al 80%, al igual que en la actividad presentada en la figura 15 donde se evaluó su calidad y estado.

- **14.3 Eficiencia de remoción de la actividad coagulante de la semilla de papaya (*Carica papaya*).**

Analizando el efecto coagulante de los extractos según las características de la semilla (Seco o fresco), se puede resaltar que, en el caso del extracto acuoso, hay una mejor capacidad de coagulación con la semilla fresca con una efectividad de 63,95% para los extractos en ácido acético 10% y etanólico 10% se obtuvo con la semilla seca del 51,92% de efectividad.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos que se observan en la figura 17, se evidenció que para todos los extractos de la semilla *Carica papaya*, el comportamiento de la transmitancia es lineal con respecto a las diferentes concentraciones utilizadas (comportamiento concentración dependiente). Para el extracto acuoso preparado a partir de la semilla fresca existen diferencias significativas de las concentraciones 1000, 500 y 250 ppm con respecto a la concentración más alta estudiada (2500 ppm), lo anterior indica que se podría utilizar una concentración de 1500, obteniendo el mismo efecto que si se utiliza la más alta. En los extractos acuosos con material vegetal seco, ácido acético seco y etanólico seco, se presentan diferencias significativas desde la concentración 1500 ppm hacia abajo, presentando comportamiento similar la más alta con 2000 ppm. Realizando el mismo análisis para el extracto obtenido con el ácido acético de la semilla en fresco, únicamente se observaría el mayor efecto con la concentración más alta. En el caso del extracto etanólico con material fresco, se obtuvo el mismo efecto coagulante a partir de la concentración de 1000 ppm hacia arriba. Adicionalmente, se confirma la mejor actividad coagulante en el extracto etanólico con material seco.

- **14.4 Confirmación de la capacidad coagulante de la semilla *Carica papaya*.**

Para complementar el análisis experimental, se realizó la prueba de hidrólisis con Rodanina y Ácido gálico, donde se determinó la presencia de Galotaninos en la semilla *Carica papaya* en un 3,5% (45,8 mg/L) como se puede evidenciar en la figura 18, lo que genera principalmente la acción coagulante.

En un estudio realizado por (Kenneth H. Inoue K, 1988), el *Acer saccharum*, *liquidambar styraciflua*, *Quercus rubra* y *Diospyros virginiana*, encontraron un porcentaje de 0,88%, 0,36%, 0,17% y 0,60% de Galotaninos respectivamente, al comparar se evidencia una mayor concentración de galotaninos en la semilla de la papaya (*Carica papaya*); según (Villagran E, 2009) se utilizan los extractos de las hojas y la madera el *liquidambar styraciflua* como coagulante.

- **14.5 Comparación del % de eficiencia de remoción de la semilla *Carica papaya* en comparación con los patrones (Sulfato de Aluminio y Taninos; Quebracho, Mimosa y castaño).**

De acuerdo con la figura 19 se observa que todos los tratamientos evaluados presentan un efecto coagulante, estadísticamente significativo ( $p < 0,0001$ ), con respecto al agua cruda, sin tratamiento previo. Se evidenció un mayor efecto coagulante con el extracto etanólico obtenido de la semilla seca de la *Carica papaya* a una concentración de 2500 ppm con una efectividad del 66,45%. Sin embargo, se puede observar que los taninos también presentan mayor efectividad teniendo en cuenta que este también es usado como coagulante natural.

- **14.6 Comparación de la eficiencia de remoción en relación con los coagulantes naturales ya estudiados por la industria.**

En un estudio realizado por (Ridwan, 2011), estudiaron la efectividad de un extracto de la *Moringa oleífera*, donde se determinó una efectividad del 80%, siendo 21,55% más efectiva que el extracto alcohólico con material seco de la semilla *Carica papaya* (66,45%), que como se mencionó anteriormente, fue el más efectivo reportado en este estudio.

Teniendo en cuenta el estudio realizado por (Chivitá, 2018), En el cual se estudió la capacidad coagulante de la semilla *Psidium guayava L* y *Persea americana*, en un agua con condiciones y extractos similares, se evidenció que ambas semillas en sus extractos acuoso, etanólico y acético presentan mayor porcentaje de efectividad que la semilla *Carica papaya* (figura 20), siendo los de menor efectividad la *Persea americana* en extracto acético y etanólico con un 80% cada uno.

En la figura 1, se observa el porcentaje de efectividad de diferentes coagulantes naturales en comparación con el Sulfato de aluminio, tomándolo con una efectividad del 100%. El extracto alcohólico con material seco de la semilla *Carica papaya*, mostró el mayor porcentaje de efectividad con un valor de 66,45%, valor bajo si se compara el efecto con respecto a diferentes especies de referencia analizadas con efecto coagulante, observado en la figura 1. Dicha actividad sólo superaría la reportada para la *Robinia pseudoacacia*.

En un estudio realizado por (Sandhya Maurya, 2018), evaluaron la actividad coagulante de la semilla *Carica papaya* en aguas residuales, obteniendo como resultado una remoción del 66,67%, demostrando una efectividad similar a la estudiada por el autor con porcentaje de remoción del 66,45% (Figura 21), en las condiciones de laboratorio presentadas en este estudio.

## 15 Conclusiones

Al realizar el análisis con el Sulfato de aluminio con aguas preparadas con caolín y arcilla y aguas del río Bogotá, se evaluó y aceptó la metodología propuesta por el Grupo de Microbiología Aplicada al Medioambiente del Departamento de Biotecnología de la Universidad Hungliga Tekniska Högskolan de Estocolmo (Suecia), basada en una particularización a escala de laboratorio del extendido test de Jaras. Reduciendo el volumen de agua turbia necesaria para la realización de los análisis así como la dosis de extracto crudo requerida, permitiendo además la realización de varios ensayos simultáneamente y evitando la descomposición natural del agua.

Se redujo la turbidez del agua en las muestras tomadas en la cuenca alta del río Bogotá, sector Guaymaral-Chía, en un 66,45% al usar La semilla *Carica papaya* como coagulante. Esto indica que la hipótesis nula se acepta.

Según el análisis estadístico se evidencia que los extractos estudiados, obtenidos a partir de las semillas de papaya, presentan una actividad coagulante, estadísticamente significativa con respecto al agua sin tratar. También se puede afirmar, que la semilla de la papaya (*Carica papaya*) con material seco, en alcohol al 10%, presenta un porcentaje de efectividad de remoción de 66,45%, siendo el mayor de todos los extractos estudiados; el menor porcentaje de efectividad se observó para el extracto en ácido acético con semillas secas, con 44,54% de efectividad, siendo el único con un porcentaje menor al 50%.

Teniendo en cuenta la figura 1, se presenta una comparación de porcentajes de remoción de diversos coagulantes naturales con el sulfato de aluminio realizada por (Chivitá, 2018), en el cual se evaluó la *Psidium guayava L* en aguas recolectadas de la cuenca alta del río Bogotá, donde se presentó una remoción del 98% en el extracto con ácido acético, siendo el más alto de su estudio. Comparándolo con el extracto con mayor efectividad de remoción obtenido a partir de la semilla de la papaya (*Carica papaya*) con etanol al 10% y composición seca, se concluye que la semilla *Psidium guayava L* presenta una mejor actividad coagulante.

Al realizar una comparación de la efectividad de los coagulantes naturales, se observa que tiene mayor efectividad la reducción de turbiedad a base de taninos tal como es el Quebracho que arrojó una efectividad del 92,81%.

Mediante el método de rodanina se evidencio un porcentaje de galotaninos en la semilla *Carica papaya*, reforzando la capacidad coagulante de está, ya que según (Subbaramiah, 1937), los galotaninos son los responsables del proceso de la coagulación en el agua.

## 16 Recomendaciones

Se recomienda ejecutar un proyecto piloto de tratamiento de agua donde se utilice la semilla *Carica papaya* como coagulante y se puedan involucrar otras variables tanto como de calidad, a fin de observar si existen variación en otros parámetros.

Se recomienda estudiar diferentes especies de semillas, hojas, raíces, frutas, cortezas y savia, que se encuentren nativos en la región a estudiar, con el fin de generar una alternativa natural, amigable con el medio ambiente, que no genere problemas de salud pública como los mencionados anteriormente, y costos de adquisición bajos, no solo de residuos generados por las industrias, sino especies que se pueden cultivar con el fin de tratar los problemas de vertimientos en el agua.

En el futuro se deberían tomar diferentes puntos de muestreo a lo largo de la cuenca del río, en donde se encuentran diferentes vertimientos domésticos e industriales, con el fin de comparar la eficiencia de los coagulantes naturales a estudiar, así conocer en qué condiciones tienen mejor efectividad.

## 17. Bibliografía

- A., P. (2008). Tannins: Major Sources, Properties and Applications; en Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources. *Elsevier Science* .
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014, 08 07). *Aproximación de las implicaciones del fallo del consejo de estado sobre el Río Bogotá, en el ordenamiento territorial regional*. Retrieved from [http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/aproximacion\\_a\\_las\\_impli](http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/aproximacion_a_las_impli)
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. . *Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico. Sedapal*.
- Antov, M. S. (2007). Investigation of isolation conditions and ion-exchange purification of protein coagulation components from common bean seed. *Biblid*, 1450-7188.
- Asrafuzzaman, M. F. (2011). Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. . *Int. Scholarly Res. Network. ISRN Microbiology* .
- Babu, R. y. (2005). Home water treatment by direct filtration with natural coagulant. *J. Water Health*,, 27-30.
- Bautista, R. (2004). Las curtiembres del corredor Villapinzón- Chocontá y el Río Bogotá. . *Rev. Fac. Ciencias Económicas Investig. Y Reflexión*, 36-45. .
- Benito, A. y. (2015). Evaluación técnica y operativa de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Chocontá, Cundinamarca. . *Universidad Francisco Jose de Caldas*, Facultad de Medio Ambiente t Recursos Naturales.
- Bravo, M. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. . *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*,, proyecto curricular de Licenciatura en Química.
- Carreño, U. y. (2011). Estimación de la confiabilidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales que operan con lagunas de estabilización en la cuenca alta y media del Río Bogotá. . *Ing. Recur. Nat. Y del Ambient*, 55-64.
- Chivitá, D. C. (2018). The coagulant activity of the seeds of *Psidium guajava* L. and the *Episperm* of *Persea americana* Mill. In samples of water from the Bogotá River (Chocontá-Villapinzón). *Indian Journal of Science and Techn.*
- Choy. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of Environmental Sciences* .
- Cogollo, J. (2010). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. . *Dyna*, 1827-1854.
- Cruz, S. Z. (2016). Propiedades funcionales de semillas de papaya (*Carica papaya* L.). *Revista de Ciencias de la Salud*, 48-56.
- Cruz, S. Z. (2016). Propiedades funcionales de semillas de papaya (*Carica papaya* L.). *Revista de Ciencias de la Salud*, 48-56.
- Elgadir, M. S. (2014). *Carica papaya* as a source of natural medicine and its utilization in selected pharmaceutical applications. . *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 19- 22.
- Enemuor, S. O. (2009). Culture conditions for the production of a tannase of *aspergillus tamarii*. . *African Journal of biotechnology* , Vol. 8.
- Ettlinger, M. y. (1956). The Mustard Oil of Papaya Seed. *J. Org. Chem.*, 204-205.
- FAO. (2015, 02 26). *Sistemas de calidad e inocuidad de los alimentos*. Retrieved from [http://www.fao.org/ag/agn/CDfruits\\_es/others/docs/sistema.pdf](http://www.fao.org/ag/agn/CDfruits_es/others/docs/sistema.pdf)

- Fatombi, J. L. (2013). A natural coagulant protein from copra (*Cocos nucifera*): Isolation, characterization, and potential for water purification. . *Separation and Purification Technology* 116, 35–40.
- Fengel, S. &. (1995). Formation and deposition of tannins in Quebracho colorado (*Schinopsis balansae* Engl.) . *Holz als Roh- und Werkstoff*.
- FERIA DIAZ, J. J., & BERMUDEZ ROA, S. a. (2014). Efficiency of Moringa Oleífera seed as a natural coagulant to remove turbidity from Sinú river's water. *Rev Producción mas limpia*, 1909-0455.
- Fernández, A. C. (2008). Evaluación del exudado gomoso de Acacia siamea como coagulante en la clarificación de las aguas para consumo humano. *Rev. Tec. Ing. U. Zulia*, 32-40.
- Ghebremichael, K. A. (2005). A simple purification and activity essay of the coagulant protein from Moringa oleífera seed. . *Water Research* 390, 2338-2344.
- Guzmán, L. V. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. . *Revista U.D.C.A.*, 253 262.
- Kenneth H. Inoue K, H. A. (1988). Determination of Gallotannin with rhodanine. *Analytical Biochemistry* 169:, 363-365.
- Khanbabaee, K. &. (2001). Tannins: classification and definition. *Natural Product Reports*, 641–649.
- Ledo, P. L. (2009). Estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de moringa oleífera para la depuración de aguas con baja turbiedad. *centro de tecnología*.
- Lee C, R. J. (2014). A review on application of flocculants in wastewater treatment, Process Safety and Environmental Protection. 489–508.
- Lobo, M. (1995). Caracterización bioquímica de frutos de papaya (*Carica papaya*, cv. sunrise), hembra y hermafrodita, en relación con su aptitud al procesado por congelación. . *Universidad complutense de Madrid. Facultad de Farmacia*.
- Lozano, A. (2014). Desarrollo de estructura laminar del suelo en siembra directa. Factores predisponentes y efectos sobre las propiedades hidráulicas. *Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales*.
- Melo, G., & Turriago, F. (2012). Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de Moringa oleífera como una alternativa de biorremediación en la purificación superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias. *Tesis ing agroforestal, UNAD*.
- Mikkonen, P. y. (1992). Preparation and performance of tannin-based flocculants.
- Miller, S. F. (2008). Toward understanding the efficacy and mechanism of opuntia spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment. *Environmental science & technology*, Vol. 42.
- Molano, L. (2011). Las semillas de moringa oleífera lam como alternativa de coagulante natural para purificación del agua. *Universidad de santander*.
- Nayak, B. R. (2012). Woundhealing potential of an ethanol extract of *Carica papaya* (*Caricaceae*) seeds. . *International Wound Journal*, 650–655.
- Ndabigengensere, N. (1998). La calidad del agua tratada mediante coagulación usando Moringa oleífera semillas. . *Water Res.*, 781-791.
- Nwofia, G. O. (2012). Chemical composition of leaves, fruit pulp and seeds in some *Carica papaya* (L) morphotypes. *Int. J. Med. Arom. Plants*, 200–206.
- Okuda, C. B. (2001). Coagulation mechanism of salt solution extracted active component in Moringa oleífera seeds. . *Water Res*, 830–834.

- Olivero, R. M. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficusindica*. *Producción más limpia*, 19-27.
- OMS. (2012, 10 26). *Agua, Saneamiento y salud (AAS)*. Retrieved from [http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2012/drinking\\_water\\_20120306/es/](http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2012/drinking_water_20120306/es/)
- Ortiz, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus - indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 130-138.
- Poddar, S. (2004). *Chromosome damage induced by ferric chloride in human peripheral lymphocytes*. Retrieved from <http://www.krepublishers.com/02-Journals/IJHG/IJHG-04-0-000-000-2004-Web/IJHG-04-4-227-294-2004-Abst-PDF/IJHG-04-4-261-264-2004-Poddar-S/IJHG-04-4-261-264-2004-Poddar-S.PDF>
- Pradesh, A. y. (2013). Evaluation of anti diabetic activity of *Carica papaya* seeds. . *Journal of Advanced Scientific Research*, 38– 41.
- Pritchard, M. C. (2010). A comparison between *Moringa oleífera* and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. *Phys. Chem.*
- Quispe Meza, C. O. (2017). Efecto genotóxico in vitro de látex y extracto hidroalcohólico de semilla de *Carica papaya* L. “papaya” frente a ADN genómico humano. *Ayacucho*, 2016.
- Ramírez, P. y. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. . *Revista Facultad de Ciencias Clásicas*, 136 -153.
- Ricco F, A. I. (2015). Métodos empleados en el análisis de los polifenoles en un laboratorio de baja complejidad. *Lilloa 52. Buenos aires, Argentina.*, 161-174.
- Ridwan, A. W. (2011). Mechanism of Turbidity and Hardness Removal in Hard Water Sources by using *Moringa oleífera*. . *Revista de Ciencias Aplicadas*, 2947 - 2953.
- Rodríguez, S. G. (2002). Una solución para la clarificación de aguas para consumo humano. *Noticias técnica de laboratorio*, 21-22.
- Sánchez, J. B. (2010a). Surface water and wastewater treatment using a new tannin-based coagulant. Pilot Plant Trials. . *J. Environ. Managem 91*, 2051-2058.
- Sánchez, J. G. (2010b). Surface water treatment with Tannin-based coagulant from Quebracho (*Schinopsis balansae*). *Chem. Eng. J*, 851-858.
- Sánchez, J., Beltran, J., Carmona, C., & Gibello, P. (2011). . Absorbentes naturales a partir de taninos: Una propuesta de reutilización de residuos forestales para la purificación de aguas. . *Tesis. Mérida, Plasencia. UE.*, 139.
- Sandhya Maurya, A. D. (2018). Evaluation of plant-based natural coagulants for municipal wastewater treatment. *3 Biotech*.
- Sanghi, R. B. (2002). *Cassia angustifolia* seed gum as an effective natural coagulant for decolourisation of dye solutions. . *Green Chem*, 252-254.
- Šćiban, M. K. (2005). Investigation of coagulation activity of natural coagulants from seeds of different leguminose species. . *Acta Periodica Technol*, 47-47.
- Šćiban, M. K. (2009). Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. . *Biores Techn*, 6639-6643.
- SIDESA. (n.d.). Sulfato de Aluminio, Silicatos y Derivados S.S. de C.V. ima filial de PQ Corporation.
- Singh, O. y. (2011). Phytochemical and Antifungal Profiles of the Seeds of *Carica papaya*. . *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 447– 452.
- Sotheeswaran, S. N. (2011). *Moringa oleífera* and other local seeds in water purification in developing countries. . *Research Journal of Chemistry and Environment*, 15, 2.

- Subbaramiah, K. &. (1937). The mechanisms of the clarification of muddy water by *Strychnos potatorum* seeds. . *Proceedings of the Indian Academy of Sciences* , 59-70.
- Thakur, M. y. (2014). Use of Tannin based natural coagulants for water treatment: An alternative to inorganic chemicals. *International Journal of ChemTech Research*, 3628-3634.
- Torra, A. V. (1998). Policloruro de aluminio en el proceso de potabilización de aguas superficiales: su comportamiento como coagulante dentro del ámbito de la química del aluminio. . *Tecnología Del Agua*, 29-54.
- UNICEF. (2014, 10 26). *unifec.org*. Retrieved from <https://www.who.int/es/news-room/detail/08-05-2014-who-unicef-highlight-need-to-further-reduce-gaps-in-access-to-improved-drinking-water-and-sanitation>
- Vásquez, O. (1994). *Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales*. Retrieved from tesis ing. ambiental. Nuevo León: <http://eprints.uanl.mx/7207/1/1020091188.PDF>
- Villagran E. (2009). PROCESAMIENTO Y ACEPTACIÓN DEL CARBÓN OBTENIDO EN HORNO MEDIA NARANJA DE LAS ESPECIES FORESTALES *Pinus maximinoii* M., *Liquidámbar styraciflua* L. y *Quercus brachistachys* B. EN CONDICIONES DE LA FINCA CHILAX, SAN JUAN CHAMELCO,.
- Yan, S. M. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. . *Journal Of Environmental Sciences*, 2178 – 2189.
- Zhang, J. Z. (2006). A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment. *Process Biochem*, 730-733.

## 18 Anexos

### 1. Árbol de problemas

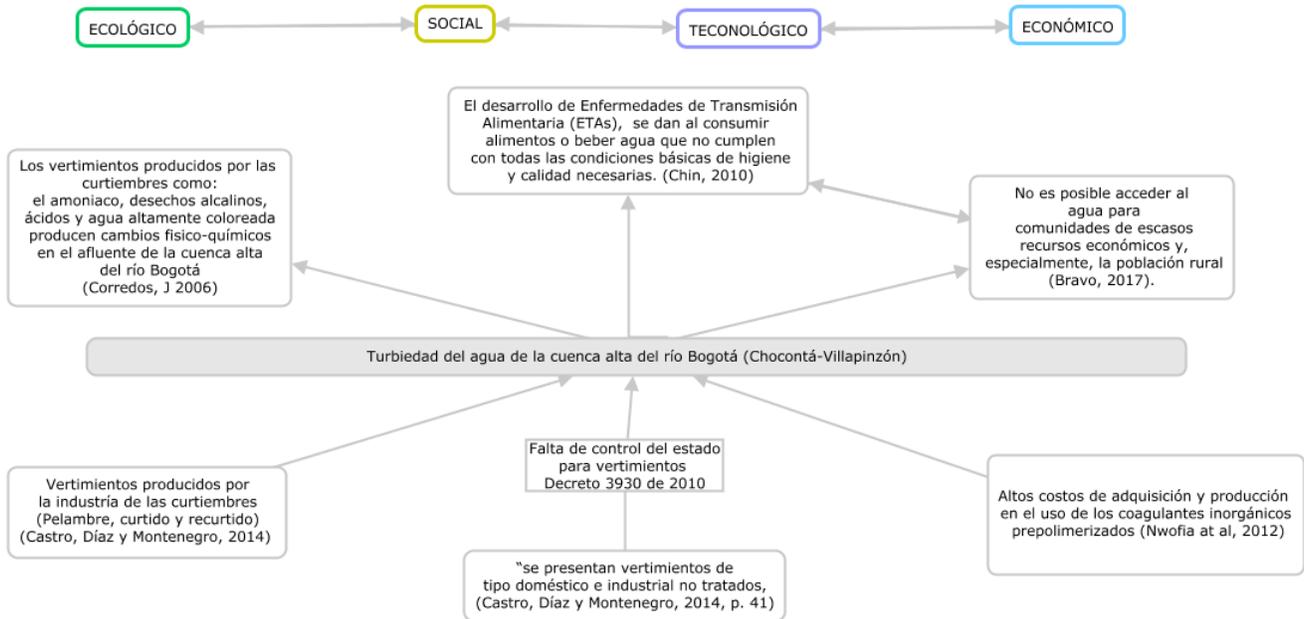


Figura 22 Árbol de problemas

Fuente: Elaborado por el autor

### 2. cronograma de actividades

Actividades	Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Elección del tema		■									
Definición del problema		■									
Revisión bibliográfica			■								
Recopilar información			■								
Planteamiento de objetivos, justificación			■								
Presentación del anteproyecto			■								
Planteamiento de metodología			■								
Ensayo y error en el laboratorio			■								
Desarrollo de objetivos				■	■	■	■	■	■	■	■
Recolección de muestras				■	■	■	■	■	■	■	■
Análisis en laboratorio				■	■	■	■	■	■	■	■
Resultados						■	■	■	■	■	■
Correcciones						■	■	■	■	■	■
Pre sustentación						■					
Avance del cuerpo del documento		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Revisión y corrección		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Entrega documento final											■
Sustentación final											■
Actividades realizadas	■										
Actividades por realizar	■										
Entrega de documentos	■										
Sustentaciones	■										

Figura 23 Cronograma de actividades

Evaluación de la actividad coagulante de la semilla de Papaya (*Carica papaya*) en muestras de agua recolectadas en la cuenca alta del Río Bogotá

Figura 24 Cronograma de actividades

Fuente: Elaborado por el autor

### 3. Presupuesto

Responsable del proyecto	<b>Oscar Eduardo Rodríguez Aguirre</b>							
Área responsable:	<b>Ingeniería ambiental, Grupo de investigación CHOC-IZONE</b>							
Fecha de inicio y terminación del proyecto:	<b>2019-2020</b>							
Estudiante de trabajo de grado			<b>1901-055</b>					
<b>Presupuesto general</b>								
Rubros	Desembolso dinero		Total desembolso dinero	Desembolso en especie		Total desembolsos o en especie	universidad corporas	Total proyecto
	Año 2019	Año 2020		Año 2019	Año 2020			
1. Personal				4.100.808	2.892.437	6.993.245	0	6.993.245
2. Equipos especializados	0	0	0	0	0	0	0	0
2.1. Equipos propios				0	0	0	0	0
3. Materiales y reactivos	0	0	0	0	0	0	0	0
4. Salidas de campo	620.000	0	620.000	0	0	0	0	620.000
5. Refrigerios	0	0	0	0	0	0	0	0
6. Servicios técnicos	3.105.900	0	0	0	0	0	3.105.900	3.105.900
7. Capacitaciones	0	0	0	0	0	0	0	0
8. Adquisición o actualización de software	0	0	0	0	0	0	0	0
9. Otros	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTALES</b>	<b>3.725.900</b>	<b>0</b>	<b>620.000</b>	<b>4.100.808</b>	<b>2.892.437</b>	<b>6.993.245</b>	<b>3.105.900</b>	<b>10.719.145</b>

Figura 25 Presupuesto

Fuente: Elaborado por el autor

## 19 Glosario de términos

- **Sólidos en suspensión:** partículas que permanecen en suspensión en el agua debido al movimiento del líquido o debido a que la densidad de la partícula es menor o igual que la del agua.
- **Floculo:** un grumo de materia orgánica formado por agregación de sólidos en suspensión. (Suarez, J. 1987)
- **Turbidez:** Mezclado o alterado por algo que oscurece o quita la claridad natural o transparencia.
- **Espectrofotometría:** Procedimiento analítico para medir la cantidad de luz absorbida por una sustancia con respecto a una longitud de onda determinada.
- **Absorbancia:** Medida de la atenuación de una radiación al atravesar una sustancia, que se expresa como el logaritmo de la relación entre la intensidad saliente y la entrante.
- **Biodegradable:** Dicho de una sustancia: Que puede ser degradada por acción biológica.
- **Taninos:** Sustancia astringente que se encuentra en algunos tejidos vegetales, como la corteza de los árboles y el hollejo de la uva, y que se emplea, entre otros usos, para curtir pieles.