

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



**“COMPARACIÓN DEL BIOCOAGULANTE *Tamarindus indica* Y
SULFATO DE ALUMINIO, EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

FERNANDEZ GUTIERREZ, YURKA MAVILA

Villa El Salvador
2019

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios, por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante en mi formación profesional, por su infinita bondad y amor. A mis padres con todo mi amor y cariño, que se esforzaron y manifestaron todo su apoyo para que yo pudiera lograr mis sueños, por brindarme su cariño y apoyo cuando más lo necesite, por no dejar que me rinda cuando sentía que el camino se tornaba difícil, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

A mis padres.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy infinitamente gracias a Dios, por protegerme y cuidarme, por darme la fortaleza y sabiduría para llegar a esta etapa de mi carrera profesional.

Agradezco también a mi padre, que desde el cielo me cuida; por inculcarme los valores que hoy rigen en mi vida y enseñarme que puedo lograr lo que me propongo.

Agradezco a mi madre, por la confianza puesta en mí, y por brindarme su apoyo las fuerzas necesarias cada vez que quería desistir.

A mis amigos y todas aquellas personas que me brindaron su apoyo, cariño y consejos en este largo camino.

Finalmente, a mis compañeros de trabajo, quienes me brindaron su apoyo y aliento en este proyecto.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Descripción de la Realidad Problemática	2
1.2. Justificación del Problema	3
1.3. Delimitación del Proyecto	4
1.3.1. Teórica	4
1.3.2. Temporal	4
1.3.3. Espacial	5
1.4. Formulación del Problema	5
1.4.1. Problema General	5
1.4.2. Problemas específicos	6
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo General	6
1.5.2. Objetivos Específicos	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes	8
2.1.1. Internacionales:	8
2.1.2. Nacionales:	11
2.2. Bases Teóricas	13
2.2.1. Situación mundial de aguas residuales	13
2.2.2. Situación en el Perú de aguas residuales	17
2.2.3. Sistemas de tratamiento de aguas residuales	19
2.2.4. Proceso de coagulación y floculación	22
2.2.5. Tipos de coagulantes	30
2.2.6. <i>Tamarindus indica</i>	33
2.3. Definición de términos básicos	37
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL	39
3.1. Modelo de solución propuesto	39
3.1.1. Tipo de investigación	39
3.1.2. Nivel de investigación	39
3.1.3. Diseño de la investigación	39
3.1.4. Población y muestra	39
3.1.5. Procedimientos metodológicos	40

3.2. Resultados	44
3.2.1. Caracterización del agua residual.....	44
3.2.2. Resultados obtenidos en la variación de turbidez	45
3.2.3. Resultados obtenidos en variación de color	49
3.2.4. Resultados obtenidos en variación de pH	52
3.3. Eficiencia de remoción	55
3.3.1. Remoción de turbidez	55
3.3.2. Remoción de color	57
3.3.3. Variación de pH.....	59
3.4. Análisis estadístico.....	61
3.4.1. Nivel de remoción de parámetros por cada coagulante	61
3.4.2. Nivel de remoción por dosis aplicadas.....	64
DISCUSIONES	67
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS	76
Anexo N° 01: Certificado de acreditación de. Environmental Testing Laboratory S.A.C. - INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE	76
Anexo N° 02: Certificado de acreditación de Environmental Testing Laboratory S.A.C. - INACAL	77
Anexo N° 03: Registro fotográfico de calibración de equipos en laboratorio (UNTELS)..	78
Anexo N° 04: Registro fotográfico de obtención del biocoagulante	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de CITRAR- UNI.....	5
Figura 2. Secuencia del tratamiento de aguas residuales.....	21
Figura 3. Proceso de adición del coagulante	23
Figura 4. Esquema del mecanismo neutralización de carga.....	24
Figura 5. (a) Adsorción de polímero y formación de flóculos disponibles para la unión (b) Puente polimérico entre partículas (agregación)	25
Figura 6. (a) Partículas con carga negativa (b) Coagulantes catiónicos (c) Coagulación por neutralización de carga mediante mecanismo de parche.	26
Figura 7. Flor y vainas de tamarindo mostrando pistilo, estambre y semilla. A. Fruto maduros B. Sección verticales a través de una sola vaina C. Semillas D. Flor E. Detalles de pistilo y estigma. F. Detalle del tubo de la corola, pistilo y estambre.....	34
Figura 8. Estructura química A. ácido glutámico B. ácido aspártico y C. Especie predominante a pH= 5, n= 1 o 2.....	36
Figura 9. Toma de muestra en la zona de captación del CITRAR (1).....	40
Figura 10. Toma de muestra en la zona de captación del CITRAR (2).....	41
Figura 11. Procedimiento para la obtención del biocoagulante a partir de Tamarindus indica.....	42
Figura 12. Test de jarras empleado para el proceso de coagulación- floculación.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de aguas residuales a nivel mundial.....	15
Tabla 2. Composición química del tamarindo por 100 gr de porción comestible.....	35
Tabla 3. Equipos usados del Laboratorio de Química (UNTELS)	43
Tabla 4. Parámetros físico químicos de la muestra inicial obtenido en el Laboratorio de ENVIROTEST S.A.C.....	44
Tabla 5. Parámetros físico químicos de la muestra inicial obtenido en el Laboratorio de Química (UNTELS)	45
Tabla 6. Medición de turbidez después de la aplicación de las diferentes dosis con tamarindo.....	46
Tabla 7 Medición de turbidez después de la aplicación de las diferentes dosis con sulfato de aluminio.....	47
Tabla 8 Medición de color después de la aplicación de las diferentes dosis con tamarindo	49
Tabla 9 Medición de color después de la aplicación de las diferentes dosis con sulfato de aluminio.....	50
Tabla 10 Medición de pH después de la aplicación de diferentes dosis con tamarindo. ...	52
Tabla 11 Medición de pH después de la aplicación de diferentes dosis con sulfato de aluminio.....	53
Tabla 12 Eficiencia de remoción de turbidez con ambos coagulantes.	55
Tabla 13 Eficiencia de remoción de color con ambos coagulantes.....	57
Tabla 14 Porcentaje de variación de pH con ambos coagulantes.....	59
Tabla 15 Prueba de normalidad	61
Tabla 16 Diferencias de remoción de parámetros fisicoquímicos con ambos coagulantes.	62
Tabla 17 Estadísticas de grupo por cada tratamiento y parámetros evaluados.....	63
Tabla 18 Diferencias para el parámetro de turbidez entre las dosis aplicadas para el tratamiento con tamarindo.....	64
Tabla 19 Diferencias para el parámetro de turbidez entre las dosis aplicadas para el tratamiento con sulfato de aluminio.....	65
Tabla 20 Diferencias para el parámetro de color entre las dosis aplicadas para el tratamiento con sulfato de aluminio.....	65
Tabla 21 Diferencias para el parámetro de pH entre las dosis aplicadas para el tratamiento con tamarindo.....	66
Tabla 22 Diferencias para el parámetro de pH entre las dosis aplicadas para el tratamiento con sulfato de aluminio.....	66

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1	Variación de turbidez con tamarindo.	46
Gráfica 2.	Variación de turbidez con sulfato de aluminio.	48
Gráfica 3.	Variación de turbidez del tamarindo vs el sulfato de aluminio.	48
Gráfica 4.	Variación de color con tamarindo.....	50
Gráfica 5.	Variación del color con sulfato de aluminio.....	51
Gráfica 6.	Variación del color del tamarindo vs el sulfato de aluminio.....	52
Gráfica 7.	Variación de pH con tamarindo	53
Gráfica 8.	Variación de pH con sulfato de aluminio	54
Gráfica 9.	Variación de pH de tamarindo vs sulfato de aluminio	55
Gráfica 10.	Eficiencia de remoción de turbidez del tamarindo vs sulfato.	57
Gráfica 11.	Eficiencia de remoción de color del tamarindo vs sulfato.....	59
Gráfica 12.	Porcentaje de variación de pH del tamarindo vs sulfato.	60

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de la población a nivel mundial del recurso hídrico y sus variados usos de la misma, traen consigo grandes problemáticas en cuanto a su tratamiento y reducción de distintos parámetros, para su posterior vertimiento en redes de alcantarillado u otros cuerpos de agua superficiales. Sin repercutir categóricamente en el ambiente o influenciar negativamente la cadena de alimentación.

Por ello, es necesario estudiar y evaluar diferentes métodos para la disminución de los diversos parámetros del agua residual, haciendo uso de componentes orgánicos que sean amigables con el ambiente y no produzcan efectos tóxicos en la salud humana. Es así como se llega a la comparación de dos coagulantes *Tamarindus indica* y sulfato de aluminio, este último usado actualmente en la disminución de turbidez, color y variación de pH de las aguas residuales.

El presente trabajo se encuentra estructurado en tres capítulos: en el primer capítulo, encontramos la descripción del problema, que nos brinda una idea de la situación actual en relación a la problemática de tratamiento de aguas residuales. Seguido la formulación del problema. Luego la justificación, continuando con la delimitación y los objetivos planteados en este estudio.

En el segundo capítulo se plasma el marco teórico, dentro de los cuales se encuentran los antecedentes, bases teóricas y definición de términos básicos. Y, por último, en el tercer capítulo se explica la metodología del trabajo y sus respectivos resultados. Finalmente, se encuentra la comparación de la eficiencia de remoción de la turbidez, color y variación de pH de ambos coagulantes evaluados, buscando mostrar una alternativa amigable. Y a su vez, disminuir el uso de químicos contaminantes.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

Las aguas residuales como fuente adicional son significativas; ya que permitiría cubrir las necesidades de la población, debido a que en muchos lugares la disponibilidad de este recurso es restringida. A su vez, su tratamiento en muchos casos incluye impactos positivos como: costos bajos, beneficios para suelos de cultivo, áreas verdes, y principalmente, la reducción del impacto sobre el ambiente.

Dentro del tratamiento de aguas residuales, se tiene el proceso denominado coagulación; cuyo propósito es formar pequeñas partículas en forma de gel y destruir la estabilidad de las suspensiones coloidales, de manera que las sustancias inorgánicas puedan precipitarse y luego eliminarse por precipitación o filtración (Cogollo, 2010). Por esta razón, desde la década de 1960, los coagulantes químicos se han utilizado en países en desarrollo, entre los cuales se utilizan con mayor frecuencia sulfato de aluminio ($(Al_2SO_4) \cdot 3.18H_2O$ o alumbre) y cloruro de aluminio ($AlCl_3$). Debido a que son rentables, fáciles de obtener y altamente efectivos, pueden promover la eliminación de color, turbidez y microorganismos patógenos (como bacterias y virus).

En los últimos años se investigan otras opciones de tratamiento. Por lo cual, se plantea el uso de coagulantes poliméricos naturales derivados de diversas especies vegetales o restos de animales. Resalta entre ellos; el almidón de yuca como agente coadyuvante, el almidón de plátano mezclado con sulfato de aluminio y arcillas para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios (Laines Canepa, Solis Silvan, & Hernández Barajas, 2012); el quitosano, biopolímero que muestra una alta remoción de partículas suspendidas, y *Cactus lefaria*, que obtiene un rango de 80 a 90% de eficiencia de remoción de turbidez (Martinez, Chávez, Díaz, Chacín, & Fernández, 2003).

También, se considera a las semillas de *Moringa oleífera*, *Stenocereus griseus*, además de *Hylocereus lemairei*, *Aloe vera*. También se incluye a la especie *Tamarindus indica*; que ha sido usada en aguas residuales tratadas, para la mejora de sus características antes de su disposición final al medio ambiente.

Por lo tanto, los coagulantes naturales se han utilizado durante siglos en las prácticas tradicionales de tratamiento de agua en ciertas áreas del mundo. Y actualmente representan una alternativa viable y económica para el tratamiento en sectores rurales de nuestro país.

1.2. Justificación del Problema

En el campo de la ingeniería ambiental y saneamiento, el tratamiento del agua es de gran importancia; y la evaluación de los coagulantes naturales es particularmente importante. Por lo tanto, es importante encontrar sustancias en la naturaleza que tengan el mismo efecto de eliminación que las sales metálicas de uso frecuente, las cuales deben ser de bajo costo y de fácil disponibilidad o acceso. Es por ello que en los últimos años se han fomentado las investigaciones y han tenido un gran desarrollo, usando bajas dosis de sustancias naturales, se obtuvieron altas remociones.

Esta investigación tiene el propósito de evaluar la eficiencia de la remoción de turbidez, color y variación de pH del biocoagulante *Tamarindus indica* y el coagulante químico convencional más usado sulfato de aluminio; mediante la prueba de jarras que simula el proceso de coagulación, floculación y sedimentación de una planta de tratamiento de aguas residuales.

1.2.1. Justificación social:

Un tema preocupante es la salud pública; es decir, las enfermedades que pueden acarrear a la larga el uso continuo de estos coagulantes primarios o químicos como se describirá más adelante. Por lo cual, la presente busca compararlos para usarlos como

sustituto o al menos una fracción del coagulante comúnmente usado, reduciendo el uso de este último. Así mismo, otra de las ventajas que traería consigo es incentivar el cultivo de este fruto, generando así, más puestos de trabajo.

1.2.2. Justificación ambiental:

La situación actual las aguas residuales, sobre todo de aquellas industrias y actividades que generan efluentes con gran carga de turbidez y orgánica, hace de su tratamiento y reúso un proceso muy importante para la conservación de este recurso agotable.

1.2.3. Justificación económica:

Se tendría como secuela la reducción de costos de adquisición e importación y el aprovechamiento de residuos industriales y agropecuarios.

1.3. Delimitación del Proyecto

1.3.1. Teórica

Con el presente trabajo se pretende demostrar una mayor eficiencia de remoción de parámetros físico químicos (turbidez, pH y color) del biocoagulante *Tamarindus indica*, frente al coagulante químico convencional más usado sulfato de aluminio, en el tratamiento de aguas residuales, mediante el uso de tres diferentes dosis para identificar al más óptimo y muestre mayor nivel de remoción.

1.3.2. Temporal

Para demostrar la eficiencia de remoción de ambos coagulantes y determinar las concentraciones más óptimas, tomará un tiempo aproximado de un mes; ya que implica toma de muestras en una planta de tratamiento de aguas residuales, las subsecuentes pruebas de laboratorio y respectivo análisis de parámetros fisicoquímicos.

1.3.3. Espacial

El presente trabajo ocupa como muestra las aguas residuales del “Centro de Investigación de Aguas residuales y Residuos Peligrosos” (CITRAR); la cual, se encuentra ubicada dentro del campus universitario de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI); en el distrito del Rímac.



Figura 1. Ubicación de CITRAR- UNI
Fuente: Google Maps

1.4. Formulación del Problema

1.4.1. Problema General

¿Qué coagulante demostrará tener mejor desempeño en el tratamiento de aguas residuales, extraídas del CITRAR?

1.4.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será el nivel de remoción de parámetros físico-químicos (turbidez, color y pH) del biocoagulante *Tamarindus indica*?
- ¿Cuál será el nivel de remoción de parámetros físico-químicos (turbidez, color y pH) del sulfato de aluminio?
- ¿Qué coagulante demostrará tener un mayor nivel de remoción de parámetros físico-químicos (turbidez, color y pH)?
- ¿Cuál será la dosis óptima de cada coagulante, para la remoción de parámetros físico-químicos (turbidez, color y pH) en el tratamiento de aguas residuales, extraídas del CITRAR.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Comparar el biocoagulante *Tamarindus indica* y el sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas residuales, extraídas del CITRAR.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar el nivel de remoción de parámetros físico-químicos (turbidez, color y pH) del biocoagulante *Tamarindus indica* a diferentes dosis.
- Determinar el nivel de remoción de parámetros físico-químicos (turbidez, color y pH) del sulfato de aluminio a diferentes dosis.

- Comparar el nivel de remoción de parámetros físico-químicos (turbidez, color y pH) del biocoagulante *Tamarindus indica* y el sulfato de aluminio.
- Establecer las dosis óptimas de ambos coagulantes, para la remoción de parámetros físico-químicos (turbidez, color y pH), en el tratamiento de aguas residuales extraídas del CITRAR.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales:

En un primer trabajo (Salgado, 2018) titulado: “*Evaluación de las semillas de Tamarindo (Tamarindus indica) en la remoción de turbidez en aguas superficiales*”; realizado en la Universidad de Sucre. Donde realizaron 2 métodos de extracción (frío y caliente) del biocoagulante a partir de la semilla de *Tamarindus indica*. Se realizó la prueba al azar, mediante combinaciones de: 2 concentraciones aplicadas (35 y 40 mg/L), y teniendo como tercer factor la agitación (100 y 200 rpm); se evaluó la eficiencia de la aplicación del coagulante, con el fin de establecer las mejores condiciones de clarificación del polvo de semilla de tamarindo. Donde se ejecutaron 12 tratamientos con 3 repeticiones, para un total de 36 unidades experimentales. Los análisis mostraron que el coagulante a base de tamarindo extraído en frío, alcanza mayor actividad coagulante a mayor turbidez inicial del agua superficial de la muestra tomada. 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 una turbidez inicial de $310,67 \pm 5,16$ UNT.

Teniendo como resultado que el proceso de extracción en frío presenta mayores eficiencias alcanzando entre 39% y 54% de actividad coagulante. Asimismo, se encontró un alto de porcentaje de eficiencia de remoción entre 40% y 74% de *Tamarindus indica* para la remoción de turbidez. Así mismo, se comprobó que muestra mayor eficiencia de remoción al aplicar una velocidad de agitación de 100 rpm.

Otro trabajo de investigación similar realizado (Guardado Pacheco & Hernández García, 2017) en la tesis: “*Evaluación de la efectividad de floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales provenientes de lavandería industrial, utilizando el cladodio de nopal y la semilla de tamarindo*” en la Universidad de El Salvador; en la cual se buscó evaluar la fracción de eficiencia de remoción de turbidez de las aguas residuales de origen industrial. En este caso, de dos coagulantes de origen orgánico una a base de *Opuntia Ficus* y otra de *Tamarindus indica*. Trabajando con dosis para el tamarindo de 1.2 ml a 1.6 ml con variaciones de 0.2 ml para testeos de 250 ml; y para el cladodio de nopal con dosis de 3 a 9 ml con variaciones de 3 ml para testeos de 250 ml, ambos tratamientos con tiempos de agitación de 10 a 30 min entre mezcla rápida y lenta.

Para la cual se obtuvo un valor óptimo de remoción de turbidez con tamarindo (*Tamarindus indica*) del 55.3% con dosis de floculante de 8ml/L, bajo un pH de operación óptimo de 5 y para 20 min de tiempo de agitación. Y para el floculante extraído de cladodio de nopal (*Opuntia ficus indica*) se consiguió un 40.3 % de reducción de turbidez, bajo el pH de operación óptimo de 6, con una dosis de floculante de 30 ml/L y un tiempo de agitación de 20 minutos. En ambos tratamientos y bajo la normativa de su país, era posible la descarga del agua tratada al alcantarillado, mas no a un cuerpo receptor. Bajo límites máximos permisibles de parámetros de SST, DQO y DBO.

Así mismo, (Álvarez Suazo, 2016) en la tesis: “*Uso de la semilla de tamarindo como coagulante orgánico en procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de agua para potabilización*” en la Universidad San Carlos de Guatemala; en la cual se buscó valorar la eficacia de remoción de turbidez y color del agua, usando semillas de tamarindo para suplir al sulfato de aluminio en los procesos de coagulación-floculación. Para la cual se empleó agua sintética de diferentes rangos de turbidez y color entre 100 y 500 NTU. Se realizaron testeos previos para establecer las dosis óptimas de remoción en los diferentes valores de turbidez. Para posteriormente, a partir de ellas,

trabajar la mezcla o sustitución del coagulante químico con el coagulante orgánico en intervalos del 20%, empleando dosis de 40 a 70 mg/l de acuerdo con testeos previos; para el cual se consiguió un nivel de remoción de turbiedad del 67.8% y en el color de 49.7%.

Se concluye que es posible suplantarse el coagulante de tamarindo hasta en un 20% por el sulfato de aluminio, para obtener menos de 5 UNT en turbidez. Con los que se alcanzan eficiencias de remoción del 99.2% en turbidez y 98.9% en el color.

Por su parte, (Hernández, Mendoza, Salamanca, Fuentes, & Caldera, 2013) en la investigación: "*Semillas de tamarindo (Tamarindus indica) como coagulante en aguas con alta turbiedad*" en la Universidad de Zulia, evalúan las dosis y pH óptimos, empleando muestras con 100, 200, 300 y 350 UNT de turbidez, y varias dosis de *Tamarindus indica*. Obtuvieron como dosis óptima 61.83 ppm (para valores de turbidez entre 100 y 200 UNT); 86.56 ppm (300 UNT) y 74.19 ppm (350 UNT). Asimismo, se evaluó el pH óptimo para los distintos rangos de turbidez trabajados. Los resultados mostraron porcentajes de remoción para la turbidez entre 72.45% y 89.09% para las dosis óptimas. En cuanto al parámetro del color, proporcionó como resultado previo a la filtración entre 120 y 266 CU y post filtración entre 30 y 40 CU. En el pH y la alcalinidad se presentaron leves diferencias. Estos resultados demuestran una vez más que el tamarindo es un coagulante factible en la purificación de agua para sustituir productos químicos.

Por último, (Gurdián López & Coto Campos, 2010) en la investigación: "*Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo Tamarindus indica en la coagulación - floculación de aguas residuales*"; donde se contrasta el rendimiento de dos coagulantes químicos: sulfato de aluminio y cloruro de hierro (III), contrastado con la semilla de tamarindo. Para la remoción de turbidez de agua residual, derivada de una industria textil con alta turbidez y otra de origen doméstico. El coagulante primario se adicionó en gotas de 0.05 ml, probándose distintas disoluciones (de 0.5 al 5%) y para

el caso de la semilla de tamarindo se adicionaron pequeñas cantidades en gramos. Donde también se evaluó la funcionalidad del pH de cada coagulante. Para lo cual; la semilla de tamarindo mostró tener un mejor desempeño a pH ácido (5.58), para el cloruro de hierro (4.80) y el sulfato de aluminio (5.78). La dosis promedio empleada de semilla de tamarindo fue bastante elevada de 3500 ppm, al igual que el de los coagulantes químicos debido a las características iniciales de la muestra de industria textil.

Los resultados obtenidos mostraron que, con todas las sustancias se alcanzó una remoción de turbidez superior al 20%, obteniendo primer lugar el cloruro de hierro, seguido del sulfato y el tamarindo. Así mismo, en cuanto a semilla de tamarindo, demuestra un alto rendimiento para eliminar la turbidez en aguas residuales muy turbias (industrias textileras). En cuanto a la demanda química de oxígeno, puede reemplazar al coagulante tradicional porque se obtuvo una remoción similar a los coagulantes primarios.

2.1.2. Nacionales:

En el ámbito nacional, tenemos a (Jara Vasquez, 2018) en su tesis titulada: “*Uso del coagulante natural extraído de la semilla de tamarindo Tamarindus indica L. para reducir sólidos coloidales en laboratorio de las aguas del río Lurín*”, en la Universidad César Vallejo. Donde usa la semilla de *Tamarindus indica* para disminuir los sólidos coloidales en laboratorio para las aguas del río Lurín. Trabajando con 3 pruebas por concentración del polvo obtenido, mediante la prueba de jarras, empleando dosis de 40 a 140 mg/L con rangos de 20 mg/L. Con una turbidez inicial de 90.5 NTU. Obteniendo la dosis de 100 mg/L los mejores resultados de reducción de turbidez con un 89.3 %, se logró con una mezcla rápida de 100 rpm por un tiempo de 10 minutos y una mezcla lenta de 40 rpm por 30 minutos, además de un tiempo de sedimentación de 30 minutos. Concluyendo que el biocoagulante en polvo obtenido de la semilla de tamarindo es efectivo, el cual puede ser reaprovechado como

coagulante natural que es inocuo en el medio ambiente debido a que los lodos residuales son biodegradables en comparación de los coagulantes sintéticos.

Entre otros biocoagulantes similares tenemos a (Mejía Carrillo, 2016) en la tesis titulada “*Uso de la Moringa oleífera Lam. (MORINGACEAE) como coagulante natural para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas*”, en la Universidad César Vallejo. En cuya tesis se empleó las aguas extraídas de la PTAR de Puente Piedra. Para posteriormente realizar la comparativa entre el coagulante a base de *Moringa Oleífera* y el sulfato de aluminio, utilizando la turbidez como índice para determinar la dosis óptima, de la misma manera se analizaron DBO5, DQO y Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Los resultados muestran que el coagulante de *Moringa oleífera* tiene una alta eficiencia en la remoción de turbidez (87.3%) y SST (88.8%). El valor obtenido mediante coagulante químico es cercano al 92% y 94,5%. En cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y la demanda química de oxígeno (DQO), las eficiencias con coagulantes naturales son del 25,9% y 26,3%. Y con el uso de coagulantes químicos son del 35% y -18,9%, respectivamente. Sin embargo, la DQO amplió su valor con relación a la inicial, dado que la semilla posee altos niveles de materia orgánica.

De la misma manera, (Vela Arévalo, 2016) en su tesis: “*Disminución de la turbidez utilizando coagulante natural Moringa oleífera en aguas obtenidas del río ALTO CHICAMA, puente INGÓN, TRUJILLO 2016*”, en la Universidad César Vallejo. Dicha investigación tuvo como finalidad la remoción de turbidez del río en mención, cuyo valor inicial fue de 297 NTU, empleando 4 dosis (15 ml, 18 ml, 20 ml y 25 ml) y con cuatro velocidades de agitación a) 200 rpm-2 min, 60 rpm-15 min b) 300 rpm- 2 min, 80 rpm-15 min c) 200 rpm-15 min, 80 rpm-2 min y d) 300 rpm- 15 min, 60 rpm-2 min. Con un total de 16 ensayos, con 3 repeticiones cada uno. Obteniendo como resultados que con una velocidad de agitación de 300 rpm- 2 min, 80 rpm-15 min y la

dosis que mostró mejores resultados fue de 20 ml. Alcanzando un pico de 93.10% de remoción de turbidez con el biocoagulante, obtenido a partir de *Moringa Oleífera*.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Situación mundial de aguas residuales

El agua es un recurso natural vital para la existencia en la Tierra. Su disposición y calidad juega un rol significativo en determinar donde pueden vivir las personas, además de la calidad de vida de estas. No ha estado siempre disponible cuando y donde se necesitaba, y pocas veces tiene las características apropiadas para todos los usos. Por ello, debe considerarse como un recurso limitado en su disponibilidad y disposición de uso.

El rápido aumento de la población en todo el mundo se asocia con el uso de enormes cantidades de agua en diferentes actividades de la vida. El agua tiene varias aplicaciones en muchos sectores, incluyendo la industria y la agricultura, así como, las actividades domésticas. Estas actividades generan agua residual contaminada con residuos químicos y biológicos, por lo tanto, el tratamiento de esos desechos antes de su eliminación final o reutilización se convirtió en una necesidad urgente, no solo para cumplir con los estándares internacionales, sino también, para proteger a las próximas generaciones y asegurar la disponibilidad.

Las características físico-químicas de las aguas residuales dependen de su fuente. Las industrias, hospitales, hogares, mercados, aguas residuales de los lavados de los automóviles tienen composiciones diferentes. Contienen una gran cantidad de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos; los metales pesados, están disponibles con altas concentraciones (Thakur & Choubey, 2014). Las aguas residuales del hospital son ricas en desechos farmacéuticos, como antibióticos y agentes infecciosos.

En contraste, las aguas residuales de los mercados tienen una alta constitución orgánica y flora de microorganismos. Por lo tanto, el diseño y la selección de las tecnologías de tratamiento difieren según el tipo de aguas residuales.

Algunas de las características son críticas para determinar la calidad de las aguas residuales, como los componentes orgánicos y las cargas microbianas, mientras que otras, como la temperatura y el color, varían según el clima y las condiciones ambientales; por ejemplo, la temperatura de las aguas residuales en regiones frías varía de 7 a 18°C, mientras que en regiones más cálidas está entre 13 y 4°C. Las variaciones en sus valores afectan la composición de las aguas residuales debido a su papel en las reacciones químicas y biológicas. Las variaciones en la temperatura están asociadas con los cambios en el nivel de pH, la conductividad y nivel de saturación de los gases. Por lo tanto, estos parámetros también deben considerarse para evaluar la caracterización de las aguas residuales. El parámetro de color es un indicador del nivel de sólidos suspendidos totales y colorantes en las aguas residuales juntos (Alturkmani, 2007). Y el análisis de cada parámetro por separado nos da una idea completa de la calidad de las aguas residuales y el efecto esperado sobre el medio ambiente, así como, la selección de la tecnología de tratamiento. Además, la composición de las aguas residuales varía según la estación y la zona geográfica, según las actividades locales y la población total en el área específica, así como, la presencia o ausencia del sistema de transporte de las aguas residuales (Dubey, 2013).

Las caracterizaciones de las diferentes aguas residuales a nivel mundial se representan en la Tabla 1. Con los diferentes parámetros lo cual nos hace denotar de una problemática mundial preocupante.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de aguas residuales a nivel mundial

Tipos de aguas residuales	País	Parámetro	Valores de parámetros
Aguas residuales textiles	Grecia	pH	8.8
		DBDs	180
		DQO	605
		DBOs	25000
Aguas residuales de la producción de aceite de palma	Malasia	DQO	50,000
		SST	18000
		GRASAS Y ACEITES	4000
		SÓLIDOS TOTALES	40000
		TKN	750
		Mg	70
		pH	6.65
Aguas residuales	Arabia Saudi	N	0.7
		SST	1.77
		DQO	11.2
		Fe	6.12
Residuos de aguas residuales	Nigeria	pH	3.74
		DQO	24.6
		pH	7.7
Aguas residuales Municipales	Corea	SS	281.9
		DBOs	205.76
		DQO	238.83
Aguas residuales de la industria lechera	Brasil	DQO	33.3
		SÓLIDOS TOTALES	0.44
		pH	7.41
		DBOs	2250
Aguas residuales de la industria lechera	India	DQO	10000
		SÓLIDOS TOTALES	2033
		SDT	1200
		SST	833
		GRASAS Y ACEITES	1425

Nota: Todos los parámetros expresados en mg/L, excepto el pH.

Fuente: Radin, et al. (2017)

Estas diferencias en los parámetros representan los elementos básicos para la selección de los sistemas de tratamiento y la adopción de normas estándar para la eliminación de aguas residuales que varían de un país a otro. Sólo en la India (uno de los países más desarrollados), solo se trata alrededor del 10% de las aguas residuales que se generan, mientras que el 90% de esos desechos se eliminan en los cuerpos

de agua naturales como desechos sin tratar. Estas prácticas reflejan los desafíos a los que se enfrentará la próxima generación para obtener agua limpia (Rao, 2005). Se ha revelado que más de 10,000 nuevos compuestos orgánicos se agregan al medio ambiente a través de la descarga de aguas residuales cada año (Chandra & Kulshrenta, 2004).

La principal preocupación ambiental hacia las aguas residuales se encuentra en aquellas producidas por las industrias de fabricación de tintes y consumo de tinta que, entre ellas el caucho, los textiles, el cuero, el papel, la impresión, los plásticos, la cosmética y el procesamiento de minerales que hacen uso de colorantes y tienen valores altos y la descarga de menos de 1 ppm del colorante en el agua puede causar cambios altos en las características físicas del agua.

Otros tipos de aguas residuales que, realmente deben destacarse son las generadas por los mercados, debido a que en su composición tienen un alto nivel de materiales orgánicos, sólidos en suspensión, aceites y grasas. Además, estos residuos se descargan sin tratamiento en las aguas naturales. Y se ha demostrado que la eliminación de estos desechos con una gran cantidad de nutrientes favorece la aparición del fenómeno de eutrofización y la proliferación de algas en el agua dulce (Ghani, 2010).

Existen muchas tecnologías que dependen de la utilización de sustancias químicas o material semi sintético en el tratamiento de aguas residuales. No obstante, las nuevas tendencias se han desplazado para utilizar los productos naturales. Esta idea tomada por el hecho de que la naturaleza tiene un alto potencial para repararse a sí misma, si el humano detiene la descarga de nuevos contaminantes. Por lo tanto, es muy importante para los investigadores descubrir muchos grandes recursos naturales para el tratamiento del agua (Muhammad, Yusof, & Wadud, 2015).

Dentro de este proceso de tratamiento de agua, la utilización de coagulantes naturales tiene varias ventajas en comparación con los agentes químicos, particularmente en

términos de biodegradabilidad y baja toxicidad, además de, la baja producción de lodos residuales. Es por ello que los coagulantes naturales son de gran utilidad científica; por ser naturales, de bajo costo, caracterizados por ser amigables con el ambiente y presumiblemente seguros para la salud humana. (Ramírez & Jaramillo, 2015)

Y no se debe dejar de lado, que el objetivo principal de la gestión del tratamiento de aguas residuales es fomentar el cuidado del ambiente y asegurar la salud pública; mediante la protección de los cuerpos de agua que proporcionan importantes recursos hídricos (Dubey, 2013). Si no se maneja adecuadamente, puede contribuir a la contaminación, el olor y los problemas estéticos del medio ambiente y la sociedad.

2.2.2. Situación en el Perú de aguas residuales

En América Latina, los habitantes se encuentran mayormente concentrados en las grandes ciudades (cerca de un 80%) y una gran parte de ellos reside en lugares próximos a fuentes contaminadas, donde la provisión de agua es escasa. Siendo esta una de las zonas con mayor diversidad biológica, con un tercio de las fuentes de agua a nivel mundial; donde la contaminación del agua simboliza un impacto ecológico adverso, porque el 70% de las aguas residuales no es tratado, lo que obstaculiza cerrar el ciclo del agua. (Yee-Batista, 2013).

En el Perú, a finales del año 2007, los sistemas de alcantarillado recolectaron 747,3 millones de metros cúbicos de aguas residuales. Del cual, sólo el 29.1% recibieron un tratamiento en plantas con diferentes carencias operativas; lo restante se vertió a cuerpos de agua, otra parte se infiltró en el suelo o se usó para tierras de cultivo. Es decir, aproximadamente 530 millones de metros cúbicos de aguas residuales contaminaron los cuerpos de agua superficiales y son usados para diversas actividades incluso para el suministro de agua potable. (Larios Meoño, Morales Olivares, & González Taranco, 2015).

Y para el año 2015, la Autoridad Nacional del Agua a través del Programa de Adecuación de Vertimientos y Reúso de Aguas Residuales (PAVER), calculó que cerca de 54 m³/s de agua residual sin tratamiento, son descargados a fuentes superficiales y alrededor de 4 000 hectáreas de tierras agrícolas son regadas con estas aguas. (Amarildo Fernández, 2015)

Siendo notable que la mayor fuente de generación de estas aguas residuales son las actividades industriales, que se van incrementado considerablemente, y si a esto le sumamos las fuentes mineras, se pone en riesgo la salud pública. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), genera daños en los ecosistemas, produciendo restricciones para el sector agro e incrementando el coste de tratamiento del agua que son destinados al suministro poblacional. (Méndez Vega & Marchán Peña, 2008).

Del mismo modo, es importante mencionar que la falta de inversiones en la edificación de Plantas de Tratamiento de aguas en las EPS del Perú impide aliviar la contaminación de 67 ecosistemas que cuentan con una cantidad de cuerpos receptores, colocando en riesgo la salud pública; debido a que 61 áreas de cultivo y 12 áreas verdes recreativas son regadas con aguas residuales. A su vez, el consumo directo de fuentes contaminadas o indirecta por ingesta de alimentos crudos, también el contacto con suelos agrícolas regados con aguas residuales deficientemente tratadas, representa un mayor riesgo de infección parasitaria.

También de acuerdo a lo mencionado por (Méndez Vega & Marchán Peña, 2008) debe tenerse en cuenta que las consecuencias del vertimiento de aguas residuales sin tratamiento a los cuerpos de agua, afectará el hábitat de la vida acuática debido a la presencia de sólidos; en consecuencia, el oxígeno se reducirá por la desintegración aerobia de la materia orgánica, y los seres acuáticos pueden perjudicarse aún más por la presencia de sustancias tóxicas, lo que puede ampliarse por la acumulación en la cadena alimenticia. Si el vertimiento entra en contacto con un lago, puede causar

eutrofización, que aumenta la vegetación en el cuerpo de agua, y afectaría la pesca y las áreas recreativas.

Y, por otro lado, los desechos sólidos que derivan del tratamiento de las aguas servidas (arenas y lodos) también contaminan el suelo y las aguas si no son tratadas y dispuestas adecuadamente.

2.2.3. Sistemas de tratamiento de aguas residuales

En el proceso de generación de productos y servicios, se forman aguas residuales por la transformación y manejo de los recursos, que van a cambiar sus condiciones y características. Para reducir y eliminar las impurezas y contaminantes en las aguas residuales, deben recibir un tratamiento. De esta manera se cumple con la normativa para que las aguas residuales puedan ser vertidas de nuevo al cuerpo de agua. (Tafur Bravo & Quevedo Salas, 2014).

Pistonesi y contribuyentes (Pistonesi , Haure, & D'Elmar, 2010, pág. 5) especifican el tratamiento de aguas residuales como una cadena de procesos físicos, químicos y biológicos destinados a eliminar o reducir los contaminantes presentes en las aguas residuales (...). Su finalidad al concluir el proceso es generar agua limpia y un residuo sólido o lodo reutilizable, provechoso para su disposición o reúso en el ambiente.

El proceso habitual del tratamiento de aguas residuales domésticas se divide en las siguientes etapas:

- a) **Pre Tratamiento:** Lo que sucede en esta etapa, es la separación de elementos gruesos y arenosos, ya que alteraría el procedimiento y la funcionalidad de la maquinaria e instalaciones. A través de un desbaste (rejas) para eliminar objetos de gran tamaño. Posteriormente se separa arenas y sólidos en suspensión. Finalmente, el desengrasado para extraer los aceites.

b) Tratamiento Primario: Se realiza la sustracción de sólidos suspendidos, por medio de floculación o sedimentación, donde se ajusta el pH y la precipitación facilita la remoción de compuestos inorgánicos. En ocasiones el complemento de la sedimentación es la coagulación. Los métodos utilizados en este tratamiento son:

- Sedimentación
- Coagulación y floculación
- Tanque Imhoff.

c) Tratamiento secundario: El objetivo es disminuir la materia orgánica residual, de las etapas anteriores. Se basa en el proceso biológico de autodepuración, que sucede de manera natural en el ambiente. La materia orgánica biodegradable se oxida con intervención de bacterias para agilizar el proceso natural, evitar la aparición de contaminantes y la carencia de oxígeno en los cuerpos de agua. Para que este proceso sea eficaz, debe fomentarse situaciones apropiadas para el incremento bacteriano, considerando temperatura (entre 30 a 40 °C), oxígeno disuelto, pH adecuado (de 6.5 a 8), salinidad (menor de 3.000 ppm). Las sustancias tóxicas que actúan como inhibidoras son los metales pesados (Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb) fenoles, cianuros, aceites, entre otros. Por ello, se debe impedir su presencia.

La carga bacteriana usada en este proceso, se puede encontrar en superficies inertes (rocas, escoria, material cerámico o plástico) o suspendida en el agua a tratar. En ambos escenarios, la concentración de oxígeno en el efluente, favorece la presencia de bacterias aeróbicas o facultativas. Los procesos con carga bacteriana suspendida más empleadas son las lagunas aireadas y los lodos activos como:

- Lagunas aireadas
- Proceso de lodos activados

- Procesos anaerobios

d) Tratamiento terciario: Se elimina la carga orgánica residual o sobrante del tratamiento anterior, detergentes, nitratos residuales, microorganismos patógenos, fosfatos, color y olor. En esta etapa, se incluye también la cloración, la cual se usa para obtener un agua en estado más puro, incluso para potabilizarla. Para este tratamiento. Es importante el manejo de lodos derivados de esta etapa de tratamiento, ya que podrían ocasionar perjuicios al medio ambiente.

Para tratar estos lodos y tornarlos inocuos, se les adiciona como bactericida cal y se expone al sol para eliminar el agua que contienen. También están otros tratamientos con costos más elevados como: centrifuga, filtros de arena, entre otros. Este lodo desecado puede ser incinerados o dispuestos, o en el mejor de los casos, usarlo como fertilizante, aunque se verá limitado por sus componentes, para este fin.

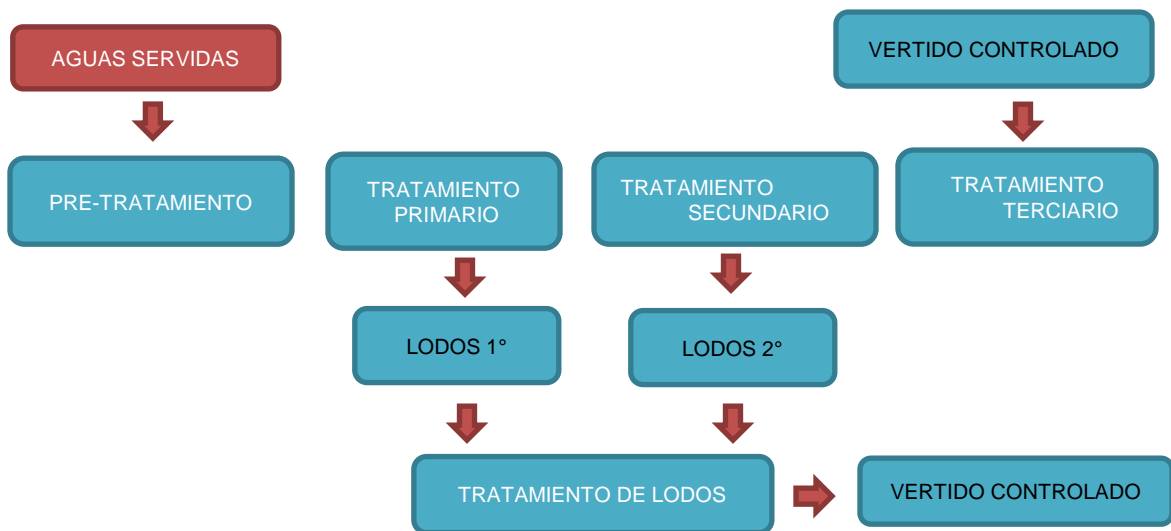


Figura 2. Secuencia del tratamiento de aguas residuales
Fuente: FONAM 2010.

Una síntesis de la serie de tratamientos que se aplican a aguas residuales industriales y/o domésticas, se visualizan en la Figura 2

De acuerdo con lo mencionado en un informe del Fondo Nacional del Ambiente (Rossi Luna, Ortega Gordillo, & Justo Soto, 2010), podemos considerar que la coagulación y la filtración son los procesos primarios más críticos (además de la desinfección) que determinan la viabilidad del éxito del sistema de tratamiento.

En el caso del Perú, un mayor porcentaje del agua es desinfectada para el consumo humano (agua potable), pero el saneamiento del agua también puede diseñarse para una variedad de otros propósitos, incluido el riego de cultivos y áreas verdes (parques y jardines). De acuerdo con el DS N° 001- 2010-AG Reglamento de la Ley de Recursos hídricos, como en este caso lo realiza el CITRAR, del cual es tomado como fuente para la presente investigación.

2.2.4. Proceso de coagulación y floculación

La coagulación es definida como “la desestabilización química de las partículas coloidales, debido a que se le añaden coagulantes químicos y energía de mezclado, lo cual neutraliza las fuerzas que las conservan separadas,” (Andía Cárdenas, 2000, pág. 9). Constituye un proceso fundamental en el tratamiento primario, ya que extrae un gran porcentaje de sólidos en suspensión.

Según Restrepo, el proceso de coagulación es útil para eliminar turbidez orgánica e inorgánica y el color, ciertos microorganismos patógenos y sustancias que producen olores y sabores. (Restrepo Osorno, 2009). También menciona que dado que las partículas contaminantes del agua tienen carga eléctrica, hay una fuerza repulsiva entre ellas, por lo que permanecen suspendidas en el agua sin hundirse. El fenómeno de inestabilidad de las partículas se consigue añadiendo un coloide de carga opuesta a las partículas contaminadas. El coloide neutraliza la carga y reduce la fuerza

repulsiva de las partículas, de manera que se acoplan y flocculan en la medida en que chocan a una determinada velocidad.

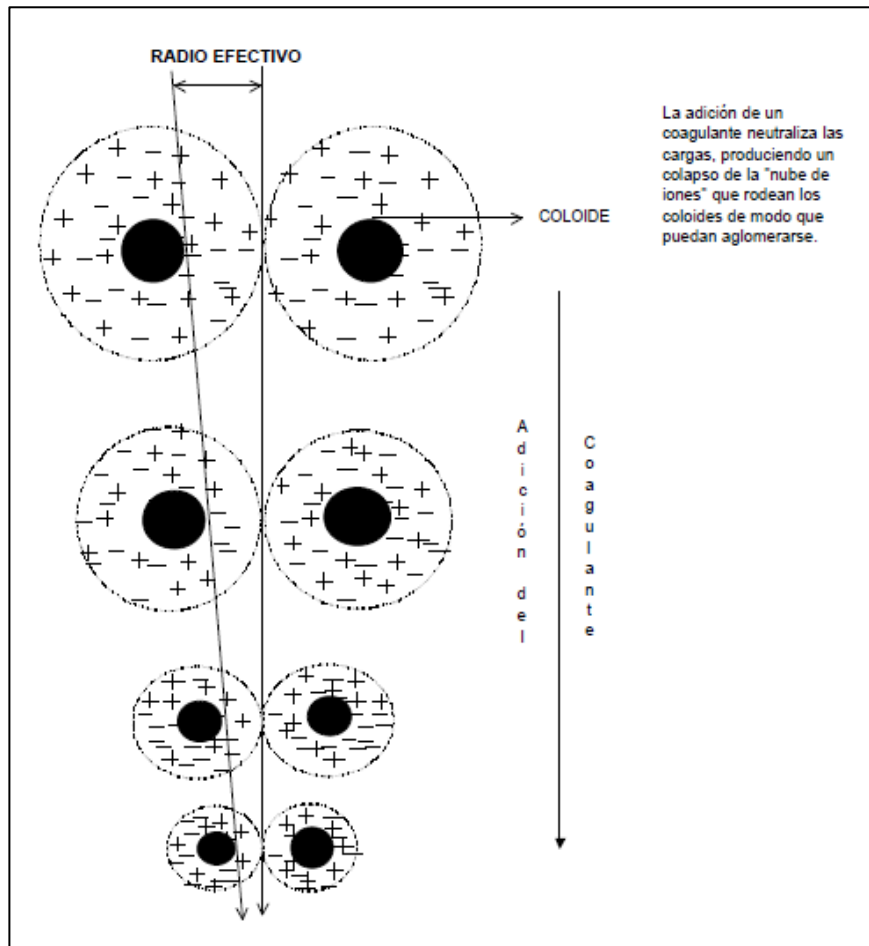


Figura 3. Proceso de adición del coagulante
Fuente: Andía (2000)

2.2.4.1. Mecanismos de coagulación y floculación

Para comprender mejor la correlación de los agentes coagulantes y partículas coloidales presentes en el agua, debemos entender los principales mecanismos de coagulación y floculación (Bohuslav Dobias, 2005).

Desde que se añaden dosis de coagulante; este entra en contacto con los coloides suspendidos, mediante interacciones electrostáticas, enlaces de hidrógeno,

fuerzas de Van Der Waals, etc. Con lo cual se da la inestabilidad necesaria. Luego se reordenan de modo que las partículas suspendidas adsorbidas formen grandes flocúlos, que luego se establecen. (Bolto & Gregory, 2007)

1. Neutralización de carga: Sucede cuando las partículas contaminantes y el coagulante son de cargas opuestas, ya que esto permite desestabilizar con facilidad las partículas; como se aprecia en la Figura 4. En diversas pruebas, las partículas coloidales presentes en los efluentes se encuentran con carga negativa, consecuentemente, se opta por floculantes inorgánicos y los polielectrolitos naturales de carga positiva o catiónicos.

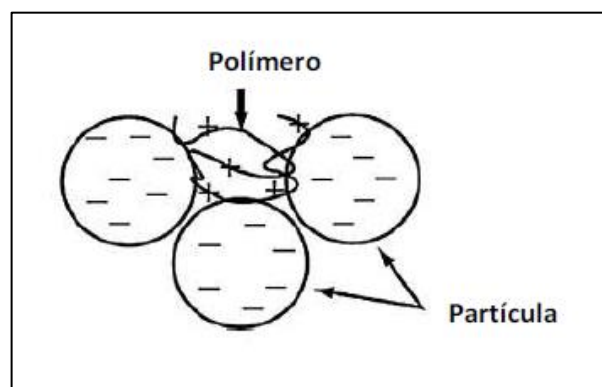


Figura 4. Esquema del mecanismo neutralización de carga.
Fuente: Bohuslav Dobias (2005)

En la etapa de coagulación, inicialmente las partículas coloidales se agrupan por las fuerzas de Van Der Waals, logrando la desestabilización de la suspensión coloidal (Kleimann, Gehin Delval, Auweter, & Borkovec, 2005).

Consecutivamente, la floculación es la disminución de carga superficial de las partículas, es decir, representa una fuerza de repulsión eléctrica reducida. En consecuencia, las partículas se van a agrupar mediante las fuerzas de Van Der Waals y se va a producir un desequilibrio en la

suspensión (Kleimann, et al. 2005). No obstante, se recomienda conservar dosis de agentes coagulantes óptimas, la mínima necesaria; ya que, si excedemos en el uso del polímero, podría originar la inversión de cargas de las partículas y se separarían nuevamente, y esta vez tendrían carga positiva.

- 2. Puente de polímero:** Se relaciona con coagulantes de cadena larga con alto peso molecular y baja densidad de carga. Los polímeros de los agentes coagulantes se adsorben o adhieren a las partículas contaminantes, originando un puente entre las partículas como se aprecia en la Figura 5 (Sharma, Dhuldhoya, & Merchant, 2006). Para que el mecanismo de puente sea estable y eficiente, se debe considerar la cantidad de coagulante, que debe ser limitada, tampoco debe ser muy baja pues no permitiría formar los suficientes empalmes de puente. Una de las ventajas del puente polimérico es que puede causar flóculos de mayor tamaño y fuerza. (Bolto & Gregory, 2007).

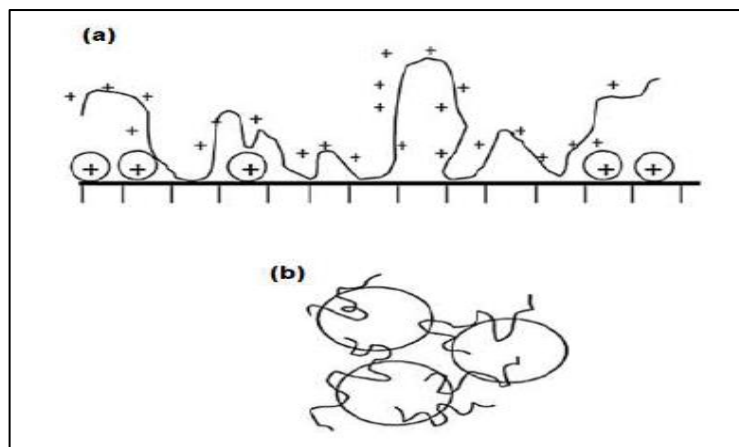


Figura 5. (a) Adsorción de polímero y formación de flóculos disponibles para la unión (b) Puente polimérico entre partículas (agregación)

Fuente: Sharma et al. (2006)

- 3. Parche electrostático:** Se forman parches catiónicos en superficies con carga negativa. Es decir, coagulantes cargados positivamente se

adsorben a partículas de carga opuesta para formar parches catiónicos entre las zonas cargadas negativamente (ver Figura 6). Para este mecanismo, la adsorción en partículas es opuesta y conforme se acercan, hay afinidad electrostática (Fig. 6c), lo que ocasiona la unión de partículas, y consecuentemente la floculación (Bolto & Gregory, 2007) Los flóculos con este mecanismo no son tan fuertes Para que sea eficiente, la carga de los agentes floculantes requiere ser muy elevada (Sharma et al., 2006).

4. Mecanismo de coagulación de barrido: Se forma cuando se añade agentes coagulantes a efluentes con baja turbidez; dado que hay más posibilidades que las partículas coloidales puedan ser alcanzadas por el agente coagulante y consecutivamente formar flóculos de mayor tamaño, con una estructura tridimensional, área superficial extensa y fuerte capacidad de adsorción; los contaminantes son capturados y retirados (Yang, y otros, 2011).

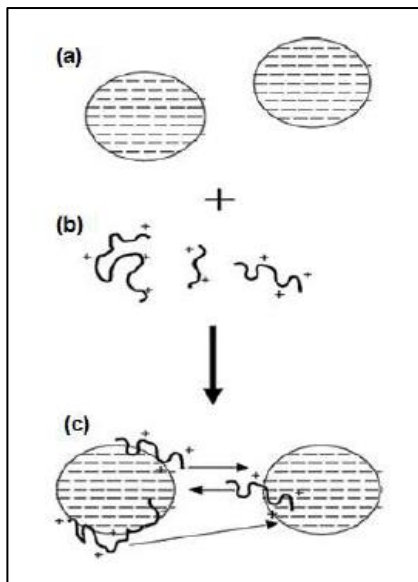


Figura 6. (a) Partículas con carga negativa (b) Coagulantes catiónicos (c) Coagulación por neutralización de carga mediante mecanismo de parche.
Fuente: Sharma et al. (2006)

2.2.4.2. Factores que influyen en la coagulación

Hay variables que ayudan a optimizar el proceso de coagulación, como las siguientes:

1. **pH:** Una de las más relevantes en la etapa de coagulación, debido a que hay un rango óptimo para cada agua residual o efluente, pues la coagulación se debe darse rápidamente, esto va a depender de la carga de los iones y la alcalinidad del agua.

En función del coagulante y la procedencia del efluente, va a variar el rango de pH. Si se realiza alejado del rango óptimo, la cantidad del coagulante y por la tanto de la dosis a usar se incrementa. (Moscozo, 2015)

2. **Dosis de Coagulante:** Se establece a través del test de jarras. Esta cantidad tendrá influencia directa en la eficacia del proceso de coagulación, de la siguiente manera:

- Una cantidad deficiente, no equilibra la carga de las partículas, la creación de microflóculos es insuficiente y por lo tanto no disminuye la turbidez.
- Una cantidad excesiva, provoca la alteración de cargas de las partículas y conlleva a formar grandes cantidades de microflóculos diminutos, donde su velocidad de sedimentación es muy lenta; en consecuencia, la turbiedad va a ser de igual manera elevada. (Moscozo, 2015)

3. **Turbiedad:** Mide de manera indirecta la concentración de partículas suspendidas. Es decir, la dispersión de estas partículas cuando la luz pasa a través de ellas y va a depender de características como cantidad, forma y tamaño de las partículas.

La turbidez del agua superficial en su mayoría tiene su origen en partículas de lodos de sílice. La coagulación de estas se simplifica cuando se conserva en un rango óptimo de pH.

Por otro lado, de acuerdo al nivel de turbidez se plantean los siguientes escenarios:

- Con cada rango de turbiedad hay una cantidad de coagulante, que nos permitirá obtener la turbiedad residual mínima, que sería la dosis óptima.
- Al aumentar la turbiedad, la cantidad de coagulante que se debe agregar es menor, ya que hay más posibilidades de choque o contacto entre las partículas. En cambio; cuando es baja, la cantidad del coagulante es mayor y se torna dificultosa.
- En caso de que la turbiedad sea muy alta es oportuno realizar una pre-sedimentación, ya sea natural o forzada. (Andía Cárdenas, 2000)

4. Agitación y mezcla: Al momento de agregar el coagulante, el grado de agitación, establece si la coagulación es completa o no. Para esto, la agitación debe ser similar e intensa en toda el agua; así se asegura que la mezcla fue apropiada y ocasionó la neutralización de cargas.

Entre la coagulación y floculación, se añade los productos químicos, y se da la mezcla en dos etapas. La primera, conocida como mezcla rápida, es potente y de duración corta (1 a 2 min, máximo). Y tiene como objeto esparcir el coagulante. La segunda, es pausada y tiene como finalidad formar los microflóculos. En la zona de fuerte turbulencia se lleva a cabo la mezcla rápida, para la introducción de productos químicos. En caso de que esta sea inadecuada, puede generar el incremento de uso productos químicos. (Andía Cárdenas, 2000)

5. **Tamaño de las partículas:** Al ser las partículas muy grandes se obstaculiza la formación de flóculos. Y si son de tamaño diminuto va a requerir más cantidad de coagulante (Restrepo Osorno, 2009).
6. **Temperatura del agua:** Los cambios en la temperatura conduce a la variación de la densidad del agua, y perturba la energía cinética de las partículas, en consecuencia, la coagulación se da de manera más pausada. A su vez, altas temperaturas desfavorecen la coagulación. Cuando disminuye la temperatura, aumenta su viscosidad. En consecuencia, dificulta la sedimentación de los flóculos (Andía Cárdenas, 2000)

La floculación, por su parte, de acuerdo con Andía (2000); se da después de la coagulación; y es un proceso donde se agita la masa coagulada, que va a favorecer la aglomeración o acumulación de los flóculos; con el propósito de incrementar el tamaño y peso suficientes para con facilitar la sedimentación.

Cuando los flóculos formados no sean adecuados como para precipitar rápidamente, se hace necesario usar un floculante para reunirlos y formar una red, acoplando las partículas individuales en aglomerados.

Este proceso es favorecido por la mezcla lenta, que permite unir los flóculos; ya que de lo contrario se rompen y difícilmente regresan a formar su tamaño y fuerza óptimos.

2.2.4.3. Factores que influyen en la floculación

Según el manual del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, 2004); los factores primordiales que intervienen en la eficiencia de este proceso son:

1. **Naturaleza del agua:** Está relacionado con las características fisicoquímicas del agua (turbidez, alcalinidad y pH). Ya que los iones

presentes pueden afectar el equilibrio del sistema, la formación de cadenas poliméricas y la interacción con las partículas coloidales. En resumen impactará en el tiempo de floculación.

2. Influencia del tiempo de floculación: En condiciones específicas hay un tiempo óptimo, normalmente entre 20 y 40 minutos. El cual se determina, mediante ensayos de laboratorio (test de jarras).

3. Influencia del gradiente de velocidad: Los flóculos dependen de:

- Del tamaño, forma y compactación.
- Del tamaño, forma y naturaleza de las partículas de mayor tamaño.
- De la cantidad y los ligamentos por los que están unidos las partículas.

Los valores de gradientes de velocidad recomendados están en un rango de 100 a 10 s^{-1} para floculación en los reactores.

4. Influencia de la variación del caudal: Puede alterar el tiempo de permanencia y gradientes de velocidad.

- Si el caudal disminuye, incrementa el tiempo que permanecen en los reactores y reduce la gradiente de velocidad.
- Si el caudal aumenta, reduce el tiempo que permanecen en los reactores, aumenta la gradiente de velocidad.

Si el es floculador mecánico, la velocidad es constante y el tiempo de permanencia varía de acuerdo con el caudal.

2.2.5. Tipos de coagulantes

El coagulante es un producto que provoca una reacción química de acuerdo a las características del efluente, especialmente con niveles altos de pH. Neutralizan las cargas coloidales para destruir la estabilidad de las partículas en suspensión cargadas

negativamente, es decir, deben tener carga positiva, las más utilizadas las sales de Hierro y Aluminio.

Cogollo, manifiesta que el uso de coagulantes procedentes de sales de Hierro y Aluminio han sido investigados en los últimos veinte años, ya que es una problemática encontrar el pH idóneo, así como también el uso de grandes cantidades de estos coagulantes químicos para alcanzar resultados óptimos. Sin embargo; lo más alarmante es que su uso está siendo relacionado con enfermedades neurodegenerativas, como el Alzheimer y cáncer. Al mismo tiempo estas sales tienen impactos desfavorables en el ambiente; en elevadas cantidades el Aluminio genera acidez en cuerpos de agua, afecta la salud de los animales que las consumen y se bioacumula en los vegetales; el Hierro permanece por muchos años en la naturaleza (Cogollo, 2010).

Los coagulantes se clasifican en tres tipos (Tafur Bravo & Quevedo Salas, 2014)

- 1. Coagulantes a base de sales metálicas:** Los más utilizados en procesos de tratamiento de efluentes. Están los compuestos de sales de Hierro y Aluminio.

Así mismo, debemos tener en cuenta que los coagulantes químicos dentro del tratamiento primario, como el sulfato de aluminio (alumbre), FeCl_2 es usado en grandes cantidades en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PETARs) del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) para procesos de purificación. Este uso excesivo de coagulantes químicos puede afectar la salud humana. Debido a que se ha indicado que el aluminio es un agente causal en enfermedades neurológicas como la demencia presenil. También se le relaciona como una “posible” causa del Alzheimer y otros similares afines a la salud (Poddar, Talukder, & Sharma, 2004).

Esto coincide con lo mencionado por Loreto, que señala que el aluminio es sumamente tóxico si es ingerido vía oral para las personas, a pesar de que este elemento está presente en agua potable, alimentos y algunos antiácidos. Por ello se ha formulado la hipótesis de que la exposición prolongada al aluminio (en cualquier estado) constituye un riesgo para la aparición del Alzheimer. Agregando que estos coagulantes no son biodegradables, afectando al ecosistema. (Loreto Suay & Ferran Ballester, 2002).

Otro estudio, ha indicado que se halló trazas de sulfato de aluminio en muestras de aguas potable, lo cual revela que la inspección de su uso de no es el adecuado, significando un potencial riesgo para la salud (Martínez, et al., 2003).

(Bratby, 2006) y (Colbert, 2007) refieren que existe inquietud por la relación entre el aluminio residual y los efectos neurológicos desfavorables, como el Alzheimer. Según (Poddar, Talukder, & Sharma, 2004) los impactos del sulfato de aluminio están relacionados con el cáncer, el Alzheimer y enfermedades óseas; el cloruro de hierro está ligado con varios tipos de cáncer y con la estimulación de daños en los cromosomas humanos.

2. **Coagulantes a base de polímeros sintéticos:** Poseen alto peso molecular e incrementan la densidad de la solución; son un complemento de los coagulantes de sales metálicas, ya que neutralizan la carga de las partículas.
3. **Coagulantes de origen natural:** Procedentes de productos orgánicos que tienen eficacias similares o superiores a los coagulantes

convencionales, algunos ejemplos son los almidones, la celulosa y el quitosano.

Muestran mayores ventajas en relación a los convencionales, de las cuales se resaltan:

- Son biodegradables, por lo que los hace amigables con el medio ambiente.
- Reduce las posibilidades de variación del pH y la conductividad, ya que no consumen alcalinidad del agua.
- Cero aumento de sales en el agua.
- Más eficiencia ya que consigue incrementar la velocidad de decantación, reducir el tiempo de coagulación y mejorar la densidad.
- Reducción de costos derivados del mantenimiento de la infraestructura, debido a la corrosión generada por las sales empleadas normalmente son mínimas.

2.2.6. *Tamarindus indica*

Es un árbol oriundo de los trópicos de Europa. Sin embargo, se ha extendido en muchas regiones, alcanzando la región del Caribe, América Central y el norte de la América del Sur. (Guardado Pacheco & Hernández García, 2017)

Pertenece al grupo de las Leguminosas (*Leguminosae*), a la subfamilia *Caesalpinioideae*, y a la tribu *Detarieae*, y género *Tamarindus* que tiene una única especie la cual es *Indica*.

Puede llegar a tener alrededor de 20 a 30 m de altura, de tronco grueso, con ramas muy extensas, generalmente torcidas e inclinadas en los extremos, y forma una corona redondeada que se amplía. Produce una raíz profunda y extensa.

Sus hojas son numerosas; flores irregulares, que poseen néctar. El fruto es una vaina, más largo que ancho (largo entre 5 a 16 cm y ancho de 2 a 3 cm) y puede ser recta o curva, con bordes redondos y ligeramente comprimidos. La piel exterior tiene textura escamosa y de color marrón, y el interior es de carne dura y suave, de color marrón oscuro. La pulpa contiene a la semilla formada. Cada vaina tiene de 1 a 12 semillas planas o esféricas. Las semillas son de color puede ser rojizo o marrón púrpura y duras. La vaina madura unos 10 meses después de la floración.



Figura 7. Flor y vainas de tamarindo mostrando pistilo, estambre y semilla. A. Fruto maduros B. Sección verticales a través de una sola vaina C. Semillas D. Flor E. Detalles de pistilo y estigma. F. Detalle del tubo de la corola, pistilo y estambre
Fuente: (Koehler, 1897)

2.2.6.1. Principales características de su composición

Del peso de la vaina; la pulpa de la fruta representa aproximadamente la mitad. Es fuente de vitaminas (ácido ascórbico, riboflavina, niacina). Cada 100 gramos de fruta madura contienen 267 calorías, 62,7 gramos de carbohidratos, 2,8 gramos de proteína

y 0,6 gramos de grasa de vitamina. Y minerales importantes, como el calcio, el fósforo y el hierro, tienen un contenido de humedad del 20%. La acidez de la pulpa se debe a la presencia de ácido tartárico en una concentración del 10% al 15%, que también contiene ácido acético, ácido cítrico, ácido málico y ácido succínico y pectina.

La estructura de la fruta de tamarindo consiste en 20% piel, el 40% pulpa y el 40% restante de semillas, aproximadamente. Pero los valores más precisos se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 2. *Composición química del tamarindo por 100 gr de porción comestible.*

Compuesto	Fruto de tamarindo	Pulpa de tamarindo
Agua (%)	12.6 - 34.2	28.0 - 42
Proteína (%)	1.4 - 3.3	1.0 - 1.5
Lípidos (%)	0.6 - 1.0	0.4 - 0.8
Carbohidratos	59.7 - 71.8	27.0 - 48.0
Cenizas (%)	1.5 - 4.5	1.0 - 3.5
Fibra (%) Pectina (%)	3.0 - 5.0	2.0 - 2.6
Celulosa (%)	3.0 - 4.0	2.0 - 4.0

Fuente: (Sciences, 1979)

El tamarindo es una de las frutas tropicales con el menor contenido de agua, por lo que tiene el mayor contenido de proteínas, minerales y carbohidratos en comparación a otras frutas. La característica más destacada es su alto nivel de acidez, indicado como ácido tartárico. Otra particularidad es su alto contenido de azúcar, que es la segunda fruta más alta en contenido total de azúcar.

Alrededor de la mitad del ácido de tamarindo, se encuentra como ácido tartárico. Además, tiene otros ácidos orgánicos, en pequeñas proporciones, incluidos el ácido málico, el ácido oxálico y el ácido acético. El contenido de vitamina C o ácido ascórbico varía con el tipo de fruta, el crecimiento y las características posteriores a la cosecha, que van de 2 a 20 mg por cada 100 g.

La pulpa contiene gran acidez que se debe al mayor contenido de ácido tartárico, con un porcentaje del 90% de la acidez total del tamarindo, seguido del ácido cítrico al 5% y el resto es ácido ascórbico, ácido acético y ácido tánico, lo que hace que la fruta sea de particular interés porque contiene una gran cantidad de ácido orgánico, y el ácido orgánico y una alta proporción de azúcar.

2.2.6.2. *Propiedades como agente coagulante*

De acuerdo con lo mencionado por Saavedra (2016), la caracterización de las semillas de tamarindo es la siguiente: Humedad 26.1 %, Cenizas 2.7 % y Proteínas 10.78 %.

Dichas semillas contienen almidón, proteína y aceite, en su composición química comprende: agua 11.3%, proteína 13.3%, grasa 5.4%, carbohidratos 57.1%, ceniza 4.1% y fibra cruda 8.8%. La parte proteica de la semilla es rica en ácido glutámico 18%, ácido aspártico 11.6%, glicina 9.1% y leucina 8.2%. De acuerdo con Gurdíán y Coto (2010) y Campos (2003) coinciden que los ácidos glutámico y aspártico serían los responsables de la coagulación.

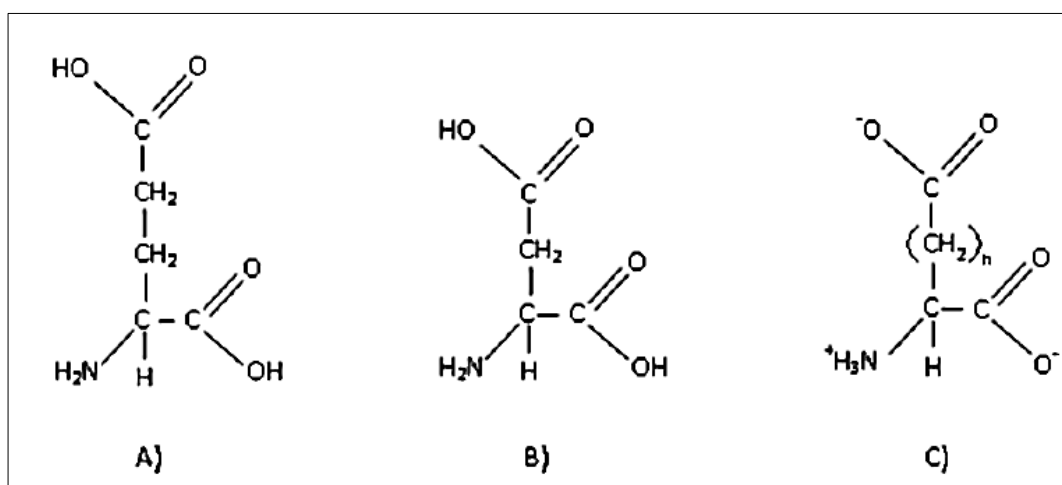


Figura 8. Estructura química A. ácido glutámico B. ácido aspártico y C. Especie predominante a pH= 5, n= 1 o 2.
Fuente: Mathews & Van Holde (2003)

(Campos, y otros, 2003) Al analizar los posibles componentes que causan la coagulación de *Moringa oleifera*, propuso el ácido glutámico y el ácido aspártico, ya que son sustancias con grupos de carga positiva y negativa que pueden hacerlos inestables.

Al igual que el caso anterior, las semillas de tamarindo contienen proteínas compuestas principalmente de aminoácidos, como glicina, leucina, ácido glutámico y ácido aspártico. La glicina y la leucina son aminoácidos alifáticos y son insolubles en agua, mientras que el ácido glutámico y el ácido aspártico son aminoácidos de carácter ácido y son solubles en agua (Mathews y Van Holde, 2003). Esto indica que las sustancias que causan la coagulación son los extremos del ácido glutámico y el ácido aspártico.

Estas sustancias también están presentes en la cáscara de la semilla, que contiene mucílago que está compuesta por galactosa, manosa, glucosa y derivados (principalmente ácidos) y se hinchan después del contacto con el agua, esta solución viscosa que permiten la aglomeración de partículas.

2.3. Definición de términos básicos

Adhesión: La propiedad de una sustancia, en la cual dos superficies de la misma o diferentes sustancias se unen cuando están en contacto, y se mantienen unidas por fuerzas intermoleculares.

Biocoagulante: Sustancia o agente de origen orgánico, que ayudan o facilitan la adherencia entre partículas.

Coagulación: La inestabilidad coloidal debido a la eliminación de la doble capa eléctrica que rodea todas las partículas coloidales, y forma núcleos microscópicos.

Coagulante: Sustancias o agentes que ayudan o facilitan la adherencia entre partículas.

Coloide: Una mezcla heterogénea de al menos dos fases diferentes, generalmente un fluido (líquido), y el otro disperso en forma de partículas muy finas, generalmente sólidas.

Color: Parámetros sensoriales que indican la calidad del agua. Su presencia en el agua se debe a la materia orgánica natural.

Floculación: Aglomeración de partículas inestables al principio, convirtiéndose en microflóculos, y luego en grandes flóculos.

Floculante: Concretamente, es el activo encargado de eliminar la turbidez del agua.

Flóculos: Aglomerados de materia orgánica formados por la adición de sólidos en suspensión.

pH: El nivel de alcalinidad o acidez de una solución se puede medir por la concentración de iones de hidrógeno.

Turbidez: Una medida del grado de pérdida de transparencia del agua, debido al contenido de partículas suspendidas.

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

3.1. Modelo de solución propuesto

3.1.1. Tipo de investigación

El presente estudio reúne condiciones de una investigación de tipo aplicada, debido a que depende de los resultados obtenidos en la fase experimental (laboratorio), a fin de poder determinar el nivel de remoción de los parámetros evaluados, en el tratamiento de aguas residuales.

3.1.2. Nivel de investigación

En relación a la naturaleza de la investigación, reúne características de un estudio cuantitativo, ya que se realizó mediciones antes y después de aplicar los coagulantes, utiliza la metodología analítica con pruebas estadísticas para el análisis de datos.

3.1.3. Diseño de la investigación

Pertenece a un trabajo experimental, debido a que este se trabaja con variables como los parámetros físico-químicos y las diferentes dosis del biocoagulante *Tamarindus indica* y el sulfato de aluminio; para después poder analizar los resultados obtenidos.

3.1.4. Población y muestra

La población está conformada por las aguas residuales que se tratan en el "Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos de la Universidad Nacional de Ingeniería (CITRAR) perteneciente a la Facultad de Ingeniería Ambiental.

La cual está diseñada para un caudal de 10 L/s. Las cuales son de origen doméstico ya que proviene de asentamientos humanos El Ángel y El Milagro del distrito del

Rímac. Tomando como muestra 20 litros de agua residual en la zona de captación, para luego ser sometidos a pruebas de laboratorio.

3.1.5. Procedimientos metodológicos

3.1.5.1. Toma de muestra

La toma de muestra de agua residuales del CITRAR, se dieron de acuerdo al Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales de la Oficina de Medio Ambiente del Ministerio de Construcción, Vivienda y Saneamiento. ((OMA), 2013)



Figura 9. Toma de muestra en la zona de captación del CITRAR (1)
Fuente: Elaboración propia



Figura 10. Toma de muestra en la zona de captación del CITRAR (2)
Fuente: Elaboración propia

3.1.5.2. *Obtención del biocoagulante*

Todos los procedimientos descritos, se siguieron de acuerdo a la metodología descrita por (Guardado Pacheco & Hernández García, 2017) ligeramente modificada. Y se conformó de las siguientes etapas (ver Figura 11):

1. **Despulpado e hidratación:** Se retiró la pulpa de la semilla de forma manual, luego se sometió a un proceso de hidratación de 3 a 4 días (facilitando la extracción de los cotiledones). Una vez hidratada, se removió de forma manual la capa marrón hasta obtener los cotiledones de color blanco.
2. **Secado:** El secado se llevó a cabo en la estufa, durante un tiempo de 12 horas a una temperatura de 50°C.
3. **Molienda:** Se utilizó un molino manual para la reducción de tamaño de las mismas, y posteriormente se trituraron con un mortero y pilón.
4. **Maceración (extracción sólido-líquido):** Se agregaron 5 g del polvo de la semilla en la fase anterior en 100 ml de agua destilada (concentración al 5%) y se mantiene en una agitación constante durante 20 minutos a una temperatura de 60 °C. Cabe resaltar que la temperatura no debe ser superior a 60°C, debido a que ocurre la desnaturalización de las proteínas (Rubi, y otros, 2012).

Luego se dejó reposar a temperatura ambiente durante 20 min hasta observar 2 fases (una acuosa y otra viscosa). La fase acuosa como floculante, mientras que la parte viscosa como residuo orgánico.



Figura 11. Procedimiento para la obtención del biocoagulante a partir de *Tamarindus indica*.

Fuente: Elaboración propia

3.1.5.3. Preparación del sulfato de aluminio

Se preparó una solución madre de sulfato de aluminio al 5% (en un litro de agua destilada se disolvieron 50 gramos de sulfato de aluminio). Esto debido a que al realizar la comparación de remoción o variación de parámetros, se necesitó asegurar las concentraciones y verificando que las condiciones a evaluar sean las mismas.

Luego separaron las dosis a trabajar (5, 10 y 15 ml), para posteriormente realizar la prueba de jarras.

3.1.5.4. Equipos

En la tabla siguiente se describen los equipos utilizados para la medición de los parámetros evaluados en el presente estudio:

Tabla 3. Equipos usados del Laboratorio de Química (UNTELS)

EQUIPO	MARCA	MODELO
Estufa de esterilización	BINDER	ED23
Agitador magnético con plancha de calentamiento	VELP SCIENTIFICA	ARE
Balanza analítica	SARTORIUS	TE214S
Test de jarras	AQUARA	YFL6
Termómetro	MICRO-TEMP	
Phmetro	JIOBAPIONGXIN	PH-03(I)
Colorímetro	HANNA	HI96727
Turbidímetro	PALINTEST	MICRO 950

Fuente: Elaboración propia

3.1.5.5. Test de jarras

La eficiencia de las semillas de *Tamarindus indica* como coagulante se estableció a través de la prueba de jarras, el cuál es el método más utilizado a nivel de laboratorio para la simulación del proceso de coagulación-floculación. Se evaluaron las dosis de 5 ml, 10 ml y 15 ml para cada tratamiento, es decir para la solución del coagulante químico como para la solución del biocoagulante. Se realizó por triplicado cada una de las concentraciones de acuerdo con los métodos establecidos en ((APHA), 2005). Se realizó dos velocidades de mezclas; una rápida a 100 rpm durante 2 minutos, y la otra lenta a 30 rpm por 20 minutos, culminando con la fase de sedimentación, en la cual se dejó el agua en reposo por un lapso de 1 hora. Después de la sedimentación, se procedió a recolectar una muestra del sobrenadante de cada tratamiento, para la

medición de los parámetros fisicoquímicos: color, turbidez y pH, según lo descrito en el método estándar de análisis de aguas y líquidos residuales.



Figura 12. Test de jarras empleado para el proceso de coagulación-floculación.

Fuente: Elaboración propia

3.2. Resultados

3.2.1. Caracterización del agua residual.

Los datos obtenidos mostrados en el cuadro a continuación son los tomados in situ y los brindados por el laboratorio ENVIROTEST S.A.C, donde se envió la muestra de agua del CITRAR para su respectivo análisis.

Tabla 4. *Parámetros físico químicos de la muestra inicial obtenido en el Laboratorio de ENVIROTEST S.A.C*

PARÁMETRO	MEDIDA	UND. MEDIDA
TURBIDEZ	224	NTU
COLOR	552	PCU
TEMPERATURA	25.1	°C
PH	6.86	

Fuente: Elaboración propia

Y a continuación, se muestran los resultados obtenidos en el laboratorio de Química de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS).

Tabla 5. *Parámetros físico químicos de la muestra inicial obtenido en el Laboratorio de Química (UNTELS)*

PARÁMETRO	MEDIDA	UND. MEDIDA
TURBIDEZ	226	NTU
COLOR	550	PCU
TEMPERATURA	26.3	°C
PH	6.8	

Fuente: Elaboración propia

En las tablas anteriores, se muestran los resultados iniciales del agua del CITRAR, la variación es mínima respecto a los resultados del Laboratorio ENVIROTEST S.A.C. Posteriormente, será comparado el tratamiento con el coagulante químico vs el coagulante natural extraído de la semilla de *Tamarindus indica*.

3.2.2. Resultados obtenidos en la variación de turbidez

3.2.2.1. *Variación de turbidez con Tamarindus indica*

En la tabla siguiente, se muestra los resultados obtenidos de la medición de la turbidez, después de la aplicación de diferentes dosis del biocoagulante.

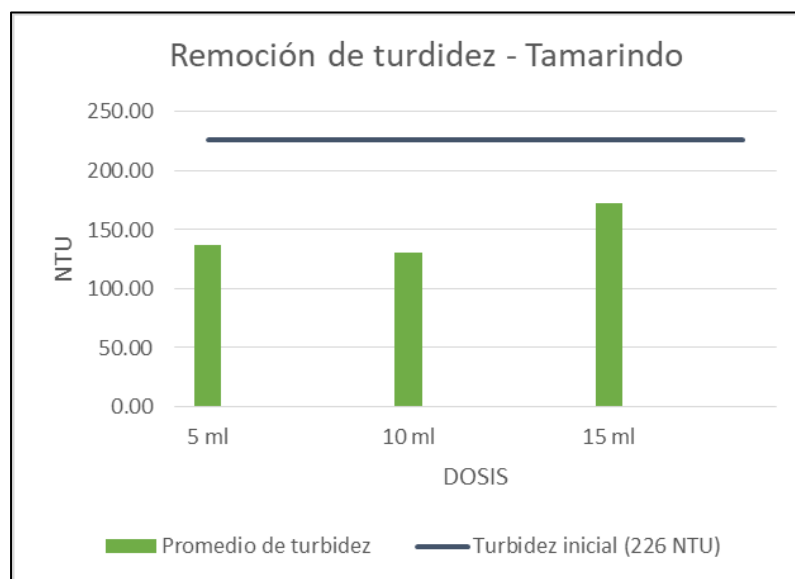
Tabla 6. Medición de turbidez después de la aplicación de las diferentes dosis con tamarindo.

DOSIS	CODIFICACIÓN	MEDIDA	PROMEDIO	UND. MEDIDA
5 ml	T1	139	136.67	NTU
	T2	132		
	T3	139		
	T4	131		
10 ml	T5	133	130.33	
	T6	127		
	T7	170		
15 ml	T8	180	172	
	T9	166		

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De los datos de la tabla anterior y la gráfica siguiente, se interpreta que la mayor variación de turbidez, de 226 NTU a 130.33 NTU, se obtiene con una dosis de 10 ml para el tratamiento con biocoagulante.

Consecutivamente la gráfica obtenida a partir de los promedios de la Tabla 6.



Gráfica 1 Variación de turbidez con tamarindo.

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.2. Variación de turbidez con sulfato de aluminio

En la tabla siguiente se muestra los resultados obtenidos de la medición de la turbidez, después de la aplicación de diferentes dosis del coagulante químico.

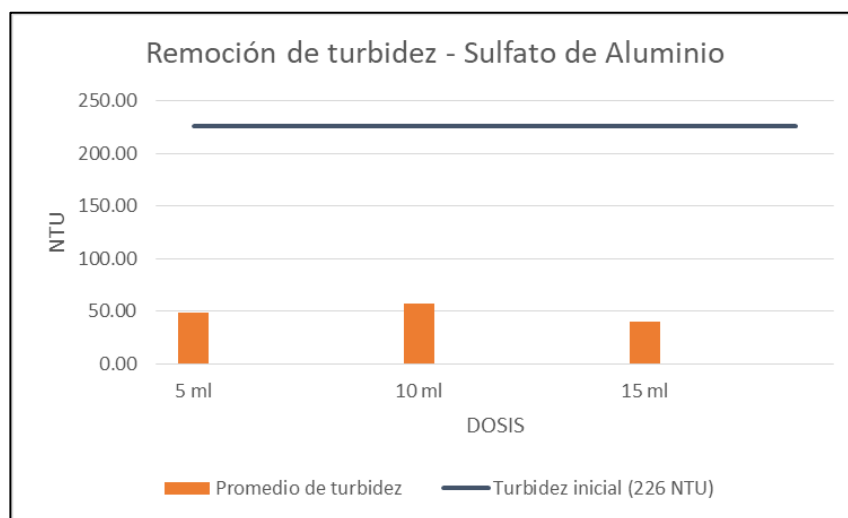
Tabla 7 Medición de turbidez después de la aplicación de las diferentes dosis con sulfato de aluminio

DOSIS	CODIFICACIÓN	MEDIDA	PROMEDIO	UND. MEDIDA
5 ml	T1	55.3	48.47	NTU
	T2	54.3		
	T3	35.8		
	T4	46.2		
10 ml	T5	59.1	57.43	
	T6	67		
	T7	31.4		
15 ml	T8	39.5	39.87	
	T9	48.7		

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De la tabla anterior y la gráfica posterior, se interpreta que la mayor remoción de turbidez, de 226 NTU a 39.87 NTU, se obtiene con una dosis de 15 ml para el tratamiento con el coagulante químico, sulfato de aluminio.

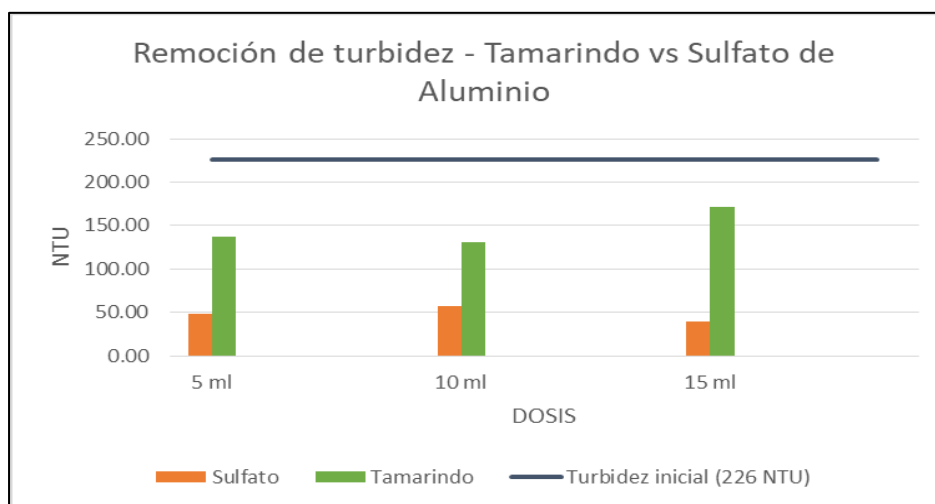
Consecutivamente la gráfica obtenida a partir de los promedios de la Tabla 7.



Gráfica 2. Variación de turbidez con sulfato de aluminio.
Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3. Variación de turbidez de tamarindo vs sulfato de aluminio

En seguida, se presenta la gráfica comparativa entre el biocoagulante y el coagulante químico para la variación de turbidez, respecto a la medida inicial.



Gráfica 3. Variación de turbidez del tamarindo vs el sulfato de aluminio.
Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De la gráfica anterior se interpreta que la mayor variación de turbidez, se obtiene con el tratamiento de sulfato de aluminio, con una dosis de 15 ml.

3.2.3. Resultados obtenidos en variación de color

3.2.3.1. Variación de color con *Tamarindus indica*

En la tabla siguiente, se muestra los resultados obtenidos de la medición del color, después de la aplicación de diferentes dosis del biocoagulante.

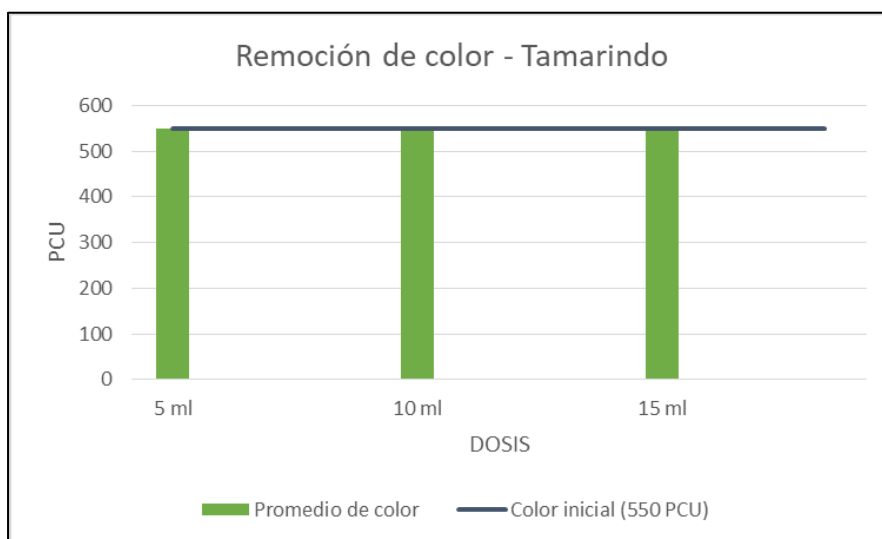
Tabla 8 *Medición de color después de la aplicación de las diferentes dosis con tamarindo*

DOSIS	CODIFICACIÓN	MEDIDA	PROMEDIO	UND. MEDIDA
5 ml	T1	550	550	PCU
	T2	550		
	T3	550		
10 ml	T4	550		
	T5	550	550	
	T6	550		
15 ml	T7	550		
	T8	550	550	
	T9	550		

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De la tabla anterior y la gráfica posterior, se interpreta que no existe variación alguna en la medición de color, independientemente de la aplicación de diferentes dosis, para el tratamiento con el biocoagulante.

Consecutivamente la gráfica obtenida a partir de los promedios de la Tabla 8.



Gráfica 4. Variación de color con tamarindo.
Fuente: Elaboración propia

3.2.3.2. Variación de color con sulfato de aluminio

En la tabla siguiente, se muestra los resultados obtenidos de la medición del color, después de la aplicación de diferentes dosis del coagulante químico.

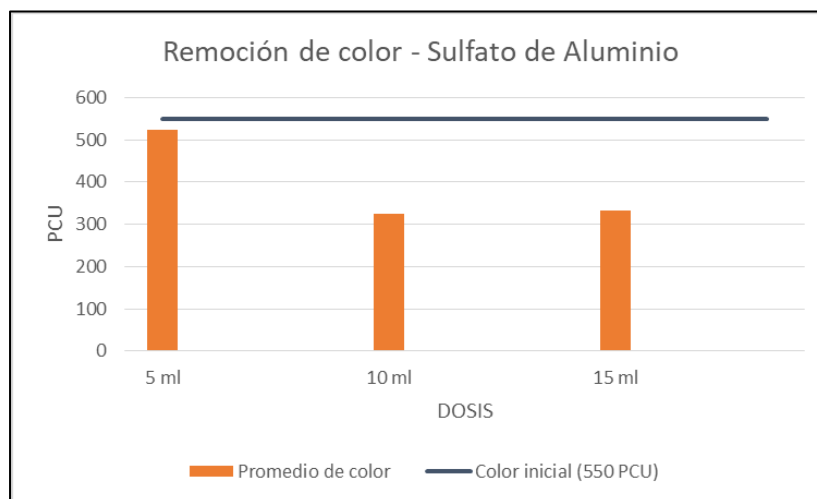
Tabla 9 Medición de color después de la aplicación de las diferentes dosis con sulfato de aluminio.

DOSIS	CODIFICACIÓN	MEDIDA	PROMEDIO	UND. MEDIDA
5 ml	T1	550	523	PCU
	T2	550		
	T3	469		
	T4	245		
10 ml	T5	389	325	
	T6	342		
	T7	183		
15 ml	T8	263	332	
	T9	550		

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De la tabla anterior y la gráfica posterior, se interpreta que la mayor remoción del color, de 550 PCU a 325 PCU, se obtiene con una dosis de 10 ml para el tratamiento con el coagulante químico, sulfato de aluminio.

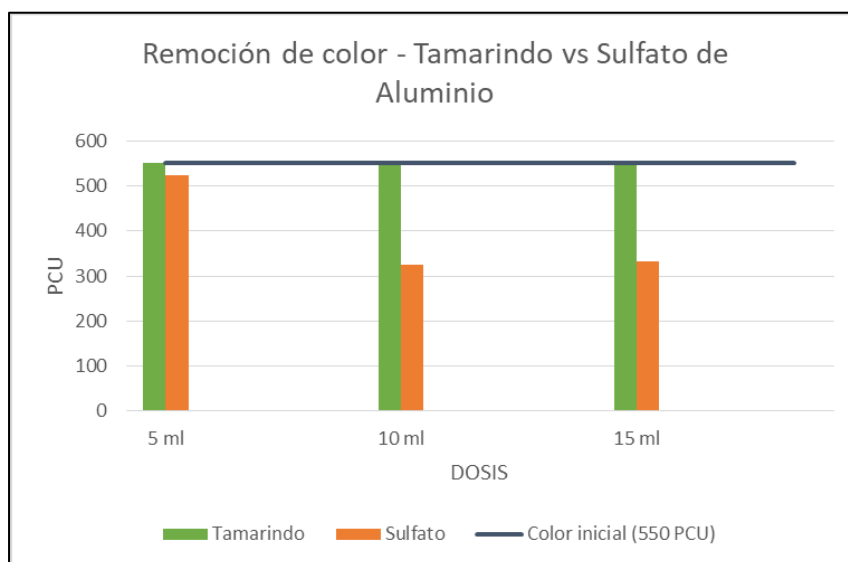
Consecutivamente la gráfica obtenida a partir de los promedios de la Tabla 9.



Gráfica 5. Variación del color con sulfato de aluminio
Fuente: Elaboración propia

3.2.3.3. Variación de color de tamarindo vs sulfato de aluminio

En seguida se presenta la gráfica comparativa entre el biocoagulante y el coagulante químico para la variación de color, respecto a la medida inicial.



Gráfica 6. Variación del color del tamarindo vs el sulfato de aluminio
Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De la gráfica anterior se interpreta que la mayor variación de color, de 550 PCU a 325 PCU se obtiene con el tratamiento de sulfato de aluminio, con una dosis de 10 ml.

3.2.4. Resultados obtenidos en variación de pH

3.2.4.1. Variación de pH con *Tamarindus indica*

En la tabla siguiente se muestra los resultados obtenidos de la variación de pH, después de la aplicación de diferentes dosis del biocoagulante.

Tabla 10 Medición de pH después de la aplicación de diferentes dosis con tamarindo.

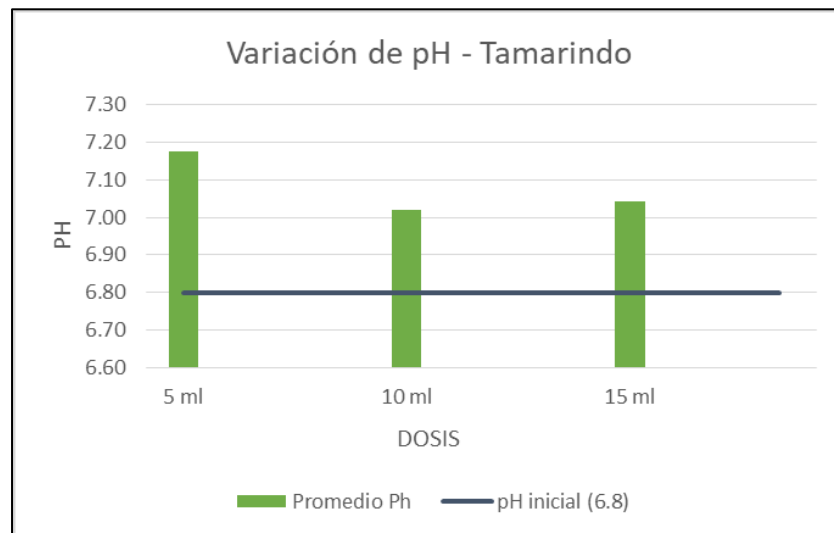
DOSIS	CODIFICACIÓN	MEDIDA	PROMEDIO
5 ml	T1	7.23	7.18
	T2	7.17	
	T3	7.13	
	T4	6.98	
10 ml	T5	7.02	7.02
	T6	7.06	

	T7	7	
15 ml	T8	7.05	7.04
	T9	7.08	

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De la tabla anterior y la gráfica posterior, se interpreta que hay una tendencia a la neutralización, siendo la más cercana de 6.8 a 7.02, con la aplicación de 10 ml. Para el tratamiento con el biocoagulante.

Consecutivamente la gráfica obtenida a partir de los promedios de la Tabla 10.



Gráfica 7. Variación de pH con tamarindo
Fuente: Elaboración propia

3.2.4.2. Variación de pH con sulfato de aluminio

En la tabla siguiente se muestra los resultados obtenidos de la variación de pH, después de la aplicación de diferentes dosis del coagulante químico.

Tabla 11 Medición de pH después de la aplicación de diferentes dosis con sulfato de aluminio.

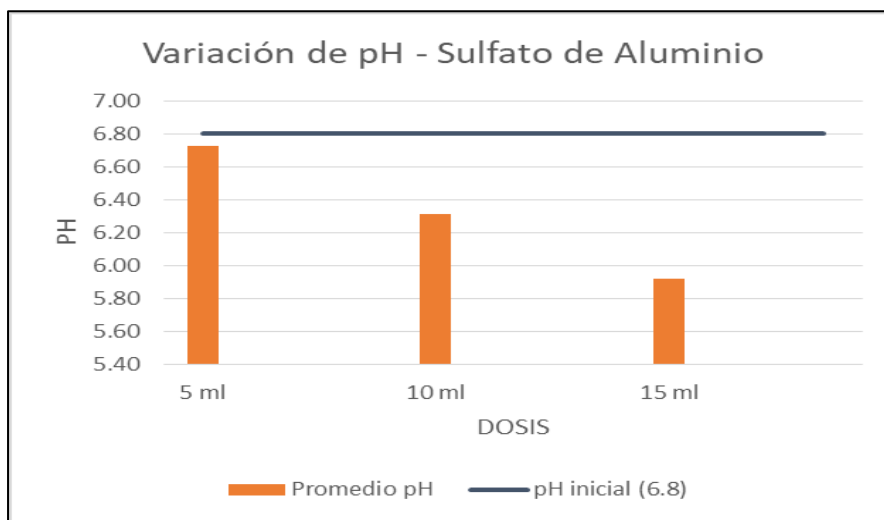
DOSIS	CODIFICACIÓN	MEDIDA	PROMEDIO
5 ml	T1	6.78	6.73
	T2	6.74	

	T3	6.66	
	T4	6.37	
10 ml	T5	6.32	6.31
	T6	6.25	
	T7	5.6	
15 ml	T8	5.64	5.92
	T9	6.52	

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De la tabla anterior y la gráfica posterior, se interpreta que se obtiene una tendencia a la acidificación, siendo la mayor de 6.8 a 5.92 en la variación del pH con la aplicación de 15 ml, para el tratamiento con el coagulante químico, sulfato de aluminio.

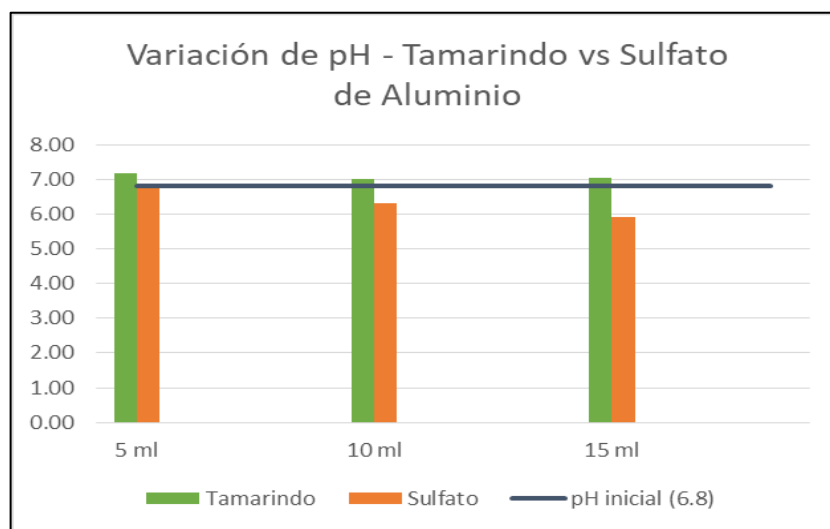
Consecutivamente la gráfica obtenida a partir de los promedios de la Tabla 11.



Gráfica 8. Variación de pH con sulfato de aluminio
Fuente: Elaboración propia

3.2.4.3. Variación de pH de tamarindo vs sulfato de aluminio

En seguida se presenta la gráfica comparativa entre el biocoagulante y el coagulante químico para la variación de pH, respecto a la medida inicial.



Gráfica 9. Variación de pH de tamarindo vs sulfato de aluminio
Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De la gráfica anterior se interpreta que el mejor resultado con tendencia a la neutralización, de 6.8 a 7.02, se obtiene con el tratamiento de tamarindo, con una dosis de 10 ml.

3.3. Eficiencia de remoción

3.3.1. Remoción de turbidez

A partir de las medias obtenidas por cada dosis y tratamiento, se obtuvieron las siguientes eficiencias de remoción. (Tabla 12)

Tabla 12 Eficiencia de remoción de turbidez con ambos coagulantes.

EFICIENCIA DE REMOCIÓN: $(Ti - Tf / Ti) * 100$		
Ti: Medida inicial		
Tf: Promedio medida final		
DOSIS	TAMARINDO	SULFATO DE ALUMINIO
5 ml	39.53	78.55
10 ml	42.33	74.99
15 ml	23.89	82.36

Fuente: Elaboración propia

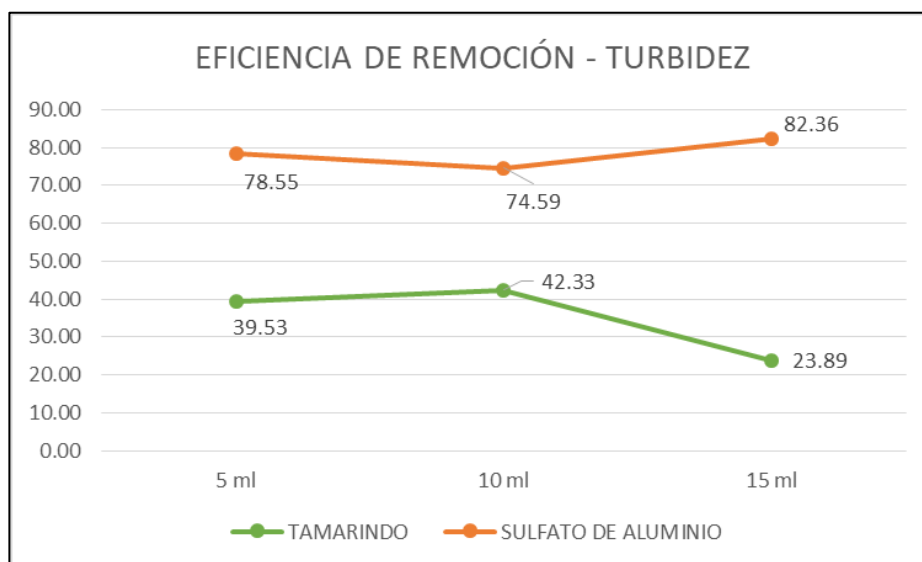
Interpretación:

Para la dosis de 5 ml: Se observa una gran diferencia en los parámetros iniciales de turbidez con referencia al sulfato de aluminio, mostrando una remoción del 78.55% aproximadamente, sin embargo para el tratamiento con el biocoagulante se visualiza una remoción del 39.53% aproximadamente, obtenido a partir de las medias de las repeticiones.

Para la dosis de 10 ml: Se observa una gran diferencia a partir de los parámetros iniciales de turbidez con referencia al sulfato de aluminio, con una remoción del 74.59% aproximadamente, y para el tratamiento con el biocoagulante se obtuvo una remoción del 42.33%. También conseguido a partir del promedio de las repeticiones.

Para la dosis de 15 ml: Se visualiza una gran diferencia a partir de los parámetros iniciales de turbidez con el sulfato de aluminio, presentando una remoción del 82.36% aproximadamente, y para el tratamiento con el biocoagulante se percibe una remoción del 23.89%. Obtenido a partir de las medias de las repeticiones.

En la gráfica siguiente podemos observar, las eficiencias de remoción de ambos coagulantes para el parámetro de turbidez.



Gráfica 10. Eficiencia de remoción de turbidez del tamarindo vs sulfato. Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Se observa una clara diferencia en eficiencia de remoción de turbidez, respecto del coagulante químico con el coagulante orgánico. Siendo el coagulante químico mucho más eficiente conforme aumenta la dosis. Mientras que con el coagulante orgánico la máxima eficiencia de remoción se obtiene con una dosis de 10 ml.

3.3.2. Remoción de color

A partir de las medias obtenidas por cada dosis y tratamiento, se obtuvieron las siguientes eficiencias de remoción. (Tabla 13)

Tabla 13 Eficiencia de remoción de color con ambos coagulantes.

EFICIENCIA DE REMOCIÓN: $(Ti - Tf / Ti) * 100$		
Ti: Medida inicial		
Tf: Promedio medida final		
DOSIS	TAMARINDO	SULFATO DE ALUMINIO
5 ml	0	4.91
10 ml	0	40.85
15 ml	0	39.64

Fuente: Elaboración propia

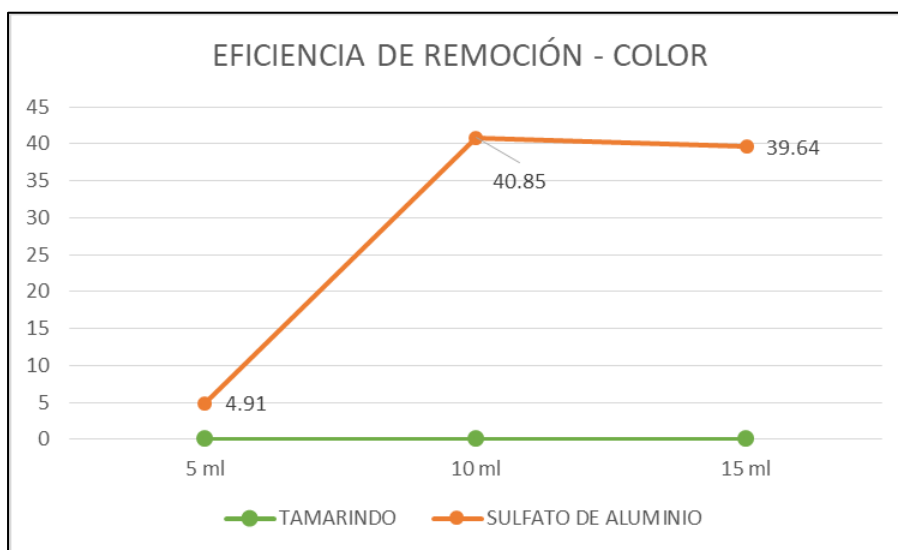
Interpretación:

Para la dosis de 5 ml: Se percibe una variación de color a partir de la muestra inicial. Con el sulfato de aluminio, tiene una remoción de color del 4.91% aproximadamente. Mientras que el tratamiento con el biocoagulante no muestra disminución alguna para este parámetro.

Para la dosis de 10 ml: Se evidencia una variación de color a partir de la muestra inicial con el sulfato de aluminio con una remoción de color del 40.85% aproximadamente. Mientras que el tratamiento con el biocoagulante se mantiene en las condiciones iniciales.

Para la dosis de 15 ml: Se evidencia una disminución de color a partir de la muestra inicial con el sulfato de aluminio con una remoción de color del 39.64% aproximadamente. Mientras que el tratamiento con el biocoagulante se mantiene en las condiciones iniciales.

En la gráfica siguiente podemos observar, las eficiencias de remoción de ambos coagulantes para el parámetro de color.



Gráfica 11. Eficiencia de remoción de color del tamarindo vs sulfato.
Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Se observa una tendencia de remoción de color, respecto al coagulante químico teniendo como pico máximo de remoción con una dosis de 10 ml. Mientras que el coagulante orgánico, no demuestra variación alguna, independientemente de la aplicación de la dosis.

3.3.3. Variación de pH

A partir de las medias obtenidas por cada dosis y tratamiento, se obtuvieron las siguientes eficiencias de remoción. (Tabla 14)

Tabla 14 Porcentaje de variación de pH con ambos coagulantes.

EFICIENCIA DE REMOCIÓN: $((Tf-Ti)*100/7)$		
Ti: Medida inicial		
Tf: Promedio medida final		
DOSIS	TAMARINDO	SULFATO DE ALUMINIO
5 ml	5.43	-1
10 ml	3.14	-7
15 ml	3.43	-12.57

Nota: Los números negativos indican disminución de pH.

Fuente: Elaboración propia.

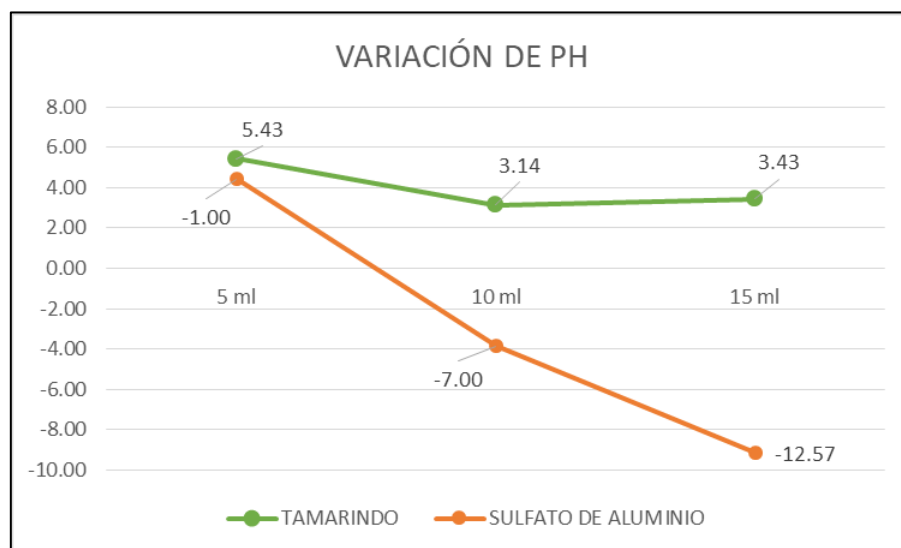
Interpretación:

Para la dosis de 5 ml: Se observa una variación de pH a partir del inicial, con el sulfato de aluminio con una leve tendencia de acidificación del 1%; mientras que para el tratamiento con el biocoagulante una variación del 5.43% con tendencia a la neutralización. Obtenido a partir de las medias de las repeticiones.

Para la dosis de 10 ml: Se evidencia una variación de pH a partir del inicial, con el sulfato de aluminio con una leve tendencia de acidificación del 7%; mientras que para el tratamiento con el biocoagulante una variación del 3.14% con tendencia a la neutralización.

Para la dosis de 15 ml: Se observa una variación de pH a partir del inicial, con el sulfato de aluminio con una tendencia de acidificación del 12.57%; mientras que para el tratamiento con el biocoagulante una variación del 3.43% con tendencia a la neutralización. Obtenido a partir de las medias de las repeticiones.

En la gráfica siguiente podemos observar, la variación de ambos coagulantes para el parámetro de pH.



Gráfica 12. Porcentaje de variación de pH del tamarindo vs sulfato.
Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Respecto al coagulante químico se observa una tendencia de acidificación del pH, conforme aumenta la dosis. Mientras que el coagulante orgánico, muestra una tendencia de neutralización o alcalinización, respecto a la muestra inicial.

3.4. Análisis estadístico

3.4.1. Nivel de remoción de parámetros por cada coagulante

Para el análisis de datos se efectuó la prueba estadística de Normalidad, ANOVA y prueba T de las variables (tipos de coagulantes y parámetros evaluados). Con el programa estadístico avanzado IBM SPSS Statistics versión 23.

Criterio para determinar la Normalidad:

P-Valor $\geq \alpha$ Aceptar H0 = Los datos provienen de una distribución normal.

P-Valor $< \alpha$ Aceptar H1 = Los datos NO provienen de una distribución normal

Tabla 15 Prueba de normalidad

Pruebas de normalidad^c

tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
turbidez tamarindo	,310	9	,013	,823	9	,037
sulfato	,133	9	,200 [*]	,978	9	,952
ph tamarindo	,167	9	,200 [*]	,947	9	,655
sulfato	,214	9	,200 [*]	,866	9	,111
color sulfato	,195	9	,200 [*]	,892	9	,209

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

c. color es constante cuando tratamiento = tamarindo. Se ha omitido.

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Dado que con la prueba de Shapiro Wilk ($n < 30$), todos los niveles de significancia superan el 0.05, se determina que las muestras provienen de una distribución normal.

Posteriormente realizamos la prueba ANOVA, para determinar las diferencias entre las medias de los grupos son similares o al menos una difiere del resto, por cada tratamiento aplicado.

Criterios para prueba ANOVA:

P-Valor $\geq \alpha$ Aceptar H0: No hay diferencias en las medias de los grupos.

P-Valor $< \alpha$ Aceptar H1: Al menos una media difiere de los grupos.

Tabla 16 Diferencias de remoción de parámetros fisicoquímicos con ambos coagulantes.

			ANOVA				
tratamiento			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
tamarindo	turbidez	Entre grupos	3024,667	2	1512,333	58,416	,000
		Dentro de grupos	155,333	6	25,889		
		Total	3180,000	8			
	ph	Entre grupos	,043	2	,021	11,150	,010
		Dentro de grupos	,012	6	,002		
		Total	,054	8			
	color	Entre grupos	,000	2	,000		
		Dentro de grupos	,000	6	,000		
		Total	,000	8			
sulfato	turbidez	Entre grupos	462,949	2	231,474	2,271	,184
		Dentro de grupos	611,500	6	101,917		
		Total	1074,449	8			
	ph	Entre grupos	,976	2	,488	5,272	,048
		Dentro de grupos	,556	6	,093		
		Total	1,532	8			
	color	Entre grupos	75597,556	2	37798,778	2,530	,160
		Dentro de grupos	89644,667	6	14940,778		
		Total	165242,222	8			

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación para el tratamiento con tamarindo:

- Turbidez: Se verifica que la significancia obtenida de los datos, indica que (Sig. = 0,00). Por lo tanto, hay diferencias muy significativas entre las dosis aplicadas, quedando como válida la hipótesis alternante (H1).

- Color: Para este parámetro no muestra un valor de Sig. Por lo tanto asumimos que no hay diferencias significativas entre las dosis aplicadas.
- pH: Se verifica que la significancia obtenida de los datos, indica que (Sig. = 0,10). Por lo tanto, hay diferencias muy significativas entre las dosis aplicadas, quedando como válida la hipótesis alternante (H1).

Interpretación para el tratamiento con sulfato de aluminio:

- Turbidez: Se verifica que la significancia obtenida de los datos, indica que (Sig. = 0,184). Por lo tanto, no hay diferencias significativas entre las dosis aplicadas, quedando como válida la hipótesis (H0).
- Color: Se verifica que la significancia obtenida de los datos, indica que (Sig. = 0,160). Por lo tanto, no hay diferencias significativas entre las dosis aplicadas, quedando como válida la hipótesis (H0).
- pH: Se verifica que la significancia obtenida de los datos, indica que (Sig. = 0,048). Por lo tanto, no hay diferencias significativas entre las dosis aplicadas, y se acepta H0.

Para comparar el nivel de remoción de parámetros fisicoquímicos entre ambos coagulantes, usamos la Prueba T. Como se muestra a continuación:

Tabla 17 Estadísticas de grupo por cada tratamiento y parámetros evaluados

tratamiento		N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
turbidez	tamarindo	9	146,3333	19,93740	6,64580
	sulfato	9	48,5889	11,58905	3,86302
ph	tamarindo	9	7,0800	,08246	,02749
	sulfato	9	6,3200	,43758	,14586
color	tamarindo	9	550,0000	,00000	,00000
	sulfato	9	393,4444	143,71944	47,90648

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: De las Tabla 17, concluimos que:

- Turbidez: Se obtiene mejor nivel de remoción con el tratamiento aplicado con el sulfato de aluminio.
- Color: Se obtiene mejor nivel de remoción con el tratamiento aplicado con el sulfato de aluminio.
- pH: El mejor resultado, se obtiene una tendencia a la neutralización, con el tratamiento aplicado con el biocoagulante *Tamarindus indica*.

3.4.2. Nivel de remoción por dosis aplicadas.

Finalmente, para determinar las diferencias entre las dosis aplicadas con cada tratamiento, para cada parámetro. Se usó la prueba de Tukey, como se muestra en las tablas posteriores:

3.4.2.1. Turbidez

Tabla 18 Diferencias para el parámetro de turbidez entre las dosis aplicadas para el tratamiento con tamarindo.

tratamiento=tamarindo

HSD Tukey^a

dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
10ml	3	130,3333	
5ml	3	136,6667	
15	3		172,0000
Sig.		,345	1,000

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Las dosis que se encuentran en el mismo grupo (5 ml y 10 ml), presentan una remoción similar a nivel población. Aplicando el tratamiento con biocoagulante. Mientras que con la dosis de 15 ml muestra una diferencia significativa a nivel población, respecto a las dosis anteriores.

Tabla 19 Diferencias para el parámetro de turbidez entre las dosis aplicadas para el tratamiento con sulfato de aluminio.

tratamiento=sulfato

HSD Tukey^a

dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
15	3	39,8667
5ml	3	48,4667
10ml	3	57,4333
Sig.		,163

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Aplicando el tratamiento con sulfato de aluminio; se obtienen niveles de remoción similares, a nivel población. Independientemente de la aplicación de las diferentes dosis.

3.4.2.2. Color

Tabla 20 Diferencias para el parámetro de color entre las dosis aplicadas para el tratamiento con sulfato de aluminio.

tratamiento=sulfato

HSD Tukey^a

dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
10ml	3	325,3333
15	3	332,0000
5ml	3	523,0000
Sig.		,198

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Aplicando el tratamiento con sulfato de aluminio; se obtienen niveles de remoción similares independientemente de la aplicación de las diferentes dosis.

3.4.2.3. pH

Tabla 21 Diferencias para el parámetro de pH entre las dosis aplicadas para el tratamiento con tamarindo

tratamiento=tamarindo

HSD Tukey^a

dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
10ml	3	7,0200	
15	3	7,0433	
5ml	3		7,1767
Sig.		,798	1,000

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Las dosis que se encuentran en el mismo grupo (10 ml y 15 ml), presentan una variación similar de pH a nivel población. Aplicando el tratamiento con biocoagulante.

Tabla 22 Diferencias para el parámetro de pH entre las dosis aplicadas para el tratamiento con sulfato de aluminio.

tratamiento=sulfato

HSD Tukey^a

dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
15	3	5,9200	
10ml	3	6,3133	6,3133
5ml	3		6,7267
Sig.		,322	,293

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Las dosis que se encuentran en el mismo grupo (10 ml y 15 ml), presentan una variación similar de pH a nivel población. Al igual que las dosis de 5 ml y 10 ml.

DISCUSIONES

1. En contraste con estudios anteriores, respecto al biocoagulante, guarda concordancia con los rangos de remoción de turbidez hallados por (Salgado, 2018) que oscila entre 40% y 74% de efectividad del coagulante natural a base de *Tamarindus indica* para la remoción de turbidez.
2. Para (Guardado Pacheco & Hernández García, 2017) que obtuvieron un valor óptimo de remoción de turbidez del 55,3% con dosis de floculante de 8ml/L, bajo un pH de operación óptimo de 5 y para 20 min de tiempo de agitación. También se encuentran coincidencias cercanas, ya que en el presente estudio se obtuvo niveles de remoción del 42.44% con una dosis de 10 ml/L. Esto debido a la turbidez inicial de la muestra y el pH, que no coincide con el óptimo mencionado por los autores.
3. De acuerdo con (Hernández, Mendoza, Salamanca, Fuentes, & Caldera, 2013) en cuanto al parámetro del color que se logró reducir entre 120 y 266 UC. No se encuentra coincidencia con lo hallado en el presente estudio, ya que no mostró ninguna variación en este parámetro.
4. Por último, se concuerda también con (Gurdián López & Coto Campos, 2010) donde sus resultados obtenidos mostraron alcanzar una remoción de turbidez superior al 20%, lo cual se asemeja con el presente estudio ya que se encontró un nivel menor de remoción de 23.89%, y uno mayor de 42.33%.
5. En todos los antecedentes mencionados se coincide con una leve tendencia a la neutralización del pH con el tratamiento del biocoagulante.

CONCLUSIONES

1. Los resultados se muestran favorecedores para el coagulante químico sulfato de aluminio, frente al biocoagulante *Tamarindus indica*, en la remoción de los parámetros físico-químicos de aguas residuales. Sin embargo, debemos tener en cuenta los efectos adversos que acarrearán a la larga el uso de estos químicos tanto en el medio ambiente como para nuestra salud.
2. El nivel de remoción para el biocoagulante obtenido a partir de las semillas de tamarindo (*T. indica*), de acuerdo con los parámetros fisicoquímicos evaluados son:
 - Para el parámetro de turbidez se obtuvo un 42.33%, aplicando una dosis de 10 ml.
 - No se evidencia remoción para el parámetro de color, independientemente de la aplicación de diferentes dosis.
 - El mejor nivel de variación de pH (tendencia de neutralización) fue de 3.14%, aplicando una dosis de 10 ml.
3. El nivel de remoción para el coagulante químico sulfato de aluminio de acuerdo con los parámetros fisicoquímicos evaluados son:
 - Para el parámetro de turbidez fue de 82.36%, aplicando una dosis de 15 ml.
 - El mayor nivel de remoción para el parámetro de color fue de 40.85%, aplicando a una dosis de 10 ml.
 - El mayor nivel de variación de pH (tendencia de acidificación) fue de 12.57%, aplicando una dosis de 15 ml.
4. Al comparar las eficiencias de ambos coagulantes, concluimos que:
 - La remoción de turbidez muestra mayor eficacia al sulfato de aluminio que al biocoagulante obtenido de las semillas de tamarindo, con una ventaja del

40.03%. Teniendo en cuenta que el sulfato muestra mayor remoción a mayor aplicación de dosis de este.

- En la remoción de color muestra mayor eficiencia con el sulfato de aluminio que el biocoagulante obtenido de las semillas de tamarindo, con una ventaja del 100%. Debido a que el biocoagulante no muestra diferencia alguna en la disminución de este parámetro.
 - En la variación del pH se obtiene mejores resultados (neutralización) con el biocoagulante obtenido de las semillas de tamarindo, con una tendencia de neutralización del 3.14%. en contraste con el sulfato de aluminio, el cual denota una tendencia de acidificación en el tratamiento conforme aumenta las dosis.
5. En cuanto a las dosis óptimas aplicadas para cada uno de los tratamientos, para el biocoagulante se obtienen mejores resultados con una aplicación de dosis de 10 ml. Mientras que para el sulfato de aluminio con una concentración de 15 ml. Sin embargo, teniendo en cuenta el análisis estadístico de la prueba de Tukey, podemos concluir que:
- Para la remoción de turbidez: En cuanto al biocoagulante *Tamarindus indica*, las dosis de 5 ml y 10 ml muestran eficiencias similares a nivel población. Con el sulfato de aluminio; muestra eficiencias similares a nivel población, con las tres dosis empleadas.
 - Para la remoción de color: Con el sulfato de aluminio; muestra eficiencias similares a nivel población, con las tres dosis empleadas.
 - Para la variación de pH: En cuanto al biocoagulante *Tamarindus indica*, las dosis de 5 ml y 10 ml presentan tendencias de neutralización similares, a nivel población. Con el sulfato de aluminio; muestra tendencias de acidificación similares con las dosis de 10 ml y 15 ml. Y a su vez con la dosis de 5 ml y 10 ml, a nivel población.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar estudios más exhaustivos, para combinar diversos coagulantes orgánicos. Que en conjunto, puedan lograr una mayor remoción de los parámetros en estudio, o incluso muchos otros de igual importancia.
2. Se recomienda realizar estudios relacionados con la mezcla o combinación del biocoagulante de *Tamarindus indica* y otros coagulantes químicos. Que combinados en diferentes proporciones, puedan lograr una mayor remoción de los parámetros en estudio, o incluso muchos otros de igual importancia. Para de esta manera poder reducir el uso de coagulantes químicos.
3. Realizar un estudio económico para analizar la viabilidad de producir coagulante orgánico a base de tamarindo de manera comercial, puesto que los desechos orgánicos de este, no son aprovechados actualmente en el país.
4. Calibrar previamente los equipos a utilizar en laboratorio, para hacer más precisas la medición de los parámetros.
5. Adquirir más equipos para fomentar la investigación y análisis de más parámetros con la semilla en estudio u otros.

BIBLIOGRAFÍA

- (APHA), A. P. (2005). *American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF). Standart methods for examination of water and wastewater 21st edition: D.C, Washington.*
- (OMA), O. d. (2013). *PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS EFLUENTES DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES.* Ministerio de Vivivenda, Construcción y Saneamiento.
- Alturkmani, A. (2007). *Industrial Wastewater.* Syria: Environmental Engineering Ph D.
- Álvarez Suazo, T. Y. (2016). *Uso de la semilla de tamarindo como coagulante orgánico en procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de agua para potabilización (Tesis de maestría).* Universidad de San Carlos de Guatemala: Guatemala.
- Amarildo Fernández, E. (2015). *Aguas residuales en el Perú, problemática y uso en la agricultura.* Perú: MINAGRI.
- Andía Cárdenas, Y. (2000). *Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico. TRATAMIENTO DE AGUA: COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN.* Lima-Perú: SEDAPAL.
- Bohuslav Dobias, H. S. (2005). *Coagulation and Flocculation .* United States of America: Taylor & Francis Group.
- Bolto, B., & Gregory, J. (2007). *Organic polyelectrolytes in water treatment.* Department of Civil and Environmental Engineering: London.
- Bratby, J. (2006). *Coagulation and flocculation in water and waste water treatment.* IWA Publishing.
- Campos, J., Colina, G., Fernández, N., Torres, B., Sulbarán, G., & Ojeda. (2003). Caracterización del agente coagulante activo de las semillas de Moringa oleifera mediante HPLC. *Boletín del Centro de Investigaciones*, 35-43.
- CEPIS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de Filtración rápida. Tomo I.* Lima - Perú.

- Chandra, B., & Kulshrenta, S. (2004). Wastewater Production, Treatment and Use in Nepal. *Renewable Energy*, 263-268.
- Cogollo, F. M. (2010). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del Hidroxicloruro de Aluminio. *DYNA*, 20.
- Colbert, D. (2007). Los siete pilares de la salud. *Casa Creación*, 314.
- Dubey, D. (2013). Origin, Characteristics & Treatment Methods of Synthetic Drugs Waste. *International Journal of Science Environment*, 911-915.
- Ghani, I. A. (2010). *Application of Bioparticle & Constructed Wetlands in Treating Wet Market Wastewater*. Universiti Teknologi Malaysia: Undergraduate's Thesis.
- Guardado Pacheco, O. A., & Hernández García, A. M. (2017). *Evaluación de la efectividad de floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales provenientes de lavandería industrial, utilizando el Cladodio de Nopal (Opuntia ficus-indica) y la semilla de Tamarindo (Tamarindus indica) (Tesis de pregrado)*. San Salvador: Universidad de El Salvador.
- Gurdián López, R., & Coto Campos, J. M. (2010). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Tecnología en Marcha*, 24, 18-26.
- Hernández, B., Mendoza, I., Salamanca, M., Fuentes, L., & Caldera, Y. (2013). Semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante en aguas con alta turbiedad. *REDIELUZ*, 3, 91-96.
- Jara Vasquez, S. M. (2018). *Uso del coagulante natural extraído de la semilla de tamarindo "Tamarindus indica L." para reducir solidos coloidales en laboratorio de las aguas del río Lurín, Lima - 2018 (Tesis de pregrado)*. Universidad César Vallejo: Perú.
- Kleimann, J., Gehin Delval, C., Auweter, H., & Borkovec, M. (2005). *Superstoichiometric charge neutralization in particule - polyelectrolyte systems*. LANGMUIR.
- Koehler, H. A. (1897). *Köhler's Medizinal-Pflanzen*. Alemania: Franz Eugen Köhler .

- Laines Canepa, J. R., Solis Silvan, R., & Hernández Barajas, J. R. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 230-231.
- Larios Meoño, F., Morales Olivares, Y., & González Taranco, C. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer. Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, 2, 9-25.
- Loreto Suay, & Ferran Ballester. (2002). Revisión de los estudios sobre exposición al Aluminio y la enfermedad del Alzheimer. *Revista Española de Salud Pública*.
- Martinez, D., Chávez, M., Díaz, A., Chacín, E., & Fernández, N. (2003). Eficiencia del Cactus lefaria para su uso como coagulante en la clarificación de aguas. *Revista técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia*, 26, 27-33.
- Mathews, C. K., & Van Holde, K. (2003). *Bioquímica*. España: Addison Wesley.
- Mejía Carrillo, P. (2016). *Uso de la Moringa oleifera Lam. (MORINGACEAE) como coagulante natural para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas (Tesis de pregrado)*. Universidad César Vallejo: Perú.
- Méndez Vega, J. P., & Marchán Peña, J. (2008). *Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución*. Perú: SUNASS.
- Miguel, C. F. (2010). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del Hidroxicloruro de Aluminio. *DYNA*, 20.
- Moscozo, R. (2015). *Uso de almidón de yuca como sustituto del Sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización (Tesis de maestría)*. Universidad de San Carlos de Guatemala: Guatemala.
- Muhammad, I. M., Yusof, A. K., & Wadud, A. (2015). . Water Melon Seed as a Potential Coagulant for Water Treatment. *Global Journal*, 15.
- Pistonesi , C., Haure, J. L., & D'Elmar, R. (2010). *Energía a partir de aguas residuales*. Argentina: EDUTECNE.

- Poddar, S., Talukder, G., & Sharma, A. (2004). Chromosome Damage Induced by Ferric Chloride in Human Peripheral Lymphocytes. *International Journal of Human Genetecs*, 4, 261-264.
- Ramírez, A. H., & Jaramillo, P. J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento de agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11, 136-153.
- Rao, N. (2005). *Use of Plant Material as Natural Coagulants for Treatment of Wastewater*. India: Visión RI.
- Restrepo Osorno, H. A. (2009). *Evaluación del proceso coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Colombia: Colombia.
- Rossi Luna, M. G., Ortega Gordillo, R., & Justo Soto, J. (2010). *OPORTUNIDADES DE MEJORAS AMBIENTALES POR EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ*. FONAM.
- Rubi, M., Martínez, D., Carrasquero, S., Rincón, A., Vargas, L., & Delgado, M. (2012). Eficiencia de las semillas de *Hymenaea courbaril* como coagulante natural en el proceso de clarificación del agua. *REDIELUZ*, 2(2), 123-128.
- Saavedra, M. (2016). *Extracción y caracterización del aceite esencial de las semillas de taamrindo (Tamarindus indica) (Tesis de pregrado)*. Universidad Señor de Sipán: Perú.
- Salgado, L. A. (2018). *Evaluación de las semillas de tamarindo (Tamarindus indica) en la remoción de turbidez de aguas superficiales (Tesis de pregrado)*. Universidad de Sucre: Colombia.
- Sciences, N. A. (1979). Tropical legumes: resources for the future. *National Academy of Sciences*, 332.
- Sharma, Dhuldhoya, & Merchant. (2006). Flocculants an ecofriendly approach. *Enviromental*, 195-202.
- Tafur Bravo, L. K., & Quevedo Salas, R. K. (2014). *Alternativa para el tratamiento de aguas residuales cromadas con quitosano extraído del exoesqueleto del camarón (Tesis de pregrado)*. Universidad del Tolima: Colombia.

- Thakur, S., & Choubey, S. (2014). Use of Tannin Based Natural Coagulants for Water Treatment: An Alternative to Inorganic Chemicals. *International Journal of ChemTech Research*, 6, 3626-3634.
- Vela Arévalo, C. T. (2016). *Disminución de la turbidez utilizando coagulante natural Moringa oleífera en aguas obtenidas del río ALTO CHICAMA, puente INGÓN, TRUJILLO 2016 (Tesis de pregrado)*. Universidad César Vallejo: Perú.
- Yang, Shang, Lu, Chen, Huang, Jiang, & Qian. (2011). *Flocculation properties of biodegradable amphoteric chitosan-based flocculants*. Chem Eng.
- Yee-Batista, C. (2013). *Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas*. Banco Mundial, BIRF – AIF.

ANEXOS

Anexo N° 01: Certificado de acreditación de. Environmental Testing Laboratory S.A.C. - INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE

 INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE®		
CERTIFICATE OF ACCREDITATION		
<i>This is to attest that</i>		
ENVIRONMENTAL TESTING LABORATORY S.A.C.		
CA.CALLE B MZ. C LT.40- URB., HABILITACIÓN INDUSTRIAL PANAMERICANA NORTE SAN MARTIN DE PORRES LIMA 31, PERU		
Testing Laboratory TL-659		
<p>has met the requirements of AC89, IAS Accreditation Criteria for Testing Laboratories, and has demonstrated compliance with ISO/IEC Standard 17025:2005, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. This organization is accredited to provide the services specified in the scope of accreditation maintained on the IAS website (www.iasonline.org).</p>		
<i>This certificate is valid up to September 1, 2019.</i>		
 <p><small>This accreditation certificate supersedes any IAS accreditation bearing an earlier effective date. The certificate becomes invalid upon suspension, cancellation or revocation of accreditation. See www.iasonline.org for current accreditation information, or contact IAS at 562-364-8201.</small></p>	  INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE®	 C.P. Ramani, P.E., C.B.O President

Anexo N° 02: Certificado de acreditación de Environmental Testing Laboratory S.A.C. - INACAL

Certificado

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N. 30224, OTCE/DA el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

ENVIRONMENTAL TESTING LABORATORY S.A.C.

Laboratorio de Ensayo
En su sede ubicada en: Calle 8/16, C. L1 40. Uti. Habilitación Industrial Panamericana Norte, Distrito de San Martín de Porres, provincia y departamento de Lima

Con base en la norma
NTP-150/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración.

Facultados a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación, otorgada que se detalla en el DA-VCI-06P-ZIF que forma parte integral del presente certificado levantado el mismo número del registro indicarlo líneas abajo.

Fecha de Renovación: 01 de mayo de 2018
Fecha de vencimiento: 30 de abril de 2022

JADIRICA JIMÉNEZ CARRERA
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 30 de junio de 2018

INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

Dados IP: 116.203.164.63 DA
Compañía: 009-033816250006
Fecha de IP: 17/06/18

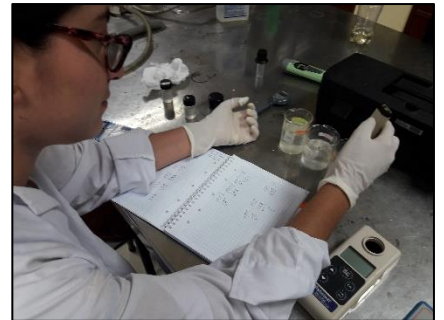
El presente certificado tiene validez en el correspondiente alcance de competencia, siempre que el usuario acredite con su informe de ensayo el cumplimiento de los requisitos de la norma que se acredita y presente el símbolo de acreditación otorgado por el laboratorio acreditado y autorizado para emitir los informes de ensayo B-2006-06P-ZIF, el cual debe ser acompañado de la evidencia de la conformidad con los requisitos de la norma que se acredita y presente el símbolo de acreditación otorgado por el laboratorio acreditado y autorizado para emitir los informes de ensayo B-2006-06P-ZIF que forma parte integral del presente certificado levantado el mismo número del registro indicarlo líneas abajo.

La Dirección de Acreditación del INACAL es responsable de la emisión de los Informes de Acreditación (DA-VCI-06P-ZIF) que forma parte integral del presente certificado levantado el mismo número del registro indicarlo líneas abajo.

Presentación: Modelo de Certificado de Acreditación (Decreto Ley N. 1459)

INACAL - O.P. - 009 033816250006

Anexo N° 03: Registro fotográfico de calibración de equipos en laboratorio (UNTELS).



Anexo N° 04: Registro fotográfico de obtención del biocoagulante



Semillas de *Tamarindus indica*



Secado de las semillas en estufa



Molienda de las semillas de *Tamarindus indica*



Pesado de las semillas molidas



Proceso de maceración: extracción de biocoagulante líquido.