

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA
DE LOS RECURSOS NATURALES

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniera en
Biotecnología de los Recursos Naturales*

TRABAJO EXPERIMENTAL:

**“EVALUACIÓN DE SEMILLAS DE TAMARINDO (*Tamarindus indica*) COMO
COAGULANTE PARA DISMINUIR LA CARGA CONTAMINANTE EN EL
TRATAMIENTO DE AGUAS, EN RELACIÓN A UN COAGULANTE COMERCIAL”**

AUTORA:

LIZET IVETH RAMÍREZ RAMÍREZ

TUTOR:

PABLO WILSON ARÉVALO MOSCOSO, PhD.

CUENCA – ECUADOR

2019

CESIÓN DERECHOS DE AUTOR

Yo, Lizet Iveth Ramírez Ramírez, con documento de identificación N° 1718547464, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana, la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajado de titulación: **“EVALUACIÓN DE SEMILLAS DE TAMARINDO (*Tamarindus indica*) COMO COAGULANTE PARA DISMINUIR LA CARGA CONTAMINANTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS, EN RELACIÓN A UN COAGULANTE COMERCIAL”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, septiembre de 2019



Lizet Iveth Ramírez Ramírez

C.I. 1718547464

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DE SEMILLAS DE TAMARINDO (*Tamarindus indica*) COMO COAGULANTE PARA DISMINUIR LA CARGA CONTAMINANTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS, EN RELACIÓN A UN COAGULANTE COMERCIAL”**, realizado por Lizet Iveth Ramírez Ramírez, obteniendo el *Trabajo Experimental* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, septiembre de 2019



Pablo Wilson Arévalo Moscoso, PhD.
C.I. 0102156957

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Lizet Iveth Ramírez Ramírez con documento de identificación N° 1718547464, autora del trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DE SEMILLAS DE TAMARINDO (*Tamarindus indica*) COMO COAGULANTE PARA DISMINUIR LA CARGA CONTAMINANTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS, EN RELACIÓN A UN COAGULANTE COMERCIAL”**, certifico que el total contenido del *Trabajo Experimental* es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, septiembre de 2019



Lizet Iveth Ramírez Ramírez

C.I. 1718547464

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme salud y bendición e iluminarme en el camino para cumplir una de mis metas

A mis padres por ser mi fuerza y por darme el valor y amor incondicional para llegar a cumplir mis sueños

A hermana por siempre estar conmigo, ayudándome, guiándome y brindarme todo su apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por iluminarme en todo el camino

A mi familia por aconsejarme para tomar buenas decisiones

A mi padre por siempre apoyarme y estar junto a mí en cada etapa de mi vida.

A mi madre por siempre guiarme y ayudarme en distintas actividades en el transcurso de mi
carrera

A mi hermana Salomé por guiarme y ser un apoyo durante el transcurso de la universidad dentro
y fuera de la misma.

A mi tutor de tesis, Pablo Arévalo PhD, por brindarme sus conocimientos y ser un guía, asesor
en la realización de este trabajo de investigación.

A mis docentes Dra. Inés Malo, Dra. Myriam Mancheno, Ing. Hernán Avilés por compartir sus
conocimientos a lo largo de mi carrera universitaria.

A mis amigas Karen y Anahí por brindarme su apoyo en los buenos y malos momentos y
siempre estar presente cuando las necesitaba

A mis amigos con los cuales superamos dificultades durante el transcurso de la carrera, viviendo
alegrías y tristezas, pero juntos apoyándonos para concluir nuestros estudios.

ÍNDICE

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
ÍNDICE.....	VII
ÍNDICE DE GRÁFICAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XIV
RESUMEN	XV
SUMMARY	XVI
CAPITULO 1	1
1.1 Introducción	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	2
1.3 Formulación del problema o pregunta de investigación	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Limitaciones.....	4
1.6 Objetivos	5
1.6.1 Objetivo General.....	5
1.6.2 Objetivos específicos	5
1.7 Hipótesis.....	5

CAPÍTULO 2.....	6
2.1 Estado del arte	6
2.2 Bases Teóricas.....	7
2.2.1 Tamarindo (<i>Tamarindus indica</i> L.)	7
2.2.2 Producción de Tamarindo en el Ecuador.....	10
2.2.3 Agua.....	11
2.2.4 Proceso coagulación-floculación	12
2.2.5 Coagulante natural	13
2.2.6 Coagulantes más utilizados	13
2.2.7 Sulfato de aluminio.....	14
2.2.8 Factores que influyen en la coagulación.....	14
2.2.8.1 pH	15
2.2.9 Partículas coloidales	16
2.2.10 Espectrometría infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)	16
2.2.11 Prueba de Jarras	16
2.2.12 Potencial Z.....	17
CAPITULO 3.....	18
METODOLOGÍA	18
3.1 Nivel de la Investigación.....	18
3.2 Diseño de Investigación	18

3.4 Variables.....	18
3.5 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	19
3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos	20
3.7 Procedimiento.....	20
3.7.1 Toma de muestra vegetal.....	20
3.8 Acondicionar las semillas de tamarindo para obtener el coagulante natural	20
3.8.1 Despulpado	21
3.8.2 Secado.....	21
3.8.3 Molienda.....	22
3.8.4 Tamizado	22
3.8.5 Maceración	22
3.9 Caracterización del coagulante obtenido de la semilla de tamarindo	23
3.10 Potencial Zeta.....	24
3.11 Evaluación de las características del agua a utilizar	24
3.12 Turbidez	25
3.13 Evaluación de las semillas de tamarindo.....	26
3.14 Efectividad del coagulante obtenido de semillas de tamarindo <i>Tamarindus indica</i> para diferentes niveles de turbidez.....	26
CAPITULO 4.....	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27

4.1 Caracterización de la semilla de tamarindo (<i>Tamarindus indica</i>).....	27
4.2 Caracterización de la solución acuosa de coagulante de semilla de tamarindo (<i>Tamarindus indica</i>).....	29
4.3 Potencial Zeta.....	30
4.4 Estabilidad del agua sintética	31
4.5 Determinación del porcentaje de remoción de la turbidez en función al incremento de la concentración de la solución acuosa obtenida de semillas de tamarindo <i>Tamarindus indica</i> - coagulante-.....	32
4.6 Determinación del efecto que ocasiona el valor del pH.....	36
4.7 Comparación de Sulfato de Aluminio y coagulante obtenido de semillas de tamarindo....	38
CAPITULO 5.....	42
CONCLUSIONES	42
RECOMENDACIONES.....	43
BIBLIOGRAFÍA	44
ANEXOS	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Tamarindo (<i>Tamarindus indica</i> L.).	8
Fig. 2 Selección del tamarindo como materia prima.	20
Fig. 3 Cocción del tamarindo.	21
Fig. 4 Secado en estufa de semillas de tamarindo.	21
Fig. 5 Tamizado de las semillas de tamarindo.	22
Fig. 6 Maceración del polvo de la semilla de tamarindo.	23
Fig. 7 Espectrofotómetro FTIR con muestra de la semilla de tamarindo.	24
Fig. 8 Espectrofotómetro del polvo de la semilla de tamarindo	27
Fig. 9 Espectrofotómetro del coagulante	29
Fig. 10 Selección de la materia prima.	52
Fig. 11 Cocción de la materia prima.	52
Fig. 12 Semilla del tamarindo.	53
Fig. 13 Pelado de la semilla de tamarindo.	53
Fig. 14 Caolín para ATS	54
Fig. 15 Muestra de caolín.	54
Fig. 16 Caolín en agua de grifo.	55
Fig. 17 Toma de pH del agua turbia a través del pH metro.	55
Fig. 18 Diferentes valores de agua turbia. Fuente: Autora.	56
Fig. 19 Prueba de Jarras con diferentes valores de agua turbia	56
Fig. 20 Valores de agua turbia después de aplicar el coagulante.	56

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Estabilidad del agua turbia sintética.	31
Gráfica 2 Desviación estándar del ATS.....	32
Gráfica 3 Relación entre los valores de turbidez y el porcentaje de remoción según la concentración de coagulante natural.	33
Gráfica 4 Relación entre los valores de turbidez y el porcentaje de remoción según la concentración de Sulfato de aluminio.....	34
Gráfica 5 Coeficiente de determinación en turbiedad 190 FTU en diferentes valores de concentración de coagulantes.	35
Gráfica 6 Porcentaje de remoción de turbidez en diferentes rangos de pH aplicado con distintos valores de turbidez en el coagulante natural.	37
Gráfica 7 Porcentaje de remoción de turbidez, con diferentes valores de turbidez con respecto al pH aplicando coagulante de sulfato de aluminio.	37
Gráfica 8 De cajas, comparación de porcentaje de remoción entre coagulante natural y coagulante comercial en condiciones óptimas-10 mg/L, pH 6.	40
Gráfica 9 Resultado de variación del pH en una turbidez inicial de 100 FTU.	58
Gráfica 10 Resultado de variación del pH en una turbidez inicial de 190 FTU.	58
Gráfica 11 Porcentaje de remoción de turbidez aplicando coagulante de semillas de tamarindo.	59
Gráfica 12 Comparación de las dos muestras con concentración de 10 mg/L.	60
Gráfica 13 Comparación de las dos muestras con una concentración de 25 mg/L.....	60
Gráfica 14 Comparación de las dos muestras con una concentración de 50 mg/L.....	61
Gráfica 15 Comparación de las dos muestras con una concentración de 100 mg/L.....	61
Gráfica 16 Comparación de las dos muestras con una dosis de 150 mg/L.....	62

Gráfica 17 Comparación de las dos muestras con una concentración de 200 mg/L.....	62
---	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación taxonómica, Tamarindo (<i>Tamarindus indica</i> L.)	8
Tabla 2 Identificación de grupos funcionales según la longitud de onda.	28
Tabla 3 Potencial zeta de solución acuosa de coagulante natural.	30
Tabla 4 Resultados de coeficientes de determinación de solución se coagulante natural y coagulante comercial.	35
Tabla 5 ANOVA de comparación de porcentajes de remoción.	39
Tabla 6 Test de Tukey de acuerdo al porcentaje de remoción.....	39
Tabla 7 Porcentaje de remoción del coagulante de la semilla de tamarindo en diferentes rangos de turbidez.....	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1 Lista de abreviaturas	51
Anexos 2 Despulpado de la muestra.....	52
Anexos 3 Preparación de agua turbia sintética ATS.....	54
Anexos 4 Prueba de jarras.....	56
Anexos 5 Resultados obtenidos de porcentaje de remoción.....	57
Anexos 6 Gráficas de variación del pH en distintos rangos de turbiedad en y su porcentaje de remoción con 10 mg/L de coagulante.....	57
Anexos 7 Porcentaje de remoción de turbidez aplicando distintas concentraciones de coagulante de semillas de tamarindo.....	57
Anexos 8 Comparación del porcentaje de remoción entre el coagulante natural de semillas de tamarindo y sulfato de aluminio en diferentes valores de turbidez	57
Anexos 9 Resultados del potencial Zeta	57

RESUMEN

En la actualidad la búsqueda de nuevas alternativas naturales en el proceso de tratamiento de aguas se ha incrementado, ya que se trata que los procesos sean más amigables con el ambiente ya que el uso de coagulantes químicos ha sido perjudicial para el mismo. La presente investigación tiene como objetivo evaluar las semillas de tamarindo *Tamarindus indica* como coagulante natural en el tratamiento de aguas, en relación a un coagulante comercial.

El desarrollo de la investigación empieza por una caracterización de la semilla de tamarindo y su extracto en donde se observa presencia de grupos funcionales responsables del proceso de coagulación, y en relación al potencial Zeta se evidencia que el extracto utilizado posee fuerzas de atracción de cargas. También se utiliza el equipo de Prueba de Jarras para determinar la efectividad del coagulante natural comparándolo con el coagulante comercial. Y se determinó que la concentración de coagulante para mejores resultados de remoción es 10 mg/L tanto de coagulante natural como del comercial, con aguas de turbiedad alta. Posterior a esto se determinó el pH para el mejor porcentaje de remoción, siendo este 2-6 para el coagulante natural y 6 para el coagulante comercial. Como resultados se obtuvo que al aplicar el coagulante natural obtenido del extracto de las semillas de tamarindo en las condiciones óptimas, tiene una remoción del 85%, mientras que el coagulante comercial tradicional sulfato de aluminio tiene un porcentaje de remoción de 95%. Además se determinó que a menores concentraciones de coagulante se obtiene mayor porcentaje de remoción.

Por último, para realizar la comparación entre el coagulante natural y comercial, se aplicó un diseño completamente al azar, se acepta la hipótesis alternativa la cual indica que los porcentajes de remoción son diferentes entre ambos coagulantes siendo el coagulante comercial el de mayor remoción.

Palabras clave: coagulante natural, potencial zeta, semilla de tamarindo, remoción.

SUMMARY

At present, the search for new natural alternatives in the water treatment process has increased since the processes are more environmentally friendly and, on the contrary, the use of chemical coagulants has been detrimental to it. The purpose of this research is to evaluate the tamarind seeds *Tamarindus indica* as a natural coagulant in water treatment in relation to a commercial coagulant.

The development of the investigation begins with a characterization of the tamarind seed and its extract where the presence of functional groups responsible for the coagulation process is observed and in relation to the Zeta potential it is evident that the extract used has forces of attraction of charges. The jug test equipment is used to determine the effectiveness of the natural coagulant by comparing it with the commercial coagulant. And it was determined that the concentration of coagulant to be applied for better removal results is 10 mg / L of both natural and commercial coagulant with high turbidity waters. After that, the pH was determined for the best removal percentage, this being 2-6 for the natural coagulant and 6 for the commercial coagulant. As a result, it was obtained that when applying the natural coagulant obtained from the extract of the tamarind seeds in the optimal conditions; it has a removal of 85% while the traditional commercial coagulant aluminum sulfate has a removal percentage of 95%. Furthermore, it was determined that at lower concentrations of coagulant, a higher removal percentage is obtained. Finally, in order to make the comparison between the natural and commercial coagulant, a completely randomized design was applied, the alternative hypothesis is accepted, which indicates that the percentages of removal are different between both coagulants, with the commercial coagulant being the one with the greatest removal.

Keywords: natural coagulant, zeta potential, tamarind seed, removal.

CAPITULO 1

1.1 Introducción

El agua es primordial en la vida de los seres vivos, teniendo características de ser inocua, y cercana para la población. El agua pura no existe en la naturaleza debido a que determinadas características químicas, físicas y biológicas que presentan las fuentes hídricas en su estado natural, por lo general no cumplen los estándares mínimos de calidad exigidos para la mayoría de aplicaciones donde se requiere la presencia de este líquido, en especial cuando se destina para el consumo humano (OMS, 2008).

Es así que la falta de agua potable en ciudades y países que se encuentran en crecimiento se lo interpreta como un obstáculo cada día más extenso a nivel mundial por estar en constante incremento, por este motivo es indispensable encontrar alternativas modernas y eficaces para tener la posibilidad de innovar y mejorar las condiciones del agua para su consumo y también para ser apto para las distintas poblaciones marginales.

La materia prima propuesta para el tratamiento del agua se extrae de la naturaleza sin ningún proceso invasivo; de esta manera se podrían implementar tecnologías actualizadas que no tengan un costo alto, y sean accesibles para todos, dado que se desea romper con la idea del uso de productos tradicionales industriales como el sulfato de aluminio, sulfato férrico, entre otros, para tratar el agua.

El tamarindo (*Tamarindus indica*) en el Ecuador ha tenido una gran acogida ya que los productores promueven la siembra para producir distintas y nuevas fuentes de ingreso, sabiendo que el precio de la fruta es conveniente, además su producción no necesita grandes ingresos, y en el proceso de siembra no requiere considerables cantidades de agua, solo en sus primeros años de producción, es así que al venderse se producen residuos que no se los reutiliza (El Diario, 2012).

En esta investigación se evaluó las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante para disminuir la carga contaminante en el tratamiento de aguas, en relación a un coagulante comercial, ya que a las semillas de tamarindo no se les da el uso adecuado, siendo un residuo que puede ser aprovechado de mejor manera en el medio ambiente.

1.2 Planteamiento del Problema

En el Ecuador, el mantenimiento y vigilancia del agua está a cargo de la entidad denominada Secretaria Nacional del Agua SENAGUA, cuyo trabajo primordial es racionalizar su conservación, además de ser la única autoridad del agua también la administra junto con el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, y juntos tienen la responsabilidad de administrarla de manera apropiada, informando y comunicando de todos los cambios y disponibilidad al cuidado de la misma. (CEPAL, 2011).

El consumo y la contaminación del agua crecieron por el aumento de la población y también por el incremento de actividades productivas excesivamente demandantes de agua, sobre todo las orientadas al mercado externo. La pérdida de los páramos y la deforestación creciente explican esta compleja realidad, y diversos problemas en los ríos ubicados en la costa por efecto de la erosión permanente en la sierra (FLACSO, 2007).

En cuanto a la coagulación, es el proceso más importante en el tratamiento del agua, en el cual se incluye la remoción de especies en suspensión, mediante la adición de coagulantes químicos, cuyo uso trae desventajas asociadas a los altos costos de adquisición, a la producción de grandes volúmenes de lodo, entre otros aspectos que causan daños negativos para el ambiente. Adicionalmente el sulfato de aluminio es el coagulante químico más utilizado para la

clarificación del agua, ya que remueve materiales orgánicos y microorganismos entre un 90 y 99% al ser utilizado en condiciones óptimas (Guzmán, Villabona, Tejada, & García, 2013).

Las investigaciones existentes dan a conocer que la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) posee propiedades como coagulante ya que está constituida de carbohidratos, proteínas, y agua, además su misma fracción proteica está formada por ácido glutámico y aspártico los cuales serían los responsables del proceso de coagulación.

Mediante esta investigación se busca aplicar un coagulante natural que puede reemplazar el uso tradicional de coagulantes comerciales como el sulfato de aluminio comúnmente conocido como alumbre, al probar la clarificación de agua a través de la remoción de turbidez con el extracto del polvo obtenido de la semilla de tamarindo. Es así que el objetivo de esta investigación es evaluar la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante en relación a un coagulante comercial para de esta manera disminuir la carga contaminante.

1.3 Formulación del problema o pregunta de investigación

¿Qué capacidad poseen las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) para actuar como coagulante en el tratamiento de aguas en relación a un coagulante comercial?

1.4 Justificación

El agua es un importante constituyente para la vida y la salud humana, en si las aguas naturales presentan contaminantes debido a diversas situaciones tales como la erosión del suelo, disolución de minerales, descomposición de la materia orgánica entre otros, estos se encuentran de forma variable formando así parte del ciclo natural que cumple el agua. En la actualidad debido al aumento de la población, el desarrollo industrial, las fábricas, se ha incrementado la

contaminación del agua, afectando la capacidad de autodepuración de los cuerpos del agua y así disminuyendo el consumo apto del mismo (Martel, 2009).

Una de las razones para desarrollar la presente propuesta investigativa es la contaminación que es producida por las fábricas y diversas industrias que vierten sus aguas residuales con elevados contaminantes inorgánicos y orgánico causando afecciones al ecosistema y la vida en ello.

La aplicación de la semilla de tamarindo se selecciona ya que es un residuo del sector agroindustrial, además, como es de conocimiento, la pulpa hace parte de la cadena alimenticia siendo así la semilla un residuo no utilizado. La aplicación de las semillas no presenta problemas de contaminación, ni tampoco peligro para la salud humana.

Por tal motivo esta investigación tiene como objetivo principal evaluar la semilla de Tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante natural para disminuir la carga contaminante en el tratamiento de aguas en relación a un coagulante comercial. Demostrando que los residuos orgánicos pueden transformarse en un subgrupo y materia prima útil para el tratamiento de aguas, para fundamentar las bases de un modelo de reciclaje.

1.5 Limitaciones

La presente investigación se realizó en los laboratorios de Ciencias de la Vida, en el área de Química Analítica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, durante un periodo de seis meses, donde se encontraron como limitaciones: el espacio físico, económico, tiempo y reactivos necesarios para llevar a cabo la investigación.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Evaluar la semilla del tamarindo (*Tamarindus indica* L.) como coagulante natural para disminuir la carga contaminante en el tratamiento de aguas en relación a un coagulante comercial.

1.6.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) mediante pruebas de laboratorio para determinar su composición química.
- Determinar el efecto que ocasiona el valor de pH y la cantidad de semillas de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) en el proceso de coagulación/floculación mediante pruebas de laboratorio para comparar con un coagulante comercial.
- Evaluar la capacidad coagulante de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) en relación a un coagulante comercial mediante análisis estadístico para comparar con un coagulante comercial.

1.7 Hipótesis

Si la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) es usada como coagulante natural entonces aportará en la disminución de la carga contaminante para el tratamiento de aguas.

CAPÍTULO II

2.1 Estado del arte

Los estudios realizados de coagulación con relación a la semilla de *Tamarindus indica* encontramos:

Hernández, Mendoza, Salamanca, Fuentes, & Calderas, (2013) determinaron que en aguas con alta turbiedad la si existía efectividad de las semillas de tamarindo siendo así que obtuvieron porcentajes entre el 72,45% y 89,09% antes de filtrar; y entre 98,78% y 99,71% después del proceso de filtración con lo cual pudieron mostrar la eficiencia del coagulante natural aplicado. Además todo este proceso se lo realizo en laboratorio para corroborar sus resultados.

Gurdián López & Coto Campos, (2011) compararon el desempeño de dos coagulantes convencionales, los cuales son el alumbre o 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. En los resultados se obtuvo que no hay buena eficiencia en los porcentajes de remoción de turbidez con relación a aguas de niveles bajos de turbidez, por otra parte cuando el agua residual se presenta más turbia si existe un mejor desempeño de remoción.

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 su respectivo pH, siendo así que 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. Así da como resultado una eficiencia de reducción de turbidez más alta de aproximadamente 78% a un pH de 8.

2.2 Bases Teóricas

En los últimos años, se han realizado diversas investigaciones acerca del empleo de coagulantes de origen natural, los cuales son producidos y extraídos de tejidos de plantas y en ciertas ocasiones de animales. Con este motivo se da a conocer que son sustancias seguras para la salud humana y de la misma manera producen una menor cantidad de lodos que lo que genera un coagulante comercial (Bravo Gallardo, 2017).

Según CHUN (2010) existen diversos coagulante a base de plantas tales como los cactus, *Moringa oleífera* entre otros, estos coagulantes naturales trabajan a través de un proceso de adsorción seguido de neutralización de carga o efecto de puente polimérico.

En Colombia Rodríguez, Lugo, Rojas, & Malaver, (2007) han hecho investigaciones sobre el uso de distintos coagulantes naturales en específico usaron el almidón de yuca y de maíz comparándolos con el sulfato de aluminio B y un polielectrólito comercial, con lo cual se obtuvo un buen desempeño del almidón de maíz a comparación con los productos químicos utilizados en su investigación.

2.2.1 Tamarindo (*Tamarindus indica* L.)

Es originario de las sabanas secas del África tropical, además cultivado en América, Asia y en otros países tropicales. Fue introducida al Nuevo Mundo entre los años 1700 y 1800 probablemente llevado con los primeros esclavos del oeste de África. Se encuentra en lugares con clima cálido semi seco aunque también puede prosperar en climas cálido húmedos. Su rango de precipitación va de 800 a 1400 mm por año (Vida Sana, 2019).



Fig. 1 Tamarindo (*Tamarindus indica* L.).

Fuente: Vida Sana (Vida Sana, 2019). <https://bit.ly/2ZaVsdC>

2.2.1.1 Clasificación taxonómica

Tabla 1 Clasificación taxonómica, Tamarindo (*Tamarindus indica* L.) Fuente:(Santos, 2001)

Reino:	Vegetal
División:	<i>Tracheophyta</i>
Subdivisión:	<i>Spermatophitina</i>
Clase:	<i>Angiospermae</i>
Subclase:	Dicotiledoneas
Orden:	<i>Fabales</i>
Familia:	<i>Leguminosae (Fabaceae)</i>
Subfamilia:	<i>Caesalpinioideas</i>
Género:	<i>Tamarindus</i>
Especie	<i>indica</i>
Nombre común:	Tamarindo
Nombre científico:	<i>Tamarindus indica</i> L.

2.2.1.2 Descripción morfológica

El árbol del tamarindo alcanza a medir de 24 a 30 metros de alto, su copa es redonda con gran tamaño y puede llegar a medir 15 metros, además de poseer ramas flexibles y largas, su tronco es recto, pequeño y con fisuras a su alrededor. Es característico por ser conocido como árbol de sombra por sus distintas cualidades (Bernardo et al, 2018).

Tiene presencia en sus racimos laxos y pequeños de inflorescencias del tamaño aproximado de 5 a 10 cm de largo con aparición de 8 a 14 flores, las cuales son vistosas con botones de colores rosas o rojos.

El fruto es una vaina indehisciente, linear, con una capa externa delgada color pardo, capa mediana puposa y una capa cariácea interna separada entre semillas.

Las semillas son ovaladas, comprimidas lateralmente, lisas con la testa café lustrosa de 1cm de largo y unidas entre sí, carecen de endospermo como reserva nutritiva además presentan un par de cotiledones gruesos y la radícula es pequeña y recta (Gonzalez, 2017)

2.2.1.3 Composición nutricional

El tamarindo es un fruto tropical el cual presenta un bajo contenido de agua y por lo cual conlleva a que tenga un elevado contenido de proteína, carbohidratos y minerales.

La pulpa constituye un 40% de la vaina, presenta distintos tipos de ácidos orgánicos libres como el ácido málico, cítrico y tartárico, además de dar un aporte importante de minerales, pectinas y vitaminas. También encontramos que la pulpa en algunos tipos de tamarindo se presenta de color rojo, al cual se lo denomina *Chrysanthemín*.

Las hojas son ricas en fósforo, azufre, minerales, vitaminas A y B3, y con respecto a sus flores, poseen altas concentraciones de calcio, fosforo y ácido ascórbico.

Las semillas de tamarindo tienen una composición química determinada por agua, proteínas, grasas, cenizas, carbohidratos y fibra cruda, además de ser una gran fuente de almidón y aceite. Otro rasgo importante es la que su semilla tiene la presencia de grupos funcionales como son el ácido aspártico 11.6%, ácido glutámico 18%, glicina 9.1% y leucina 8.2% y también es rica de aminoácidos esenciales en un 33.6% (Hernández, 2013).

2.2.2 Producción de Tamarindo en el Ecuador

En el Ecuador existen zonas secas las cuales serían óptimas para la producción y cultivo del tamarindo, distintas provincias como Guayas, El Oro, Manabí, en donde para su cultivo es importante escoger las semillas, teniendo en cuenta los parámetros a seguir como son la temperatura previo a su siembra que se puede hacer de dos maneras a temperatura normal en un periodo de 48 horas o utilizando agua a 80 °C durante 5 minutos, se debe tener cuidado de no cocer las semillas más del tiempo previsto ya que si lo superan pierden su poder germinativo. Además se debe tomar en cuenta que las semillas para sembrar se las recoge de los mejores frutos ya maduros, y en que se encuentren sin alteraciones en su estado natural (Santos, 2001).

Para el cultivo adecuado del tamarindo se debe tomar en cuenta también que la zona sea de baja precipitación, y el ambiente se encuentre en promedio a 24 °C. Aunque por otro lado el árbol tiene un buen crecimiento en zonas de mayor precipitación pero la desventaja es que la producción es muy baja y en ocasiones llega a ser nula. Otro punto importante a tomar en cuenta es que necesita de periodos secos comprendidos de ocho meses para que todos sus frutos no presenten inconsistencias, ya que con la presencia de lluvia es muy probable que ocasionen daños a la pulpa (Osorio, 2018).

2.2.3 Agua

El agua tiene distintas características la cuales la hacen primordial y necesaria para la existencia de todos los seres vivos, esta químicamente constituida por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Siendo una de sus características ser incolora, si presenta algún color es por la presencia de minerales los cuales pueden ser hierro, manganeso, materia orgánica y residuos coloridos de la industria. Otro punto importante acerca del agua es que su punto de congelación es a los 0 °C y su punto de ebullición a los 100 °C. Además existen diferentes fuentes de agua que requieren diversos tratamientos para hacerla apta para el consumo humano, las mismas pueden ser aguas subterráneas, aguas superficiales y aguas de mar (Contreras et al., 2008).

2.2.3.1 Características Físicas

Las características físicas del agua son turbiedad, sabor, olor y temperatura.

- **Turbiedad:** mide el nivel de luz en el agua, es decir el cruce de distintos rayos luminosos que pasan entre las muestras de un líquido en este caso agua, es importante considerarla ya que afecta su calidad estética, además puede ocasionarse por diversos factores tales como materiales en suspensión los cuales varían en tamaño, partículas grandes, arcillas, limo y microorganismos (Tenelanda & Muyulema, 2013). Existen diversas unidades para medir la turbiedad del agua tales como FTU -Unidad de Turbidez de la Formazina-, NTU -Unidad Nefelométrica de Turbidez-, estas se miden a través de un turbidímetro (Deloya-Martínez, 2006).

- **Olor y sabor:** es generado por las diversas bacterias, algas y vegetación que se encuentre en estado de putrefacción, además de todos los desechos generados por los seres humanos ya sean estos a nivel industrial o doméstico (Guananga, 2013).

2.2.3.2 Contaminación del agua

Existen varias maneras de provocar la contaminación de las fuentes de agua ya sea por fuentes abiertas al aire libre como la provocada por las heces, orines, basura, uso de químicos, entre otros. Otra fuente de contaminación es por la falta de cuidado a la misma y sus alrededores. Otras fuentes de contaminación son la erosión y la falta de cuidado del recurso vital. Existe contaminación física, química y biológica que se producen por industrias, hospitales entre otros (Astudillo, 2016).

2.2.4 Proceso coagulación-floculación

El proceso de coagulación–floculación consiste en añadir al agua o agua residual determinados aditivos químicos, con el objetivo de favorecer la sedimentación de materia coloidal no sedimentable, o aumentar la rapidez de sedimentación por la formación de flóculos para así facilitar su siguiente eliminación (Cabrera Bermudez, Fleites Ramirez, & Contreras Moya, 2009).

2.2.4.1 Coagulación

La coagulación tiene por objetivo desestabilizar distintas partículas que se encuentren en suspensión, para poder de esta manera facilitar su acumulación la cual inicia en el momento que se agrega el coagulante al agua y dura fracciones de segundos, es decir, que desestabiliza un coloide a través de la eliminación de sus capas eléctricas que rodean estas partículas (Ojeda Báez, 2012).

2.2.4.2 Floculación

La floculación es aquella en donde las partículas previamente desestabilizadas se encuentran y chocan entre si y de esta forma construyen puentes químicos, es aquí donde las fuerzas de Van

del Waals dominan, y como se explica, las partículas se unen y forman microfloculos y después floculos más aglomerados (Ojeda Báez, 2012).

2.2.4.3 Sedimentación

La sedimentación es un proceso físico que aprovecha la diferencia de peso y densidad entre las partículas suspendidas y el líquido, es decir, que por efecto de las partículas en suspensión y en el agua, tienen que presentar un peso mayor al del fluido. Remueven las fracciones más densas y cuando se produce esta sedimentación de partículas, el resultado obtenido es un fluido clarificado, además las partículas en suspensión se sedimentan diferente dependiendo de las características de las partículas y su concentración (Maldonado, 2009).

2.2.5 Coagulante natural

Los coagulantes naturales son en su mayoría carbohidratos-polisacáridos- y proteínas, además son compuestos poliméricos que pueden tener carácter iónico -catiónicos, aniónicos o no iónicos-, donde los iónicos se los denominan comúnmente como poli electrolitos. Las ventajas que se presentan al aplicar coagulantes de origen natural para tratamiento de aguas son indiscutibles, ya que remueven el color, la turbiedad, y pueden llegar a eliminar algas y plancton, y a su vez patógenos presentes en el agua. Otra característica es la eliminación del olor presente y, por otra parte, es que son altamente biodegradables y de bajos costos en su producción. Estas ventajas son especialmente aumentadas si la planta de la que se extrae el coagulante es autóctona de una comunidad rural (Hildebrando Ramirez, 2015).

2.2.6 Coagulantes más utilizados

Los coagulantes más utilizados son de carácter químico, los cuales al unirse con los componentes de agua producen reacciones químicas, así formando precipitados grandes y

absorbentes. Los ejemplos más conocidos de coagulantes son las sales de hierro y aluminio, los cuales al adicionarse en el agua producen reacciones donde los resultados de hidrólisis son mejores que los iones, por otro parte la sal reacciona con la alcalinidad del agua y se producen hidróxidos de aluminio o hierro que integran precipitados y además son insolubles (Díaz, 2014).

También existen otros coagulantes como son:

- ✓ Sulfato de Aluminio
- ✓ Aluminato de Sodio
- ✓ Cloruro de Aluminio
- ✓ Cloruro Férrico
- ✓ Sulfato Férrico
- ✓ Sulfato Ferroso
- ✓ Poli electrolitos (como ayudantes de floculación)

2.2.7 Sulfato de aluminio

El sulfato de aluminio también llamado alumbre se obtiene de la digestión de minerales de bauxita con ácido sulfúrico. Se lo considera como el coagulante tradicional estándar con mayor uso en el tratamiento de aguas por su fácil producción y su costo razonable, es por ese motivo que muchas fábricas deciden producirlo. Su rango óptimo de pH varía entre 5.5 y 8.0. Este material tiene diferentes presentaciones: en polvo, molido, en granos y en forma líquida (Galindo, 2018).

2.2.8 Factores que influyen en la coagulación

Los factores a tomar en cuenta para optimizar todos los procesos de coagulación son los siguientes:

- ✓ Turbiedad
- ✓ pH
- ✓ Sales disueltas
- ✓ Temperatura del agua
- ✓ Tipo de coagulante utilizado
- ✓ Condiciones de mezcla
- ✓ Sistemas de aplicación de los coagulantes
- ✓ Tipos de mezcla y el color
- ✓ La interrelación entre cada uno de ellos

2.2.8.1 pH

El pH determina si las sustancias presentes son ácidas, neutras o básicas, midiendo en una escala de 0 a 14 en la cual el punto medio 7 es denominado el neutro, si la sustancia tomada se encuentra en un valor de pH por encima de 7 se indica que tiene valor básico y si esta por debajo del 7 es una sustancia ácida. Para medir estos valores se calcula la concentración de iones de hidrógeno que estén presentes en la sustancia a evaluar. Todas las fases para el tratamiento de agua, ya sea para suministro y residual como la neutralización, coagulación, y desinfección dependen del pH. Aunque el pH no ejerce efectos directos, los valores superiores de pH 11 producen irritación ocular y agravación de trastornos cutáneos (OMS, 2008).

Según la Norma de Calidad Ambiental, el pH del agua debe tener un valor máximo permisible de 6 a 9 después de ser aplicada a cualquier tratamiento, dentro de este límite puede ser apta para el consumo humano (FAO, n.d.).

2.2.9 Partículas coloidales

Todas las partículas coloidales son las responsables de otorgar el color y la turbiedad, por esta razón se realizan procesos de tratamiento de agua para remover las partículas que tienen carácter negativo en su superficie. Las cargas presentes en el agua son denominadas primarias atrayendo iones positivos del agua los cuales se unen fuertemente a las partículas, y también tiene la posibilidad de atraer iones positivos débiles por iones negativos que se encuentran en torno a la misma (Andía Cardenas, 2000).

2.2.10 Espectrometría infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)

FTIR es una de las herramientas más utilizadas en los laboratorios, está basada en los principios de la espectroscopía molecular donde su principio básico es que las moléculas absorben energía de la luz en longitudes de ondas específicas, conocidas como vibración o frecuencias de resonancia (Noria Latín América, 2014). La espectroscopía se utiliza para la identificación y estudios de los grupos funcionales de las moléculas, enlaces químicos que compone el material que se va a analizar, como puede ser sólidos en polvo, sólidos rígidos, plásticos, materiales elásticos y líquidos además en mucho de los casos la información que contiene es muy específica. El espectro que se obtiene tiene un intervalo de número de onda entre 450 y 4000 cm^{-1} con una resolución de 4cm^{-1} y abarca desde las $0.75\text{ }\mu\text{m}$ (750 nm) hasta los $200\text{ }\mu\text{m}$.

2.2.11 Prueba de Jarras

La prueba de jarras es un método que se utiliza para determinar la dosis de químicos y otros factores, cabe señalar que se trata de simular los diversos procesos los cuales son coagulación, floculación y sedimentación, todos estos procesos se realizan a nivel de laboratorio. Es importante tener en cuenta los factores que influyen en este proceso como son el pH,

concentración del coagulante, secuencia de aplicación, el mezclado ya sea rápido o lento, y el tiempo de sedimentación que se utilice para las muestras en laboratorio (Lorenzo, 2006).

2.2.12 Potencial Z

El potencial Z es el potencial que se encuentra entre la disolución del electrolito y la superficie del mismo en su plano de deslizamiento, es decir, es una medida de la estabilidad de una partícula y señala el potencial que se necesita o requiere para penetrar la capa de iones circundantes en la partícula para desestabilizarla (Sandoval, Palacios, Piña, & Guzmán, 2017).

CAPITULO 3

METODOLOGÍA

3.1 Nivel de la Investigación

La presente trabajo es de tipo investigativo – explicativo ya que se busca establecer el criterio causa efecto al evaluar el coagulante obtenido de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) para disminuir la carga contaminante en el tratamiento de aguas en relación a un coagulante comercial.

3.2 Diseño de Investigación

En este proyecto se aplicó investigación documental, en la cual se procedió a realizar una revisión de documentos que se encuentran presentes en bases de datos del área del conocimiento y posteriormente se utilizó el diseño experimental para variar una de las variables independientes pH, concentración del coagulante con relación a la variable dependiente.

3.3 Población y muestra

Para el presente estudio se toma en cuenta una población alcanzable y finita, la misma que corresponde a una cantidad de 3 kg de tamarindo que se obtuvo por compra en unos de los mercados de la ciudad, luego, a través de un proceso de extracción acuosa que se realizó a las semillas de tamarindo, se obtuvo un líquido blanco lechoso del mismo que se tomarán muestras para realizar las diferentes pruebas.

3.4 Variables

En la investigación ejecutada se identificaron las siguientes variables:

- **Variable independiente:** se identificaron tres variables independientes las mismas que son:

La concentración del coagulante con su indicador mg/L. Esta es una variable de carácter cuantitativa continua y simple por lo cual presenta una dimensión.

La segunda es una variable cuantitativa continua y simple por lo cual presenta una sola dimensión el potencial de hidrógeno que puede tener valores entre 0 a 14, su indicador es adimensional.

La tercera, la contaminación del agua la cual es una variable cuantitativa continua simple y presenta una sola dimensión con su indicador la turbidez.

- **Variable dependiente:** se identificó una variable dependiente simple cuantitativa continua por lo cual presenta una sola dimensión el porcentaje de remoción de turbidez.
- **Variables intervinientes:** se identificaron dos variables intervinientes las mismas que son la temperatura y rpm.
- **Variables extrañas:** en el caso de las variables extrañas que no se pudieron controlar en esta investigación tenemos las condiciones ambientales y la humedad en donde se realizó el estudio.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Dentro de las técnicas utilizadas se encuentran el análisis documental y análisis de contenido, los cuales se utilizaron como instrumentos como base de datos -Scopus, Scielo, Springer, Science Direct-, programas de referenciación, medios digitales para almacenamiento, el uso de tablas y cuaderno de laboratorio. De la misma manera otra técnica utilizada fue la observación simple considerando como instrumentos no estructurados, fotografías, videos, bitácora y evidencia de los procedimientos a desarrollar en el laboratorio.

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Las técnicas de procesamiento de datos que se usaron en la presente investigación son la clasificación, tabulación, gráficos y comparación de datos, mientras que para su análisis se aplicó, un diseño completamente al azar o un diseño ANOVA.

3.7 Procedimiento

3.7.1 Toma de muestra vegetal

Se procede a tomar la muestra a partir de la pulpa del tamarindo durante su cocción para desprenderla de la misma y de la testa café, con el fin de obtener la semilla la cual posee efecto coagulante.



Fig. 2 Selección del tamarindo como materia prima.

Fuente: Autora.

3.8 Acondicionar las semillas de tamarindo para obtener el coagulante natural

Para el efecto de esto se aplicó un método basándose en la revisión bibliográfica para poder establecer los procedimientos y parámetros que serán utilizados para una correcta extracción del coagulante.

3.8.1 Despulpado

Se realizó mediante un proceso de cocción del tamarindo junto con la pulpa a una temperatura de ebullición durante 10 minutos y se la dejó reposar por aproximadamente 3 días, para posteriormente separar la pulpa y las semillas manualmente, dejándolas libres de su testa.



Fig. 3 Cocción del tamarindo.

Fuente: Autora.

3.8.2 Secado

De la muestra obtenida se procede a secar en una estufa a 65 °C durante 12 horas.



Fig. 4 Secado en estufa de semillas de tamarindo.

Fuente: Autora.

3.8.3 Molienda

Una vez secas las semillas, se realiza una molienda para poder obtener partículas muy pequeñas, es decir, con características de polvo.

3.8.4 Tamizado

De la molienda obtenida se realiza un tamizado con el objetivo de que el polvo obtenido sea lo suficientemente fino.



Fig. 5 Tamizado de las semillas de tamarindo.

Fuente: Autora.

3.8.5 Maceración

Una vez obtenido el polvo de la semilla de tamarindo se procede a pesar 5 g en 100 mL de agua destilada, se lo calienta a 65 °C y se lo deja reposar aproximadamente por una hora, para después observar la separación de fases (acuosa y viscosa), donde el coagulante a utilizar será la fase superior líquida (acuosa).



Fig. 6 Maceración del polvo de la semilla de tamarindo.

Fuente: Autora.

3.9 Caracterización del coagulante obtenido de la semilla de tamarindo

Las semillas de tamarindo poseen diferentes compuestos los cuales son agua, proteína, lípidos, carbohidratos y fibras siendo así su fracción proteica formada por ácidos glutámico y aspártico, leucina y glicina. Para caracterizarla y determinar sus diversos grupos funcionales, en enlaces se utilizó la semilla de tamarindo en polvo -1 g- y el coagulante de la semilla de tamarindo centrifugado y filtrado posterior a esto se ocupó el espectrofotómetro FTIR con el cual se pasó la muestra sólida y líquida por triplicado para distinguir los grupos funcionales que posee el coagulante según su longitud de onda.



Fig. 7 Espectrofotómetro FTIR Thermo Scientific Nicolet iS10 con muestra de la semilla de tamarindo.

Fuente: Autora.

3.10 Potencial Zeta

Este análisis se lo realizó en la Universidad Central del Ecuador, ocupando el equipo de dispersión de luz dinámica DLS, que se fundamentó en la penetración de los iones metálicos a la capa iónica presente en el coagulante obtenido de las semillas de tamarindo.

3.11 Evaluación de las características del agua a utilizar

Las muestras de agua con que se utilizó el coagulante, es agua turbia sintética ATS, la cual se preparó pesando 5 g de caolín en 1 L de agua de grifo, se agita durante una hora y se la deja reposar durante 24 horas para su hidratación. Esta es una suspensión estable para estudiar el mecanismo de coagulación. Una vez que está preparado el ATS, se realizó un estudio de estabilidad, tomando en cuenta parámetros como el pH y turbidez.



Fig. 8 Equipo pH-metro Mettler Toledo Cool Pro.ISM

Fuente: Autora

3.12 Turbidez

Para determinar la turbidez que se obtiene después de realizar el proceso aplicando el coagulante natural –extracto obtenido de semillas de tamarindo- y coagulante comercial –sulfato de aluminio- en las concentraciones y parámetros establecidos, se utiliza una ecuación para determinar la eficiencia de remoción.

$$\%Remoción = \frac{(Turbidez\ inicial) - (Turbidez\ final)}{(Turbidez\ inicial)} * 100$$

Dónde:

Turbidez inicial: valores de turbidez en FTU antes de aplicar los coagulantes propuestos.

Turbidez final: valores de turbidez FTU después de aplicar los coagulantes en las concentraciones establecidas.

3.13 Evaluación de las semillas de tamarindo

La efectividad de las semillas como coagulante se determinó a través de la prueba de jarras evaluando la solución coagulante previamente preparada mediante ensayos con un rango de concentración de 10 mg, 25 mg, 50 mg, 100 mg, 150 mg, 200 mg, con un mezclado rápido a 150 rpm durante 3 minutos, un mezclado lento a 40 rpm durante 30 minutos y se finalizó con la fase de sedimentación en la cual se la dejó en reposo durante 30 minutos.

Una vez terminado el tiempo de sedimentación se recolectó una muestra del sobrenadante aproximadamente por debajo de los 2 cm de la parte superior con el cual se procede a determinar parámetros en relación a su pH y turbidez, esto para cada una de los distintos valores de turbidez planteados.

Para el coagulante comercial se utilizó el sulfato de aluminio, el cual se aplicó en las mismas dosis que el coagulante de semillas de tamarindo, para comparar y determinar los diferentes valores de remoción de turbidez.

3.14 Efectividad del coagulante obtenido de semillas de tamarindo *Tamarindus indica* para diferentes niveles de turbidez

Para determinar la efectividad del coagulante natural se trabajó en diferentes concentraciones del coagulante aplicadas -10 mg, 25 mg, 50 mg, 100 mg, 150 mg, 200 mg- en solución acuosa de ATS, el cual fue obtenido a partir de semillas de tamarindo, y con diferentes valores de turbidez inicial -10, 20, 50, 75, 100, 190 FTU- para evaluar su efectividad respectivamente en cada valor dado.

CAPITULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*)

Para caracterizar la semilla de tamarindo se utilizó el equipo espectrofotómetro FTIR, con muestras de semillas de tamarindo sólido triturado, para definir diferentes grupos funcionales presentes conforme se puede observar en la Fig. 9 a continuación.

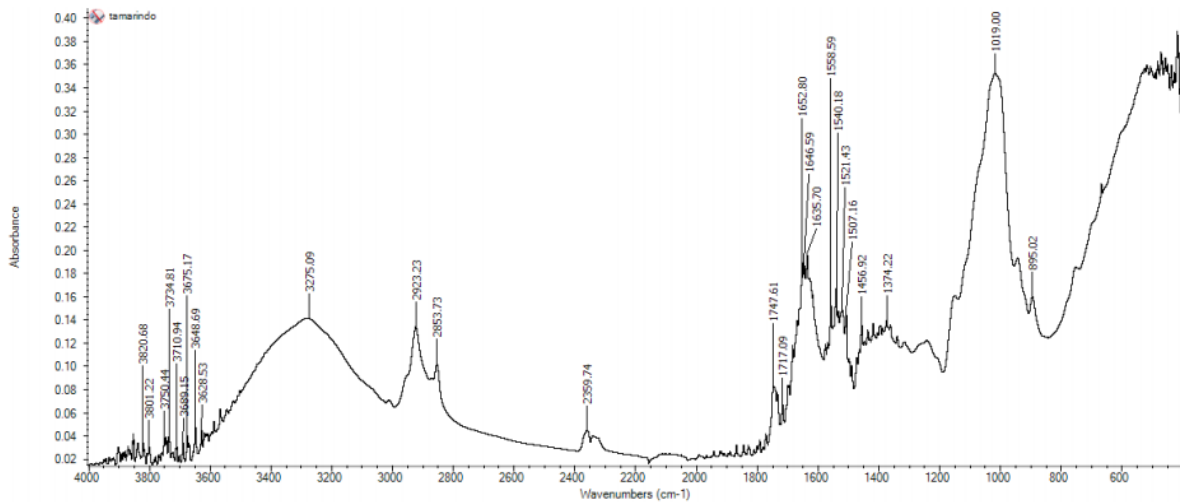


Fig. 9 Espectro obtenido del polvo de la semilla de tamarindo.

Fuente: Captura tomada del espectrofotómetro FTIR Thermo Scientific Nicolet iS10

En el espectro infrarrojo, desglosado en la Tabla 2, constan los diferentes picos presentes en la muestra, los cuales integran los grupos de alcoholes y fenoles (O-H, C-O), aminas (N-H), enlaces simples, dobles enlaces, y grupos carboxilos.

Tabla 2 Identificación de grupos funcionales según la longitud de onda.

Longitud de onda cm⁻¹	Grupo Funcional
3820.68	OH libre
3801.22	OH libre
3675.17	OH libre
3648.69	Alcohol primario
3628.53	Amina primaria
3275.09	Alcohol polimérico
2923.23	Alcanos CH ₂
2853.73	Alcanos CH ₂
1747.61	Cetona
1717.09	Esteres- Ácidos Carboxílicos
1652.59	Alqueno
1646.59	Alqueno, Carbonilo
1635.70	Aminas Primarias
1558.59	Aminas Secundarias
1540.18	Aminas secundarias/Anillo aromático
1521.43	Anillo aromático
1507.16	Anillo aromático
1456.92	Alcano/Metilo

Fuente: Autora

En el espectro realizado a la semilla de tamarindo se obtuvo la presencia de grupos funcionales como aminas y grupos carboxilo los cuales, según el trabajo realizado por Monge & Quijano (2002), están presentes en la estructura de los aminoácidos como el ácido glutámico y aspártico, con lo cual se puede comparar con la investigación realizada por Campos et al., (2003) donde proponen que el ácido glutámico y aspártico presentes en la *Moringa oleífera* poseen componentes responsables de la coagulación ya que presentan cargas positivas y negativas que desestabilizan las partículas y por otra parte también coagulan el agua residual.

4.2 Caracterización de la solución acuosa de coagulante de semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*)

Una vez identificado los grupos funcionales de la muestra en sólido, se procede a realizar el espectro al coagulante en medio líquido ya obtenido previamente a partir de las semillas de tamarindo, en el cual se observó una pérdida de varios enlaces como se observa en la figura 9.

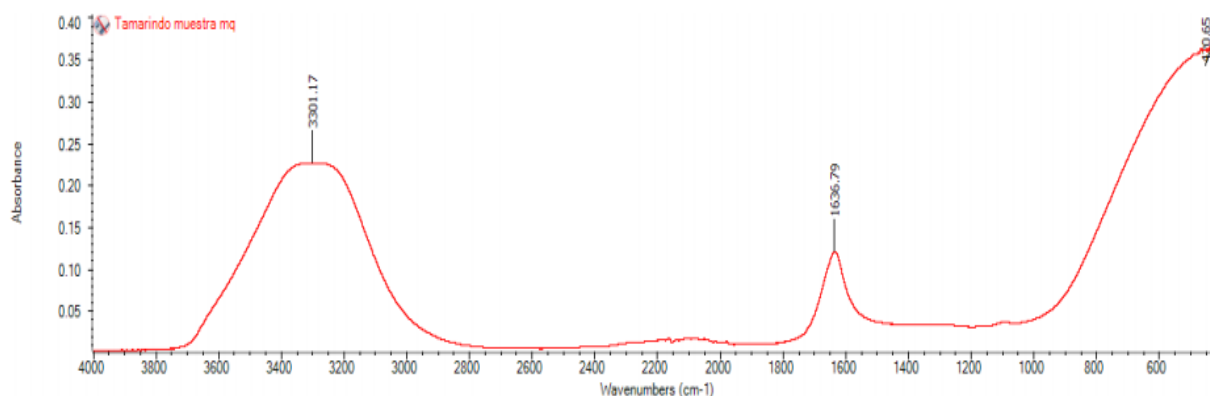


Fig.10 Espectro obtenido del coagulante a partir de la semilla de tamarindo.

Fuente: Autora.

Se observó presencia con señales de importancia de varios grupos OH en un rango de 3200 a 3650 cm^{-1} , siendo el de la muestra de 3355.31 cm^{-1} el cual puede provenir del agua ya que es el solvente aplicado al preparar la solución de coagulante. También según la figura 10 se tiene presencia de grupos funcionales los cuales se encuentran en un rango de 1850 a 1540 cm^{-1} siendo el de la muestra de 1637.13 cm^{-1} relacionando a los alquenos en los enlaces $-\text{C}=\text{C}-$, y también se encuentra en el rango de las aminas $-\text{NH}_2$, en las vibraciones de flexión del enlace N-H, en un rango de 1640 a 1560.

Igualmente como se observó el espectro del coagulante obtenido de la extracción de la semilla de tamarindo se presenta grupos funcionales como las aminas las cuales están presentes en

aminoácidos como el ácido aspártico y glutámico y de acuerdo a la investigación realizada por Gurdíán & Coto, (2011) se determina que al igual que la *Moringa oleífera*, la semilla de tamarindo está constituido, por aminoácidos como glicina, leucina, ácido aspártico y glutámico donde estos dos últimos son solubles en agua y serían los responsables de la coagulación.

4.3 Potencial Zeta

Se lo asocia con las fuerzas de Van der Waals, representadas por la atracción y repulsión que tiene el coagulante natural obtenido de la semilla de tamarindo. En el cual los resultados de valores negativos se asocian a la energía de atracción que posea el coagulante, y valores positivos se los relaciona con la energía de repulsión del mismo.

Tabla 3 Resultado del potencial zeta de solución acuosa de coagulante natural.

Muestra	Potencial Z ² (1mg/10mL)	Potencial Z ³ (1mg/100mL)	Unidades
Solución acuosa (coagulante de semillas de Tamarindo)	-8.9	-25.2	mV

Fuente: Autora

En la tabla 3 se puede observar los resultados obtenidos de la solución coagulante obtenida de semilla de tamarindo donde el primer resultado es una muestra diluida con agua tipo 1, con un factor de dilución de 10, dando como resultado -8.9 mV, y el segundo resultado es una muestra diluida con agua tipo 1 con un factor de dilución de 100, que tiene como resultado -25.2 mV. Todos estos resultados demuestran que la solución coagulante mientras más se encuentre diluida posee más carga de atracción. Y se determina que a menor concentración, mayor cantidad de carga de atracción.

Por medio de los resultados obtenidos se puede comparar con el trabajo realizado por Léo, Lima, Paulo, & Duarte (2009), en donde compararon la eficiencia con respecto al potencial zeta entre el sulfato de aluminio y la *Moringa oleífera* donde obtuvieron que la mejor remoción en

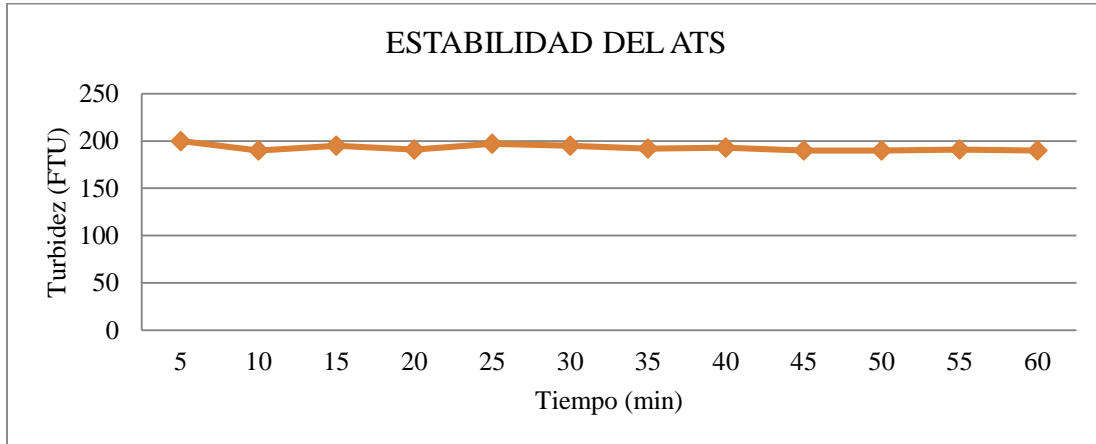
cuanto al sulfato de aluminio varían entre 79% y 86% con el potencial zeta -25.40 mV y en la *Moringa oleífera* su potencial zeta es de -24.90 mV dando como mejor remoción el 74%.

4.4 Estabilidad del agua sintética

El estudio de estabilidad del agua turbia sintética se elaboró mediante la medición de la turbidez realizado cada cinco minutos hasta completar una hora, donde el agua turbia presentó las siguientes características de pH, y de turbidez.

- Turbidez 193 ± 1 FTU
- Y un pH de 6.70

Se realizó con la finalidad de ver si el agua turbia sintética posee una variación en su estabilidad con respecto al tiempo, como se puede apreciar en la gráfica 1 donde se establece que no hay una variación notable en el periodo de una hora.



Gráfica 1 Estabilidad del agua turbia sintética.

Fuente: Autora.

Como se aprecia en la gráfica 2 se realizó la desviación estándar del agua turbia sintética, donde se presenta que el agua es estable y no hay una variación notable en su turbidez.



Gráfica 2 Desviación estándar del ATS

Fuente: Autora

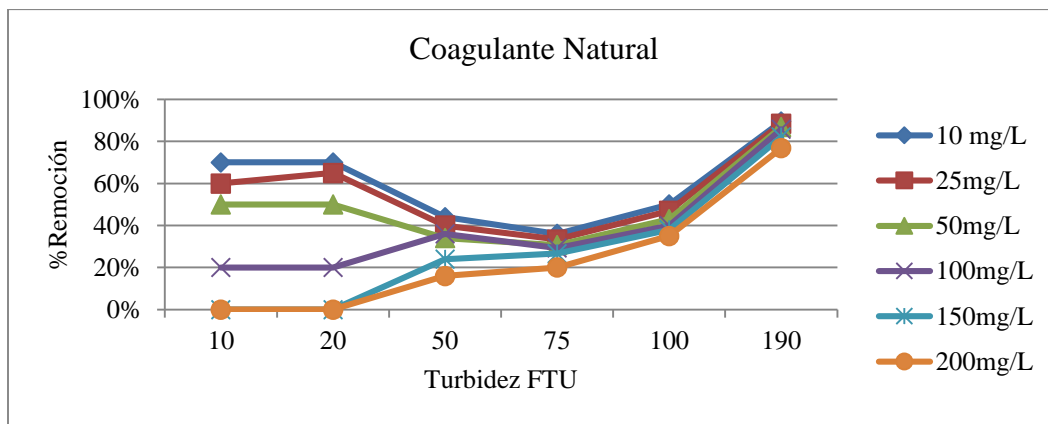
4.5 Determinación del porcentaje de remoción de la turbidez en función al incremento de la concentración de la solución acuosa obtenida de semillas de tamarindo *Tamarindus indica* -coagulante-

Para determinar el porcentaje de remoción de turbidez, se realizaron pruebas con el equipo de Prueba de Jarras donde se utilizaron muestras de agua turbia sintética preparada con diferentes niveles de turbiedad, las cuales son: baja (10, 20 FTU), media (50,75 FTU), alta (100, 190 FTU) y en la cual se puede observar los distintos cambios que se obtuvo al colocar las concentraciones propuestas de solución acuosa del coagulante natural.

En los resultados se puede observar el porcentaje de remoción de turbidez en función a la concentración de la solución del coagulante natural (extracto acuoso de semilla de tamarindo), y el tradicional (sulfato de aluminio), donde se puede apreciar que en una turbiedad baja se tiene mayor remoción al colocar la menor concentración 10 mg/L y se observó una dispersión alta en la variación de remoción. En una turbiedad media se remueve en mayor cantidad con una concentración de 10 mg/L y se puede observar una dispersión media; y por otra parte en una

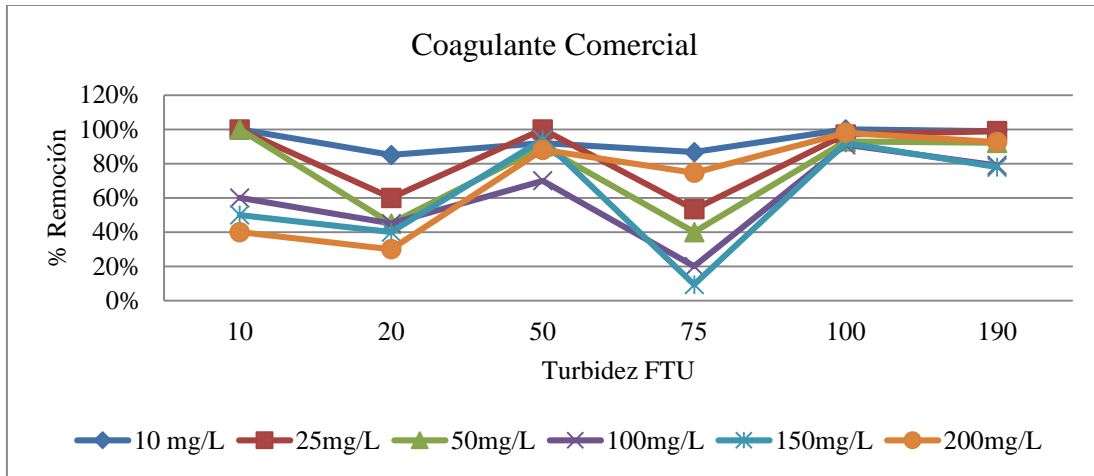
turbiedad alta se obtiene mejor remoción en una concentración de 10 mg/L y con respecto a su variación de remoción existe una dispersión mínima con valores de 77%, 82%, 86%, 87%, 88%, y 89% de remoción.

Estableciendo una relación se puede decir que de acuerdo con el potencial zeta, cuando hay menos concentración tiene mayor capacidad de atracción lo cual se demuestra en esta prueba.



Gráfica 3 . Relación entre los valores de turbidez y el porcentaje de remoción según la concentración de coagulante natural. Fuente: Autora

En relación al sulfato de aluminio en la gráfica 4, se puede establecer, considerando las tres categorías de turbiedad, baja, media y alta, que en una turbiedad baja la menor concentración siempre da mejor resultados de remoción valores comprendidos entre 40% al 100% de remoción, mientras que en aguas en turbiedad media se tiene una remoción entre 20% y 100%, mientras que en aguas con alta turbiedad una remoción 80%-100 % y generalmente con concentraciones de 10 mg/L.

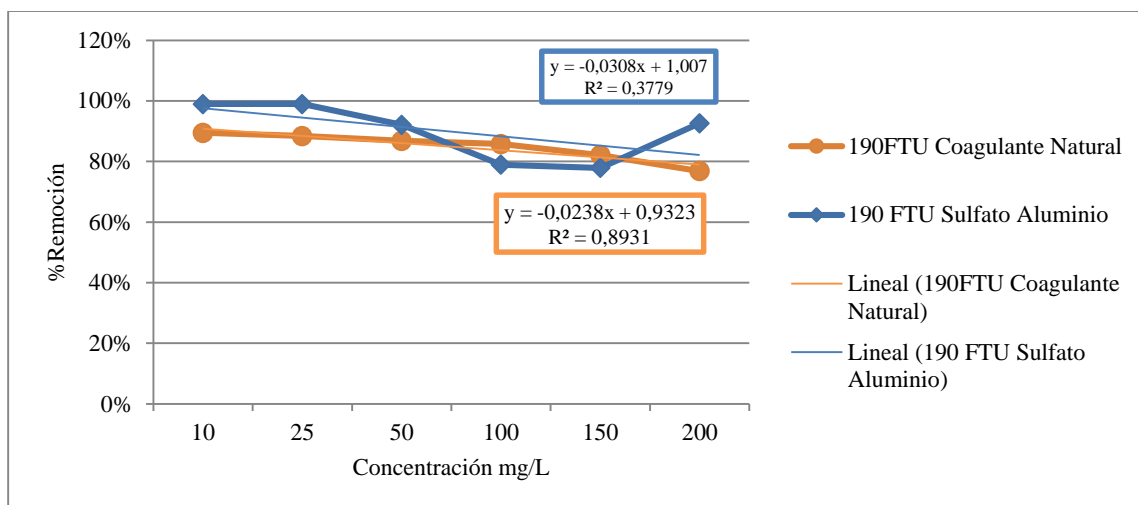


Gráfica 4 Relación entre los valores de turbidez y el porcentaje de remoción según la concentración de sulfato de aluminio Fuente: Autora

Además, se procedió a aplicar un modelo matemático para pronosticar el comportamiento de regresión lineal donde se compara la función de la pendiente, teniendo en cuenta los valores de turbidez con mejor remoción, al igual que la concentración de solución acuosa de coagulante.

Se quiere determinar la relación existente entre el porcentaje de remoción con la concentración del coagulante, donde podemos decir que cuando se aumenta la concentración del coagulante se baja la remoción. Por lo tanto de acuerdo a la tendencia, se aprecia que cuando se aumenta su concentración disminuye su capacidad de absorción, de acuerdo al modelo que se estableció donde el coagulante natural tiene un mejor comportamiento.

También se compara el porcentaje de remoción con su coeficiente de determinación en relación a un turbidez alta 190 FTU, en el cual se va a determinar si los datos obtenidos son fiables para la remoción de turbidez en el tratamiento de agua entre el sulfato de aluminio y el coagulante natural siendo este el que posee 0.8931, dato más fiable ya que se acerca al ajuste lineal perfecto 1, teniendo una relación existente más fuerte.



Gráfica 5 Coeficiente de determinación en turbiedad 190 FTU en diferentes valores de concentración de coagulantes. Fuente Autora.

Tabla 4 Resultados de coeficientes de determinación de solución se coagulante natural y coagulante comercial.

Turbidez inicial FTU	R^2	Pendiente
190FTU Sulfato de Aluminio	0.3779	0.0308
190FTU Coagulante Natural	0.8931	0.0238

Fuente: Autora

Según lo establecido por Guardado & Hernandez (2017) en su investigación acerca de la evaluación de la efectividad de semilla de tamarindo, se dio a conocer que el extracto de las semillas de tamarindo tuvo un porcentaje de remoción del 55.33% en aguas de baja turbidez tomando en cuenta sus mejores condiciones. Y los resultados obtenidos en esta investigación se asemejan a los obtenidos por Carrasquero Ferrer et al. (2017) que emplearon una dosis óptima de coagulante natural extraído de la cáscara de papa y los residuos de plátano, la cual fue de 50 mg/L en una turbidez inicial de 200 UNT y llegando al porcentaje de remoción de 93.8%.

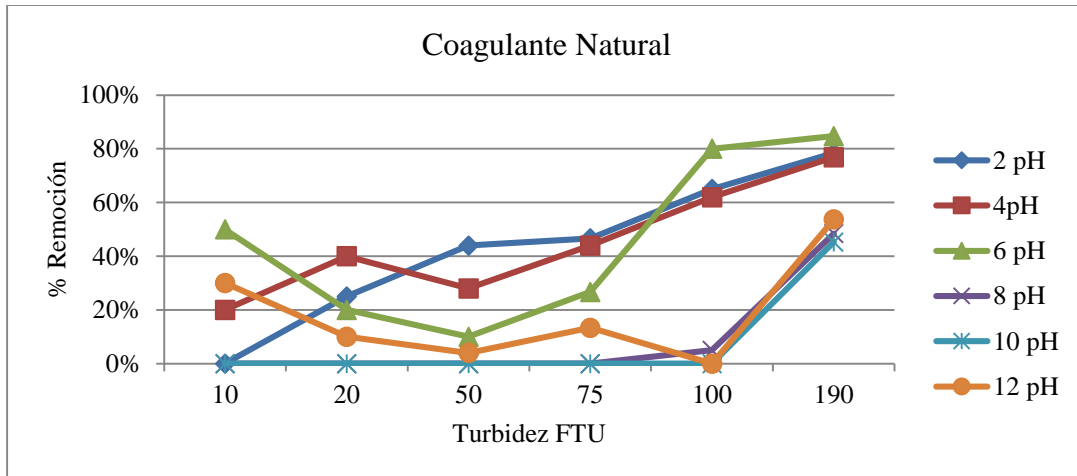
4.6 Determinación del efecto que ocasiona el valor del pH

Con respecto a la determinación del pH, en el tratamiento con la solución acuosa de coagulante natural de semilla de tamarindo y con la solución de coagulante comercial del sulfato de aluminio, se obtuvieron valores de pH distintos, siendo así que el sulfato de aluminio tiene tendencia a bajar el pH del agua, por lo tanto se necesita otra sustancia para que pueda alcanzar los límites permisibles.

En el tratamiento con el coagulante natural el pH inicial es 6.70 y después de aplicar las distintas concentraciones de coagulante, el pH final obtuvo un cambio menor a 6.83 dando como resultado que no varía notablemente, y según la Norma de Calidad Ambiental está dentro del valor máximo permisible entre 6-9.

El pH puede alterar el porcentaje de remoción lograda por los agentes coagulante en el tratamiento de agua, es decir, que cuando se eleva el pH, se disminuye el porcentaje de remoción, mientras que si el pH es menor su porcentaje de remoción es mayoritaria. Y, de acuerdo a este estudio, el pH presenta cambios significativos en cada tratamiento realizado.

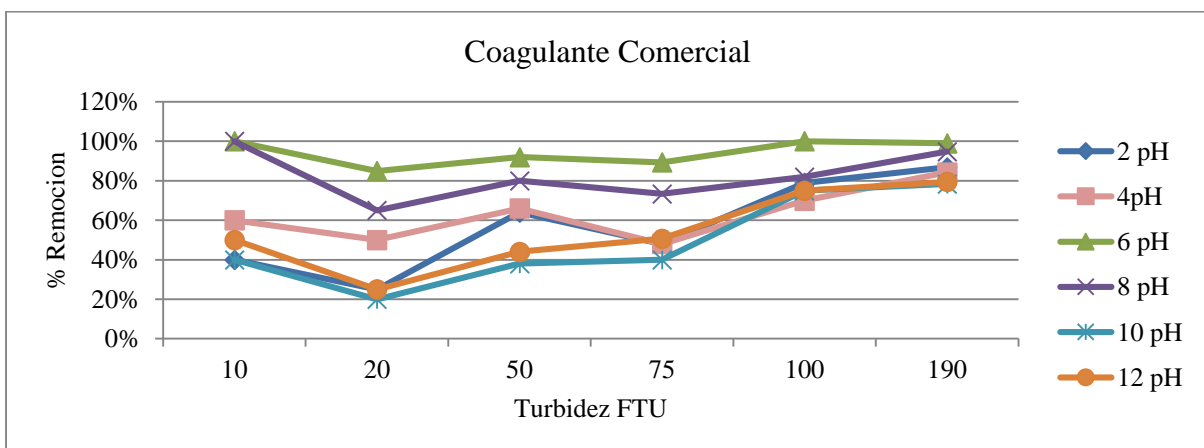
Se realizó pruebas con diferentes rangos de pH siendo estos 2, 4, 6, 8,10 y 12, en los cuales al aplicar la solución acuosa del coagulante natural presentó cambios significativos con respecto al pH, en cuanto a la remoción de turbidez, se determinó que en un rango de pH [2-6], el porcentaje de remoción de turbidez es mayor. Por lo tanto es recomendable usar, en el caso de la solución acuosa de coagulante de semilla de tamarindo, a un pH ácido, siendo estos rangos los más óptimos para la remoción de turbidez del agua.



Gráfica 6 Porcentaje de remoción de turbidez en diferentes rangos de pH aplicado con distintos valores de turbidez en el coagulante natural. Fuente: Autora.

En la gráfica 6 se puede determinar que en un rango de pH 2 - 6 y con una concentración de 10 mg/L de solución acuosa de coagulante natural, se puede obtener mayor porcentaje de remoción en el agua, de la misma manera actúa aplicando rangos de turbidez altos -190FTU-.

En pH 6 su mayor remoción es de 80-85% de turbidez seguido del pH 2 y 4 de 65% a 78% de remoción.



Gráfica 7 Porcentaje de remoción de turbidez, con diferentes valores de turbidez con respecto al pH aplicando coagulante de sulfato de aluminio. Fuente: Autora.

En el caso del coagulante comercial –sulfato de aluminio- tiene mayor remoción con un pH de 6, con una concentración de 10 mg/L y aplicando en aguas turbias con valores altos.

Según los trabajos realizados por Anuradha Mishra & Bajpai (2006) y A Mishra, Bajpai, Pal, Agrawal, & Pandery (2006), donde emplearon el mucilago extraído de las semillas de tamarindo para evaluar la eficiencia en la remoción de fosfatos y sulfatos, en la cual alcanzaron un 73%-75% como máxima remoción trabajando con pH ácido, y de la misma manera, en el trabajo realizado por Gurdíán & Coto (2011), obtuvieron que la semilla de tamarindo tiene mejor desempeño de remoción en pH ácido dando como resultados una remoción del 75 al 85%.

4.7 Comparación de Sulfato de Aluminio y coagulante obtenido de semillas de tamarindo

En esta sección se procede a comparar la remoción que ocasiona el coagulante natural obtenido de semillas de tamarindo, en las mejores condiciones de pH y de concentración, en relación al coagulante comercial sulfato de aluminio, para evaluar cuál es el mejor. Para hacer la comparación se realizó un diseño completamente al azar en donde se tomó un factor de entrada –coagulantes-, el mismo que tiene dos niveles los cuales son: coagulante natural (obtenido de semillas de tamarindo) y coagulante comercial (sulfato de aluminio), con una variable de salida el porcentaje de remoción, considerando para cada uno de los coagulantes las mejores condiciones en donde han tenido el mayor rendimiento, los cuales son en una concentración de 10 mg/L y un pH 6, los mismos que van a actuar en el agua turbia sintética ya preparada a una turbiedad de 190 FTU. Se trabajó con un nivel de confianza del 95% y se plantearon las siguientes hipótesis:

H_0 = El porcentaje de remoción de turbidez del coagulante natural es igual al porcentaje de coagulante comercial (sulfato de aluminio).

H₁= El porcentaje de remoción de turbidez de coagulante natural es diferente al porcentaje del coagulante comercial

Tabla 5 ANOVA de comparación de porcentajes de remoción.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
% Remoción	6	0.99	0.99	0.62	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	160.17	1	160.17	480.50	<0.0001
Remoción	160.17	1	160.17	480.50	<0.0001
Error	1.33	4	0.33		
Total	161.50	5			

Fuente: Autora

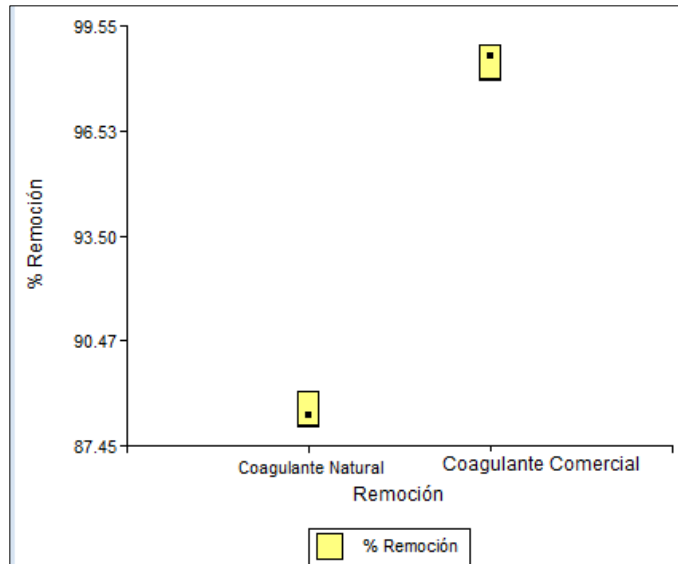
A través de los resultados de la tabla 6 se determina el valor de p, menor a 0.05, con lo cual se deduce que se rechaza a la hipótesis de igualdad de varianzas (H₀) aceptando la alternativa, en la cual se establece que existe diferencia en los porcentajes de remoción de turbidez al usar el coagulante comercial sulfato de aluminio y el coagulante natural obtenido de semilla de tamarindo. Se realizó la prueba de Tukey para definir si existió un mayor porcentaje de remoción.

Tabla 6 Test de Tukey de acuerdo al porcentaje de remoción.

<i>Alfa=0.05</i>		<i>DMS=1.30883</i>	
<i>Error: 0.33</i>		<i>gl:4</i>	
Factor	Medias	n	Agrupación
Remoción C.N.	88.33	3	A
Remoción C.C	98.67	3	B

Fuente: Autora

Se presenta según la prueba de Tukey que el porcentaje de remoción del coagulante natural (C.N.) y del coagulante comercial (C.C.) son diferentes ya que se evidencia que las medias no comparten la misma letra (Tabla 5), con esto se corrobora que el mayor porcentaje de remoción es al aplicar el coagulante comercial (sulfato de aluminio).



Gráfica 8 Gráfica de cajas, comparación de porcentaje de remoción entre coagulante natural y coagulante comercial en condiciones óptimas-10 mg/L, pH 6. Fuente: Autora

Según la gráfica 8 de cajas obtenida del análisis establecido, se evidencia que no existe un traslape en ambos casos, entonces el coagulante comercial obtiene una mejor remoción en valores de turbidez alta con condiciones óptimas de 10 mg/L de coagulante en pH 6, teniendo resultados del 99% de remoción frente al coagulante de semilla de tamarindo que tiene mejor remoción con resultados del 89%. Es decir, entre ambas sustancias el coagulante comercial - sulfato de aluminio- tiene mejor remoción superando al coagulante natural obtenido de semilla de tamarindo.

Carrasquero et al. (2019) en su investigación acerca de la remoción de turbidez usando semillas de *Tamarindus indica* como coagulante, reporta que al aplicar las semillas de tamarindo en aguas de 200 UNT se obtuvo porcentajes de remoción de 97.6% con una concentración de 50 mg/L, y en cambio con el sulfato de aluminio obtuvieron una mejor remoción al aplicar una concentración de 10 mg/L en aguas de 75 UNT, dando como resultado 96.8% de remoción, concluyendo que en aguas de alta turbidez se obtiene la mayor remoción. Salgado (2018) realizó

su trabajo de investigación al evaluar la semilla de tamarindo en el tratamiento de aguas superficiales, en el cual obtuvo como resultado una eficiencia de remoción entre el 40% y 74% al aplicar el coagulante en aguas de turbiedad alta. Se determina que aunque el coagulante natural no tiene el mismo porcentaje de remoción que el coagulante comercial, sí posee remoción al aplicarlo en concentraciones mínimas y en aguas de turbiedad alta.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

Las semillas de tamarindo y su extracto acuoso poseen grupos funcionales, aminos y ácidos carboxílicos, presentes en la estructura de las sustancias ácido glutámico y ácido aspártico que se consideran responsables del proceso de coagulación.

Se puede apreciar a través de los resultados del potencial zeta que la solución de extracto obtenido de la semilla de tamarindo –coagulante- a menor concentración tiene mayor capacidad de carga de atracción, ya que se demuestra que la solución coagulante natural mientras más se encuentre diluida posee más carga de atracción.

La actividad coagulante de la semilla de tamarindo tiene su mayor remoción de turbidez a concentraciones bajas, es decir a menor concentración de coagulante natural mayor serán los valores remoción de la turbidez del agua.

En comparación con el sulfato de aluminio, el coagulante natural si posee una remoción aceptable con valores de 89%. En cuanto al sulfato de aluminio, que posee valores de 99%, siendo este el de mayor cantidad de remoción en esta investigación.

Se concluye que las condiciones más óptimas para un buen porcentaje de remoción, en cuanto al coagulante natural, es con rango de pH 2 y 6, y en el coagulante comercial con pH 6.

En la comparación entre el coagulante natural obtenido del extracto de las semillas de tamarindo y el coagulante comercial tradicional de sulfato de aluminio, se puede apreciar que en condiciones óptimas de 10 mg/L y a un pH de 6 en ambos casos, el coagulante comercial tiene mayor porcentaje de remoción en comparación con el coagulante natural.

En el gráfico de cajas se evidenció la diferencia entre ambos coagulantes aplicados en donde el coagulante comercial sulfato de aluminio tiene mayor remoción a comparación del coagulante natural.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar más estudios de los distintos componentes que posee el coagulante de semilla de tamarindo.

Para identificar la capacidad de coagulación, se deberán realizar variaciones en los rangos de turbidez del agua.

Profundizar los estudios sobre la semilla tamarindo para aplicarlo como coagulante en relación a la remoción de turbidez en el tratamiento de agua.

Realizar estudios con los diferentes valores de dilución de coagulante de la semilla de tamarindo para evaluar su estructura y componentes presentes.

BIBLIOGRAFÍA

- Andía Cardenas, Y. (2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación*. Sedapal. Retrieved from http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- Astudillo, W. (2016). *Falta de control en la contaminación del agua provocado por los desechos tóxicos de las industrias al Río Machángara y la vulneración de los derechos ambientales*. Quito, Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8244/1/T-UCE-0013-Ab-428.pdf>
- Bernardo, C. J., Arroyo, U., Juan, L. I. C., Cortes, C., Mayor, O., Antenor, I. N. G., ... Fuente, D. E. L. A. (n.d.). *Cultivo de Tamarindo*.
- Bravo Gallardo., M. A. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. Bogota. Retrieved from <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5609/1/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf>
- Cabrera Bermudez, X., Fleites Ramirez, M., & Contreras Moya, A. M. (2009). Estudio del Proceso de Coagulación-Floculación de Aguas Residuales de la Empresa Textil “Desembarco del Granma” a Escala de Laboratorio. *Tecnología Química*, XXIX(3), 64–73. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf>
- Campos, J., Colina, G., Fernández, N., Torres, G., Sulbarán, B., & Ojeda, G. (2003). *Caracterización del Agente Coagulante Activo de las Semillas de Moringa Oleifera*

Mediante HPLC. Maracaibo, Venezuela.

Carrasquero Ferrer, S. J., Montiel Flores, S., Faría Perche, E. D., Ferrer Parra, M. P., Marín, J. C., & Díaz Montiel, A. R. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Sonalum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(2), 90–99.

Carrasquero, S., Martínez, M., Castro, M., López, Y., Díaz, A., & Colina, G. (2019). *Remoción de turbidez usando semillas de Tamarindus indica como coagulante en la potabilización de aguas* (Vol. 4).

CEPAL. (2011). Diagnóstico de la estadísticas del agua en Ecuador. *Diagnostico de La Informacion Estadistica Del Agua*. Retrieved from <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico de las Estadísticas del Agua Producto IIIc 2012-2.pdf>

Chun, Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45(9), 1437-1444

Contreras, K., Contreras, J., Corti, M., De Sousa, J., Durán, M., & Escalante, M. (2008). *El agua un recurso para preservar*. Mérida.

Deloya-Martínez, A. (2006). Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales, *19* (2), 31–40.

Díaz, J. (2014). *Coagulantes-Floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas*. Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán. Retrieved from

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjI_8ybw9rjAhXGt1kKHcx0A9cQFjAAegQIABAC&url=http%3A%2F%2Fwww.cervantesvirtual.com%2FdescargaPdf%2Fcoagulantes-floculantes-organicos-e-inorganicos-elaborados-de-plantas-y-del-reciclaje-de-la-chatarra-para-el-tratamiento-de-aguas-contaminadas%2F&usg=AOvVaw37jJLbEDkeCrywi8gH2bwx

EL DIARIO. (6 de Enero de 2012). Rentabilidad del tamarindo seduce. págs.

<http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/216042-rentabilidad-del-tamarindo-seduce/>.

FAO. (n.d.). *Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua Libro VI Anexo 1*. Retrieved from <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>

FLACSO. (Presidente de la Asamblea Constituyente y asambleísta octubre 2007-julio 2008. de Enero-Julio de 2007). Ministro de Energía y Minas. Concentración y contaminación del agua (Ecuador). ALAI, América Latina en Movimiento.

Galindo, G. (2018). *“Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado tipo b en la planta de tratamiento de agua potable Yurajhuanca – EMAPA PASCO” granulado tipo b en la planta de tratamiento de agua*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Retrieved from http://200.60.60.43/bitstream/undac/347/1/TESIS_GIANCARLO_GALINDO_YANTAS1.pdf

Gonzalez, J. M. G. (2017). *Propagación del tamarindo en el valle de Tecomán Colima*. Colima, Tecoman.

Guananga, A. (2013). *“Optimización de la planta de tratamiento de agua potable del cantón*

Cevallos. ” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Retrieved from
<http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3108/1/96T00227.pdf>

Guardado, O., & Hernandez, A. (2017). *Evaluación de la efectividad de floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales provenientes de lavandería industrial, utilizando el cladodio de nopal (Opuntia ficus-indica) y la semilla de tamarindo (Tamarindus indica).* Universidad del El Salvador.

Gurdián, R., & Coto, J. (2011). *Estudio preliminar del uso de la semilla de coagulación (Tamarindus indica) en la coagulación-floculación de aguas residuales. Tecnología en Marcha* (Vol. 24). Retrieved from
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835564>

Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). *Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales. Reduction of water turbidity using natural coagulants.*

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

Hernandez, F. P. (2013). “*Establecimiento de cultivo in vitro de Tamarindus indica L. para la obtención de antioxidantes.*” Toluca, Mexico.

Hildebrando Ramirez, J. J. (2015). *Agentes Naturales para alternativa para el tratamiento de Aguas.* Universidad Militar Nueva Granada.

Lédo, P. G. S., Lima, R. F. S., Paulo, J. B. A., & Duarte, M. A. C. (2009). *Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de Moringa oleifera para la Depuración de Aguas con*

Baja Turbiedad Comparative Study of Aluminum Sulfate and Moringa oleifera seeds as Coagulants in the Clarification of Water with Low Turbidity, 20(5), 3–12.

<http://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4096it.08>

Lorenzo, Y. (2006). Estado del Arte del Tratamiento de Aguas por Coagulación y Floculación.

Mayo-Agosto. Retrieved from <http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=223120664002>

Madhavi, T., & Rajkumar, R.(2013). Utilisation of natural coagulant fo reduction of turbidity from waste water. *International journal of chemtech research*, 5(3), 11191123

Maldonado, V. (2009). Sedimentación, *Capítulo 7*. Retrieved from

<http://www.ingenieroambiental.com/4014/siete.pdf>

Martel, A. B. (2009). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. Capitulo 1. Retrieved from

http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/ma1_tomo1_cap1.pdf

Mishra, A., & Bajpai, M. (2006). Removal of sulphate and phosphate from aqueous solutions using a food grade polysaccharide as flocculant, 284(4), 443–448.

<http://doi.org/10.1007/s00396-005-1399-x>

Mishra, A., Bajpai, M., Pal, S., Agrawal, M., & Pandery, S. (2006). Tamarindus indica mucilage

and its acrylamide-grafted copolymer as flocculants for removal of dyes. *Colloid and*

Polymer Science, 285(2), 161–168. <http://doi.org/10.1007/s00396-006-1539-y>

Monge, P., & Quijano, G. (2002). *Estudio técnico económico para optimizar el proceso de recuperación del ácido glutámico a través de torres de resina de intercambio catiónico*.

Universidad Nacional de Ingeniería. Retrieved from

http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1016/3/monge_rp.pdf

- Ojeda Báez, L. F. (2012). *Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del Tropaeolum Tuberosum, en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasí de la EPMAPS*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- OMS. (2008). Guías para la calidad del agua potable. In *Ediciones de la OMS* (Vol. 1). Organización Mundial de la Salud.
- Osorio, J. (2018). *Creacion de una linea de productos artesanales de pasteleria a base de Tamarindo*. UDLA. Retrieved from dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/9770/1/UDLA-EC-TLG-2018-20.pdf
- Rodríguez, J., Lugo, I., Rojas, A., & Malaver, C. (2007). Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora. Umbral Científico
- Salgado, M. A. (2018). *Evaluación de las semillas de tamarindo (Tamarindus indica) en la remoción de turbidez de aguas superficiales*. Universidad de Sucre. Retrieved from https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/642/1/T581.64_S164.pdf
- Sandoval, L., Palacios, L., Piña, M., & Guzmán, L. (2017). *Potencial zeta como una herramienta para determinar la aglomeración de las partículas en la reducción del volumen del lodo a disponer*. México. Retrieved from http://elaguapotable.com/POTENCIAL_ZETA_COMO_UNA_HERRAMIENTA_PARA_DETERMINAR_LA.pdf
- Santos, M. O. (2001). *El cultivo de Tamarindo (Tamarindus indica L.) en el trópico seco de México*. (Vol. 1). Michoacan, Mexico. Retrieved from <http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/2186/61michoacan.pdf>
- Tenelanda, F., & Muyulema, J. (2013). *“Optimización de la unidad de floculación y calidad,*

microbiológica y fisico-química del agua del sistema de abastecimiento de la Parroquia Sinincay.” Universidad de Cuenca. Retrieved from

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4751/3/Tesis.pdf>

VIDA SANA. (2019). El Tamarindo: Características y Beneficios. Obtenido de

<https://www.vidasanaecuador.com/2014/10/el-tamarindo-caracteristicas-y.html>

ANEXOS

Anexo 1 Lista de abreviaturas

ATS: agua turbia sintética

SENAGUA: Secretaria Nacional del Agua

OMS: Organización Mundial de la Salud

FTU: Unidad de Turbidez de la Formazina

NTU: Unidad Nefelometrica de Turbidez

L: unidad de volumen denominado litro

pH: potencial de hidrógeno

mg: unidad de masa denominada miligramo

rpm: revoluciones por minuto

g: unidad de masa denominada gramo

Anexo 2 Despulpado de la muestra



Fig. 81 Selección de la materia prima (Tamarindo). Fuente: Autora.



Fig. 92 Cocción de la materia prima. Fuente: Autora.



Fig. 103 Semilla del tamarindo. Fuente: Autora.



Fig. 114 Pelado de la semilla de tamarindo. Fuente: Autora.

Anexo 3 Preparación de agua turbia sintética ATS



Fig. 125 Caolín para ATS Fuente: Autora.



Fig. 136 Muestra de caolín. Fuente Autora.



Fig. 147 Caolín en agua de grifo. Fuente: Autora.



Fig. 158 Toma de pH del agua turbia a través del pH metro. Fuente: Autora.

Anexo 4 Prueba de jarras



Fig. 16 Diferentes concentraciones de agua turbia. Fuente: Autora.



Fig. 17 Prueba de Jarras con diferentes concentraciones de agua turbia. Fuente: Autora.



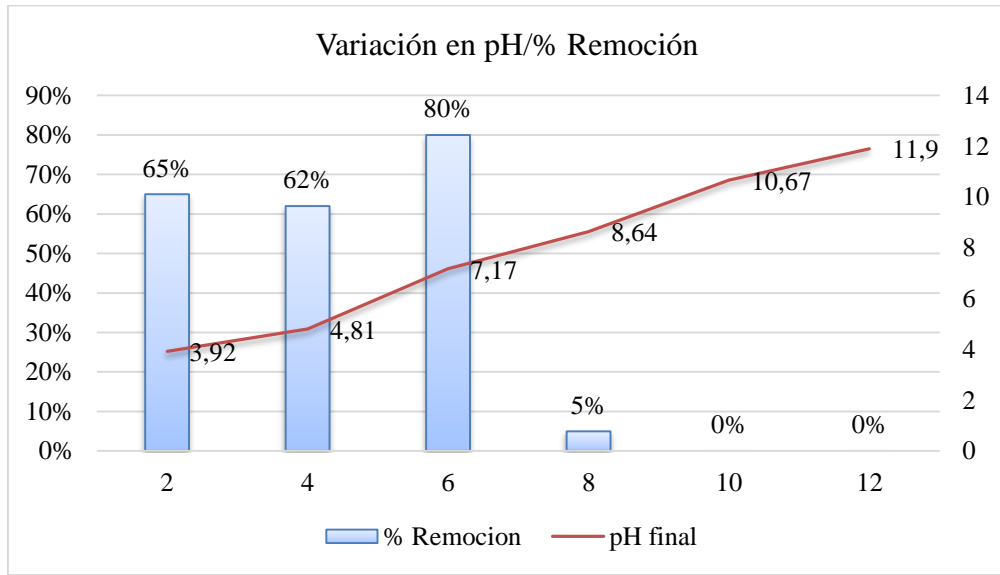
Fig. 18 Concentraciones de agua turbia después de aplicar el coagulante. Fuente: Autora.

Anexo 5 Resultados obtenidos de porcentaje de remoción

Tabla 7 Porcentaje de remoción del coagulante de la semilla de tamarindo en diferentes rangos de turbidez. Fuente: Autora.

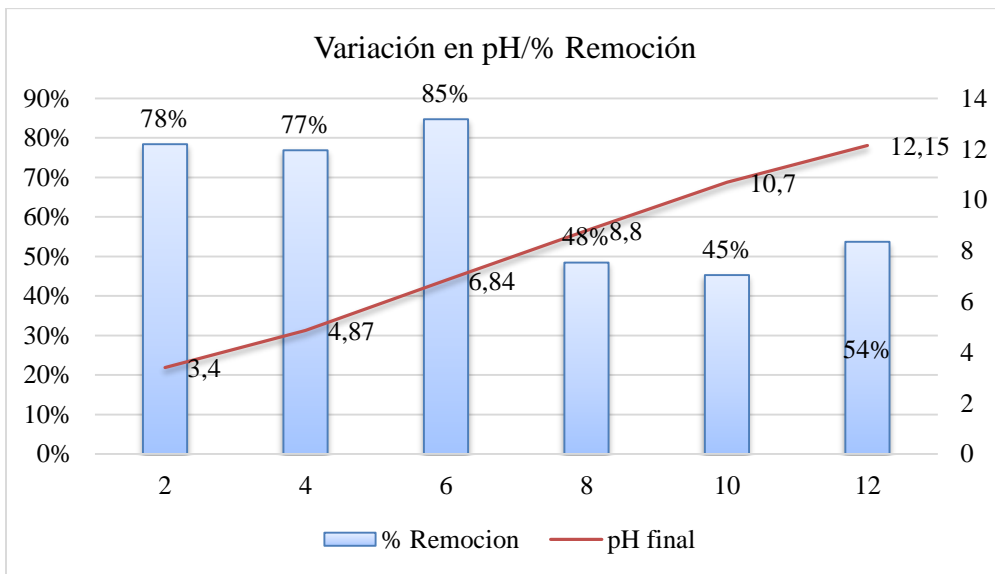
Concentración mg/L	pH inicial	pH final	Turbidez inicial (FTU)	Turbidez Final (FTU)	% de remoción
10	6.6	6.55	10	3	70%
25	6.6	6.4	10	4	60%
50	6.6	6.75	10	5	50%
100	6.6	6.9	10	8	20%
150	6.6	7.01	10	10	0%
200	6.6	7.3	10	11	0%
10	6.9	6.3	20	6	70%
25	6.9	6.45	20	7	65%
50	6.9	6.85	20	10	50%
100	6.9	6.84	20	16	20%
150	6.9	7.15	20	20	0%
200	6.9	7.2	20	25	0%
10	7	6.2	50	28	44%
25	7	6.34	50	30	40%
50	7	6.65	50	33	34%
100	7	6.89	50	32	36%
150	7	7.28	50	38	24%
200	7	7.64	50	42	16%
10	7	6.38	75	48	36%
25	7	6.53	75	50	33%
50	7	6.68	75	52	31%
100	7	6.75	75	53	29%
150	7	7.39	75	55	27%
200	7	7.52	75	60	20%
10	6.28	6.3	100	50	50%
25	6.28	6.38	100	53	47%
50	6.28	6.45	100	57	43%
100	6.28	6.58	100	60	40%
150	6.28	7.54	100	62	38%
200	6.28	7.6	100	65	35%
10	6.45	6.16	190	20	89%
25	6.45	6.49	190	22	88%
50	6.45	6.55	190	25	87%
100	6.45	6.77	190	27	86%
150	6.45	7.67	190	34	82%
200	6.45	7.63	190	44	77%

Anexo 6 Gráficas de variación del pH en distintos rangos de turbiedad en y su porcentaje de remoción con 10 mg/L de coagulante.



Gráfica 9 Resultado de variación del pH en una turbidez inicial de 100 FTU.

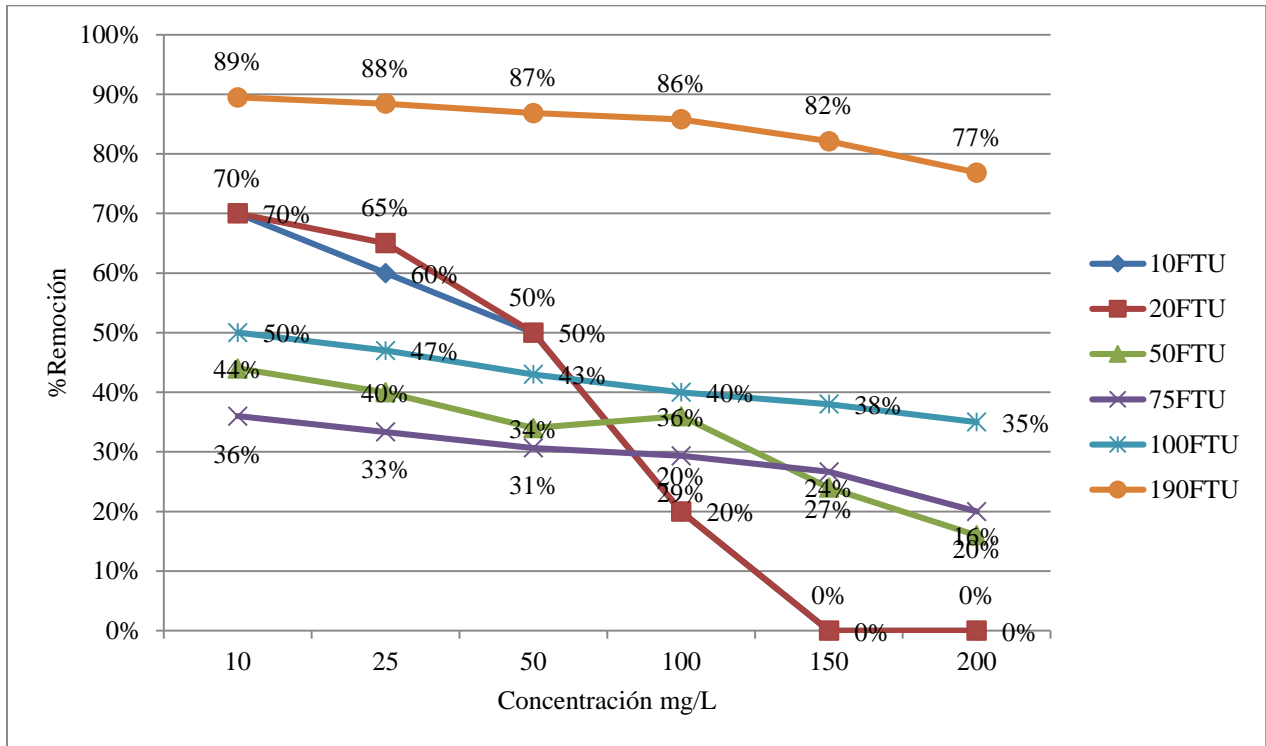
Fuente: Autora



Gráfica 10 Resultado de variación del pH en una turbidez inicial de 190 FTU.

Fuente: Autora

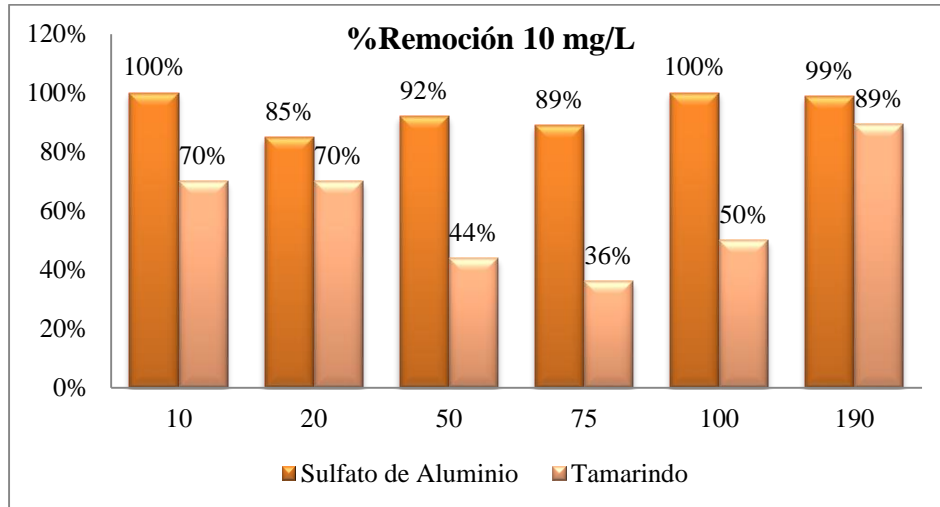
Anexo 7 Porcentaje de remoción de turbidez aplicando distintas concentraciones de coagulante de semillas de tamarindo.



Gráfica 11 Porcentaje de remoción de turbidez aplicando coagulante de semillas de tamarindo.

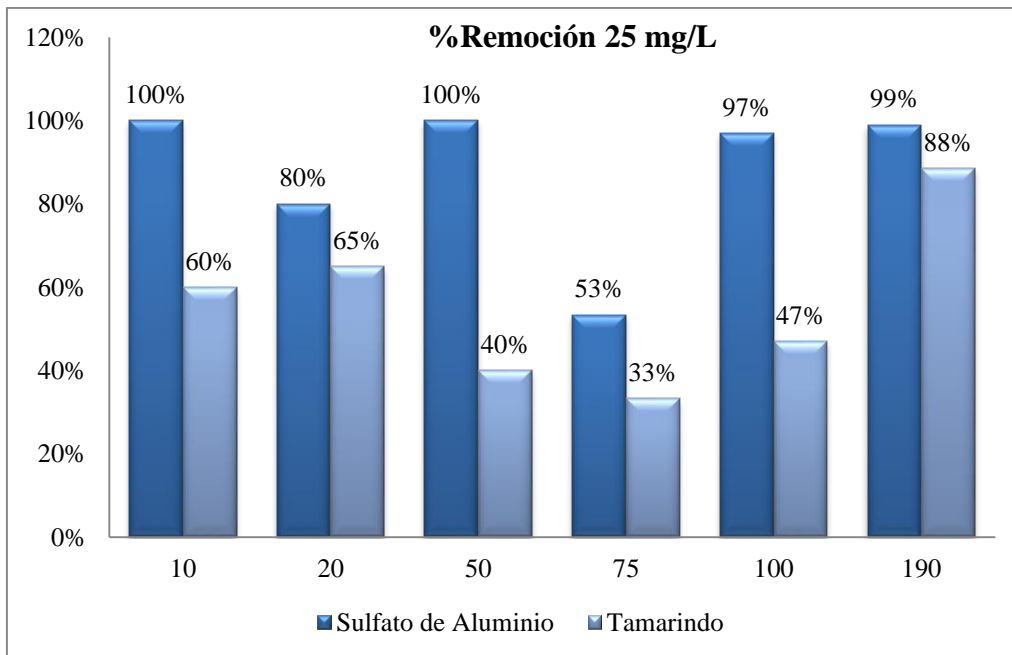
Fuente: Autora.

Anexo 8 Comparación del porcentaje de remoción entre el coagulante natural de extracto de semillas de tamarindo y sulfato de aluminio en diferentes valores de turbidez.



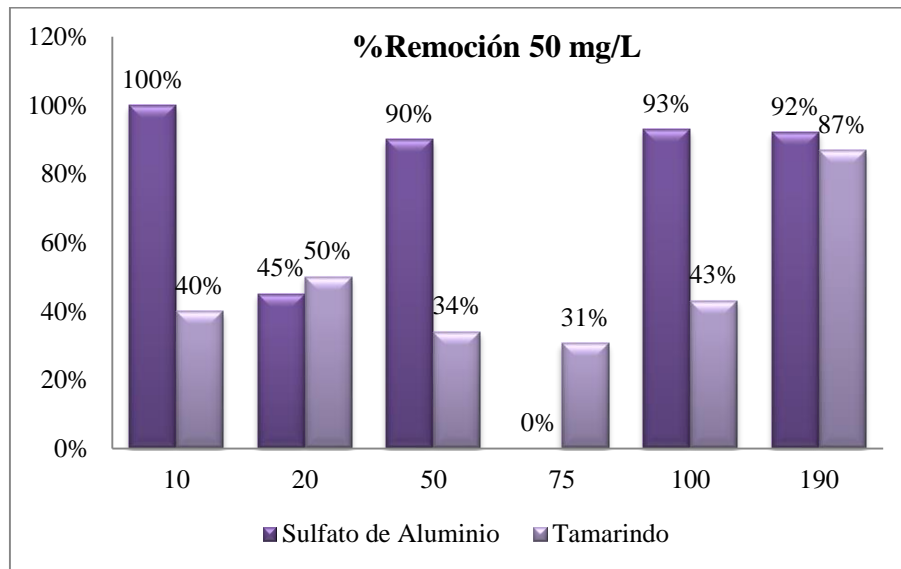
Gráfica 12 Comparación de las dos muestras con concentración de 10 mg/L.

Fuente: Autora.



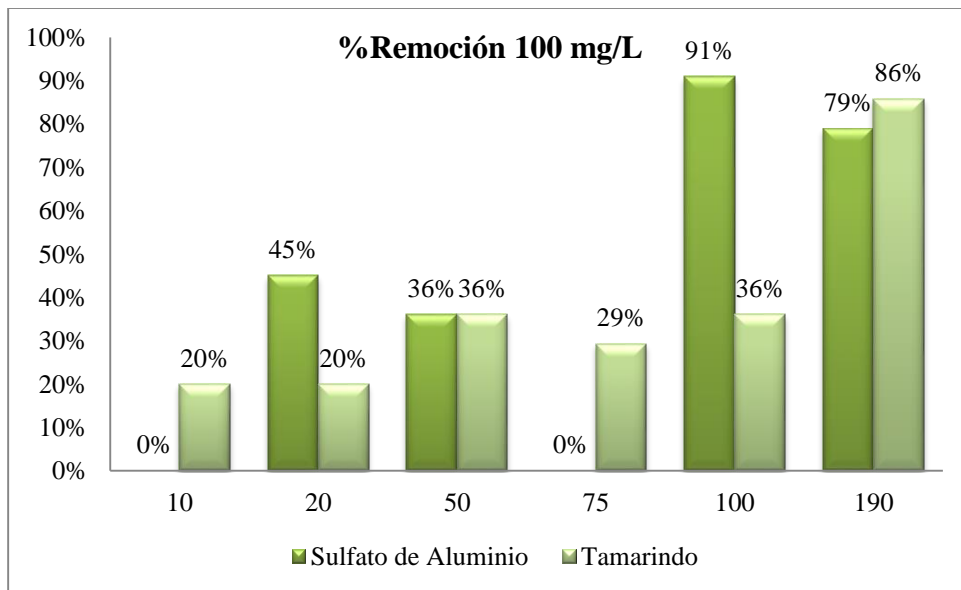
Gráfica 13 Comparación de las dos muestras con una concentración de 25 mg/L.

Fuente: Autora.



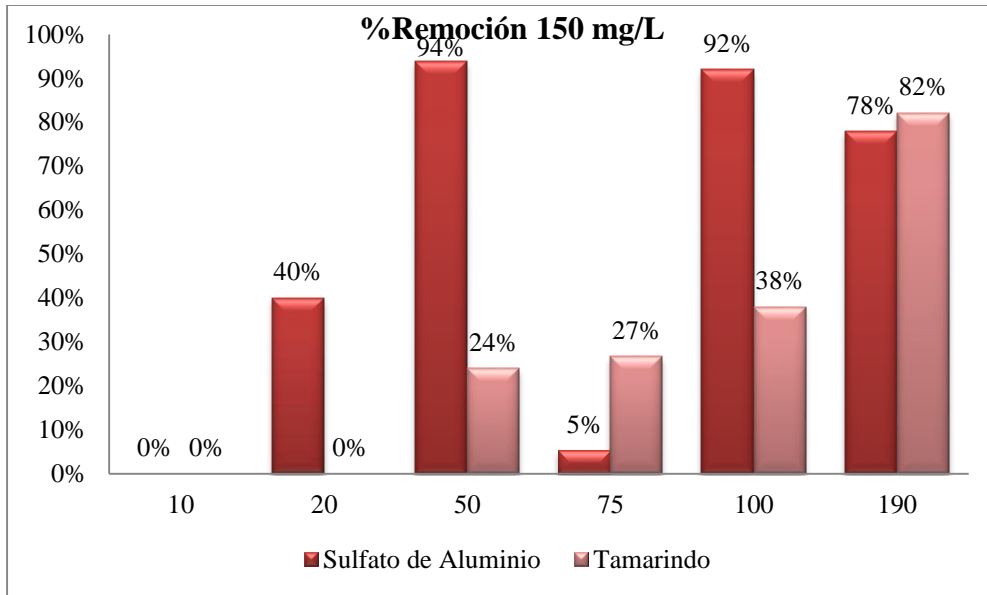
Gráfica 14 Comparación de las dos muestras con una concentración de 50 mg/L.

Fuente: Autora



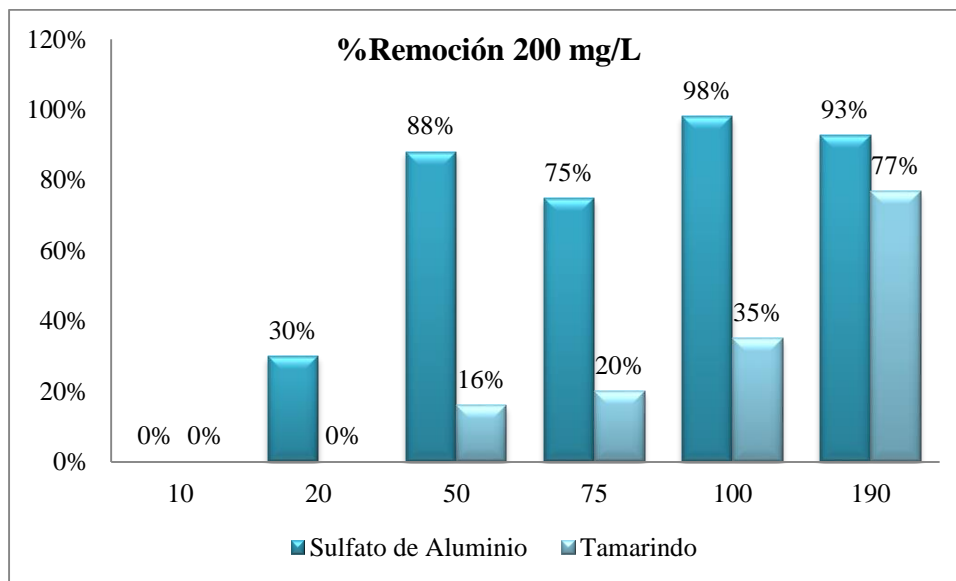
Gráfica 15 Comparación de las dos muestras con una concentración de 100 mg/L.

Fuente: Autora



Gráfica 16 Comparación de las dos muestras con una dosis de 150 mg/L.

Fuente: Autora



Gráfica 17 Comparación de las dos muestras con una concentración de 200 mg/L.

Fuente: Autora

Anexos 9 Resultados del potencial Z



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS
 LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
 INFORME DE RESULTADOS

SOLICITADO POR:	RAMIREZ LAIME ROLANDO MARCELINO	INF. LAB. AMB	49066
DIRECCION:	CIUDADELA KENNEDY	No. Orden	61454
FECHA DE RECEPCIÓN:	03/06/2019	HORA DE RECEPCIÓN:	09:52
MUESTRA DE:	SOLUCIÓN DE SEMILLAS DE TAMARINDO	HORA DE MUESTREO:	10:00
FECHA DE MUESTREO:	06/06/2019		
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA:			
RESPONSABLE:	QUÍM. CRISTIAN QUINTANA		
OBSERVACIONES GENERALES:	1) Los resultados se refieren a la muestra remitida por el cliente. 2) La fecha de recepción corresponde a la fecha que se emite la orden de trabajo.		

DESCRIPCIÓN	La muestra es remitida por el cliente en un frasco ámbar recubierto por papel de aluminio, la solución presenta apariencia turbia-blanquesina sobresaturada, contiene solidos sedimentados y por la descripción dada por el cliente, está compuesta de semillas de tamarindo en solución acuosa.	EQUIPO
		DLS HORIBA Scientific nanoparticle NANO PARTICLE ANALYZER SZ-100

MUESTRA	RESULTADOS				MÉTODO DE MEDICIÓN
	POTENCIAL Z ¹	POTENCIAL Z ²	POTENCIAL Z ³	UNIDADES	
Semillas de tamarindo	-1,4	-8,9	-25,2	mV	Variación de potencial

- [1] El resultado reportado corresponde a la muestra homogenizada directa, es decir sin dilución.
- [2] El resultado reportado corresponde a la muestra diluida con agua tipo 1 con un factor de dilución de 10 (FD=10).
- [3] El resultado reportado corresponde a la muestra diluida con agua tipo 1 con un factor de dilución de 100 (FD=100).

NOTAS:	A) La temperatura de medición de Potencial Z en todas las muestras fue de 25°C. B) Se realizó diluciones con el objetivo de establecer relaciones de estabilidad conforme a la concentración ya que la muestra presenta solidos sedimentables.
---------------	---



B.F. ALICIA CEPÁ
 JEFE DE AREA QUÍMICA AMBIENTAL



Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
 Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriosasp@hotmail.com