

**EVALUACIÓN DE LAS SEMILLAS DE TAMARINDO (*Tamarindus indica*) EN LA  
REMOCIÓN DE TURBIDEZ DE AGUAS SUPERFICIALES**

**MARÍA ALEJANDRA SALGADO LOZANO**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
SINCELEJO  
2018**

**EVALUACIÓN DE LAS SEMILLAS DE TAMARINDO (*Tamarindus indica*) EN LA  
REMOCIÓN DE TURBIDEZ DE AGUAS SUPERFICIALES**

**MARÍA ALEJANDRA SALGADO LOZANO**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN TRATAMIENTO DE AGUAS**

**Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero agroindustrial**

**DIRECTORA: YELITZA AGUAS MENDOZA**

**PhD © INGENIERÍA**

**CODIRECTORA: NATALIA GUZMAN**

**MCS. © CIENCIAS AMBIENTALES**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**SINCELEJO**

**2018**

## DEDICATORIA

*Darle la gloria y la honra a Dios, sin el cual nada de este hubiese sido posible. Él que cada día de me llenó de su sabiduría y me guió en cada paso para comenzar y terminar este trabajo.*

*A mis padres Pablo Roberto Salgado Morales y Luz Doris Lozano Preteth, porque ellos son la motivación de mi vida mi orgullo de ser lo que seré. Gracias por el apoyo y respaldo incesante a lo largo de este camino.*

*A mis hermanos Alberto, Pablo y Camilo, también a mis sobrinos Santiago y Sebastián porque son la razón de sentirme orgullosa de culminar mi meta gracias a ellos por confiar siempre en mí.*

*A mi familia, al amor, amigos y en especial para aquellos que ya no están de cuerpo pero sí de alma, por su motivación y acompañamiento en los momentos difíciles de mis estudios.*

*A la universidad de sucre, docentes y compañeros de estudio por ser facilitadores de mis triunfos obtenidos.*

## AGRADECIMIENTOS

*Agradecerle primero a Dios, quién supo guiarme por el buen camino, por darme fortaleza en los momentos difíciles y su consuelo en los tiempos de adversidad.*

*A la Universidad de Sucre por la formación académica impartida y habernos permitido disponer de sus instalaciones y recursos intelectuales para la realización de esta investigación.*

*A las profesoras Yelitza Aguas y Natalia Guzmán por su ayuda en mi formación como investigador, por orientarme y dirigirme para lograr mi objetivo.*

*A cada una de las personas que hicieron parte de este sueño, a mis padres y familiares, que sin mediar palabra pusieron su confianza en mí. En especial mis hermanos, Alberto, Pablo y Camilo; y sin dejar atrás a mis tías, Picho, Ely y Chacha gracias a todos ellos por estar ahí siempre presente para lograr este objetivo.*

*Y a mis amigos de vida universitaria que contribuyeron al darme ánimos para culminar la investigación.*

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	12
ABSTRACT .....	13
1. INTRODUCCION .....	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
2.1. Formulación del problema .....	15
2.2. Justificación .....	17
2.3. Objetivos .....	18
2.3.1. Objetivo general .....	18
2.3.2. Objetivos específicos .....	18
3. MARCO REFERENCIAL.....	19
3.1. Marco teórico .....	19
3.1.1. Calidad del agua.....	19
3.1.2. Parámetros fisicoquímicos del agua.....	19
3.1.2.1. Turbidez .....	19
3.1.2.2. Conductividad .....	20
3.1.2.3. pH.....	20
3.1.2.4. Color.....	20
3.1.3. Procesos físico-químicos de clarificación de agua .....	20
3.1.3.1. Coagulación .....	20
3.1.3.2. Floculación.....	20
3.1.3.3. Sedimentación.....	21
3.1.4. Agentes coagulantes.....	21
3.1.4.1. Coagulantes convencionales .....	21
3.1.5. Descripción del tamarindo ( <i>Tamarindus indica</i> ) .....	22
3.1.5.1. Características de la semilla de tamarindo .....	23
3.2. Estado del arte.....	25
3.3. Antecedentes .....	27
4. METODOLOGIA .....	28
4.1. Muestra de agua .....	28

4.1.1.	Recolección de las muestras de agua .....	28
4.2.	Preparación del coagulante natural ( <i>Tamarindus indica</i> ) .....	29
4.2.1.	Extracción en caliente .....	29
4.2.2.	Extracción en frío .....	31
4.3.	Evaluación del coagulante .....	32
4.3.1.	Seguimiento del proceso de clarificación .....	32
4.3.2.	Evaluación de las características del agua clarificada.....	33
4.4.	Procesamiento y análisis .....	33
4.5.	Prueba de jarras .....	33
4.6.	Equipos y materiales utilizados.....	33
4.7.	Paso a paso procedimiento experimental .....	34
5.1.1.	Actividad coagulante de la semilla de <i>Tamarindus indica</i> .....	37
5.1.1.1.	Análisis de actividad coagúlate de acuerdo al método de obtención del polvo de la semilla de <i>Tamarindus indica</i> .....	38
5.1.2.	Análisis para turbidez.....	41
5.1.2.1.	Análisis de varianza para turbidez .....	41
5.1.2.2.	Prueba de múltiples rangos para turbidez .....	42
5.1.3.	Análisis para color .....	43
5.1.3.1.	Análisis de varianza para color .....	43
5.1.3.2.	Prueba de múltiples rangos color .....	44
5.1.4.	Análisis para pH.....	45
5.1.4.1.	Análisis de varianza de pH.....	45
5.1.4.2.	Prueba de múltiples rangos para pH .....	46
5.1.5.	Análisis para conductividad .....	47
5.1.5.1.	Análisis de varianza para conductividad.....	47
5.1.5.2.	Prueba de múltiples rangos para Conductividad.....	48
5.1.6.	Análisis eficiencia .....	49
5.1.6.1.	Análisis de varianza para eficiencia.....	49
5.1.6.2.	Prueba de múltiple rangos para eficiencia por tratamiento.....	50
5.2.	Evaluación de la dosificación del polvo de la semilla de tamarindo ( <i>Tamarindus indica</i> ) en la remoción de la turbidez.....	51

5.2.1.	Actividad coagulante de la semilla de <i>Tamarindus indica</i> a turbidez inicial variable. ..	52
5.2.2.	Análisis para turbidez.....	54
5.2.2.1.	Análisis de varianza para turbidez .....	54
5.2.2.2.	Pruebas de múltiple rangos para turbidez .....	55
5.2.3.	Análisis para color .....	56
5.2.3.1.	Análisis de varianza para color .....	56
5.2.4.	Análisis para pH.....	58
5.2.4.1.	Análisis de varianza para pH .....	58
5.2.4.2.	Pruebas de múltiple rangos para pH .....	59
5.2.5.	Análisis para conductividad .....	60
5.2.5.1.	Análisis de Varianza para Conductividad.....	60
5.2.5.2.	Pruebas de Múltiple Rangos para Conductividad .....	61
5.2.6.	Análisis eficiencia .....	62
5.2.6.1.	Análisis de Varianza para Eficiencia .....	62
5.2.6.2.	Pruebas de Múltiple Rangos para Eficiencia .....	63
6.	CONCLUSIONES .....	66
7.	RECOMENDACIONES .....	67
8.	BIBLIOGRAFIA .....	68

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores máximos aceptables para las características físicas del agua .....	19
Tabla 2. Composición química del <i>Tamarindus indica</i> * .....	23
Tabla 3. Composición química de la semilla de <i>Tamarindus Indica</i> (en base seca).....	24
Tabla 4. Características del agua inicial.....	29
Tabla 5. Variables independientes .....	32
Tabla 6. Variables de respuestas .....	32
Tabla 7. Las condiciones iniciales del agua .....	36
Tabla 8: propiedades finales del agua .....	36
Tabla 9: actividad coagulante de polvo de semilla de <i>Tamarindus indica</i> a partir de muestra inicial de 177UNT.....	38
Tabla 10. Análisis de Varianza para Turbidez .....	41
Tabla 11: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Turbidez por Tratamiento .....	42
Tabla 12: Análisis de varianza de color .....	43
Tabla 13: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para color por Tratamiento .....	44
Tabla 14: Análisis de Varianza para pH.....	45
Tabla 15: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para pH por Tratamiento.....	46
Tabla 16: Análisis de Varianza para conductividad.....	47
Tabla 17: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para conductividad por Tratamiento.....	48
Tabla 18: Análisis de varianza de tratamientos para eficiencia .....	49
Tabla 19: Prueba de múltiple rangos para eficiencia por tratamiento.....	50
Tabla 20: Propiedades finales de la evaluación del coagulante natural .....	52
Tabla 21: Actividad coagulante de semilla de <i>Tamarindus indica</i> a partir de velocidad de agitación de 100rpm.....	53
Tabla 22: Análisis de varianza para turbidez .....	54
Tabla 23: Prueba de múltiple rangos de turbidez.....	55
Tabla 24: Análisis de varianza para color .....	56
Tabla 25: Análisis de varianza para pH .....	58
Tabla 26: Prueba de múltiple rangos para pH.....	59

Tabla27: Medias y 95% de Tukey para pH.....	60
Tabla 28: Análisis de varianza para conductividad.....	60
Tabla 39: Prueba de múltiple rangos.....	61
Tabla 30: Análisis de varianza para eficiencia.....	62
Tabla 31: Prueba de múltiple rangos.....	63

## LISTA DE GRAFICOS

	Pág.
Grafico 1: Actividad coagulante de la semilla de <i>Tamarindus indica</i> obtenida en frio.....	38
Grafico 2: Interacciones entre velocidad de agitación, dosis y actividad coagulante de la semilla de <i>Tamarindus indica</i> obtenida en frio .....	39
Grafico 3: Actividad coagulante de la semilla de <i>Tamarindus indica</i> obtenida en caliente .....	40
Grafico 4: Interacciones entre velocidad de agitación, dosis y actividad coagulante de la semilla de <i>Tamarindus indica</i> obtenida en caliente .....	40
Grafico 5: ANOVA de turbidez por factores .....	41
Grafico 6: Medias y 95% de Tukey para turbidez .....	43
Grafico 7: ANOVA para color .....	44
Grafico 8: Medias y 95% de Tukey para color .....	45
Grafico 9: ANOVA para pH .....	46
Grafico 10: Medias y 95% de Tukey para pH.....	47
Grafico 11: ANOVA para conductividad.....	48
Grafico 12: Medias y 95% de Tukey para conductividad.....	49
Grafico 13: ANOVA de tratamientos para eficiencia .....	50
Grafico 14: Medias y 95% de Tukey para eficiencia .....	51
Gráfico 15: %Actividad coagulante de semilla de <i>Tamarindus indica</i> para muestras de agua del Canal del Dique.....	53
Gráfico 16: Interacciones entre turbidez inicial, dosis y actividad coagulante de la semilla de <i>Tamarindus indica</i> .....	54
Grafico 17: ANOVA para turbidez .....	55
Gráfico 18: Medias y 95% de Tukey para turbidez .....	56
Grafico 19: ANOVA para color .....	57
Grafico 20: ANOVA para pH .....	59
Grafico 21: ANOVA para conductividad.....	61
Grafico 22: Medias y 95% de Tukey para conductividad.....	62
Grafico 23: ANOVA para eficiencia de remoción a turbidez inicial variables .....	63
Grafico 24: Medias y 95% de Tukey para eficiencia por dosificación .....	64
Grafico 25: Interacciones entre la eficiencia, concentración y punto de ubicación .....	64

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: <i>Tamarindus indica</i> .....	22
Figura 2: Fruto y semilla de <i>Tamarindus indica</i> .....	23
Figura 3: Fotografías de recolección de muestras .....	28
Figura 4: Proceso de elaboración en caliente del coagulante en polvo .....	30
Figura 5: Proceso de elaboración en frío del coagulante en polvo.....	31
Figura 6: Paso a paso del procedimiento experimental.....	34
Figura 7: Comparación de color del agua aplicando la semilla de tamarindo ( <i>Tamarindus indica</i> .....)	58
Figura 8: Comportamiento de la eficiencia de acuerdo a la turbidez inicial.....	65

## RESUMEN

La coagulación es un proceso esencial en el tratamiento del agua superficial y de aguas residuales industriales y domésticas. Su aplicación incluye la remoción de especies en suspensión, mediante la adición de coagulantes químicos, cuyo uso trae desventajas asociadas a altos costos de adquisición. En la búsqueda de coagulantes naturales que brinden opciones limpias y económicas, encontramos las semillas de tamarindo un residuo agroindustrial con potencial de aprovechamiento como coagulante natural. En este trabajo se evaluó la remoción de la turbidez de aguas superficiales utilizando las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*). Se emplearon aguas del canal del dique a las alturas de los municipios de Calamar, Gambote y Leticia de Bolívar.

Se realizó una evaluación de la eficiencia del polvo de la semilla de tamarindo extraído por dos métodos (frío y caliente) y un agente coagulante primario (alumbre) en el proceso de coagulación. Se controlaron las variables concentración del coagulante con dosis de 35 y 40 mg/L y velocidad de agitación (100 y 200 rpm), con el fin de determinar las mejores condiciones para remover la turbidez de agua superficiales del canal del Dique. Se les realizó seguimiento a los parámetros de pH, conductividad y color.

Todos los tratamientos aplicados se lograron actividad coagulante superior al 30%, siendo para el coagulante semilla de *Tamarindus indica* método extraído en frío de 70% y eficiencias de remoción entre 71-74%, para concentración de coagulante de 40mg/L y a turbidez inicial de  $310,67 \pm 5,16$  UNT. El coagulante natural no alteró en gran medida el pH del agua tratada. La conductividad disminuyó luego de la aplicación del coagulante natural.

**PALABRAS CLAVES:** Coagulación, Turbidez, Coagulante, *Tamarindus indica*.

## ABSTRACT

Coagulation is an essential process in the treatment of surface water and industrial and domestic wastewater. Its application includes the removal of species in suspension, through the addition of chemical coagulants, whose use brings disadvantages associated with high acquisition costs. In the search for natural coagulants that provide clean and economic options, we find tamarind seeds an agroindustrial residue with the potential to be used as a natural coagulant. In this work, the removal of surface water turbidity using tamarind seeds (*Tamarindus indica*) was evaluated. Water from the dike channel was used to the heights of the municipalities of Calamar, Gambote and Leticia de Bolívar.

An evaluation of the efficiency of tamarind seed powder extracted by two methods (cold and hot) and a primary coagulating agent (alum) in the coagulation process was performed. The variable variables of the coagulant concentration were controlled with doses of 35 and 40 mg / L and speed of agitation (100 and 200 rpm), in order to determine the best conditions to remove the surface water turbidity of the channel of the dike. The parameters of pH, conductivity and color were monitored.

All the applied treatments were achieved coagulant activity superior to 30%, being for the coagulant *Tamarindus* seed indicates method extracted in cold of 70% and efficiencies of removal between 71-74%, for coagulant concentration of 40mg / L and initial turbidity of  $310.67 \pm 5.16$  UNT. The natural coagulant did not greatly alter the pH of the treated water. The conductivity decreased after the application of the natural coagulant.

**KEYBORDS:** Coagulation, Turbidity, coagulant, tamarind seed

## 1. INTRODUCCION

El agua absolutamente pura no existe en la naturaleza. Debido a determinadas características químicas, físicas y biológicas que presentan las fuentes hídricas en su estado natural, por lo general estas no cumplen con los estándares mínimos de calidad exigidos para la mayoría de aplicaciones donde se requiere este preciado líquido, en especial cuando se destina para consumo humano. Por ello, es muy importante que esta agua cruda se someta a una serie de tratamientos previos antes de ser utilizada, para garantizar la remoción total o parcial de dichas impurezas; para que sea considerado apto para el consumo humano, según los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2012).

El agua debe ser tratada debido a la presencia de impurezas como sólidos suspendidos, materiales colorantes, microorganismos, materia orgánica, gases disueltos, minerales y otro. Dentro de los procesos físicos de remoción de especies en suspensión se encuentra la coagulación, esta consiste en la aplicación de un coagulante agrupe las partículas coloidales en suspensión, causantes de la turbidez y color, debido a la interacción entre sus cargas eléctricas opuestas haciéndolas flocular, para luego separarlas por filtración. Utilizando coagulantes primarios fácilmente asimilados por los seres vivos, con potenciales consecuencias negativas a largo plazo. Sin embargo, “existen desventajas asociadas al uso de estos coagulantes, como altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodos y el hecho de que afectan significativamente el pH del agua tratada” (YIN, 2010, págs. 1437-1444)

Por lo expuesto anteriormente, se hace necesario la búsqueda de alternativas que incluyan la utilización de coagulantes de origen vegetal o animal opciones limpias (con efecto nocivo mínimo) y económicas con las cuales se sustituyan los coagulantes primarios. En el ámbito mundial existe interés por la conservación del medio ambiente, los recursos renovables y no renovables, y el aprovechamiento de residuos generados en los procesos agroindustriales. En esta investigación se utilizó como coagulante vegetal, la semilla del árbol *Tamarindus indica*, su nombre común es tamarindo, nativo de las sabanas secas de África tropical, para evaluar la remoción de turbidez en muestras de agua recolectadas en tres puntos del Canal del Dique.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1. Formulación del problema

El agua es de vital importancia para el desarrollo de la vida del ser humano; anteriormente se encontraba en unas condiciones óptimas para su utilización pero en la actualidad la calidad del agua se ha visto afectada por las actividades que el hombre realiza y debido al desarrollo industrial y tecnológico que se ha presentado en nuestro país. La contaminación causada en las fuentes hídricas superficiales por estos efluentes, están reduciendo notablemente la disponibilidad de agua utilizable.

Por ello el agua debe ser tratada debido a la presencia de impurezas como sólidos suspendidos, materiales colorantes, microorganismos, materia orgánica, gases disueltos, minerales y otros. Conscientes del uso intensivo que se da a los recursos y los efectos que éste puede tener a corto y largo plazo sobre el entorno, algunos países han desarrollado estrategias y políticas orientadas a la protección del ambiente, a la gestión sostenible, al uso racional del recurso hídrico entre otras (GARCÍA, 2007). La legislación Colombiana nos reglamenta que el agua cruda debe ser sometida a procesos de tratamiento para su uso agroindustrial y para consumo humano, entre otros, y es de suma importancia ejecutar la remoción de los sólidos suspendidos mediante la aplicación de las fases de coagulación, floculación (Decreto 1575 del Ministerio de la Protección Social, 2007), donde se establece el requerimiento de 15 UPC de color y 2 UNT de turbiedad en el agua a utilizar con propósitos alimentarios por el ser humano.

Una fuente hídrica que para el país y el mundo es muy importante es el río Magdalena, en el paso del canal del Dique.

Está siendo afectada, debido a que transporta una gran cantidad de contaminantes procedentes de diversas actividades, afectando la turbiedad de estas que poco a poco están acabando con la vida marítima de las especies tanto de la Bahía de Cartagena, como de Barú y las islas del Rosario (CASTILLO, 2013).

Actualmente los coagulantes usados para la clarificación del agua son de tipo inorgánico lo cual acarrea desventajas tanto ambientales como económicas ya que los lodos generados están constituidos por sustancias inorgánicas que alteran los procesos naturales presentes en las fuentes de aguas a las cuales son vertidos, estos lodos se generan en

las etapas de floculación, coagulación y sedimentación (GAVIS, ORTEGA, & RONDON, 2011)

El sulfato de aluminio, es el coagulante químico más utilizados según MILLER, (2008) para la clarificación del agua, porque remueve materiales orgánicos y microorganismos entre un 90 y 99% al ser utilizado en condiciones óptimas. Además MARTÍNEZ, (2003) asegura que este puede ser fácilmente asimilado por el hombre, con potenciales consecuencias negativas a largo plazo

Mediante el estudio se busca evaluar un producto natural que puede reemplazar el uso tradicional de sulfato de aluminio comúnmente conocido como alumbre al probar la clarificación de agua a través de la remoción de turbidez con el polvo extraído de la semilla de (*Tamarindus indica*).

La presente investigación se dirige a probar ¿Cuál es la eficiencia de las propiedades de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la remoción de turbidez de aguas superficiales?

## 2.2. Justificación

La falta de agua potable en países como Colombia, en vía de desarrollo representa un problema cada día más grande a nivel mundial, por lo que es necesario buscar nuevas y eficientes alternativas que brinden la posibilidad de mejorar la calidad del agua para el consumo humano que sea de fácil acceso y consecución para las poblaciones marginales. “Los procesos de coagulación y floculación permiten la disminución de la turbidez con la remoción de partículas suspendidas y coloidales” (COGOLLO, 2011, pág. 18). La materia prima propuesta para el tratamiento del agua se extrae de la naturaleza sin ningún proceso invasivo; de esta manera se rompe el paradigma de la exclusividad de los productos químicos industriales tales como el sulfato de aluminio y el sulfato férrico para tratar el agua y se abre la posibilidad a nuevas tecnologías a bajo costo, inocuas para la salud humana y respetuosa con el medio ambiente.

La semilla de Tamarindo se selecciona por tres razones principales: Es un residuo del sector agroindustrial aprovechable, La pulpa del tamarindo hace parte de la cadena alimenticia de la región dejando el residuo de la semilla que no está siendo utilizado y finalmente el coagulante de las semillas obtenido no representa peligro para la salud humana, ni problemas de contaminación. Sumado a esto, hasta ahora han sido mínimos los esfuerzos realizados en la región para estudiar este coagulante del polvo de la semilla de tamarindo.

Por ello esta investigación tiene como objetivo principal Evaluar las Semillas de Tamarindo (*Tamarindus Indica*) en la remoción de turbidez de aguas superficiales procedentes del Canal del Dique. Así mismo tiene la finalidad de ampliar la información existente sobre este agente coagulante, debido que hasta la fecha, se han encontrado resultados relacionadas solo de tres investigaciones realizadas hace siete y cinco años por (GURDIÁN LÓPEZ, y otros, 2011; (MADHAVI, y otros, 2013; HERNÁNDEZ, y otros, 2013) que impulsan a continuar en las investigaciones para ampliar la documentación sobre este potencial coagulante natural.

## **2.3. Objetivos**

### **2.3.1. Objetivo general**

Evaluar la Semilla del Tamarindo (*Tamarindus Indica*) en la remoción de turbidez de aguas superficiales

### **2.3.2. Objetivos específicos**

- Extraer y adecuar el mucílago de *Tamarindus indica*, para remoción de aguas turbias.
- Evaluar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos como el pH, color, conductividad y turbiedad después de aplicar mucilago *Tamarindus indica*.
- Determinar la eficiencia del mucilago *Tamarindus indica* como coagulante orgánico, en la remoción de turbidez de Aguas Superficiales.
- Establecer el mejor tratamiento de *Tamarindus indica* para la remoción de turbidez.

### 3. MARCO REFERENCIAL

#### 3.1. Marco teórico

##### 3.1.1. Calidad del agua

El agua es esencial para la vida, es uno de los recursos fundamentales para las actividades agrícola, económica e industrial, que contribuyen al desarrollo de las comunidades. La normatividad colombiana para la calidad del agua para el consumo humano se reglamenta en la Resolución 2115 del Ministerio de Medio Ambiente (2007), establece en el artículo 2° que las características físicas del agua para el consumo humano no puede sobrepasar los valores máximos aceptables que se señalan en la tabla 1. Por otra parte, el artículo 4° del Decreto 1575 de Ministerio de Protección social (2007) estipula que los responsables en Colombia del control y vigilancia de la calidad del agua para el consumo humano son los Ministerios de Protección Social, de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

**Tabla 1.** Valores máximos aceptables para las características físicas del agua

<b>Características físicas</b>	<b>Espesadas como</b>	<b>Valor máximo aceptable</b>
<b>Color aparente</b>	Unidades de platino cobalto (UPC)	15
<b>Olor y sabor</b>	Aceptable o no aceptable	Aceptable
<b>Turbiedad</b>	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

**Fuente:** Resolución 2115 del Ministerio de Medio Ambiente de 2007

##### 3.1.2. Parámetros fisicoquímicos del agua

###### 3.1.2.1. Turbidez

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos. Para determinarla se utiliza un turbidímetro que mide la intensidad de la luz dispersada a 90° cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua (PÉREZ & URREA M., 2011) . Se expresa en UNT (unidades Nefelométricas de turbidez).

### **3.1.2.2. Conductividad**

Se define como la capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica y es lo contrario de la resistencia. La unidad de medición utilizada comúnmente es micro siemens/cm ( $\mu\text{s/cm}$ ).

### **3.1.2.3. pH**

Demuestra si una sustancia es ácido (pH 1-6), neutro (pH 7) o básico (pH 8-14). El número de iones de hidrógeno en la sustancia determina el pH. Cuanto más iones de hidrógeno una sustancia contenga, más bajo es el pH. El agua que contiene muchos iones del hidrógeno es ácida. Podemos medir el pH sumergiendo un papel de color especial en la sustancia, los colores muestran que pH tiene la sustancia.

### **3.1.2.4. Color**

Es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. Es una indicación directa de la posible contaminación (natural o no) del agua, que afecta a la calidad estética de la misma (PÉREZ & URREA M., 2011). Se mide en Hazen o UPC (unidades platino-cobalto).

## **3.1.3. Procesos físico-químicos de clarificación de agua**

La clarificación del agua tiene por objeto retirar los sólidos suspendidos, sólidos finamente divididos y materiales coloidales, convirtiéndolos en partículas más grandes que se pueden remover con mayor facilidad (COGOLLO, 2011). La clarificación incluye los siguientes los subprocesos:

### **3.1.3.1. Coagulación**

Es el proceso de formación de pequeñas partículas gelatinosas mediante la adición de un coagulante al agua y la aplicación de energía de mezclado, que desestabiliza las partículas suspendidas por neutralización de las cargas de coloides cargados negativamente (GHAFARI, 2008).

### **3.1.3.2. Floculación**

Proceso mediante el cual se juntan las partículas desestabilizadas o coaguladas para formar un aglomerado más grande llamado *floculo* y se debe a un mecanismo de formación de puentes químicos o enlaces físicos (GHAFARI, 2008).

### **3.1.3.3. Sedimentación**

La remoción de partículas más pesadas que el agua por acción de la fuerza de gravedad. Mediante este proceso se eliminan materiales en suspensión empleando un tiempo de retención adecuado (QUINTANA, 2000). Estos sólidos están constituidos generalmente por arenas, limos y coloides agrupados mediante las etapas anteriores de coagulación y floculación.

### **3.1.4. Agentes coagulantes**

La coagulación normalmente se logra mediante el uso de sustancias químicas conocidas como coagulantes. Los coagulantes son materiales químicos que se adicionan al agua para lograr la descarga de todas las partículas coloidales dando origen a la formación de medios más grandes (flóculos), que sedimentan más rápidamente.

#### **3.1.4.1. Coagulantes convencionales**

“Los coagulantes más comunes que se usan en el tratamiento de aguas son compuestos inorgánicos de aluminio o hierro como el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, sulfato ferroso, sulfato férrico y cloruro férrico” GNANDI, TCHANGBEDJI, KILI, BABA, & SALIM, (2005)

#### **3.1.4.2. Coagulantes naturales**

Debido a los actuales problemas ambientales por los que está pasando el planeta, científicos han visto la necesidad de encontrar nuevas técnicas que sean eficientes en el proceso de clarificación y más amigables al ecosistema. Los coagulantes naturales son en su mayoría carbohidratos (polisacáridos) y proteínas, son compuestos poliméricos que pueden tener carácter iónico (catiónicos, aniónicos) o no iónico, donde los iónicos se denominan comúnmente como polielectrolitos. Las principales ventajas de la utilización de coagulantes naturales a base de plantas como material para el tratamiento de agua son evidentes: remueven turbiedad orgánica e inorgánica, remueven color verdadero y aparente, producen lodo de fácil remoción, eliminan patógenos, destruyen algas y plancton, eliminan sustancias que producen sabor y olor; son rentables por los bajos costos de producción, poco probable para producir agua tratada con pH extremo, y altamente biodegradables. Estas ventajas son especialmente aumentadas si la planta de la que se extrae el coagulante es autóctona de una comunidad rural GNANDI, TCHANGBEDJI, KILI, BABA, & SALIM, (2005).

### 3.1.5. Descripción del tamarindo (*Tamarindus indica*)

*Tamarindus indica*, nativo de las sábanas secas de África tropical, se ha plantado y naturalizado extensamente en las regiones tropicales y subtropicales, de tres continentes, con gran presencia en Asia, Oceanía, América Central, el Caribe, la región norte de América del Sur y en México. Por las características climáticas de nuestra región esta planta ha tenido una gran adaptabilidad. Se caracteriza por una copa redondeada, esparcida y densa, con ramas bajas, hojas parapinadas y una corteza gruesa, gris con fisuras profundas.

**Figura 1:** *Tamarindus indica*



**Fuente:** CONABIO, Ficha técnica *Tamarindus Indica*. Disponible en <http://www.biodiversidad.gob.mx/Difusion/cienciaCiudadana/aurbanos/ficha.php?item=Tamarindus%20indica>. 2000.

Este es un árbol mediano a grande alcanzando alturas de 10 a 25 metros, su fruto son vaina indehisciente, oblonga o linear, algo comprimida lateralmente y comúnmente curvada, con una capa externa (epicarpio) pardo delgada, crustáceo seca y escamosa (se quiebra irregularmente al secarse), una capa mediana (mesocarpio) pulposa combinada con fibras y una capa coriácea interna (endocarpio) septada entre las semillas; conteniendo 1 a 12 semillas. Los frutos persisten en el árbol por varios meses.

**Tabla 2.** Composición química del *Tamarindus indica* \*

Compuesto		Tamarindo	Pulpa de tamarindo
Agua (%)		12.6 – 34.2	28 – 42
Proteína (%)		1.4 – 3.3	1.0 – 1.5
Lípidos (%)		0.6 -1	0.4 – 0.8
Carbohidratos (%)		59.7 – 71.8	27 – 48
Cenizas (%)		1.5 – 4.5	1.0 – 3.5
Fibra	Pectina (%)	3 – 5	2 – 2.6
	Celulosa (%)	3 -4	2 – 4

\* por 100g de porción comestibles

**Fuente:** NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, (1979)

El árbol del tamarindo tiene en su composición varias sales minerales, vitaminas y sustancias beneficiosas para la salud. El fruto del tamarindo está constituido por varias sustancias azucaradas, las cuales se encuentran en un 20% y 30% del fruto. Por otra parte, cerca de un 18% del tamarindo corresponde a ácidos orgánicos, entre los cuales destaca el ácido tartárico, málico y ascórbico.

**Figura 2:** Fruto y semilla de *Tamarindus indica*

**Fuente:** Ciencia y Tecnología. Semillas de tamarindo para elaboración de espuma biodegradable. Universidad Nacional Autónoma de México. 2017

### 3.1.5.1. Características de la semilla de tamarindo

La semilla de tamarindo está compuesta en su mayoría por carbohidratos (57,1%), proteína (13,3%) y agua (11,3%). La fracción proteica está formada mayoritariamente por ácidos glutámico y aspártico, glicina y leucina (VÁZQUEZ, BATIS, ALCOCER SILVA, & DIRZO, 1999); como muestra la tabla 3. Las proteínas, a su vez, se componen sobre todo de ácido

glutámico y aspártico, glicina y leucina (GURDIÁN, COTO, & SALGADO, 2009). De acuerdo a estudios realizados por CAMPOS, G. COLINA; FERNÁNDEZ, TORRES, SULBARÁN, & OJEDA, (2003), en su análisis de los posibles componentes responsables de la coagulación de la Moringa oleífera, propone los ácidos glutámico y aspártico, por ser sustancias que poseen grupos con cargas formales negativa y positiva que le permiten desestabilizar y coagular un agua residual.

Al igual que la Moringa oleífera, la semilla de tamarindo presenta proteínas constituidas principalmente por aminoácidos como glicina, leucina, ácido glutámico y aspártico. La glicina y la leucina son aminoácidos alifáticos, no solubles en agua, y los ácidos glutámico y aspártico son aminoácidos con carácter ácido y solubles en agua MATHEWS & VAN HOLDE, (2003). Lo anterior haría suponer que las sustancias responsables de la coagulación en la semilla de tamarindo son las terminaciones de ácido glutámico y aspártico.

**Tabla 3.** Composición química de la semilla de *Tamarindus Indica* (en base seca)

<b>Componente</b>		<b>Promedio</b>
<b>Agua</b>		11.3
<b>Grasa</b>		5.4
<b>Carbohidratos</b>		57.1
<b>Ceniza</b>		4.1
<b>Fibra cruda</b>		8.8
<b>Proteína</b>		13.3
<b>Aminoácidos contenidos en el 13.3% de proteína</b>	Ácido glutámico	18.0
	Ácido aspártico	11.6
	Glicina	9.1
	Leucina	8.2
	Metionina, treonina, valina, cisteína, entre otros	53.1

Fuente: VÁZQUEZ, BATIS, ALCOCER SILVA, & DIRZO, (1999)

### 3.2. Estado del arte

En los últimos años, se han realizado diferentes estudios de gran interés en el desarrollo del uso de coagulantes naturales, los cuales son producidos o extraídos a partir de microorganismos, tejidos de plantas o animales. Su importancia radica en que “son sustancias biodegradables y más seguros para la salud humana, además producen menos volumen de lodos, aproximadamente 20 o 30 % menos a las que se generan por el empleo de agentes coagulantes metálicos, como el alumbre” SCIBAN, KLASNJA, & ANTOV, (2009). Según CHUN, (2010), estos coagulantes naturales funcionan por medio de un mecanismo de adsorción seguido de neutralización de carga o efecto de puente polimérico. Los coagulantes a base de plantas estudiados frecuentemente incluyen semillas de (*Strychnos potatorum*), *Moringa oleífera*, tanino y cactus.

PATELI & VASHI, (2012), científicos indios condujeron un estudio, cuya intención era remover el tinte rojo presente en una muestra de agua cruda utilizando coagulantes naturales obtenidos a partir de (*Moringa oleífera*) en polvo, semillas de maíz (*Zeemays*) en polvo y quitosano. Los resultados mostraron que a una temperatura de 340K, un pH de 4 y usando dosis de 25mg/l se obtuvo la mayor remoción para los tres coagulantes, los valores reportados fueron: 98% para la moringa, 94.5% para el quitosano y 89.4% para el maíz.

A su vez, en Colombia RODRÍGUEZ, LUGO, ROJAS, & MALAVER, (2007) han realizado investigaciones sobre la utilización de coagulantes naturales, como el almidón de yuca y el almidón de maíz, los cuales han sido evaluados junto con el sulfato de aluminio B y un polielectrólito comercial, como agentes coagulantes de aguas crudas superficiales, utilizadas para el abastecimiento de una planta potabilizadora. Las pruebas se realizaron a 20 °C, con agua cruda de la quebrada Las Delicias en Bogotá D.C. Los resultados obtenidos mostraron un buen desempeño del almidón de maíz, comparable con el polielectrólito y mejor que el sulfato de aluminio B, para estas condiciones se obtuvo una dosis óptima de 20 mg/L, turbidez final por debajo de 20 UNT, color inferior a 25 UPC y pH de 5,38, parámetros acordes con la normativa colombiana. Por el contrario el almidón de yuca presentó un mal desempeño en estas condiciones y fue el menos efectivo de los agentes coagulantes evaluados.

En la universidad de Sucre se han realizado estudios por CONTRERAS, AGUAS M., SALCEDO M., VERBEL, & MENDOZA, (2015), donde utilizaron el mucílago nopal como coagulante natural complementario del sulfato de aluminio, donde el mucílago de nopal mostró efectividad en la clarificación del agua. Además se han implementado otros coagulantes naturales como el de Tuna (opuntia ficus-indica) de acuerdo a los resultados obtenidos por Olivero y otro, 2014 en aguas poco turbias como en la del río Magdalena se demostraron la eficiencia que tiene el mucilago extraído de la tuna opuntia ficus-indica como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. Pero no cumplieron con el requerimiento estipulado en la norma técnica colombiana para agua potable. Además FERIA, BERMÚDEZ, & ESTRADA, (2014) Afirman que la semilla del árbol Moringa Oleífera presenta eficiencias superiores al 90% para aguas con turbidez mayores a 90 UNT. Sin embargo, FERIA, TAVERA, & PERNA, (2018) obtuvieron un quitosano de  $3,2 \times 10^6$  g mol<sup>-1</sup> de peso molecular a partir de exoesqueletos de camarón, con un grado de des acetilación del 72,9% que indica la eficacia del proceso. La mayor actividad coagulante del quitosano (89%) se obtuvo cuando se aplicó en una dosis de 15 mg / l de agua cruda y con baja turbiedad (67 NTU).

También en la Universidad de Cartagena, también se han realizado estudios por GUZMÁN, TARÓN, NÚÑEZ, & HERNÁNDEZ, (2007) sobre coagulantes naturales, la fuente considerada fue las semillas de cañafístula (Cassia fistula) una planta nativa de la región y fuente de alimento. El polvo obtenido fue utilizado para tratar una muestra de agua recolectada en el canal del Dique, establecieron una dosis óptima de 20 mg/L para un mismo volumen de control. La remoción de la turbidez fue del 95% y de color del 87,5%, las cuales son comparables por la normativa vigente en ese año. Además en la Universidad de Sucre PRASCA & VERGARA, (2017) se evaluaron la actividad coagulante de las semillas del árbol Cassia Fistula, en muestras de agua cruda procedente del Río Sinú. Donde los resultados obtenidos permitieron concluir que las dosis no influyen en la actividad del coagulante de las semillas y que pH del agua no sufre alteraciones significativas. La mayor actividad coagulante obtenida fue de 63,87% para una turbidez inicial de 532 UNT.

### 3.3. Antecedentes

Entre los estudios realizados de coagulación con semilla de *Tamarindus indica* encontramos el de GURDIÁN LÓPEZ & COTO CAMPOS, (2011) donde se compara el desempeño de dos coagulantes convencionales, sulfato de aluminio y cloruro de hierro (III), con el de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*), para la remoción de turbidez de agua residual. La semilla de tamarindo no mostró buena eficiencia de remoción de turbidez, en aguas residuales de baja turbidez; Asimismo, muestra un mejor desempeño en la remoción de turbidez en aguas residuales más turbias. Además HERNÁNDEZ, MENDOZA, SALAMANCA, FUENTES, & CALDERAS, (2013) evaluaron la efectividad de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) en aguas con alta turbiedad. Los ensayos se efectuaron a escala de laboratorio. Los resultados mostraron la eficiencia del coagulante, obteniéndose porcentajes de remoción para la turbiedad después del tratamiento de entre 72,45% y 89,09% antes de filtrar; y entre 98,78% y 99,71% después del proceso de filtración. Sin embargo MADHAVI & RAJKUMAR, (2013), evaluaron la efectividad del polvo de semilla de tamarindo como coagulante natural para la reducción de la turbidez en la mejora de la calidad del agua residual variando el pH. Dando como resultado una eficiencia de reducción de turbidez más alta de aproximadamente 78% a un pH de 8. Por lo anterior el polvo de semilla de *Tamarindus indica*, ofrece una alternativa prometedora como coagulante natural para la sustitución de las sales inorgánicas comúnmente usadas en los tratamientos de aguas superficiales, que satisfacen las normas colombianas.

## 4. METODOLOGIA

La investigación se desarrolló en laboratorios de aguas de la universidad de Sucre, ubicada en la sede puerta roja. La población de estudio lo constituyó el coagulante proveniente del hidrocoloide extraído de las semillas de Tamarindo (*Tamarindus indica*), por dos métodos en frío y en caliente. Se utilizó agua del canal del Dique, para determinar la eficiencia del coagulante en aguas que usan los acueductos para potabilización. La variable a estudiar es la turbidez (UNT) del agua.

### 4.1. Muestra de agua

#### 4.1.1. Recolección de las muestras de agua

El agua usada para las pruebas de jarra se recolectó en tres puntos del canal del Dique, a la altura del municipio de Calamar y de los corregimientos Gambote (Arjona) y Leticia (Cartagena de Indias) respectivamente el cual presenta diferente turbidez. Los ensayos fueron realizados al día siguiente en que se recogió la muestra, por lo cual se dejaron las canecas de agua a temperatura ambiente en el laboratorio de aguas de la universidad de Sucre. Al momento de realizar las pruebas de jarras, se agitaron con el objetivo de homogenizar la muestra de agua, ya que los sólidos suspendidos de mayor tamaño se precipitaban.

**Figura 3:** Fotografías de recolección de muestras



**Fuente:** Autor

Para la ejecución de un ensayo se utilizaron 4 beaker con capacidad de 500ml, siendo en total 1,5 litros de agua por prueba, Se realizaron 14 pruebas con 3 repeticiones, para un total de 42 unidades experimentales, permitió determinar el mejor tratamiento de coagulante natural. A partir de ello se efectuaron los ensayos en los tres puntos del canal del dique, donde se desarrollaron 9 ensayos con 3 repeticiones, para un total de 21 unidades.

#### 4.1.2. Características de las muestras recolectada

Se recolecto muestras de agua en tres puntos del canal del Dique, a la altura del municipio [1: Calamar; 2: Gambote (Arjona); 3: Leticia (Cartagena de Indias)] el cual presenta diferente turbidez.

**Tabla 4.** Características del agua inicial

Punto	Turbidez (UNT)	pH	Color (UPC)	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
1	$167,67 \pm 4,33$	$6,87 \pm 0,08$	$30 \pm 1,00$	$102,7 \pm 0,5$
2	$209,33 \pm 9,67$	$6,86 \pm 0,04$	$30 \pm 1,00$	$115,5 \pm 0,4$
3	$310,67 \pm 5,16$	$6,91 \pm 0,07$	$40 \pm 1,00$	$123,7 \pm 0,7$

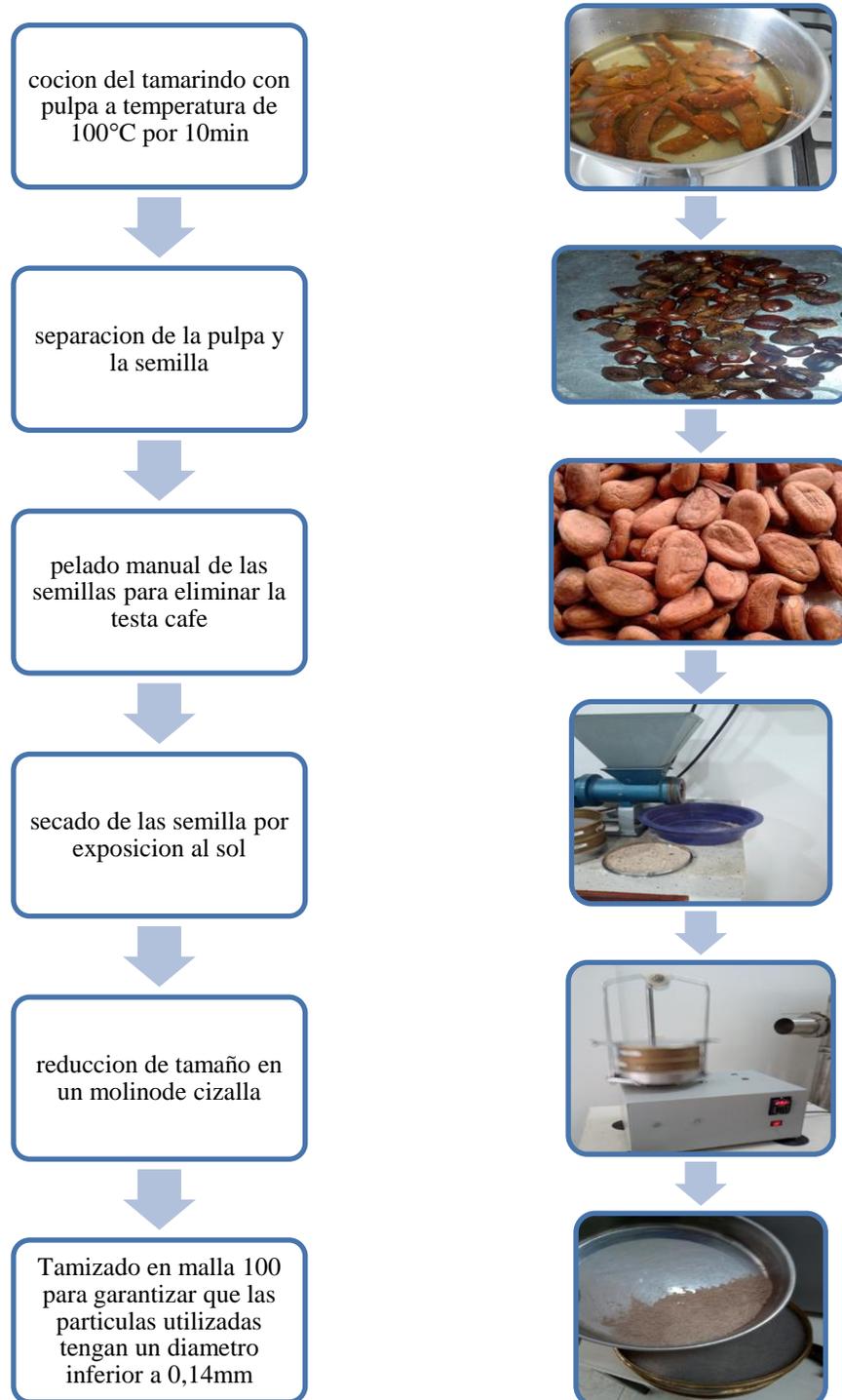
**Fuente:** Autor

#### 4.2. Preparación del coagulante natural (*Tamarindus indica*)

Se trabajó con dos métodos de obtención del polvo de semilla de tamarindo y se estableció el de mayor eficiencia de remoción de turbidez:

##### 4.2.1. Extracción en caliente

Se realizó mediante proceso de cocción del tamarindo con pulpa a temperatura de ebullición durante 10 minutos, posteriormente se separara la pulpa y las semillas manualmente dejándolas libres de la testa (cascarilla café), luego se secaron poniéndolas al sol a temperatura ambiente de Sincelejo. En seguida se realizó una molienda en un molino de cizalla, la cual permitió tener muestras con características de polvo. La harina presentaría partículas grandes, medianas y pequeñas. Se separaran dichos tamaños utilizando tres mallas de cribado de los números: 40, 50 y 100 (tamiz de pruebas fijas MONT INOX). Con el objetivo de que el polvo obtenido fuese lo suficientemente fino.

**Figura 4:** Proceso de elaboración en caliente del coagulante en polvo

**Fuente:** Autor

#### 4.2.2. Extracción en frío

Se peló el tamarindo, se despulpo y se extraen las semillas manualmente. Las semillas fueron lavadas, secadas y seleccionadas, una vez seleccionadas, son peladas mediante una molienda en un molino de martillo, esta permitió eliminar la testa café; y luego se realizó una segunda molienda en un molino de cizalla la cual permitirá tener muestras con características de polvo. La harina presentaría partículas grandes, medianas y pequeñas. Se separaran dichos tamaños utilizando tres mallas de cribado de los números: 40, 50 y 100, (tamiz de pruebas fijas MONT INOX). Con el objetivo de que el polvo obtenido fuese lo suficientemente fino.

**Figura 5:** Proceso de elaboración en frío del coagulante en polvo



**Fuente:** Autor

### 4.3. Evaluación del coagulante

Para la clarificación del agua del canal del dique se realizaron pruebas con un diseño completamente al azar con arreglo factorial de  $2 \times 3 \times 2$  donde el factor 1 es la concentración de coagulantes aplicados (35 y 40 mg/L), el factor 2, tratamiento (1: Tamarindo en frío, 2: Alumbre, 3: Tamarindo en caliente), el factor 3 la agitación (100 y 200 rpm); se evaluó la eficiencia de la aplicación del coagulante, con el fin de determinar las mejores condiciones de clarificación del polvo de semilla de tamarindo. Se realizaron 12 tratamientos con 3 repeticiones, para un total de 36 unidades experimentales.

**Tabla 5.** Variables independientes

FACTORES	BAJO	ALTO	NIVELES	UNIDADES
<b>Concentración</b>	35,0	40,0	2	mg/L
<b>Tratamiento</b>	1	3	3	
<b>Agitación</b>	100	200	2	Rpm

**Fuente:** Autor

**Tabla 6.** Variables de respuestas

Respuestas	Unidades
<b>Turbidez</b>	UNT
<b>Color</b>	UPC
<b>pH</b>	
<b>Conductividad</b>	$\mu\text{S/cm}$

**Fuente:** Autor

A partir de las anteriores pruebas un diseño experimental completamente al azar donde se evaluara la el coagulante natural con una eficiencia de remoción mayor evaluando el factor de turbidez iniciales en los tres puntos del Canal del Dique.

#### 4.3.1. Seguimiento del proceso de clarificación

En esta etapa se realizó un seguimiento de la clarificación de las aguas turbias para determinar la dosis óptima del coagulante considerando los valores de turbidez y color exigidos por las normas Colombianas, sobre los componentes relativos a la calidad organoléptica del agua potable.

### 4.3.2. Evaluación de las características del agua clarificada.

Se desarrolló el análisis de los resultados de la clarificación de las aguas turbias sometidas a los diferentes tratamientos para determinar la eficiencia del clarificante comparándola con el sulfato de Aluminio, producto químico más utilizado.

### 4.4. Procesamiento y análisis

Para el procesamiento de los datos y su análisis se utilizó un ANOVA factorial en dos vías se determinó las diferencias estadísticamente significativas y se aplicó la prueba post-test de Tukey, se logró establecer entre que muestras se presentaron las diferencias significativas, donde se estableció el tratamiento que presenta mejores resultados. Los datos obtenidos fueron manejados estadísticamente a un nivel de significancia del 0.05%; en el programa estadístico STATGRAPHICS CENTURION versión XV de prueba. De la misma manera se empleó el paquete estadístico para comprobar las posibles correlaciones entre los distintos parámetros analizados que pudieran existir.

### 4.5. Prueba de jarras

Se utilizó un Floculador E&Q modelo FP4, donde se realizó el proceso de coagulación, bajo condiciones estandarizadas, las diferentes concentraciones de las dosis del coagulante, se agregó simultáneamente el coagulante orgánico (*Tamarindus indica*) anteriormente diluido en agua destilada, a tres jarras del agua del canal del Dique. Se dejó un blanco; además se aplicó una mezcla rápida (200 rpm) por 1 minuto, después una mezcla lenta (40 rpm) por 30 minutos, dejando sedimentar el floculo por 1 hora, de acuerdo con la norma ASTM No. D2035-80. El sobrenadante de cada jarra sedimentada se le realizaron las pruebas de pH, turbidez y color utilizando las metodologías referidas en el manual de métodos (APHA-AWWA-WEF, 2008)

$$\%Actividad\ coagulante = \frac{RT_{control} - RT_{muestra}}{RT_{control}} * 100$$

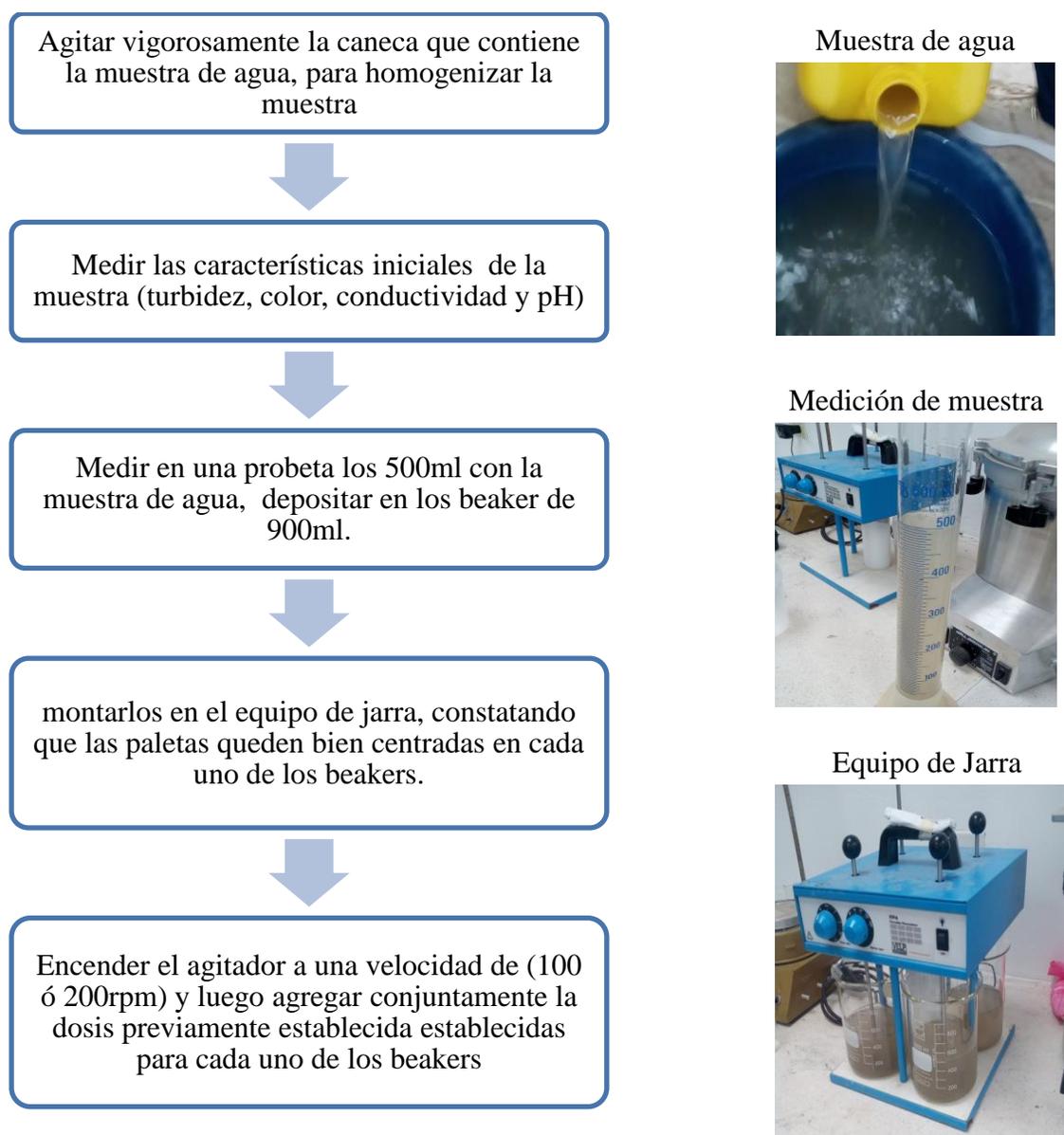
### 4.6. Equipos y materiales utilizados

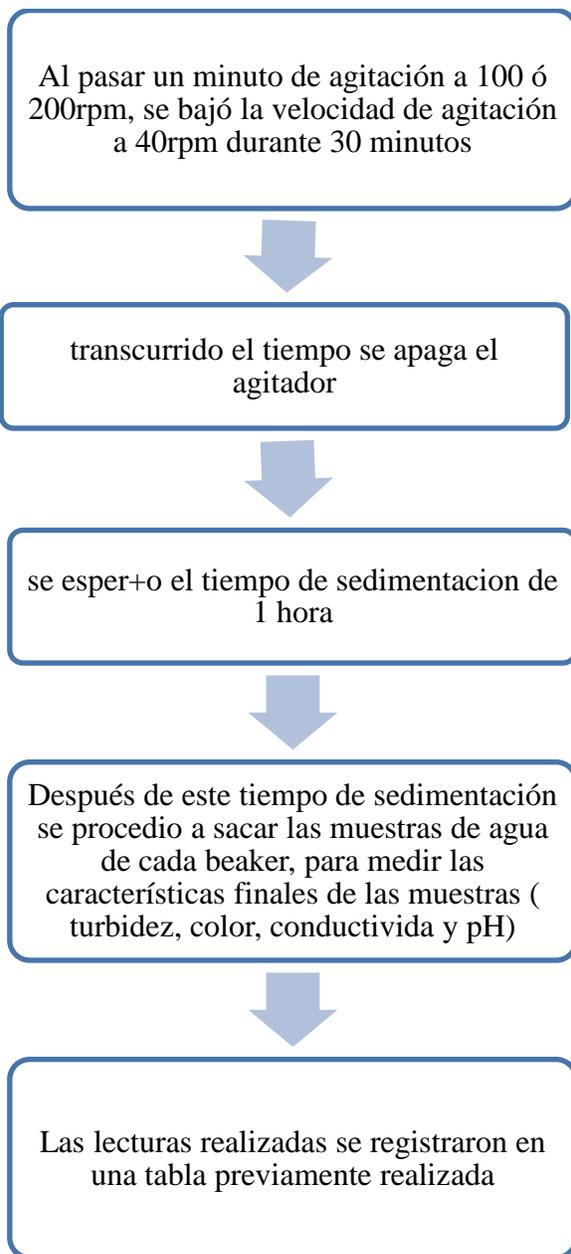
- Un agitador de cuatro paletas, (Floculador E&Q modelo FP4), con variaciones de velocidad entre 0 y 200rpm.
- 8 beaker de 900ml

- Probeta de 500ml
- Un turbidímetro (HACH 2100Q)
- Medidor de pH
- Un colorímetro
- Reloj cronometro
- Balanza de precisión

#### 4.7. Paso a paso procedimiento experimental

**Figura 6:** Paso a paso del procedimiento experimental





Agua en reposo



Turbidímetro



Colorímetro



Conductímetro



pH metro



**Fuente:** Autor

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Evaluación por tratamiento

La siguiente tabla 7 muestra las características fisicoquímicas de muestras de agua bruta tomada del Canal del Dique. La turbidez inicial es 177UNT, de acuerdo con el decreto 1575 del 2007 es altamente turbulenta. Sin embargo, son congruentes y podría ser evidenciado en los estudios reportados por Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (INVEMAR, 2006). Sobre el índice de calidad del agua en el Canal del Dique.

**Tabla 7.** Las condiciones iniciales del agua

Turbidez (UNT)	PH	Color (UPC)	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
177 $\pm$ 21	6,91 $\pm$ 0,06	30 $\pm$ 10	114,4 $\pm$ 0,5

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

Los resultados obtenidos para las variables fisicoquímicas estudiadas se presentan en la Tabla 8, donde se muestran los resultados para cada factor aplicado en el proceso de clarificación. Donde la turbidez de la muestra vario de acuerdo con la velocidades de (100 y 200) rpm; y el tratamiento (1: Tamarindo en frio, 2: Alumbre, 3: Tamarindo en caliente). Sin embargo, la turbidez final disminuye considerablemente respecto a la inicial. Su valor promedio utilizando tamarindo en frio de 85,3NUT y para tamarindo en caliente de 107,4NUT. Además se evidencian cambios leves de pH respecto del coagulante utilizado, puesto que con el inorgánico se hace ácido y con el natural se tiene neutro, encontrándose este dentro de los estándares de la norma colombiana para agua potable (de 6,5 a 9,0 unidades de pH). Se logró una reducción del color en el agua tratada con el polvo de semilla de tamarindo en frio ensayo TTO 12 (10 Hazen a 100 rpm, 40 mg y 21 UNT).

**Tabla 8:** propiedades finales del agua

TTO	FACTORES			VARIABLES DE RESPUESTAS			
	Concentración (mg/L)	Tratamiento	Velocidad (rpm)	Turbidez (UNT)	Color (HAZEN)	pH	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
1	35	1	100	65,4	20	7,09	95,4
2	35	1	100	69,1	20	6,98	92,4
3	35	1	100	58,6	20	6,98	98,2
4	35	3	100	110	20	7,03	97,5
5	35	3	100	100	20	7,02	96,1
6	35	3	100	116	30	7,19	154,4
7	35	2	100	4,9	10	6,72	178,5
8	35	2	100	5,2	10	6,81	179,3
9	35	2	100	6,3	10	6,64	167,6

10	40	1	100	52,6	20	7,05	92,5
11	40	1	100	45,2	20	7,07	94,1
12	40	1	100	21,9	10	7,02	86,4
13	40	3	100	106	30	7,02	98,4
14	40	3	100	100	30	6,99	106,1
15	40	3	100	94,9	20	7,1	108,7
16	40	2	100	2,7	10	6,8	118,1
17	40	2	100	3,1	10	6,73	115,6
18	40	2	100	4,1	10	6,71	120,4
19	35	1	200	97,9	20	7,01	105,2
20	35	1	200	97,4	20	7,03	99,2
21	35	1	200	99,3	20	7,02	107,3
22	35	3	200	103	20	7,09	105,2
23	35	3	200	106	20	7,1	98,6
24	35	3	200	106	20	7,05	97,6
25	35	2	200	8,1	20	6,76	134,4
26	35	2	200	7,1	10	6,73	126,7
27	35	2	200	6,8	10	6,65	120,1
28	40	1	200	108	20	7,04	98,2
29	40	1	200	103	20	7	106,2
30	40	1	200	106	20	7,01	95,3
31	40	3	200	116	10	7,11	98,1
32	40	3	200	113	20	7,06	93,4
33	40	3	200	118	20	7,03	96,8
34	40	2	200	8,3	5	6,79	132,7
35	40	2	200	1,3	5	6,6	122,4
36	40	2	200	2,4	5	6,75	129,9

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

### 5.1.1. Actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica*

En la tabla 9 se muestra la determinación de actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica*, donde (0: Muestra control, 1: polvo de semilla de tamarindo extraído en frío y 2: polvo de semilla de tamarindo extraído en caliente). Sin embargo la actividad coagulante de la semilla de tamarindo depende del método de adecuación de la semilla, es decir, que se tiene mejor actividad para el polvo de semilla de tamarindo extraído en frío. Donde se tienen en promedio una actividad coagulante (entre el 34,07% y 71,84%). Este suceso se da como consecuencia del calor suministrado durante el proceso de obtención del polvo de semilla de tamarindo extraído en caliente pudo degradar las propiedades coagulantes. De acuerdo a la muestra control se tiene una actividad coagulante ligeramente mayor al utilizar velocidad de agitación de 100rpm y concentración de 40mg/L. Es decir, la actividad coagulante de la semilla de tamarindo depende de la velocidad de agitación y la concentración utilizada en cada prueba.

**Tabla 9:** actividad coagulante de polvo de semilla de *Tamarindus indica* a partir de muestra inicial de 177UNT.

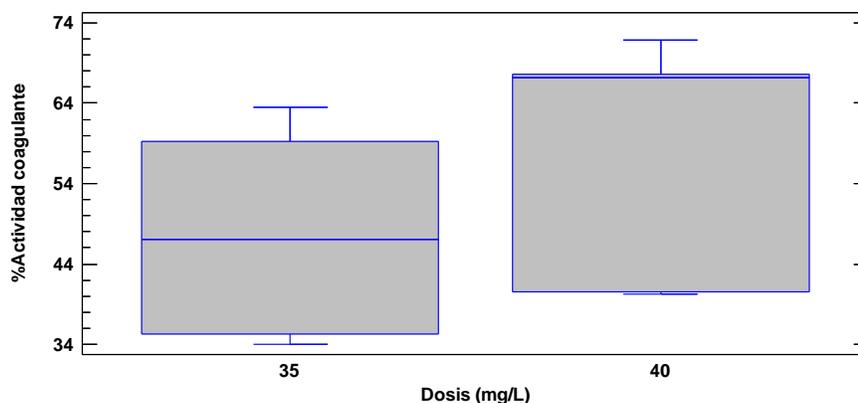
TTO	Velocidad (rpm)	Dosis (mg/L)	Turbidez final (UNT)			%Actividad coagulante		
			R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	100	0	160,5	160,5	160,5	9,32	9,32	9,32
1	100	35	65,4	69,1	58,6	59,25	56,95	63,49
1	100	40	52,6	45,2	21,9	67,23	71,84	86,36
2	100	35	110	100	116	31,46	37,69	27,73
2	100	40	106	100	94,9	33,96	37,69	40,87
0	200	0	163,8	163,8	163,8	7,5	7,5	7,5
1	200	35	108	103	106	34,07	37,12	35,29
1	200	40	97,9	97,4	99,3	40,23	40,54	39,38
2	200	35	116	113	118	29,18	31,01	27,96
2	200	40	103	106	106	37,12	35,29	35,29

Fuente: Autor. Cálculo de estudios

#### 5.1.1.1. Análisis de actividad coagulante de acuerdo al método de obtención del polvo de la semilla de *Tamarindus indica*

En el gráfico 1 se evidencia la actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica* obtenida en frío, a partir de una muestra inicial de 177UNT. De acuerdo con la dosificación de 35mg/L y 40mg/L el coagulante vario un porcentaje actividad de coagulante de 39% y 54% respectivamente. Las mejores remociones de obtiene a dosificación de 40mg/L.

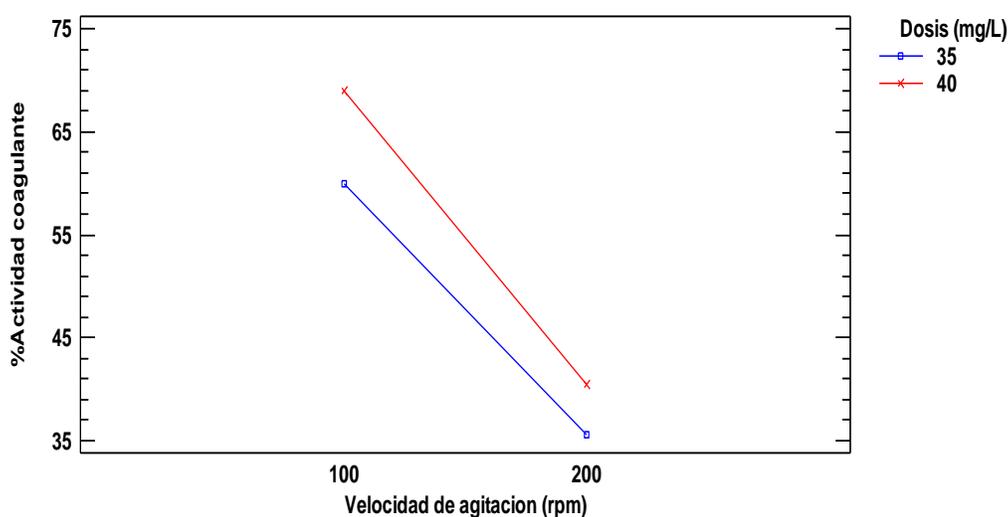
**Gráfico 1:** Actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica* obtenida en frío



Fuente: Autor. Cálculo de estudios

En el gráfico 2 se muestran las interacciones entre velocidad de agitación, dosis y actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica* obtenida en frío. De acuerdo con el gráfico la actividad del coagulante es ligeramente mayor a velocidad de 100rpm con una actividad observada (entre 43% y 57%). No obstante, la actividad coagulante a dosificación de 40mg/L varío (entre 38% y 57%). Logrando las mejores remociones a 100rpm y 40mg/L para el coagulante extraído en frío.

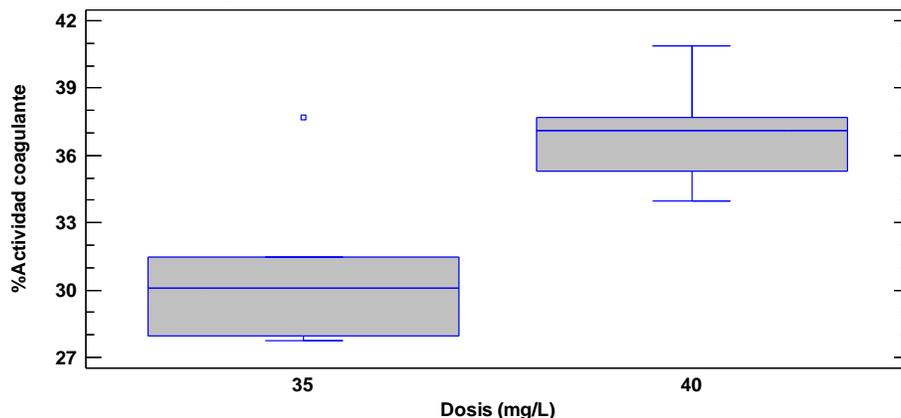
**Gráfico 2:** Interacciones entre velocidad de agitación, dosis y actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica* obtenida en frío



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En el gráfico 3 se observa la actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica* obtenida en caliente, a partir de una muestra inicial de 177UNT. De acuerdo con la dosificación de 35mg/L y 40mg/L el coagulante varío un porcentaje actividad de coagulante (entre 30% y 37%) respectivamente. Las mejores remociones de obtiene a dosificación de 40mg/L. Sin embargo se tiene poca remoción de acuerdo a la baja actividad coagulante obtenida con este método de obtención en caliente.

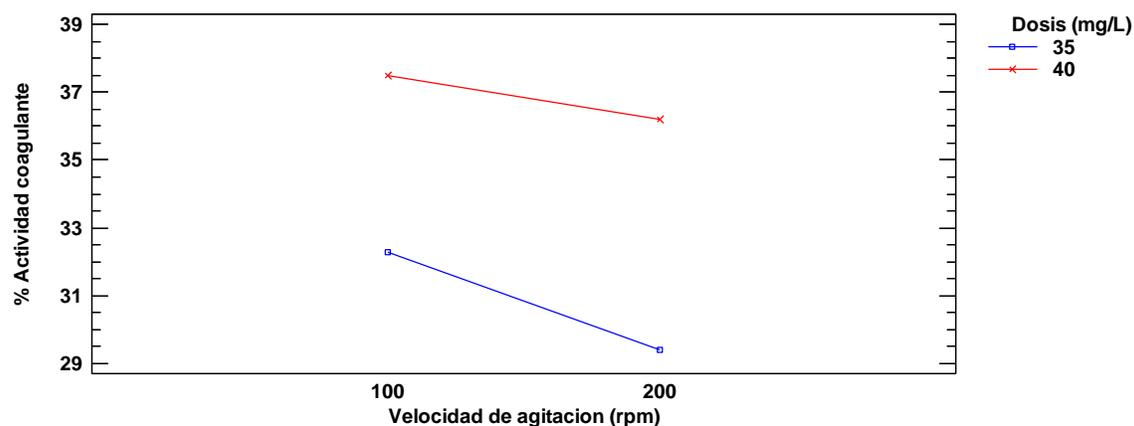
**Grafico 3:** Actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica* obtenida en caliente



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En el gráfico 4 se muestran las interacciones entre velocidad de agitación, dosis y actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica* obtenida en caliente. De acuerdo con el grafico la actividad del coagulante es ligeramente mayor a velocidad de 100rpm con una actividad observada (entre 32% y 38%). No obstante, la actividad coagulante a dosificación de 40mg/L vario (entre 36,5% y 37,5%). Logrando las mejores remociones a 100rpm y 40mg/L para el coagulante extraído en caliente. Estos resultados son la evidencia de la baja actividad coagulante que alcanza el polvo de la semilla de tamarindo extraída en caliente respecto a la obtenida en frio.

**Grafico 4:** Interacciones entre velocidad de agitación, dosis y actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica* obtenida en caliente



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

## 5.1.2. Análisis para turbidez

### 5.1.2.1. Análisis de varianza para turbidez

La tabla 10 muestra un análisis de varianza para turbidez. Se encontró que los factores tienen un efecto estadísticamente significativo con un 95,0% de nivel de confianza, para la prueba de turbidez, se afirmó que el efecto de mayor significancia son el tratamiento y la velocidad de agitación. Debido a que los valores-P son menores a 0,05; para tratamiento es 0 y para velocidad fue de 0,0286.

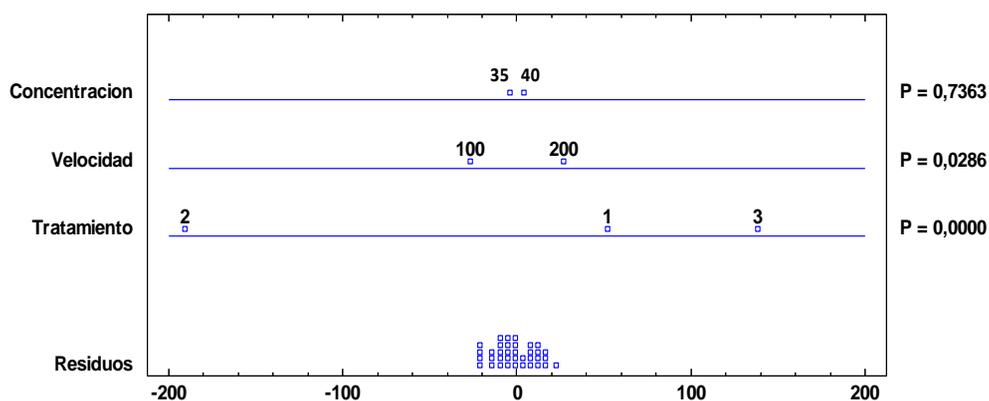
**Tabla 10.** Análisis de Varianza para Turbidez

Efectos	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Tratamiento	44998,9	2	22499,4	144,93	0,0000
B: Velocidad	817,96	1	817,96	5,27	0,0286
C: Concentración	17,9211	1	17,9211	0,12	0,7363
Residuos	4812,52	31	155,243		
Total (corregido)	50647,3	35			

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En el gráfico 1 se logra observar los efectos de varianza anteriormente mencionados en la tabla 10, para el parámetro de turbidez donde hay diferencias significativas. Pero este no se afecta por la concentración de coagulante utilizado ya que su valor-P es mayor a 0,05. Además muestra que a velocidad de agitación de 100rpm se logró una turbidez final menor respecto a la inicial. Coincidiendo con lo dicho por Contreras y otros, (2015); en su estudio de coagulación con nopal que se tienen mejor resultado a velocidades de agitación 100rpm. En este estudio se generaron turbidez finales variables, debido a los coagulantes utilizados. Se nota que los residuos demuestran que los datos obtenidos no alteran los supuestos de remoción de turbidez.

**Gráfico 5:** ANOVA de turbidez por factores



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

### 5.1.2.2. Prueba de múltiples rangos para turbidez

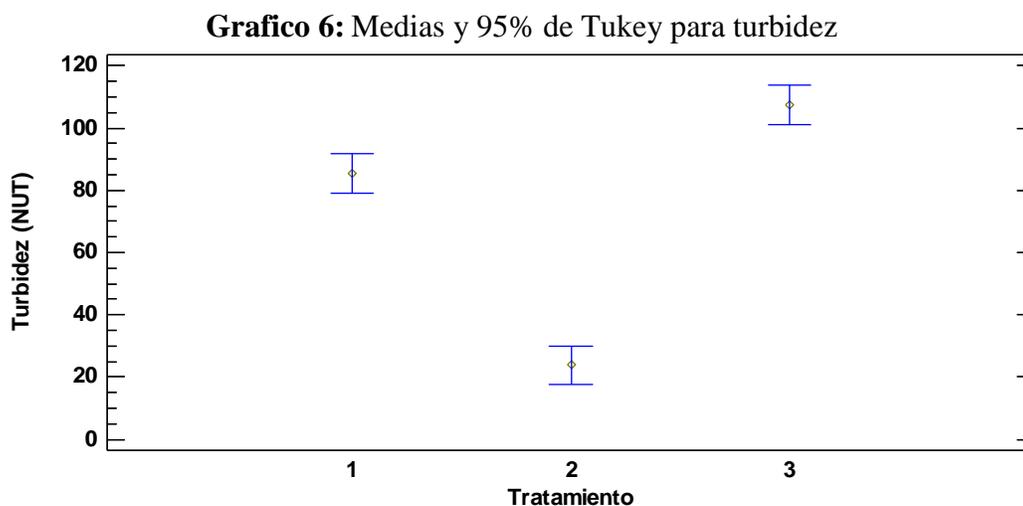
La tabla 11 muestra los resultados de la prueba de tukey que aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La turbidez muestra diferencias estadísticamente significativa de acuerdo al tratamiento utilizado (1: Tamarindo en frio, 2: Alumbre, 3: Tamarindo en caliente). Donde la media LS menor es con el tratamiento 2 con valor de 23,8583 y se establecen dos grupos homogéneos que son los tratamientos con el coagulante natural de las semillas de tamarindo.

**Tabla 11:** Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Turbidez por Tratamiento

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	12	23,8583	3,59679	X
1	12	85,3667	3,59679	X
3	12	107,408	3,59679	X

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

Como se observa en el siguiente gráfico 6, los tratamientos (1: polvo de tamarindo en frio y 2: Sulfato de aluminio) se obtuvieron los mejores resultados de turbidez final. Con valores oscilante para el coagulante (1) de 78 a 93 NUT; para (2) 12 a 20NUT. Lográndose demostrar que la semilla de *Tamarindus indica* es capaz de remover la turbidez, a partir de la desestabilización de las partículas coloidales. Coincidiendo con lo planteado con GURDIÁN LÓPEZ y otros, (2011); donde verificaron para semillas de tamarindo que la eficiencia de remoción de turbiedad e inferior a observada con sulfato de aluminio. En estudios realizados con otros coagulantes naturales comparando con el sulfato de aluminio, solo este obtiene una turbidez final que cumple con los requerimientos por la norma colombiana de consumo de agua, pero de acuerdo a lo estudiado por Feria y otros, (2014) solo la *Moringa Oleífera* presenta características de turbidez de un coagulante primario.



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

### 5.1.3. Análisis para color

#### 5.1.3.1. Análisis de varianza para color

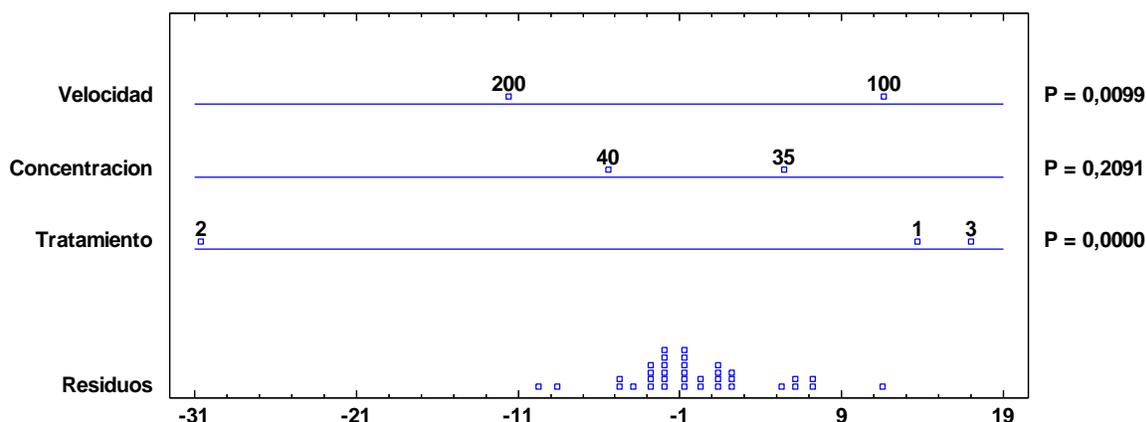
La siguiente tabla 12 se denota las variables de color aparente expresado en unidades (Hazen), donde esta muestra diferencias significativas debido a que el valor-P es menor que 0,05, es decir, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Color respecto a los niveles de tratamientos y velocidad. Pero la concentración tiene un valor-P de 0,2091, de acuerdo a ese valor la remoción de color no tiene diferencias significativas con este efecto.

**Tabla 12:** Análisis de varianza de color

EFFECTOS PRINCIPALES	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Tratamiento	1093,06	2	546,528	26,43	0,0000
B: Concentración	34,0278	1	34,0278	1,65	0,2091
C: Velocidad	156,25	1	156,25	7,56	0,0099
RESIDUOS	640,972	31	20,6765		
TOTAL (CORREGIDO)	1924,31	35			

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En el siguiente gráfico 3 de ANOVA para color se evidencia para los tratamientos (1: polvo de tamarindo en frío; 2: Sulfato de aluminio; 3: polvo de tamarindo en caliente) se logra un color final menor con el sulfato de aluminio pero con los coagulantes a partir de la semilla de tamarindo no alcanzo una disminución de color.

**Grafico 7:** ANOVA para color

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

### 5.1.3.2. Prueba de múltiples rangos color

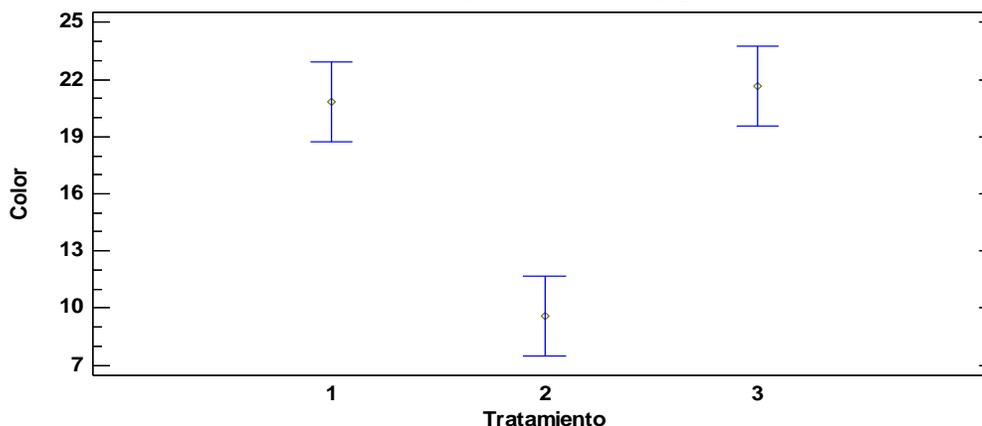
La prueba de comparaciones múltiples de Tukey en la tabla 13, muestra grupos homogéneos identificados en los tratamientos con las semillas de tamarindo en el comportamiento de disminución del color. Los tratamientos que presentaron mejores resultados en la reducción de color en las muestras de agua turbia son el tratamiento con sulfato de aluminio. Se logra medias con el polvo de semilla extraído en frío de 20,833 y en caliente 21,6667 unidades de color Hazen.

**Tabla 13:** Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para color por Tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	12	9,58333	1,31265	X
1	12	20,8333	1,31265	X
3	12	21,6667	1,31265	X

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

El gráfico 8 de medias para color se observa que el sulfato de aluminio tiene un porcentaje de remoción del 85%. Además el coagulante natural tiene un promedio global de reducción de color para el extraído en frío del 50% y extraído en caliente de 40%. No obstante los rangos finales de reducción del color no cumplen con el parámetro establecido en el Decreto 1575 Ministerio de Protección social de 2007 para la calidad del agua para consumo humano en Colombia.

**Grafico 8:** Medias y 95% de Tukey para color

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

#### 5.1.4. Análisis para pH

##### 5.1.4.1. Análisis de varianza de pH

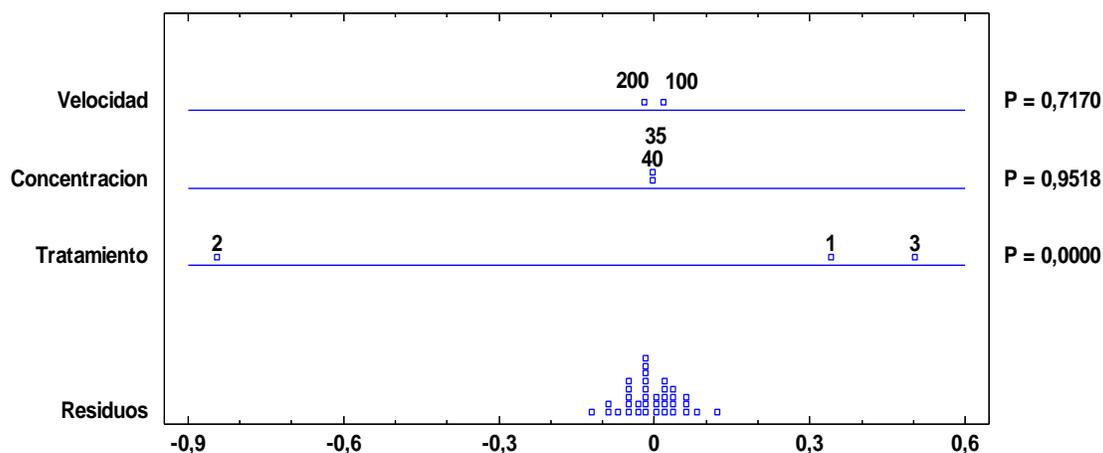
Los resultados de análisis de varianza de pH en el agua tratada muestran diferencias significativas entre los tratamientos aplicados (1: Tamarindo en frío, 2: Alumbre, 3: Tamarindo en caliente), valor-P es menor que 0,05 como se observa en la Tabla 14. Los efectos de concentración y velocidad no son significativos debido a su valor-P respectivamente son 0,9518 y 0,7170.

**Tabla 14:** Análisis de Varianza para pH

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Tratamiento	0,835617	2	0,417808	139,76	0,0000
B:Concentracion	0,0000111111	1	0,0000111111	0,00	0,9518
C:Velocidad	0,0004	1	0,0004	0,13	0,7170
<b>RESIDUOS</b>	0,0926722	31	0,00298943		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	0,9287	35			

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En el gráfico 9 se ilustra lo dicho en la tabla anterior, donde se evidencia que el tratamiento (1: Tamarindo en frío, 2: Alumbre, 3: Tamarindo en caliente) generan efectos significativos. Evidenciando los cambios de leves en la disminución de acides que se producen al utilizar sulfato de aluminio y el resultado obtenido con los tratamientos del polvo de semilla de tamarindo tienen menor incidencia sobre esta variable, ya que se hizo levemente neutro; valor aceptado de pH para agua potable en las normas colombianas.

**Grafico 9:** ANOVA para pH

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

#### 5.1.4.2. Prueba de múltiples rangos para pH

En la tabla 15 de pruebas de múltiples rangos para pH se muestra que el sulfato de aluminio altera el pH del agua superficial. Además que los tratamientos con el coagulante natural tiene un comportamiento homogéneo, debido a que la media LS para los tratamientos 1 y 3 son 7,025 y 7,06583; donde (1: Tamarindo en frío, 2: Alumbre, 3: Tamarindo en caliente), es decir, que el coagulante a partir de las semillas de tamarindo no afectan este parámetro después del tratamiento. Confirmando lo dicho por GURDIÁN y otros,(2009) donde ellos dicen que el pH no se afecta con el coagulante a partir de semilla de tamarindo.

**Tabla 15:** Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para pH por Tratamiento

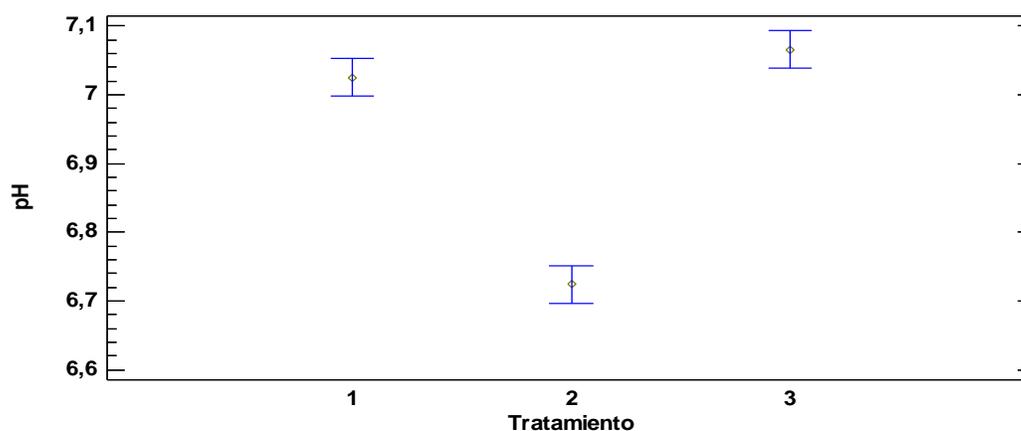
<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	12	6,72417	0,0157835	X
1	12	7,025	0,0157835	X
3	12	7,06583	0,0157835	X

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

Se logra evidenciar en el grafico 10, que el coagulante químico sulfato de aluminio disminuye el pH del agua e indican que el coagulante natural adicionado extraído de la semilla de tamarindo no altera en gran medida el pH del agua tratada. El resultado deseable es que los tratamientos con coagulantes naturales tengan menor incidencia sobre esta variable, ya que el valor aceptado de pH para agua potable en las normas colombianas es 7 (pH neutros). El agua sin tratamiento presentó un pH ligeramente ácido de 6,91, aunque independientemente del pH inicial los

descensos del tratamiento con sulfato de aluminio no resultaron mayores a 0,9. Así mismo sucedió con el ligero aumento del pH que produjo el coagulante natural aumento en promedio un 0,6 unidades de pH.

**Grafico 10:** Medias y 95% de Tukey para pH



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

### 5.1.5. Análisis para conductividad

#### 5.1.5.1. Análisis de varianza para conductividad

Los resultados estipulados en la tabla 16 para la conductividad eléctrica en las muestras de agua tratada presentaron diferencias significativas entre los factores aplicados. Puesto que 2 valores-P son menores que 0,05. Siendo estos efectos de tratamientos y concentración estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la conductividad con un 95,0% de nivel de confianza. A diferencia de la velocidad de agitación ya que su valor-P es de 0,1668.

**Tabla 16:** Análisis de Varianza para conductividad

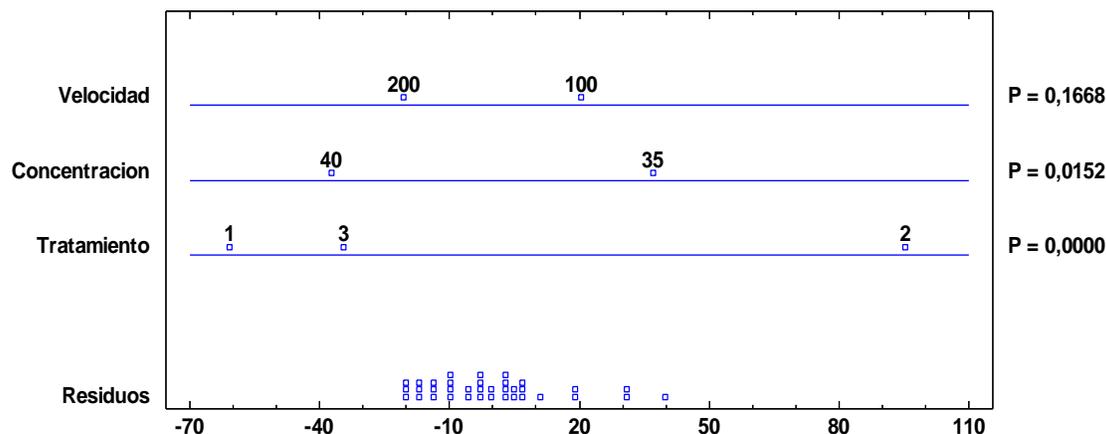
EFFECTOS PRINCIPALES	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Tratamiento	10784,9	2	5392,46	22,20	0,0000
B: Concentración	1605,34	1	1605,34	6,61	0,0152
C: Velocidad	486,938	1	486,938	2,00	0,1668
RESIDUOS	7529,09	31	242,874		
TOTAL (CORREGIDO)	20406,3	35			

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudio

En el siguiente gráfico 11 de varianza para conductividad se logra evidenciar que los factores concentración y coagulante tienen efectos significativos estipulados en la anterior tabla 19. Donde el coagulante a partir de semilla de tamarindo redujo la conductividad final respecto a la

inicial. Siendo el tamarindo extraído en frío (1), otorgo una disminución de la conductividad en un 12% y para el tamarindo extraído en caliente (2) un 10% respecto a la inicial. Además se notó que a medida que se aumentó la concentración había una ligera reducción de la conductividad.

**Grafico 11:** ANOVA para conductividad



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

### 5.1.5.2. Prueba de múltiples rangos para Conductividad

En la tabla 17 se muestran identificados 2 grupos homogéneos de tratamientos como resultados de las comparaciones. En la prueba de múltiples rangos para el parámetro de conductividad. Donde el comportamiento homogéneo lo tienen los tratamientos 1 y 3 donde (1: Tamarindo en frío, 2: Alumbre, 3: Tamarindo en caliente), con media LS de 97,5333 y 104,242 respectivamente.

**Tabla 17:** Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para conductividad por Tratamiento

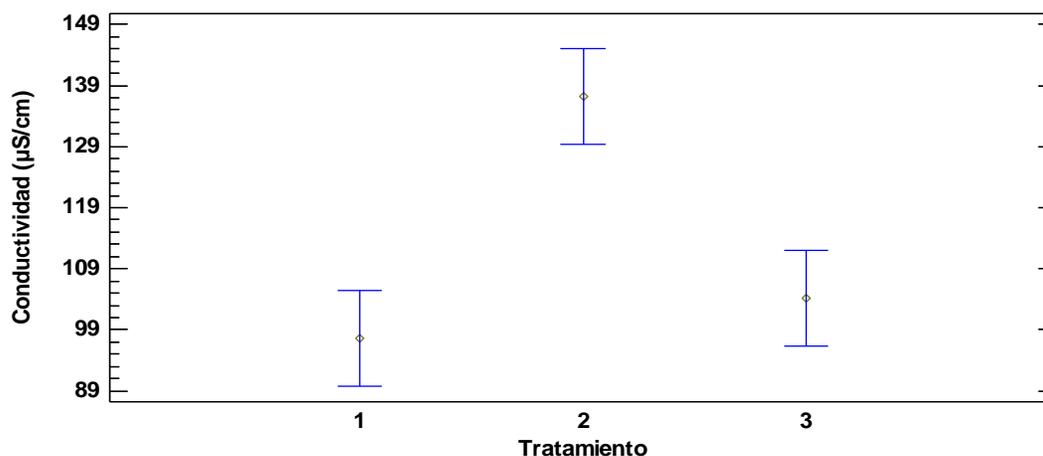
Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	12	97,5333	4,49883	X
3	12	104,242	4,49883	X
2	12	137,142	4,49883	

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En la gráfica 12 de prueba de Tukey se confirmó menor conductividad, lo que podría significar que el coagulante natural no incide directamente en el aumento de esta variable. Sin embargo, el sulfato de aluminio es un coagulante metálico, muy sensible al pH y a la alcalinidad; si el pH no está en un rango adecuado es posible que se solubilice el aluminio, de acuerdo a CONTRERAS, y otros, (2015), es su evaluación para el Nopal, esto incrementa la conductividad eléctrica y la

reducción del pH en la muestra, lo que podría explicar el aumento de la conductividad luego del tratamiento con sulfato de aluminio. Mostrándonos que con los coagulantes naturales no afectan la conductividad del agua.

**Gráfico 12:** Medias y 95% de Tukey para conductividad



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

## 5.1.6. Análisis eficiencia

### 5.1.6.1. Análisis de varianza para eficiencia

La Tabla 18 muestra un análisis de varianza para eficiencia. Se encontró que los factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la eficiencia de remoción de turbidez de aguas superficiales con valor-P menor a 0,05. Donde el valor-P para los efectos del tratamiento (es 0), la concentración (es de 0,0123) y la velocidad (es de 0,0214).

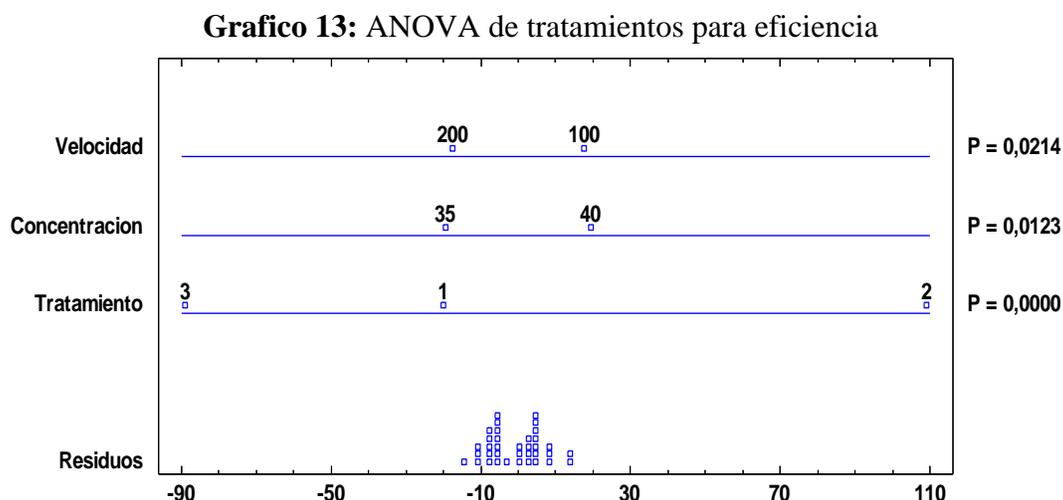
**Tabla 18:** Análisis de varianza de tratamientos para eficiencia

EFFECTOS PRINCIPALES	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Tratamiento	15662,9	2	7831,45	127,95	0,0000
B: Concentración	432,779	1	432,779	7,07	0,0123
C: Velocidad	359,482	1	359,482	5,87	0,0214
RESIDUOS	1897,45	31	61,208		
TOTAL (CORREGIDO)	18352,6	35			

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En el gráfico 13, se logra determinar que cada uno de los factores como tratamiento, concentración (mg/L) y velocidad (rpm) influyen directamente en la eficiencia de remoción de turbidez. Estos resultados son apoyados por la actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica*. Además se evidencia que en los diferentes tratamientos los mejores resultados se tienen a

revolución de 100rpm y con los coagulantes (1: polvo de semilla de tamarindo extraído en frío y 2: sulfato de aluminio).



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

#### 5.1.6.2. Prueba de múltiple rangos para eficiencia por tratamiento

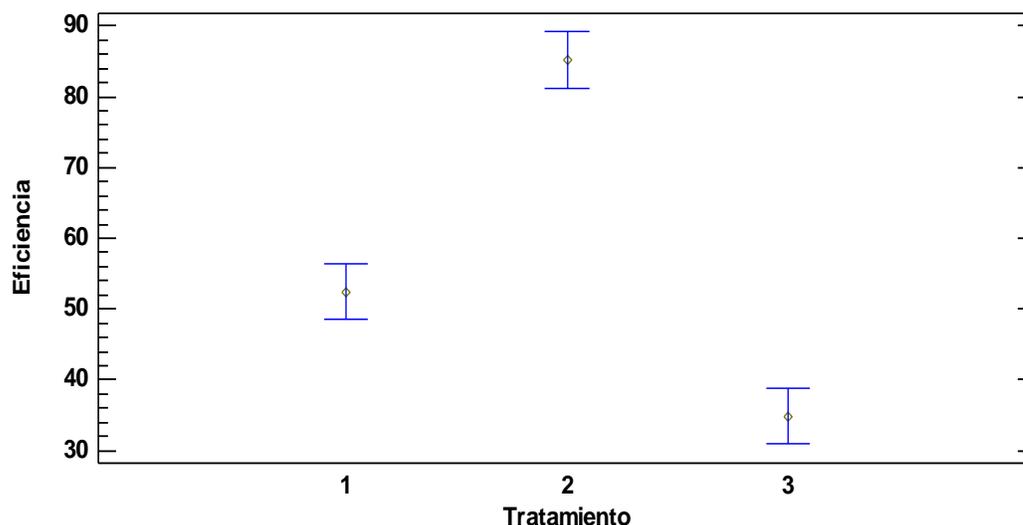
En la tabla 19 se logra determinar que el coagulante natural tiene efectos de remoción de turbiedad, donde (1: Tamarindo en frío, 2: Alumbre, 3: Tamarindo en caliente), pero el polvo de semilla en frío tiene mejor eficiencia que el obtenido en caliente, resultado que afirma lo dicho en la sección de actividad coagulante. También se establece la media LS para el coagulante de semilla de tamarindo en frío es 52,3933 y para la semilla adecuada en caliente es 34,8825; es decir, media en el tratamiento 1 es levemente mayor en un 18%. Además el coagulante primario químico (sulfato de aluminio) logra cumplir con las normas de calidad del agua para consumo humano en Colombia.

**Tabla 19:** Prueba de múltiple rangos para eficiencia por tratamiento

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	12	34,8825	2,25847	X
1	12	52,3933	2,25847	X
2	12	85,2058	2,25847	X

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En el siguiente gráfico 14 de medias se observa la diferencias significativas entre las eficiencias de remoción, donde (1: Tamarindo en frío, 2: Alumbre, 3: Tamarindo en caliente); el tratamiento en alumbre que alcanza remoción de 85%  $\pm 0,5$ , el tratamiento en caliente un 35%  $\pm 0,5$  y el tratamiento frío un 65%  $\pm 0,5$ .

**Grafico 14:** Medias y 95% de Tukey para eficiencia

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

A partir de estas pruebas se logró determinar que mejor el comportamiento de actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica* es el extraído en frío, a velocidad de 100 rpm y a concentración de 40mg/L. Por lo anterior, se obtiene bajo esas condiciones la mejor eficiencia de remoción de turbidez inicial a 177UNT entre  $65\% \pm 0,5$ . Siendo similar la velocidad de agitación a los resultados presentado por GURDIÁN LÓPEZ, y otros,(2011); MADHAVI y otros, (2013); HERNÁNDEZ, y otros, (2013).

### 5.2. Evaluación de la dosificación del polvo de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la remoción de la turbidez.

A continuación en la siguiente tabla 20 se describen los resultados en la remoción de turbidez en tres puntos del Canal del Dique donde [1: Calamar; 2: Gambote (Arjona); 3: Leticia (Cartagena de Indias)], También muestra los parámetros fisicoquímicos luego de aplicar el coagulante a partir de la semilla *Tamarindus indica*. Se desarrollaron 18 pruebas de jarras en total, a turbidez inicial (de 167UNT en el punto 1; de 209 UNT en el punto 2 y 310 en la ubicación 3). Las cantidades del coagulante fueron dosificadas a 35mg/L hasta los 40mg/L, se utilizó velocidad de agitación de 100rpm, óptima para mayor actividad. Donde el pH se hace ligeramente más básico

respecto al inicial. Así mismo la turbidez final tiene un promedio de 85,32UNT. Se logra interpretar que la turbidez levemente bajas se sitúan al utilizar una dosificación de 40mg/L.

**Tabla 20:** Propiedades finales de la evaluación del coagulante natural

TTO	FACTORES		VARIABLES DE RESPUESTAS			
	Ubicación	Concentración (mg/L)	Turbidez (NTU)	Color (UPC)	pH	Conductividad (μS/cm)
1	1	35	100,9	20	7,09	95,4
2	1	35	97,4	20	6,98	92,4
3	1	35	99,3	30	6,98	98,2
4	2	35	108,6	30	6,72	97,3
5	2	35	92,9	20	6,81	99,2
6	2	35	87,6	20	6,64	106,7
7	3	35	92,9	20	6,80	112,6
8	3	35	84,2	20	6,73	110,8
9	3	35	93	20	6,71	116,9
10	1	40	86,5	20	7,03	78,4
11	1	40	81,1	20	7,02	77,8
12	1	40	74,9	20	7,19	81,6
13	2	40	82,6	20	7,05	92,5
14	2	40	75,2	20	7,07	94,1
15	2	40	91,3	30	7,02	86,4
16	3	40	85,8	20	6,79	108,9
17	3	40	86,2	20	6,60	98,2
18	3	40	83,9	20	6,75	102,5

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

### 5.2.1. actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica* a turbidez inicial variable.

En la siguiente tabla 21 se evidencia la actividad coagulante de semilla de *Tamarindus indica* cuando las muestras de agua del Canal del dique varía la turbidez inicial entre 167UNT, 209UNT y 310UNT, corresponden respectivamente a los puntos de [1: Calamar; 2: Gambote (Arjona); 3: Leticia (Cartagena de Indias)], se registra que la actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica* depende de la turbidez inicial del agua y la dosis aplicada.

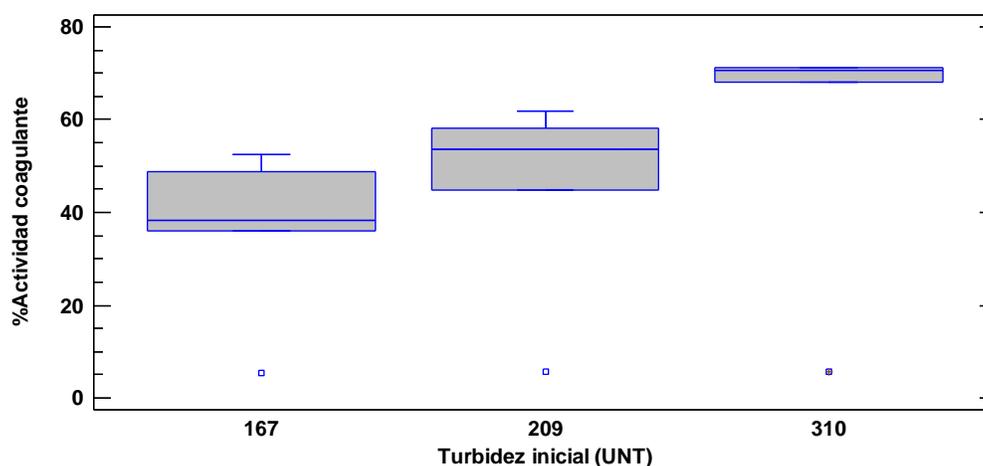
**Tabla 21:** Actividad coagulante de semilla de *Tamarindus indica* a partir de velocidad de agitación de 100rpm.

Turbidez inicial(UNT)	Dosis (mg/L)	Turbidez final (UNT)			%Actividad coagulante		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3
167	0	158	158	158	5,39	5,39	5,39
167	35	100,9	97,4	99,3	36,14	38,35	37,15
167	40	86,5	81,1	74,9	45,25	48,67	52,59
209	0	197	197	197	5,74	5,74	5,74
209	35	108,6	92,9	87,6	44,87	52,84	55,53
209	40	82,6	75,2	91,3	58,07	61,83	53,65
310	0	292	292	292	5,81	5,81	5,81
310	35	92,9	84,2	93	68,18	71,16	68,15
310	40	85,8	86,2	83,9	53,65	70,48	5,39

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

De acuerdo con el gráfico15, la actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica* depende de la turbidez inicial del agua cruda, es decir, cuanto mayor es la turbidez, mayor es la eficacia de eliminación. Para niveles de turbiedad de 167 NTU se obtuvo poca eliminación, de acuerdo con la baja actividad coagulante observada a 38%. Para el rango de turbidez de 209 NTU, la actividad coagulante es 54%, y finalmente, las mejores remociones de turbidez se lograron en agua con turbidez inicial de 310UNT para un %actividad coagulante de 70%.

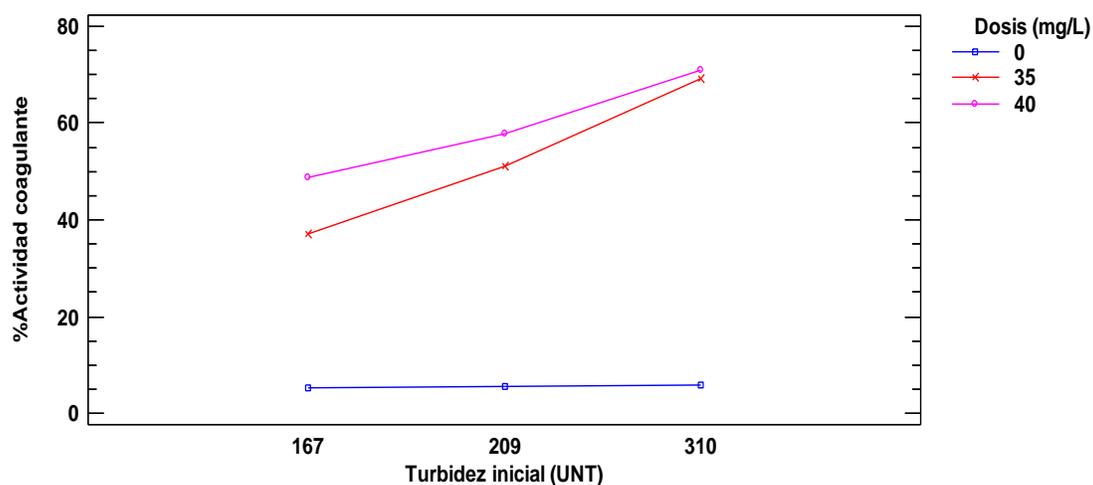
**Gráfico 15:** %Actividad coagulante de semilla de *Tamarindus indica* para muestras de agua del Canal del Dique.



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

A continuación se muestra un gráfico 16 de la actividad coagulante basada en la turbidez del agua bruta del Canal del Dique y las dosis aplicadas de semilla de *Tamarindus indica*. Donde la actividad coagulante depende de la dosis aplicada y, aumentó proporcionalmente de acuerdo con el aumento de la turbidez del agua cruda. Además se tiene mayor actividad a 310UNT (entre 65% a 70%).

**Gráfico 16:** Interacciones entre turbidez inicial, dosis y actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica*



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

## 5.2.2. Análisis para turbidez

### 5.2.2.1. Análisis de varianza para turbidez

La tabla 22 muestra un análisis de varianza para turbidez. Donde se encontró que la concentración del coagulante tiene un efecto estadísticamente significativo puesto que su valor-P es menor que 0,05. Además la turbidez inicial un efecto no significativo con un valor-P de 0,1197.

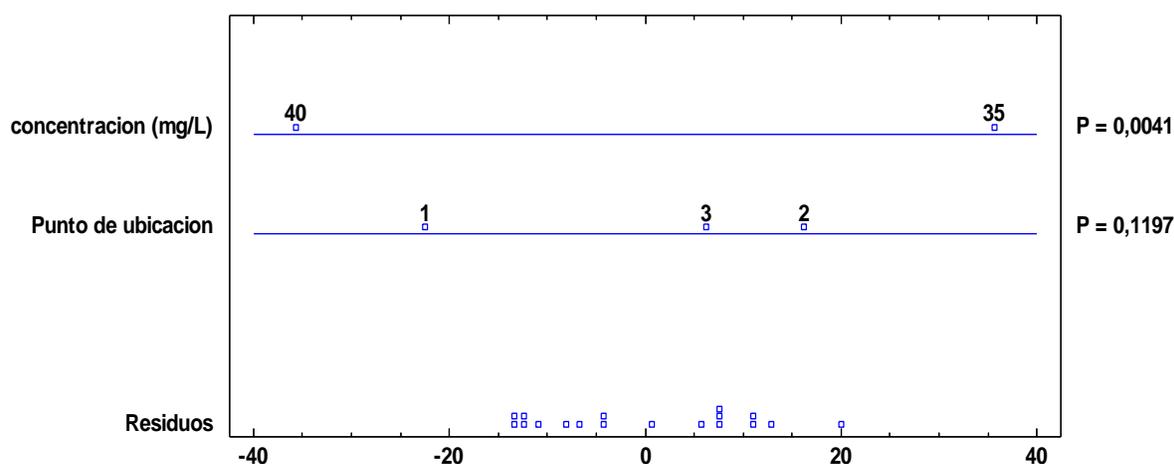
**Tabla 22:** Análisis de varianza para turbidez

EFFECTOS PRINCIPALES	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Punto de ubicación	691,871	2	345,936	2,48	0,1197
B:concentracion (mg/L)	1639,74	1	1639,74	11,75	0,0041
RESIDUOS	1953,04	14	139,503		
TOTAL (CORREGIDO)	4284,65	17			

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En la gráfica 17 se logra ver que la concentración de 40mg/L tiene una mejor remoción, de acuerdo a puntos de ubicación donde hay distintos niveles de turbidez inicial. Además se identifica que la dosificación es el factor más significativo para la remoción de la turbidez, de acuerdo con MADHAVI, y otros, (2013) la dosificación es proporcional a la remoción de turbidez. No obstante, se evidencia que la remoción de la turbidez inicial depende de la actividad coagulante, siendo el punto de ubicación no significativo en el análisis ANOVA.

**Gráfico 17:** ANOVA para turbidez



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

### 5.2.2.2. Pruebas de múltiple rangos para turbidez

En la tabla 23 de prueba de múltiples rangos para turbidez no hay grupos homogéneos. Evidenciando las diferencias significativas entre las concentraciones aplicadas en los diferentes puntos. Donde se logró media LS de turbidez final de 75,7778UNT para concentración de 40 mg/L.

**Tabla 23:** Prueba de múltiple rangos de turbidez

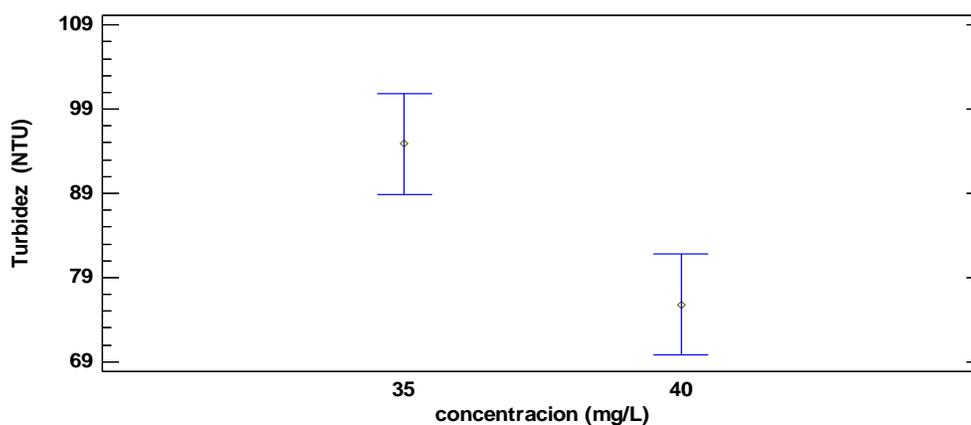
concentración (mg/L)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
40	9	75,7778	3,93705	x
35	9	94,8667	3,93705	x

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En el siguiente gráfico 18 se logra observar que tiene mayor remoción en la concentración de 40 mg/L del polvo de semilla de *Tamarindus indica*, logrando turbidez final (entre 69UNT y

79UNT). Este resultado afirma lo dicho en la sección de actividad coagulante de la semilla *Tamarindus indica* a turbidez inicial variable, que la remoción de turbidez depende de la dosificación.

**Gráfico 18:** Medias y 95% de Tukey para turbidez



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

### 5.2.3. Análisis para color

#### 5.2.3.1. Análisis de varianza para color

En la tabla 24 del análisis de varianza para color nos permite mostrar que no existen diferencias estadísticamente significativas del color respecto a los factores en el punto de ubicación y la concentración, debido a que sus valores de valor-p son mayores a 0,05; siendo los siguientes valor- P 0,3584 y 0,5536 respectivamente.

**Tabla 24:** Análisis de varianza para color

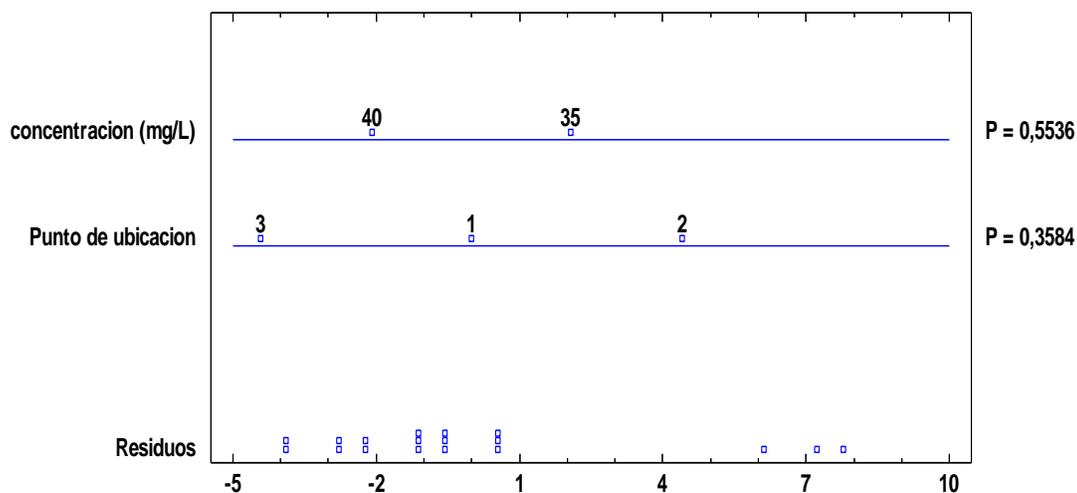
EFEKTOS PRINCIPALES	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Punto de ubicación	33,3333	2	16,6667	1,11	0,3584
B:concentracion (mg/L)	5,55556	1	5,55556	0,37	0,5536
RESIDUOS	211,111	14	15,0794		
TOTAL (CORREGIDO)	250,0	17			

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En el gráfico 19 de ANOVA para color, se observa que se logró mejorar el color donde [1: Calamar; 2: Gambote (Arjona); 3: Leticia (Cartagena de Indias)], es decir en el 3 donde la turbidez inicial es mayor. Pero los efectos aplicados para la remoción del color no son estadísticamente significativos debido a que estos cuentan con valor-p mayor a 0,05. En los

residuos se logra comprobar que los datos han violado los supuestos subyacentes del análisis de varianza.

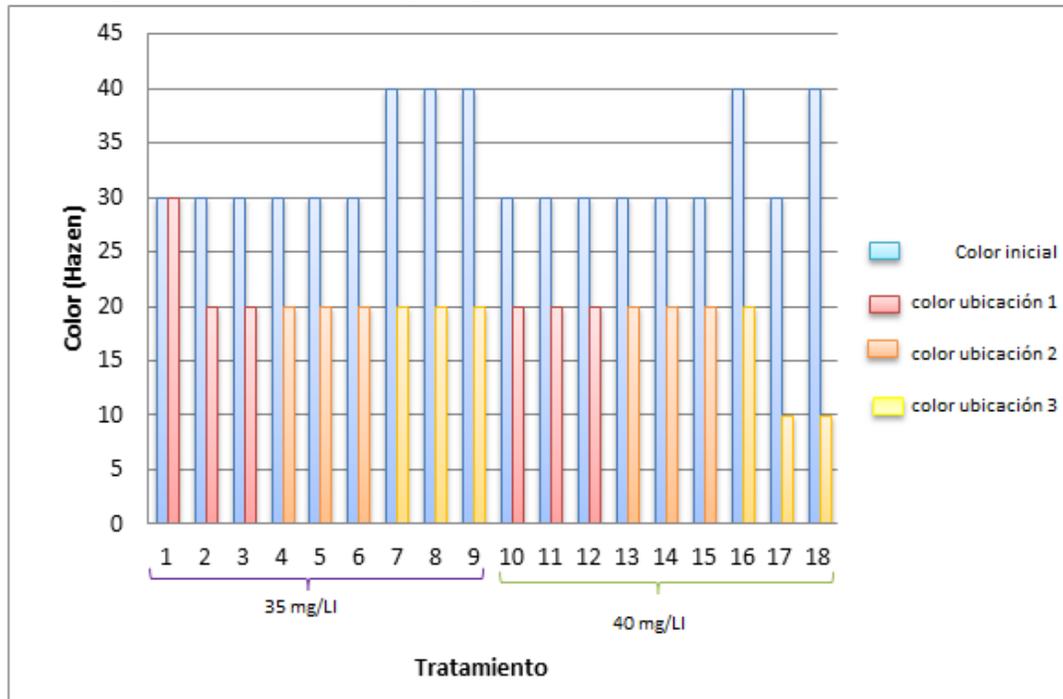
**Grafico 19:** ANOVA para color



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En la siguiente figura 7 de comparación del color final con el inicial y de acuerdo a la dosificación, se logra evidenciar que si hubo una remoción de color. De acuerdo a los puntos de toma de muestra el color inicial era altamente alto donde [1: Calamar; 2: Gambote (Arjona); 3: Leticia (Cartagena de Indias)], siendo los del punto 3 los que inicialmente tenían turbidez inicial alta siendo este parámetro directamente proporcional a color inicial. Se logró reducir en promedio un 60% el color respecto al inicial; solo en los tratamientos 16 y 17 a concentración de 40mg/L y a turbidez inicial de 310UNT se cumple con los estándares de calidad del agua para consumo humano de acuerdo a la Resolución 2115 de Ministerio de Medio Ambiente de 2007. En otros estudios con coagulantes naturales reportan resultados diferentes del agua cruda de ríos, donde CAMPOS, y otros, (2003) con moringa informan eficiencia del 70% y; CONTRERAS, y otros, (2015) con nopal reportaron eficiencia del 80%.

**Figura 7:** Comparación de color del agua aplicando la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*)



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

#### 5.2.4. Análisis para pH

##### 5.2.4.1. Análisis de varianza para pH

La tabla 25 descompone la variabilidad de pH en contribuciones debida a los efectos de turbidez inicial de acuerdo al punto de ubicación y la concentración del coagulante de semilla de *Tamarindus indica*, debido a que tienen valor-P de (0,0007 y 0,0390) respectivamente, es decir, esos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre pH siendo los valor-P menor a 0,05 con un 95,0% de nivel de confianza.

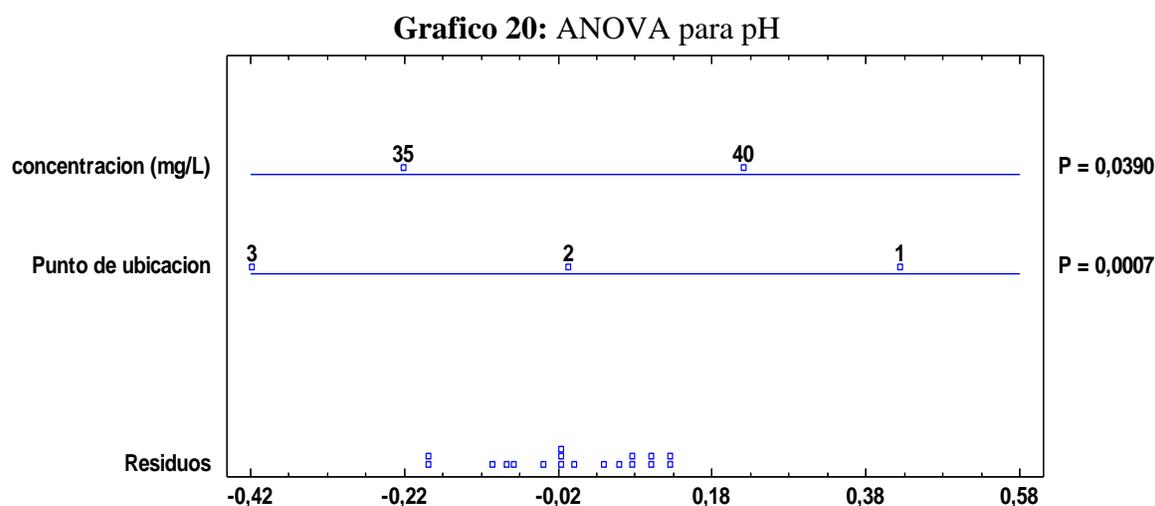
**Tabla 25:** Análisis de varianza para pH

EFECTOS PRINCIPALES	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Punto de ubicación	0,304078	2	0,152039	12,62	0,0007
B:concentracion (mg/L)	0,0624222	1	0,0624222	5,18	0,0390
RESIDUOS	0,168611	14	0,0120437		
TOTAL (CORREGIDO)	0,535111	17			

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En el siguiente gráfico 20 de análisis ANOVA de pH, muestra que este parámetro se ve afectado por la concentración y la turbidez inicial que tienen las muestras de cada punto de ubicación

donde corresponde (1: Calamar, Bolívar; 2: Gambote, Bolívar; 3: Leticia, Cartagena de Indias, Bolívar); en los resultados obtenidos por MADHAVI, y otros, (2013), ellos afirmaron que a pH ácidos hay mejor remoción de turbidez. Siendo diferente a lo encontrado en este estudio debido a que la actividad del coagulante fue alta en el punto 3, donde el pH inicial era de 6,91 y en el punto 2 que se encontró un pH inicial levemente ácido 6,86 la actividad coagulante menor respecto al punto.



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

#### 5.2.4.2. Pruebas de múltiple rangos para pH

En la tabla 26 de prueba de Tukey se establece que existen diferencias significativas entre los dos grupos homogéneos, donde el pH de acuerdo a la ubicación no varía con el coagulante natural. Pero si se afecta por la dosificación puesto que este se hace levemente básico a una proporción de 40mg/L, cumpliendo con lo establecido en la norma técnica colombiana. Cabe resaltar que el pH de aguas tratadas con coagulantes naturales no varía de acuerdo a GAVIS & ORTEGA, (2011).

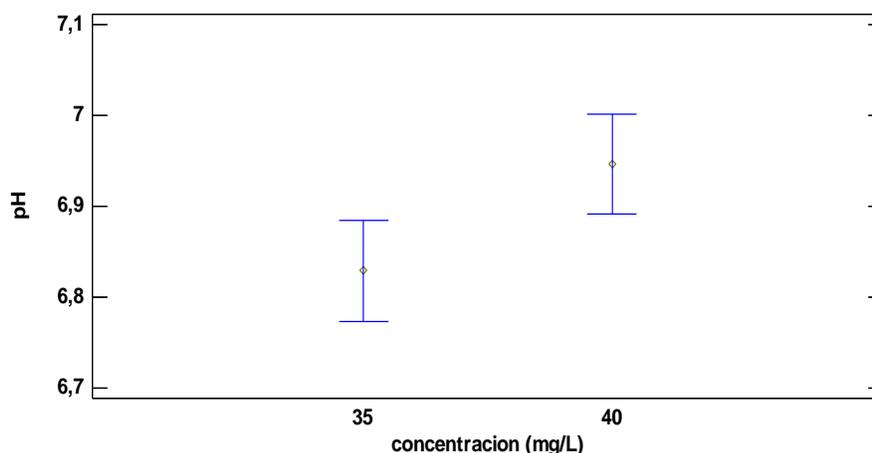
**Tabla 26:** Prueba de múltiple rangos para pH

<i>concentración (mg/L)</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
35	9	6,82889	0,0365812	X
40	9	6,94667	0,0365812	X

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En la tabla 27 de medias para pH se logra percibir un ligero aumento en tendencia básica de un 5% respectó al inicial. Además se alcanza para concentración de 40mg/L un pH oscilante (de 6,9 a 7 unidades de pH); nos indica que el coagulante de semilla de *Tamarindus Indica* no genera cambios buscos en el pH.

**Tabla27:** Medias y 95% de Tukey para pH



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

## 5.2.5. Análisis para conductividad

### 5.2.5.1. Análisis de Varianza para Conductividad

La siguiente tabla 28 descompone la variabilidad de conductividad en contribuciones debidas a los dos factores que son turbidez en el punto de ubicación y concentración de coagulante de semilla de *Tamarindus Indica*. Puesto que los valores-P para los dos efectos son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la conductividad final del agua cruda del Canal del Dique.

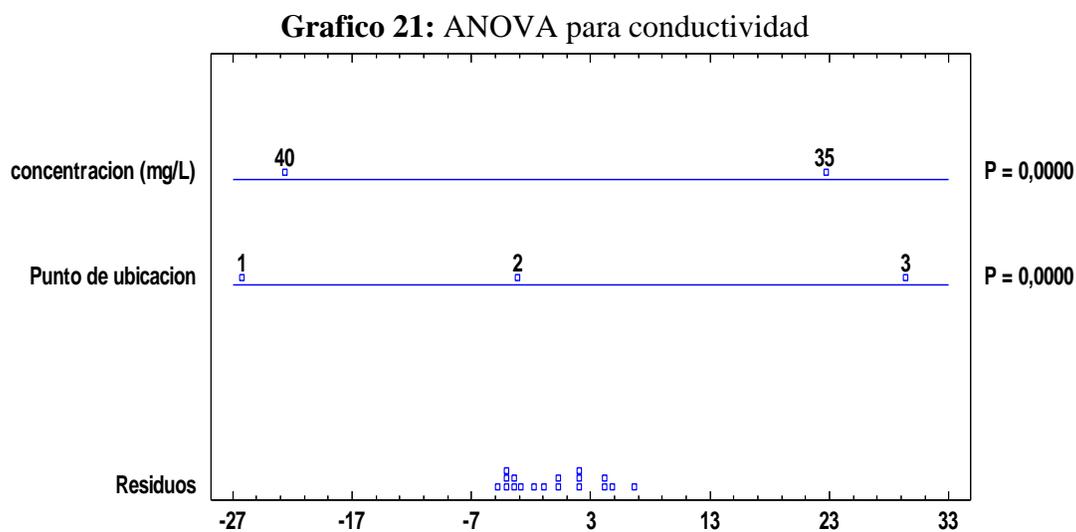
**Tabla 28:** Análisis de varianza para conductividad

EFEKTOS PRINCIPALES	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Punto de ubicación	1337,7	2	668,852	42,51	0,0000
B:concentracion (mg/L)	661,267	1	661,267	42,03	0,0000
RESIDUOS	220,254	14	15,7325		
TOTAL (CORREGIDO)	2219,22	17			

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En el gráfico 17 de varianza para conductividad se logra evidenciar que el factor concentración y ubicación de toma de muestra del agua cruda en el canal del Dique donde corresponde [1:

Calamar; 2: Gambote (Arjona); 3: Leticia (Cartagena de Indias)]; estos dos efectos sobre la conductividad provocaron una disminución en el parámetro de conductividad final. Donde disminuye en un 10% de acuerdo a la ubicación respectiva; siendo un efecto del coagúlate de semilla de *Tamarindus indica*, esta reacción se deberá a que este es un coagulante natural el cual puede tener propiedades capaz de coagular algunos metales presentes en el agua tratada.



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

### 5.2.5.2. Pruebas de Múltiple Rangos para Conductividad

En la prueba de Tukey se confirió menor conductividad, significa que el coagulante natural incide directamente en el aumento de esta variable. No obstante los grupos no son homogéneos de acuerdo a la dosificación. Además se estipulan media LS a concentración de 40mg/L de 91,1556 $\mu$ S/cm esto nos indica una baja carga contaminante en las muestras de agua tratada.

**Tabla 29:** Prueba de múltiple rangos

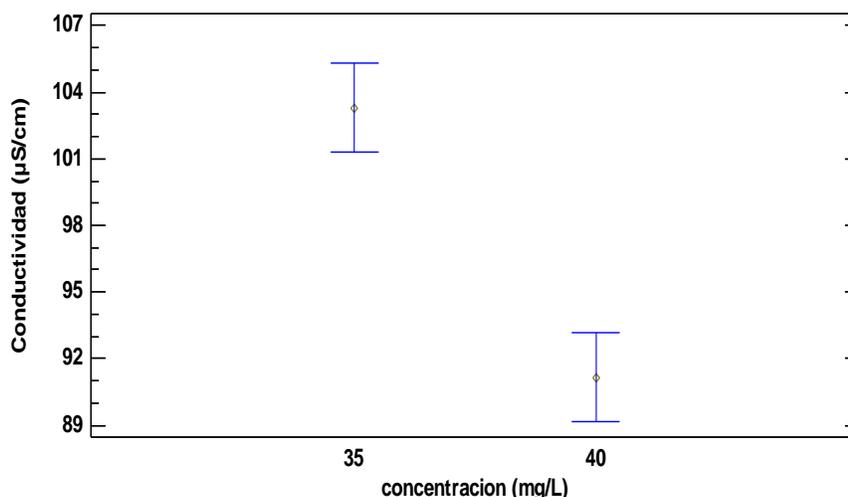
concentración (mg/L)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
40	9	91,1556	1,32214	X
35	9	103,278	1,32214	X

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

El grafico 22 de Medias y 95% de Tukey para conductividad respecto a la concentración aplicada de semilla de *Tamarindus indica*, establece las mejores disminuciones del parámetro de

conductividad a concentraciones de 40 mg/L. logrando conductividades a dicha dosificación entre  $89\mu\text{S}/\text{cm}$  y  $92\mu\text{S}/\text{cm}$ . Siendo un 10% menor a la conductividad inicial.

**Grafico 22:** Medias y 95% de Tukey para conductividad



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

## 5.2.6. Análisis eficiencia

### 5.2.6.1. Análisis de Varianza para Eficiencia

La tabla 30 proporciona el análisis de varianza para eficiencia. Se encontró que los factores estudiados tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la eficiencia de remoción de turbidez en aguas superficiales crudas del Canal del Dique con valor-P menor a 0,05. Y de acuerdo a la actividad coagulante de semilla de *Tamarindus indica* la eficiencia de remoción de turbidez está relacionada a la actividad coagulante.

**Tabla 30:** Análisis de varianza para eficiencia

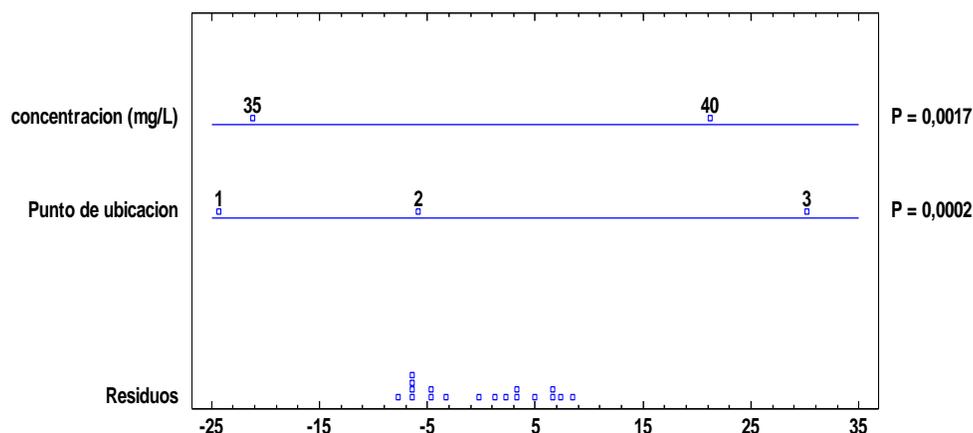
EFFECTOS PRINCIPALES	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Punto de ubicación	1315,38	2	657,691	17,05	0,0002
B:concentracion (mg/L)	577,207	1	577,207	14,97	0,0017
RESIDUOS	539,915	14	38,5653		
TOTAL (CORREGIDO)	2432,5	17			

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En el siguiente gráfico 19 se evidencia que a una concentración de 40mg/L y en los puntos de muestra de agua [1: Calamar; 2: Gambote (Arjona); 3: Leticia (Cartagena de Indias)], se evidencia que en el punto 3, hay una mejor eficiencia en la remoción de turbidez. Este comportamiento se explica porque en las condiciones que se realizaron estas pruebas, a turbiedad

alta propició un aumento en la actividad coagulante, en la mayoría de los casos, tal como lo señala GURDIÁN LÓPEZ, y otros, (2011) que a mayor turbidez el coágulo de las semillas *Tamarindus indica* su eficiencia de remoción será mayor.

**Grafico 23:** ANOVA para eficiencia de remoción a turbidez inicial variables



**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

### 5.2.6.2. Pruebas de Múltiple Rangos para Eficiencia

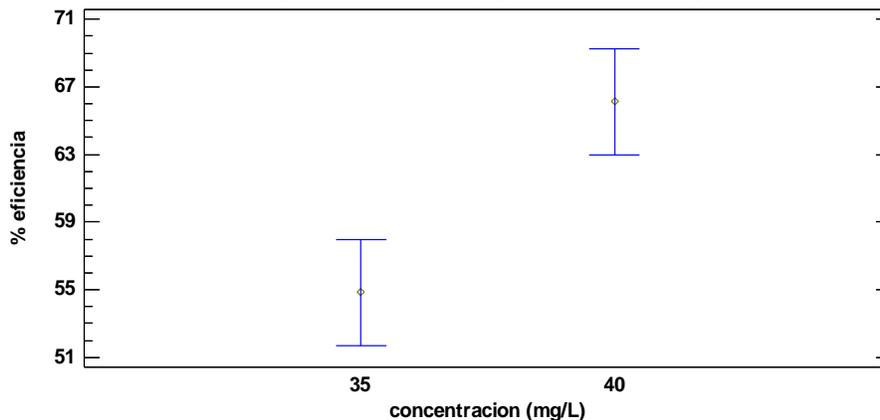
Los resultados de la prueba de tukey para eficiencia de remoción de turbidez se muestran en la tabla 31. Donde no hay grupos homogéneos y se tienen media LS a concentración de 35mg/L de 54,8256% y a 40 mg/L 66,1511% de eficiencia media aparente de según la dosificación a diferentes turbidez iniciales.

**Tabla 31:** Prueba de múltiple rangos

concentración (mg/L)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
35	9	54,8256	2,07003	×
40	9	66,1511	2,07003	×

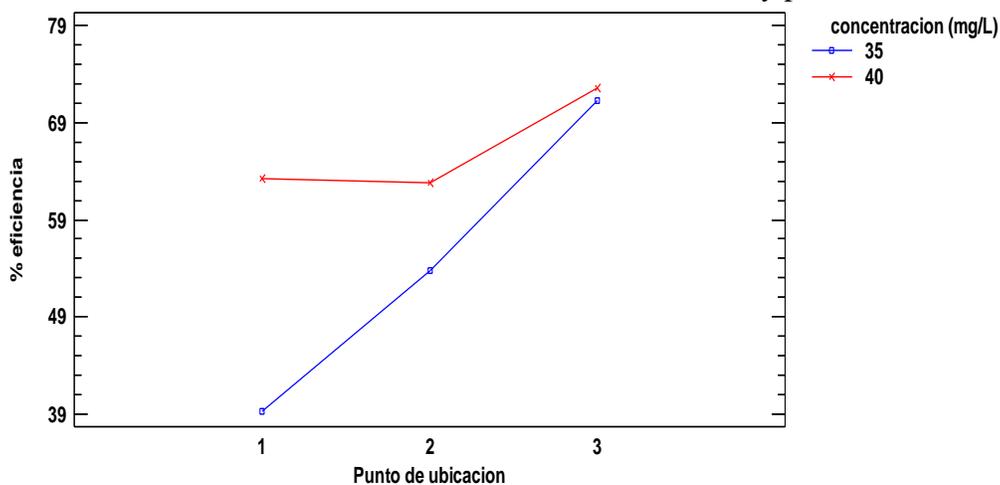
**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

La gráfica 20. Se observa que los factores de ubicación y concentración de coagulante tienen un efecto significativo en la eficiencia del coagulante. Donde a una dosificación de 40mg/L y de acuerdo a los puntos de toma de muestras [1: Calamar; 2: Gambote (Arjona); 3: Leticia (Cartagena de Indias)], en el punto 3 se logró una eficiencia hasta de 74,26%. Sin embargo la actividad coagulante de semilla de tamarindo en este punto alcanzo un 70%. Es decir, que la eficiencia real es 70%.

**Grafico 24:** Medias y 95% de Tukey para eficiencia por dosificación

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

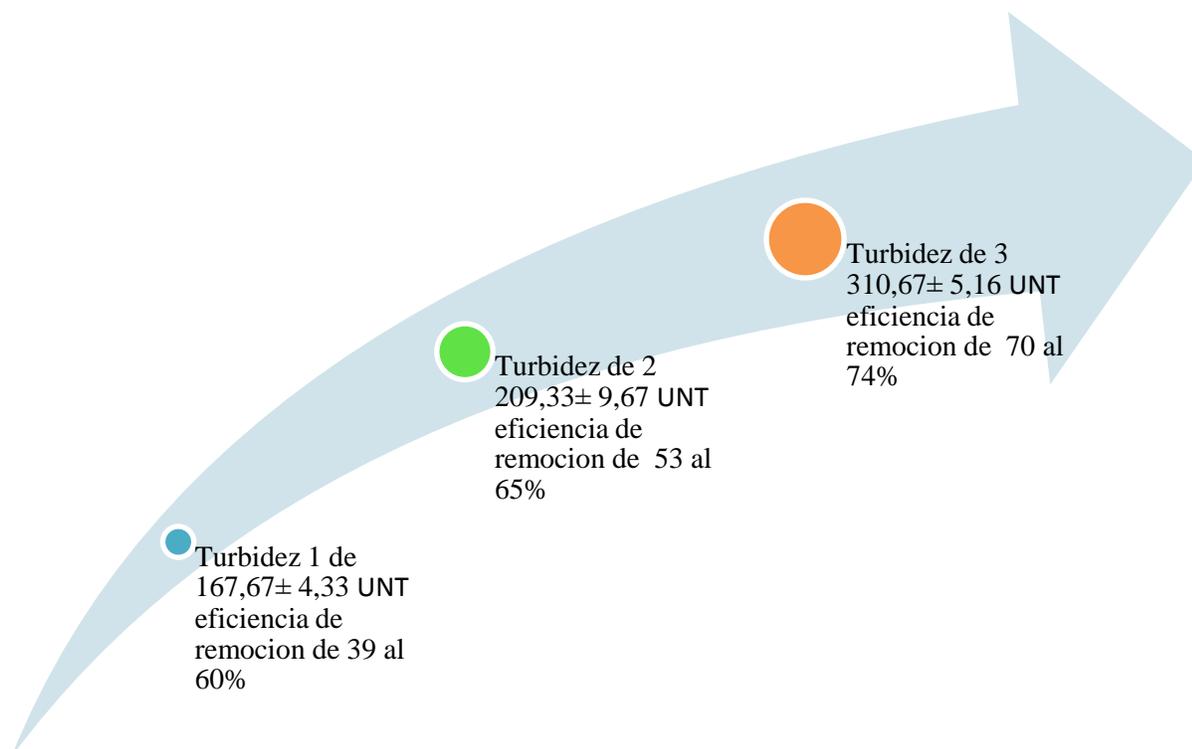
En el grafico 25 de interacciones se evidencia que a mayor turbidez inicial se logra una mayor remoción. Donde se observa que el porcentaje removido de turbidez tendió a aumentar de 40% a 64% en el punto 1, donde [1: Calamar; 2: Gambote (Arjona); 3: Leticia (Cartagena de Indias)], al incrementar la concentración de 35 a 40 mg/L del coagulante en polvo de la semilla de tamarindo. Por otro lado, para el agua potable, los resultados son satisfactorios, ya que, la etapa de coagulación solo es una de las utilizadas en el tratamiento del agua cruda y estos parámetros se pueden alcanzar con un proceso de filtración ascendente.

**Grafico 25:** Interacciones entre la eficiencia, concentración y punto de ubicación

**Fuente:** Autor. Cálculo de estudios

En la figura 8 se observa el comportamiento de la eficiencia de acuerdo a la turbidez inicial obtenida en la toma de muestras del canal del dique en las altura de los municipios de [1: Calamar; 2: Gambote (Arjona); 3: Leticia (Cartagena de Indias)]. Se logra evidenciar que a mayor turbidez inicial el porcentaje de remoción será mayor, en este se logró obtener una eficiencia de 74% a partir de una turbidez de  $310,67 \pm 5,16$  UNT para una concentración de  $40\text{mg/L}$ ; confirmando lo dicho por GURDIÁN LÓPEZ, y otros, (2011) en su estudio del coagulante natural a partir del polvo de semillas de tamarindo. Se recomienda mezclar sulfato de aluminio y este polvo, además tratamientos de filtración después de la coagulación. Cabe recordar que el polvo de semilla de tamarindo es producto natural se percibe como un coagulante económico y con el cual se puede alcanzar buena remoción de turbidez. Generando así un producto que beneficie principalmente a aquellas comunidades, las cuales no tienen agua en condiciones para consumo humano.

**Figura 8:** Comportamiento de la eficiencia de acuerdo a la turbidez inicial



**Fuente:** Autor. Calculo de estudios

## 6. CONCLUSIONES

- La actividad coagulante de la semilla de *Tamarindus indica* se tiene mejores resultados con el método de adecuación en frío, alcanzando entre 39% y 54% de actividad coagulante.
- Se encontró un alto porcentaje de eficiencia de remoción oscilante entre 40% y 74% de efectividad del coagulante natural de semilla de *Tamarindus indica* para la remoción de turbidez. Resaltando que el coagulante extraído de la semilla por el procedimiento en frío alcanza una remoción de turbidez mayor al extraído en caliente.
- Se estableció que las semillas del *Tamarindus indica* tiene mayor actividad de coagulante y eficiencia de remoción al aplicar una velocidad de agitación de 100rpm.
- Los resultados mostraron que el coagulante natural de semilla de tamarindo extraído en frío alcanza mayor actividad coagulante a mayor turbidez inicial del agua superficial del canal del dique. Se logró actividad del coagulante semilla de *Tamarindus indica* de 70% y eficiencias de remoción entre 71-74%, para concentración de coagulante de 40mg/L y a turbidez inicial de  $310,67 \pm 5,16$  UNT.
- El coagulante de las semillas de tamarindo no alteró el pH neutro del agua, resultado que se encuentran dentro de los límites permisibles en las normas Colombianas.

## 7. RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones con el coagulante natural extraído de la semilla de tamarindo en combinación con el coagulante primario sulfato de aluminio en el proceso de coagulación.
- Evaluar el proceso de clarificación (coagulación, floculación y filtración) con la semilla de tamarindo en la remoción de aguas residuales de agroindustrias altamente turbulentas.
- Efectuar investigación del polvo de semilla de tamarindo para remover partículas metálicas presentes en el agua, ya que de acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación proporciona disminución de la conductividad.

## 8. BIBLIOGRAFIA

1. CAMPOS, J., G. COLINA; FERNÁNDEZ, N., TORRES, B., SULBARÁN, & OJEDA, G. . (2003). *Caracterización de agentes coagulante activo de semillas de moringa oleifera mediante HPLC*. (Vols. 31, 1). Maracaibo, Venezuela: Universidad de Zulia, Boletín del Centro de Investigaciones.
2. CASTILLO, C. (2013). Canal del Dique, tema del Segundo Foro Mundial del Medio Ambiente. <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/canal-del-dique-tema-del-segundo-foro-mundial-del-medio-articulo-444447>(Medioambienta). Cartagena.
3. CHUN, Y. (Septiembre de 2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45(9), 1437-1444.
4. COGOLLO, F. J. (2011). CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO. *DYNA*, 78(165), 18-27.
5. CONTRERAS, K. P., AGUAS M., Y., SALCEDO M., J., VERBEL, R., & MENDOZA, G. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *10*(1), 40-50.
6. Decreto 1575 del Ministerio de la Protección Social. (2007). *NORMAS OFICIALES PARA LA CALIDAD DEL AGUA COLOMBIA. Título C del RAS-2000 Decreto 1575 de 2007*.
7. FERIA, J., BERMÚDEZ, S., & ESTRADA, A. (2014). *Eficiencia de la semilla de Moringa Oleifera como coagulante natural para la remoción de turbidez del Río Sinú* (Vols. 9-22). Produccion + Limpia.
8. FERIA, J., TAVERA, M., & PERNA, O. (2018). Extraction and Efficiency of Chitosan from Shrimp Exoskeletons as Coagulant for Lentic Water Bodies. (International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 13, Number 2 pp. 1060-1067 ).
9. GARCÍA, B. (2007). *Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial y aplicación en países en vía de desarrollo*. Recuperado el noviembre de 2017, de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12458/Tesis%20de%20Master\\_BEATRIZ%20GARCIA%20FAYOS.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12458/Tesis%20de%20Master_BEATRIZ%20GARCIA%20FAYOS.pdf?sequence=1)

10. GAVIS, R., & ORTEGA, C. y. (2011). *Coagulantes naturales de origen vegetal*. Universidad del Tolima - Facultad de Ciencias Básicas.
11. GAVIS, R., ORTEGA, C., & RONDON, Y. (2011). *Coagulantes naturales de origen vegetal*. Universidad del Tolima - Facultad de Ciencias Básicas.
12. GHAFARI, S. A. (2008). Application of response surface methodology (RSM) to optimize coagulation-flocculation treatment of leachate using poly-aluminum chloride (PAC) and alum. . *163*, 650-653.
13. GNANDI, K., TCHANGBEDJI, G., KILI, K., BABA, G., & SALIM, O. (2005). *Processing of phosphate mine tailings by coagulation flocculation to reduce marine pollution in Togo: laboratory tests, Mine Water and the Environment* (Vols. 24, 215-221).
14. GURDIÁN LÓPEZ, R., & COTO CAMPOS, J. M. (2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *24*(2), 18-26.
15. GURDIÁN, R., COTO, J., & SALGADO, V. (2009). *Coagulantes naturales y tradicionales para depuración aguas residuales*. Heredia, Costa Rica: Académica Española.
16. GUZMÁN, L., TARÓN, A., NÚÑEZ, A., & HERNÁNDEZ, B. (2007). *Utilización del polvo de semilla de cañafístula (cassia fistula) como agente coagulante natural en el tratamiento de agua potable [tesis]*. Cartagena: Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería.
17. HERNÁNDEZ, B., MENDOZA, I., SALAMANCA, M., FUENTES, L., & CALDERAS, Y. (2013). Semillas de tamarindo (*tamarindus indica*) como coagulante en aguas con alta turbiedad. *REDIELUZ*, 3(1 y 2), 91-92.
18. INVEMAR . (2006). *Índice de Calidad de Agua (ICA) del Canal del Dique*. Santa Marta, Colombia: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés.
19. MADHAVI, T., & RAJKUMAR, R. (2013). Utilisation of natural coagulant for reduction of turbidity from waste water. *International journal of chemtech research*, 5(3), 1119-1123.
20. MARTÍNEZ, D. (2003). Eficiencia del cactus lefaria para uso como coagulante en la clarificación de aguas. ([http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0254-](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-)).
21. MATHEWS, C. K., & VAN HOLDE, K. A. (2003). *Bioquímica* (Vol. 3). España: Addison Wesley.

22. MILLER, S. (2008). Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia* ssp. as a natural coagulant for potential application in water treatment. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es7025054?journalCode=esthag>, 4274-4279.
23. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. (1979). Comparative nutritional evaluation of little known legumes, *Tamarindus indica*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, <http://www.redalyc.org/html/939/93940302/>.
24. OMS. (2012). *Guías de la OMS para la calidad del agua potable* (3 ed., Vol. 1). Organización Mundial de la Salud.
25. PATELI, H., & VASHI, R. T. (2012). Removal of Congo Red dye from its aqueous solution using natural coagulants. *16*(131-136).
26. PÉREZ, F. J., & URREA M., M. A. (2011). *Abastecimiento de aguas, Tema 4: Características fisicoquímicas del agua*. Universidad Politécnica de Cartagena.
27. PRASCA, L., & VERGARA, J. (2017). *Valoración de la eficiencia de las semillas del Árbol *Cassia Fistula* en la remoción de turbidez en agua cruda (Tesis de pregrado)*. Sincelejo, Colombia: Universidad de Sucre.
28. QUINTANA, R. (2000). *Cómo tratar el agua*. Documento técnico. Coca Cola de Colombia, Bogotá D.C.
29. RODRÍGUEZ, J., LUGO, I., ROJAS, A., & MALAVER, C. (2007). *Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora*. Umbral Científico.
30. SCIBAN, M., KLASNJA, M., & ANTOV, M. &. (2009). Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology*, *100* (24)(6639-6643.), Vol 100 No 24 P. 6639-6643.
31. VÁZQUEZ, Y. C., BATHIS, M. I., ALCOCER SILVA, M. G., & DIRZO, S. (1999). *Arboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y reforestación*. Instituto de Ecología, UNAM, . , . México: Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO.
32. YIN, C. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, *45*, 1437-1444.