

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EVALUACIÓN DEL USO DE SEMILLAS DE *Mangifera indica* L  
(MANGO) COMO COAGULANTE NATURAL PARA EL TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR MUNIVES DE VES - LIMA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

CARPIO HERNÁNDEZ, BRENDA MILUSKA

**Villa El Salvador**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi abuelo. A mis padres por ser el motivo que me impulsan a salir adelante gracias a sus consejos, amor y su incondicional apoyo. A mis hermanos por estar siempre presente acompañándonos. A Dios por estar presente en cada paso que doy y darme salud para lograr mis objetivos.

## **AGRADECIMIENTOS**

De forma especial agradecer a Dios, por llenar de bendición mi vida y la de mi familia.

De igual manera a mi familia por servirme de apoyo en estos cinco años de carrera universitaria, como también en mi vida.

También agradecer a mi asesora, por su apoyo y enseñanzas en este presente trabajo y a lo largo de mi formación universitaria.

Asimismo agradecer el apoyo brindado de mi enamorado y mis amigos de universidad durante el desarrollo del presente trabajo de suficiencia profesional.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I: PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO .....</b>	<b>12</b>
1.1. Descripción de la Realidad Problemática .....	12
1.2. Justificación del Problema .....	13
1.3. Delimitación del Proyecto .....	13
1.3.1. Teórica .....	13
1.3.2. Temporal .....	13
1.3.3. Espacial.....	14
1.4. Formulación del Problema.....	14
1.4.1. Problema General .....	14
1.4.2. Problemas Específicos.....	14
1.5. Objetivos del Trabajo de Suficiencia Profesional.....	15
1.5.1. Objetivo General .....	15
1.5.2. Objetivos Específicos .....	15
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1. Antecedentes .....	16
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	16
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	20
2.2. Bases Teóricas.....	21
2.2.1. Partículas coloidales .....	21
2.2.2. Coagulación y floculación.....	22
2.2.3. Ensayo de la prueba de jarras.....	33
2.2.4. Mango - <i>Mangifera indica L</i> .....	33
2.3. Definición de términos básicos.....	35

<b>CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL .....</b>	<b>37</b>
3.1. Modelo de solución propuesto.....	37
3.1.1. Elaboración de la semilla de <i>Mangifera indica L</i> (mango) en polvo.....	37
3.1.2. Caracterización fisicoquímica de la semilla de <i>Mangifera indica L</i> (mango).....	38
3.1.3. Preparación de solución coagulante de la semilla de mango.....	41
3.1.4. Pruebas de coagulación .....	41
3.2. Resultados .....	48
3.2.1. Resultados de la caracterización fisicoquímica de la semilla de mango .....	48
3.2.2. Determinación de parámetros óptimos del coagulante natural de semilla de <i>Mangifera indica L</i> (mango).....	50
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>60</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>66</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama del mecanismo de coagulación.....	25
<b>Figura 2.</b> Proceso de adsorción.....	26
<b>Figura 3.</b> Proceso de barrido.....	27
<b>Figura 4.</b> Zonas que se producen en la coagulación.....	30
<b>Figura 5.</b> Flujograma de actividades.....	37
<b>Figura 6.</b> a. Extracción del cotiledón de la semilla. b. Secado de semillas en la estufa.....	38
<b>Figura 7.</b> a. Molido de semillas de mango. b. Tamizado de la muestra en polvo.....	38
<b>Figura 8.</b> Proceso de extracción de grasas de una muestra de 5g del polvo de semillas de mango.....	39
<b>Figura 9.</b> a. Peso de la cápsula seca y vacía. b. Cápsula con la semilla seca ....	40
<b>Figura 10.</b> a. Muestra en polvo de semillas llevado a la mufla. b. Cenizas obtenidas del polvo de semilla.....	40
<b>Figura 11.</b> a. Preparación del coagulante natural al 0.5% de concentración llevado a agitación. b. Solución del coagulante natural homogéneo.....	41
<b>Figura 12.</b> a. Muestreo del afluente b. Muestreo del efluente (PTAR-MUNIVES). .....	42
<b>Figura 13.</b> Succión del coagulante con jeringas hipodérmicas.....	43
<b>Figura 14.</b> Montaje de las pruebas de coagulación en el test de jarras.....	44
<b>Figura 15.</b> Coagulante natural a diferentes concentraciones (1%, 3% y 5%).....	45
<b>Figura 16.</b> Relación de la turbidez residual promedio con las seis dosis de solución de mango para aguas de turbidez baja.....	51
<b>Figura 17.</b> Relación de la turbidez residual promedio con las cuatro concentraciones de la solución de mango para aguas de turbidez baja.....	52
<b>Figura 18.</b> Variación promedio de pH en relación de las seis dosis representativas a una turbidez baja (19.9 UNT).....	53
<b>Figura 19.</b> Variación promedio de pH en relación de las concentraciones representativas a una turbidez baja (19.9 UNT).....	54
<b>Figura 20.</b> Relación de la turbidez residual promedio con las seis dosis de la solución de mango para aguas de turbidez alta.....	56

<b>Figura 21.</b> Relación de la turbidez residual promedio con las cuatro concentraciones de la solución de mango para aguas de turbidez alta. ....	57
<b>Figura 22.</b> Variación promedio de pH en relación a las seis dosis representativas de la solución de mango para aguas de turbidez alta (209 UNT).....	58
<b>Figura 23.</b> Variación promedio de pH en relación a las cuatro concentraciones representativas de la solución de mango para aguas de turbidez alta (209 UNT). .....	59

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tiempo de caída de tipos de partículas en función a su diámetro y densidades .....	21
<b>Tabla 2.</b> Taxonomía del mango .....	34
<b>Tabla 3.</b> Análisis fisicoquímico de la semilla de mango .....	35
<b>Tabla 4.</b> Dosis y concentración del coagulante natural para los dos niveles de turbidez.....	42
<b>Tabla 5.</b> Programación del equipo de jarras .....	44
<b>Tabla 6.</b> Parámetros fisicoquímicos medidos del agua .....	46
<b>Tabla 7.</b> Equipos, marca y modelo usados .....	46
<b>Tabla 8.</b> Rango de precisión de los experimentos .....	47
<b>Tabla 9.</b> Caracterización fisicoquímica obtenida de la semilla de Mangifera indica L (mango).....	50
<b>Tabla 10.</b> Valores fisicoquímicos de la muestra inicial .....	50
<b>Tabla 11.</b> Dosis óptima en aguas de baja turbidez (19.9 UNT).....	51
<b>Tabla 12.</b> Concentración óptima en aguas de baja turbidez (19.9 UNT).....	52
<b>Tabla 13.</b> Valores fisicoquímicos de la muestra inicial.....	55
<b>Tabla 14.</b> Dosis óptima en aguas de alta turbidez (209 UNT).....	55
<b>Tabla 15.</b> Concentración óptima en aguas de alta turbidez (209 UNT) .....	57
<b>Tabla 16.</b> Presupuesto del proyecto .....	82

## INDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1:</b> Balance de masas.....	43
<b>Ecuación 2:</b> Determinación del porcentaje de materia grasa.....	48
<b>Ecuación 3:</b> Determinación del porcentaje de la humedad .....	49
<b>Ecuación 4:</b> Determinación del porcentaje de cenizas.....	49

## INDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1:</b> Panel fotográfico .....	66
<b>ANEXO 2:</b> Tablas de resultados .....	68
<b>ANEXO 3:</b> Resultados de análisis estadístico .....	70
<b>ANEXO 4:</b> Presupuesto del proyecto.....	82

# INTRODUCCIÓN

Uno de los desafíos que enfrentará las generaciones futuras es la escasez de agua, la cual es imprescindible para el funcionamiento del equilibrio ambiental de los ecosistemas; hoy en día el aumento de la población junto con los avances industriales, la agricultura y la urbanización han dado como resultado un aumento en la demanda de agua. (Martínez, et al., 2017).

Esto conlleva a que se presenten y desarrollen diferentes tecnologías con la finalidad de tratar y recuperar este recurso natural, una de estas tecnologías se le conoce como coagulación y floculación, los cuales son procesos donde se le añade al agua una sustancia denominada “coagulante”, que logra desestabilizar las partículas coloidales y formar aglutinaciones con mayor peso que el del agua llamados “flóculos”, los cuales sedimentan permitiendo así la separación de estas en el agua; esta tecnología es esencial y eficaz para el tratamiento de aguas. (Arias, Hernández, Castro y Sánchez, 2017) (Martínez, et al., 2017).

Los parámetros operacionales para la determinación de la eficiencia de un coagulante son la turbidez y el color, los cuales miden indirectamente las concentraciones de las partículas coloidales. Los coagulantes más utilizados en el tratamiento de aguas son los de origen químico (sales de aluminio y de hierro). Debido a su alta efectividad para ayudar en la remoción de la turbidez el sulfato de aluminio es usado en la clarificación del agua; sin embargo, generan efectos negativos significativos a la salud a largo plazo, como el desarrollo de Alzheimer en el caso del aluminio (Arias, Hernández, Castro y Sánchez, 2017) (Martínez, et al., 2017).

Esto ha motivado la búsqueda de opciones que reemplacen total o parcialmente los coagulantes químicos comúnmente utilizados por coagulantes económicos, inocuos y efectivos en la remoción de grandes concentraciones de cargas orgánicas que presentan las aguas residuales.

Los coagulantes naturales representan una opción viable que tienen ventajas demostradas en la adsorción de contaminantes, remoción de la turbidez, generación de lodos menos voluminosos y rápidamente biodegradables, al ser sustancias consumibles no representan un riesgo tóxico a la salud. El uso de materiales vegetales como semillas y plantas para la clarificación de aguas se ha venido usando por décadas para el tratamiento de aguas de consumo humano generalmente en áreas rurales tropicales (Arias et al., 2017) (Guzmán, Taron y Núñez 2015).

Por lo expuesto, la finalidad del presente trabajo fue evaluar el uso de la semilla de *Mangifera indica L* (mango) como coagulante natural para remover la turbidez presente en las muestras de agua residual doméstica y comprobar su efecto en la variación del pH; para lo cual se preparó el coagulante en polvo obtenido de la semilla de mango a fin de determinar los parámetros óptimos (dosis y concentración) del coagulante natural, que nos dará una menor turbidez residual.

# **CAPÍTULO I: PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO**

## **1.1. Descripción de la Realidad Problemática**

La dificultad en la remoción de partículas coloidales presentes en las aguas superficiales generan un problema frecuente en los procesos de tratamiento de aguas por ende interfiere en su reaprovechamiento y procesos naturales. (El agua potable, 2015)

Debido a los prolongados tiempos de sedimentación de las partículas coloidales las cuales dependen del tamaño y la presencia de cargas eléctricas, se emplea el uso de coagulantes como una opción de solución para su remoción; los cuales se han demostrado su efectividad en el proceso de coagulación. (Gómez, 2005) (Andía, 2000)

Los coagulantes más utilizados son de origen químico, los cuales son usados en la clarificación del agua debido a su alta efectividad para ayudar la remoción de la turbidez y paralelamente para reducir microorganismos patógenos, tales como virus y Giardias; Se ha evidenciado investigaciones sobre los efectos a largo plazo que genera el uso de sulfato de aluminio al ser asimilado por el organismo del ser humano, generando enfermedades neurodegenerativas y óseas, como también variaciones significativas en el pH de las aguas, grandes volúmenes de lodos con sustancias depositadas no biodegradables y son de altos costos de adquisición e importación (Martínez, et al., 2017) (Guzmán, Taron y Núñez, 2015).

## **1.2. Justificación del Problema**

Considerando el contexto descrito anteriormente, nos alcanza una idea más precisa sobre la utilización de coagulantes de origen natural para el proceso de tratamiento de aguas. Es así que la presente investigación tiene por objetivo dar a conocer las características fisicoquímicas de la semilla y su poder coagulante en la remoción de turbidez y variación del pH final en las aguas tratadas, a fin de poder demostrar su efectividad en estos procesos.

Este trabajo presenta una nueva opción de bajo costo, debido a que la semilla de mango se encuentra en la parte interna del fruto y pocas veces es utilizada, dándole una valoración a este residuo orgánico e impulsando la búsqueda de nuevos coagulantes naturales.

## **1.3. Delimitación del Proyecto**

### **1.3.1. Teórica**

El trabajo se centra en elaborar un coagulante natural a base de semillas *Mangifera indica L* (mango) con el objetivo de remover la turbidez presente en aguas residuales domésticas, se realizaran pruebas de caracterización fisicoquímica de la semilla de mango, pruebas de coagulación y la determinación de los parámetros óptimos como dosis y concentración para cada nivel de turbidez inicial (baja y alta).

Tiene como precedentes distintas investigaciones y tesis que abarcan desde el año 2010, en las cuales se determinaron las dosis óptimas de un coagulante natural en la remoción de la turbidez.

### **1.3.2. Temporal**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el periodo comprendido entre febrero a abril del 2019.

### 1.3.3. Espacial

El trabajo de Investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Biología, Laboratorio de Química y Laboratorio de Edafología de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. El agua residual es procedente de las Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Municipalidad de Villa El Salvador (PTAR-MUNIVES).

## 1.4. Formulación del Problema

### 1.4.1. Problema General

¿Se podrá usar las semillas de *Mangifera indica* L (mango) como coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales de la Ptar Munives?

### 1.4.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cuál será la caracterización fisicoquímica de la semilla de *Mangifera indica* L (mango)?
- b) ¿Cuál serán los porcentajes de remoción de turbidez y la dosis óptima del coagulante natural a base de semillas de *Mangifera indica* L (mango) para cada nivel de turbidez inicial?
- c) ¿Cuáles serán las concentraciones óptimas del coagulante natural de semillas de *Mangifera indica* L (mango) que obtendrá la mayor remoción de turbidez?
- d) ¿Cuál será la variación del pH final de las aguas tratadas usando un coagulante natural a base de semillas de *Mangifera indica* L (mango)?

## **1.5. Objetivos del Trabajo de Suficiencia Profesional**

### **1.5.1. Objetivo General**

Evaluar el uso de semillas de *Mangifera indica L* (mango) como coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales de la Ptar Munives.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- a) Determinar la caracterización fisicoquímica de la semilla de *Mangifera indica L* (mango).
- b) Calcular los porcentajes de remoción de turbidez y determinar la dosis óptima del coagulante natural a base de semillas de *Mangifera indica L* (mango) para cada nivel de turbidez inicial.
- c) Obtener las concentraciones óptimas del coagulante natural de semillas de *Mangifera indica L* (mango) que obtendrá la máxima remoción de turbidez.
- d) Expresar la variación del pH final de las aguas tratadas mediante el uso de un coagulante natural a base de semillas de *Mangifera indica L* (mango).

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Antecedentes Internacionales**

Ramírez, et al. (2010) realizaron la investigación: “*Caracterización química de la semilla de mango (Mangifera indica L) y valorización de algunos de sus componentes*”. Se presentan las siguientes conclusiones:

El presente estudio determinó su caracterización fisicoquímica de la semilla de *Mangifera indica L*, obteniendo valores para; grasas 9.5%, humedad 4.15%, cenizas 2.21%, proteínas 2.2% y fibra 0.14%. Como también determinaron la actividad Coagulante – Floculante de semilla de mango obteniendo como mayores porcentajes de; remoción de turbidez (mayor al 60%), dosis óptima de 60mg/mL; remoción de color (mayor al 70%) con una dosis óptima de 90 mg/mL y remoción de DQO de 43% con una dosis óptima de 30mg/L. Se generaron volúmenes de lodo entre 5 a 7mL. El objetivo de la investigación fue dar a conocer un enfoque cíclico de la utilización de semilla de mango mediante la valoración de sus componentes obteniendo diferentes sub productos como; coagulante - floculante, biodiesel y productos alimenticios.

Guzmán y Taron (2015) Realizaron la investigación: “*Polvo de la semilla Cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda*” en la Universidad de Cartagena, Colombia. Se presentan las siguientes conclusiones:

La investigación dio a conocer el poder coagulante del polvo de semilla de *Cassia f.* del cual realizaron la medición de parámetros fisicoquímicos como turbidez, color, pH, alcalinidad total y dureza total. En aguas con turbidez inicial de 120 UNT lograron obtener una turbidez residual de 6 UNT, con un color inicial de 200 UPC llegaron a obtener un color residual de 25 UPC, con respecto al pH no hubo variaciones significativas en las aguas tratadas, no se evidenció la variación en la remoción de alcalinidad y dureza total. La eficiencia obtenida en la remoción de turbidez y color considera como coagulante natural a la semilla de *Casia fistula*.

Ese mismo año Zamudio, et al. (2015) Realizaron el proyecto: “*Desarrollo de un floculante natural para el tratamiento de aguas superficiales en hogares del sector rural del municipio de Fusagasugá Bogotá*”, el cual tuvo como objetivo desarrollar conjuntamente con la población diferentes coagulantes - floculantes a base de ocho productos naturales; sábila, mango dulce, mandarina, guatila entre otros. En el proyecto presentaron comparaciones de eficiencia en la remoción de cuatro parámetros; índice de remoción de turbiedad (IRT) %, pH, color aparente (UPTC) y conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ).

Determinaron que los compuestos que presentan mayor efectividad como coagulante fueron la semilla de mango, cristales de sábila y pitahaya, presentó un porcentaje de remoción de 50% a una concentración menor y una dosis óptima de 3g/L, los valores de pH se encontraron en el intervalo de 6 – 7.5 el cual favorece el proceso de coagulación y no necesita la adición de un modificador de pH. Los valores obtenidos del color, la semilla de mango y la cáscara de mandarina presentaron los valores más bajos pero sobrepasan los límites permitidos para el agua potable, por último existe una relación directamente proporcional entre la conductividad y la cantidad de dosis a adicionar. La presente investigación demuestra el uso de compuestos naturales como alternativas de tratamiento de aguas.

Martínez, et al. (2017) Realizaron la investigación: “*El extracto de semillas de mango (Mangifera indica L) como coagulante natural en la potabilización de aguas*” Universidad Politécnica de Madrid, España. Se presentan las siguientes conclusiones:

El presente estudio realizó la caracterización fisicoquímica, obteniendo valores en las concentraciones de aceites y grasas extraíbles de 15.08%, un bajo contenido de humedad de 2.70% y un contenido de cenizas de 3.17%. Determinaron las dosis óptimas de la semilla de mango para la remoción de los parámetros turbidez, color y variación del pH, para ello prepararon agua sintética a diferentes niveles de turbidez inicial, mediante la aplicación del coagulante en aguas de baja turbidez (15 UNT) el porcentaje obtenido fue de 80.5% a una dosis óptima de 100 mg/L; la mayor remoción se obtuvo en aguas de turbidez media (75 UNT) alcanzando así 97.7% de remoción, asimismo a una turbidez alta (200 UNT) obtuvo un porcentaje superior al 95% con dosis óptimas entre 10 y 100 mg/L, en la remoción del color se obtuvieron valores máximos de 75%. Esta investigación evidenció el poder de coagulante en la remoción de parámetros fisicoquímicos. En comparación con el coagulante comúnmente utilizado (origen químico) no se obtuvieron diferencias significativas en aguas con niveles de turbidez inicial media y alta.

Ese mismo año Guardado y Hernández (2017) Realizaron la investigación: *“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)”*. Se presentan las siguientes conclusiones:

Determinaron la efectividad de floculación de la semilla del tamarindo del cual obtuvieron a una dosis óptima de 8mL/L un porcentaje de remoción de turbidez 55.33% y un valor de pH de 5. Se determinó también los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales los cuales se comprobó su efectividad en la remoción.

Asimismo Arias, et al. (2017) Se realizó la investigación: *“Tratamiento de aguas residuales de una central de Sacrificio: Uso del polvo de la Semilla de la Moringa oleífera como coagulante natural”*. Se presentan las siguientes conclusiones:

Determinaron el poder coagulante de la semilla de *Moringa Oleífera* obteniendo porcentajes de remoción de turbidez y de color de 86,7% y 93% respectivamente. Al demostrar su eficiencia en la remoción de estos parámetros se realiza la coagulación con aguas residuales provenientes de un camal el cual tiene gran cantidad de carga orgánica. En las pruebas realizadas se logró notar la disminución

de parámetros como demanda bioquímica y química de oxígeno, sólidos suspendidos totales y coliformes, para este último parámetro alcanzo una eficiencia de remoción mayor al 90%.

El siguiente año Salgado, (2018) Realizó la investigación: “*Evaluación de las semillas de tamarindo (Tamarindus indica) en la remoción de turbidez de aguas superficiales*” en la Universidad de sucre, Colombia. Se presentan las siguientes conclusiones:

Determinaron la capacidad de remoción de turbidez utilizando el tamarindo, en el cual se obtuvo mejores resultados con el método de adecuación en frío, alcanzando entre 39% y 54% de actividad coagulante. Se encontró un alto de porcentaje de eficiencia de remoción oscilante entre 40% y 74% en la remoción de turbidez. Los resultados mostraron que método de extraído en frío alcanza mayor actividad coagulante a mayor turbidez inicial del agua superficial del canal del dique, demostraron la actividad del coagulante semilla de *Tamarindus indica* de 70% y eficiencias de remoción entre 71-74%. El coagulante de las semillas de tamarindo no alteró el pH neutro del agua, resultado que se encontró dentro de los límites permisibles en las normas Colombianas.

Finalizando el año Cuadro y Rodas (2018 – 2019) Realizaron la investigación: “*Alternativa para sustitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de yuca y Moringa oleífera en tratamiento de aguas superficiales*” en la Universidad de Guayaquil. El trabajo presentó las siguientes conclusiones:

Determinaron una dosificación óptima de 17.5 mg/L del coagulante natural a base de la semilla y del almidón de yuca de 0.5 mg/L, como floculante consiguieron los resultados óptimos en lo referente a turbiedad y color, obteniendo valores finales de muy bajos en turbiedad y color, lo cual es aceptable en el tratamiento de agua de superficiales, La *Moringa oleífera* en combinación con la yuca presentó eficiencias en su remoción y color, removiendo el 97,95% de la turbidez y el 82,35% del color, con un pH final de 7,53, realizó comparaciones con un coagulante químico obteniendo en remoción de color 79,41% y el 97,74% de la turbidez y con el inconveniente que el pH final fue de 5,96 el cual está fuera de normativa. Demostrando el uso de un coagulante natural para el tratamiento de aguas.

### 2.1.2. Antecedentes Nacionales

Rivera, (2017) desarrolló el trabajo de investigación: “*Eficiencia de coagulante natural obtenidos de yuca (Manihot Esculenta) y plátano (Musa Paradisiaca) para remover turbidez y Escherichia Coli del riachuelo Santa Perené Chanchamayo*” en la Universidad Cesar Vallejo para optar por el título profesional de Ingeniero Ambiental. El trabajo llegó a las conclusiones:

El coagulante elaborado a base de agua de plátano tuvo una mayor remoción de turbidez y E. coli en comparación con el que obtuvo con el agua de yuca; el agua de plátano obtuvo con una dosis optima de 130 mg/L remoción de turbidez de 27.42% y de *Escherichia coli* de 98.89%, mientras que el agua de yuca con una dosis optima de 3mg/L obtuvo porcentajes de remoción de turbidez de 12.36% y de *Escherichia coli* de 16.67%; teniendo 25.06% de mayor remoción de turbidez el agua de plátano que el de yuca.

El siguiente año López, (2018) Realizó la investigación: “*Evaluación del uso de la Cactácea Opuntia ficus – indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas*” en la Universidad Nacional Agraria La Molina, para optar por título profesional de Ingeniero Ambiental. El trabajo llegó a las principales conclusiones:

Determinaron parámetros óptimos de la solución coagulante en polvo elaborado a partir del cactus, al ser aplicado para muestras de agua a diferentes niveles de turbidez, evaluaron parámetros fisicoquímicos finales de la muestra de aguas (turbidez, color, pH y conductividad), las dosis optima del coagulante natural estuvieron en el rango de 30 y 90 mg/L y su pH optimo fue 9; comprobando que cantidades de dosis menores a 100mg de coagulante natural serán suficientes para un litro de agua tratada.

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. Partículas coloidales

Las partículas coloidales presentan una gran superficie específica debido a que existe una relación entre la masa y el área superficial, estas partículas se mantienen suspendidas en el agua por factores como la densidad de la partícula al ser menor o igual que la de agua o también por el movimiento del líquido. (Pérez et al., 1977).

Las partículas coloidales en suspensión cuya densidad es mayor que el agua, su remoción se puede dar por sedimentación, filtración o turbulencias, siendo también un indicador de calidad del agua la concentración de estas partículas. (Gómez, 2005).

#### 2.2.1.1. Tamaño de las partículas coloidales

Las partículas coloidales se clasifican dependiendo su diámetro, las partículas de materias orgánicas o inorgánicas tienen diámetro menor a 1 micrómetro ( $\mu m$ ) teniendo así una sedimentación muy lenta, comúnmente el tamaño de las partículas coloidales está entre las partículas en suspensión y las partículas en solución verdadera. (Pérez et al., 1977).

En la siguiente tabla se presenta el tiempo de caída de las partículas dependiendo del diámetro y de la densidad de ellas, teniendo un mayor tiempo de sedimentación las de menor tamaño. (Andía, 2000)

**Tabla 1** Tiempo de caída de tipos de partículas en función a su diámetro y densidades

Tipo de Partículas	Diámetro (mm)	Tiempo de Caída	
		Densidad 2.65	Densidad 1.1
Grava	10	0.013 s.	0.2 s.
Arena Gruesa	1.0	1.266 s.	20.9 s.
Arena fina	0.1	126.66 s.	34.83 min
Lodo fino	0.01	3.52 h.	58 h.
Bacterias	0.001	14.65 d.	249.1 d.
Coloides	0.0001	4.12 a.	66.59 d.

**Fuente:** Recuperado de Andía (2000).

### **2.2.1.2. Afinidad de las partículas Coloidales por el agua**

Las partículas coloidales pueden presentar afinidad por el agua ser hidrofílicas como no presentar afinidad ser hidrófobas, la afinidad que presentan por el agua hace su fácil dispersión y que las moléculas del agua los rodeen con facilidad, mientras que las partículas hidrófobas son todo lo contrario no tiene facilidad para su dispersión y requieren de algún medio físico o químicos para lograr ser rodeados por moléculas del agua.

Las partículas coloidales hidrofílicas comúnmente son de origen orgánica y las partículas coloidales hidrófobas son de origen inorgánico, las partículas contienen una capa de agua y cargas eléctricas que cumplen la función del paso de partículas generando así su estabilización. (Andía, 2000)

### **2.2.1.3. Estabilidad e inestabilidad de los coloides**

Según Pérez et al. (1977) las partículas coloidales se caracterizan mediante fuerzas de estabilización o repulsión, las cuales se muestran a continuación:

- a. Carga de las partículas
- b. Hidratación, factor clave para los coloides hidrofílicos.

A continuación se muestra los factores de atracción o desestabilización:

- a. Gravedad.
- b. Movimiento Browniano, favorece el contacto entre partículas generando su desestabilización.
- c. Fuerzas de Van Der Waals, principal fuerza atractiva entre las partículas coloidales.

### **2.2.2. Coagulación y floculación**

La coagulación es el proceso químico mediante el cual se logra la sedimentación de las partículas coloidales debido a mecanismos de neutralización de fuerzas entre partículas y favoreciendo su fácil aglomeración, teniendo como finalidad la

desestabilización de las partículas coloidales que se encuentran suspendidas cuya sedimentación es difícil. (Andía, 2000).

La floculación consiste en aglomeración de los coloides que se desestabilizaron durante la coagulación, se favorece mediante una mezcla lenta para generar coloides de grande diámetro y peso específico superior al agua, denominados flóculos a fin que puedan sedimentar con facilidad (Rodríguez, citado por López, 2018).

Asimismo según Andía (2000) el proceso de floculación puede generar mejoras si se le añade algunas sustancias que ayude a que se dé la floculación, debido a que en algunos casos no sedimentan por su tamaño y la formación de sus aglomerados; por consiguiente al adicionar un floculante se forman puentes que enlazan estas partículas generando más aglomerados por ende mayor tamaño para su sedimentación.

Según Pérez et al. (1977) existen dos tipos de floculación. La ortocinética es ocasionada por fuerzas externas cuya procedencia puede ser mecánico o hidráulico (paletas giratorias); mientras la pericinética mediante el movimiento de agitación de las partículas (movimiento browniano) o por el peso.

#### **2.2.2.1. Mecanismo de Coagulación**

Según Pérez et al. (1977) la coagulación es una combinación de internaciones físicas y químicas, entre las cuales se pueden distinguir como mínimo cuatro diferentes mecanismos basados en las dos teorías de estabilización (el modelo físico y químico).

- Mecanismo de doble capa.
- Adsorción y Neutralización de cargas.
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- Adsorción y puente.

### **a. Mecanismo de doble capa**

La interacción entre las capas difusas de las partículas coloidales de características similares da como resultado una fuerza de repulsión debido a distancia de separación, pero al añadirle una sustancia con iones de cargas opuestas a las cargas de estas partículas se genera la atracción entre ellas y su fácil sedimentación por conglomerados, la sustancia que logra esta interacción se le conoce como coagulante.

La interacción de estas partículas también se pueden dar por fuerzas de atracción conocidas como fuerzas de Van der Waals, las cuales no están relacionadas a las características de la solución y actúan de manera contraria a la repulsión dependiendo de la densidad de estas partículas. (Pérez, citado por López, 2018)

### **b. Adsorción y Neutralización de cargas**

Se encuentra relacionado al mecanismo de la doble capa, su fundamentación se centra en la formación de la primera capa, mediante la interacción que forma las cargas iónicas negativas que presentan los coloides con las positivas que se encuentran en el agua, el potencial que describe estas interacciones se le conoce como "Potencial Zeta". (López, 2018)

### **c. Atrapamiento de partículas en un precipitado**

La formación de un atrapamiento de partículas llamado "floc" se da por la internación química de la carga de las partículas coloidales y los aniones presentes cuando llegan a su desestabilización, existe una relación entre el volumen de coagulante adicionar y la turbidez, donde a concentraciones mayores de turbidez menor cantidad de coagulante a emplear. (Andía, 2000).

#### d. Adsorción y puente

Mediante la utilización de un polímero aniónico se obtiene un tratamiento más económico mientras las partículas tengan cargas negativas. El proceso de adsorción de las partículas coloidales se puede producir en diferentes sitios de un polímero debido a la presencia de los grupos químicos del coagulante. (López, 2008).

#### 2.2.2.2. Etapas o fases de la coagulación

Según Andía (2000) y Pérez et al. (1977) el proceso de coagulación tiene un periodo de poca duración presentándose cinco fases, las cuales se muestran a continuación:

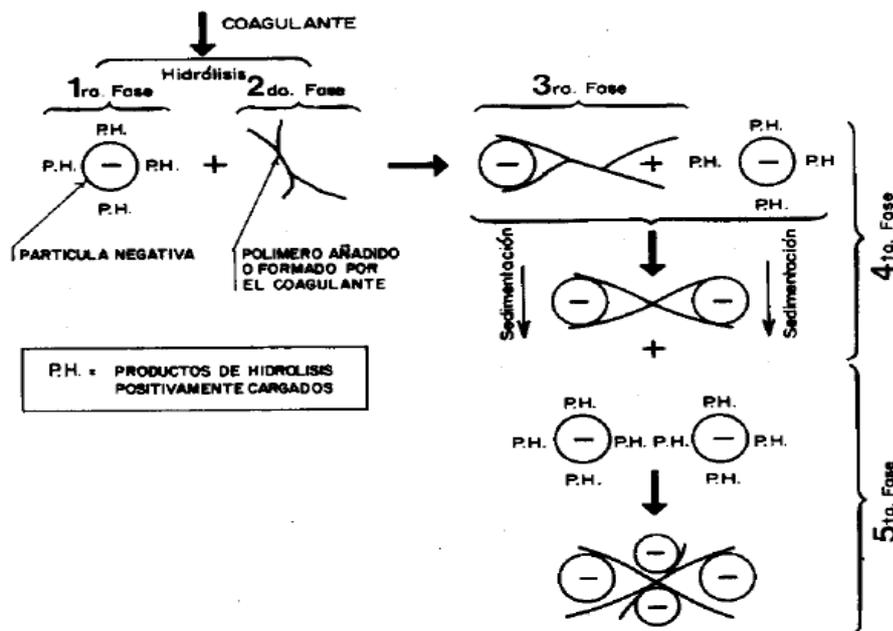
**Fase 1:** Hidrolisis y desestabilización de coloides suspendidos.

**Fase 2:** Elaboración de productos químicos poliméricos.

**Fase 3:** Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.

**Fase 4:** Adsorción entre partículas coloidales.

**Fase 5:** Proceso de barrido.



**Figura 1.** Diagrama del mecanismo de coagulación.

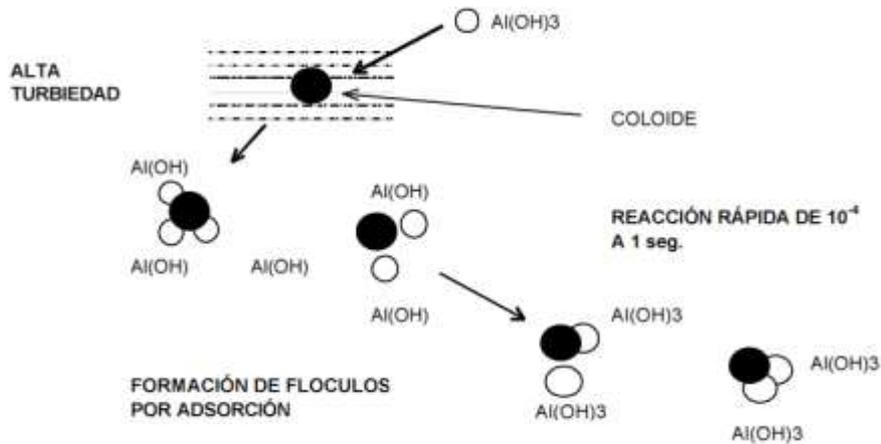
Fuente: Pérez et al. (1977).

### 2.2.2.3. Tipos de Coagulación

A continuación se presentan los tipos de coagulación:

#### a. Coagulación por Adsorción

Se produce cuando las partículas coloidales realizan la adsorción del material coagulante por ende se generan flóculos de manera muy rápida, las coagulación por adsorción se presenta en aguas con grandes concentraciones de partículas coloidales. (Gómez, 2005)

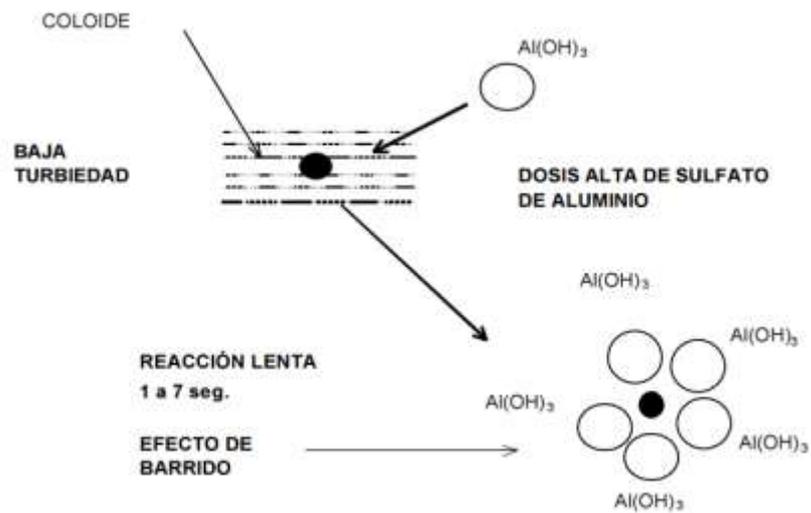


**Figura 2.** Proceso de adsorción

**Fuente:** Andía (2000)

#### b. Coagulación por barrido

Se produce en bajas concentraciones de partículas coloidales, la acción de barrido se genera debido a la presencia del coagulante de forma saturada. (Gómez, 2005).



**Figura 3.** Proceso de barrido.

**Fuente:** Andía (2000)

#### 2.2.2.4. Factores que influyen en la Coagulación

Existen factores de coagulación que influyen en estos procesos, mediante estos factores se puede calcular las cantidades de coagulante añadir. (Andía 2000)

Los factores que tienen influencia en el proceso de coagulación son:

- a. Potencial de hidrógeno - pH
- b. Turbidez
- c. Sales disueltas
- d. Temperatura del agua
- e. Dosis de Coagulante
- f. Concentración del coagulante
- g. Condiciones de mezcla y aplicación de coagulantes

##### a. Influencia del pH

El pH es uno de los parámetros fundamentales para que se dé el proceso de coagulación, la alcalinidad y los iones presentes en el agua generan su valor. La

formación de flóculos se da por la aglomeración de los iones del coagulante con los del hidrogeno del agua; los rangos de pH óptimo en la coagulación para remover turbidez es 6.5 a 7.5; mientras que para color es 4.0 a 6.0, cuando se realiza la coagulación en otros rangos de pH y color es necesario adicionar una mayor cantidad de dosis. (Guananga, 2013) (Andía, 2000)

#### **b. Influencia de la turbidez**

El parámetro de turbidez se mide para conocer la concentración de partículas coloidales presentes en el agua, las cuales están relacionadas a su tamaño, forma y número. Después de haberse realizado las pruebas de coagulación se determina la turbidez con la finalidad de obtener la eficiencia, siendo mayor eficiente las aguas con menor turbidez residual. Existe un pH óptimo de 6.5 – 7.5, donde la coagulación se realiza sin dificultad. (Arias, et al., 2017) (Andía, 2000)

#### **c. Influencia de Sales Disueltas**

Según Andía (2000) las sales disueltas influyen en los procesos de coagulación y floculación, generando modificaciones en:

- Rango de pH óptimo.
- Tiempo necesario para la floculación.
- Cantidad de coagulantes necesario
- Cantidad residual del coagulante dentro del efluente

#### **d. Influencia de la Temperatura del Agua**

La temperatura del agua ejerce un influencia en el tiempo y eficiencia de coagulación, cuando ocurre una variación en la temperatura también ocurre en la densidad del agua siendo estas las que afectan en la energía cinética de las partículas coloidales suspendidas por ende hace que los tiempos de sedimentación sean muy lentos.

Las temperaturas bajas del agua generan que sea mayor su viscosidad, por ende no favorece la formación del floc. (Arias, et al., 2017) (Andía, 2000).

#### **e. Influencia de la Dosis de Coagulante**

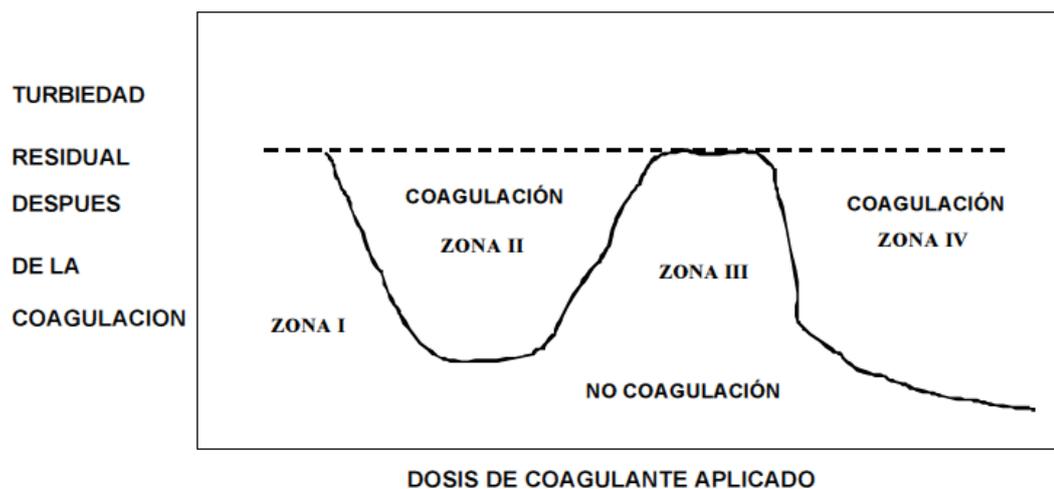
La dosis tiene una influencia directa en el proceso de coagulación debido a que es necesario encontrar la dosis óptima que pueda neutralizar las cargas de las partículas coloidales y facilitar su desestabilización, su aplicación debe realizarse de manera constante y con uniformidad en la mezcla, esto garantizará que se disperse todo el coagulante por el agua y se dé el proceso de coagulación mediante la precipitación de los flóculos sedimentados. (Guananga, 2013)

La cantidad de coagulante es un factor que influye en el proceso de coagulación, teniendo como consideraciones:

- Cuando la cantidad de coagulante es menor no logra desestabilizar las partículas coloidales ni generar formaciones de flóculos por consiguiente no hay sedimentación.
- Cuando la cantidad de coagulante es mayor tampoco se logra desestabilizar las partículas coloidales debido a que se produce una inversión en las cargas por consiguiente tampoco hay sedimentación.
- Se determina la dosis, concentración y selección del coagulante a utilizar realizando el test de jarras. (Andía, 2000)

La dosis óptima del coagulante es la que produce la mejor desestabilización de las partículas coloidales, permite la formación de un floculo pesado y compacto, que sea de fácil sedimentación, se determina mediante la prueba de jarras para el coagulante, donde la dosis óptima corresponde a aquella que produce menor turbidez residual, en la Figura 4 se representan los tipos de zonas descritas al aplicar una dosis de coagulante (Guananga, 2013) (Lopez, 2018).

- **Zona 1:** En esta zona no se da la coagulación debido a la insuficiente dosis o cantidad de coagulante la cual no permite la desestabilización de las partículas coloidales.
- **Zona 2:** En esta zona se produce la coagulación al ser la dosis del coagulante la suficiente para favorecer la desestabilización de las partículas y la formación de floc.
- **Zona 3:** En esta zona no se da la coagulación debido al incremento de dosis se reestabilizan los coloides con ciertos valores de pH.
- **Zona 4:** En esta zona también se da la coagulación debido a la sobresaturación de un coagulante añadido generando el efecto de barrido y removiendo las partículas coloidales por arrastre.



**Figura 4.** Zonas que se producen en la coagulación.

**Fuente:** Andía (2000).

#### f. Concentración del coagulante

Se va adicionar mediante dosis representativas, la concentración que optimiza el proceso de coagulación se le conoce como concentración óptima la

cual genera la más baja turbidez residual y se obtiene mediante la prueba de jarras. (Guananga, 2013).

#### **g. Influencia de Mezcla y aplicación de coagulante**

Es una determinante que da a conocer si la coagulación se ha realizado completamente, la turbulencia de manera no uniforme genera espacios donde no llega la solución coagulante por ende no se genera la reacción de desestabilización de partículas suspendidas, durante el proceso de coagulación se recomienda un mezclado uniforme y adecuado durante y después de ser añadido el coagulante para garantizar su efectividad.

La aplicación del coagulante que se le adicione al agua debe ser de forma constante y uniforme en la unidad de mezcla, con la finalidad que el coagulante sea completamente dispersados y mezclado en el agua (Andía, 2000).

#### **2.2.2.5. Tipos de Coagulantes**

Según Laines citado en López, (2018) Se presentan dos tipos de coagulantes utilizados en los procesos de tratamiento de aguas:

##### **a. Coagulantes sintéticos**

Los coagulantes sintéticos son en mayoría de origen químico, los cuales tiene capacidad de generar reacciones de desestabilización de las partículas coloidales suspendidas, produciéndose así su sedimentación en el agua generando lodos voluminosos e insolubles, son comúnmente empleados debido a su eficiencia en la remoción de turbidez, color como también de algunos metales.(Nieto 2011).

Según Andía (2000) Se presentan coagulantes de origen químico utilizados en la coagulación:

- a. Aluminato de Sodio
- b. Sulfato de Aluminio

- c. Cloruro Férrico
- d. Sulfato Férrico
- e. Cloruro de Aluminio
- f. Sulfato Ferroso
- g. Polielectrolitos

Los coagulantes químicos más usados en el proceso de coagulación son el sulfato de aluminio y el cloruro férrico generando productos como hidróxidos de aluminio o hierro de sus reacciones de hidrolisis generando precipitados insolubles. (Andía, 2000)

## **b. Coagulantes naturales**

Son sustancias elaboradas con materia vegetal que cumplen la función de coagulante llegando a remover las partículas coloidales presentes en el agua de similar manera que un coagulante químico, pero a comparación de este tienen la ventaja de remover microorganismos de origen patógeno. El coagulante al ser de origen vegetal no genera ningún efecto dañino en el organismo, ni su utilización en la agricultura, como también genera lodos biodegradables. (Lopez, 2018).

El uso de materiales vegetales como semillas y plantas para la clarificación de aguas se ha venido usando por décadas en comunidades rurales para tratar el agua de consumo diario. (Arias et al., 2017) (Guzmán, Taron y Núñez 2015).

La aplicación de coagulantes naturales, se pueden emplear en los tratamientos convencionales de aguas potables y residuales, siendo muy estudiados debido a su gran eficiencia en la remoción de turbidez y color. (Lopez, 2018).

García (2007) citado por López (2018), da a conocer diferentes productos vegetales, los cuales se han realizado estudios y se ha demostrado su capacidad coagulante entre ellos se encuentran la semilla de almendra, las variedades de cactus, las menestras como habas, lentejas y la más conocida la *Moringa Oleífera*.

En los últimos años se han realizado estudios comparativos sobre la capacidad coagulante que puede tener el de origen vegetal con respecto al de origen químico, se han realizado pruebas a menores escalas para tratamiento de potabilización de aguas mayormente en comunidades rurales. (Lopez, 2018)

### **2.2.3. Ensayo de la prueba de jarras**

Esta prueba se realiza para comprobar la acción y capacidad de coagulante debido a que se simula el proceso de coagulación, se realiza a escala pequeña permitiendo determinar la concentración, dosificación del coagulante, pH óptimo, tiempo y velocidad de mezclado, para que de esa forma se pueda estimar la dosis óptima del coagulante requerido para tratar el agua (Andía, 2000).

El procedimiento consiste en añadir concentraciones del coagulante en las jarras que contienen muestras de agua a diferentes turbiedades. Al mismo tiempo, los vasos están expuestos a una mezcla rápida para que el coagulante entre en contacto con las partículas del medio y una mezcla lenta para que se comience a dar las formaciones de aglomerados conocidos como “floc”. Finalmente la agitación termina y se entra a un estado de reposo para luego analizar las muestras de agua (Andía 2000, y Nieto 2011). Citados en (Lopez, 2018)

### **2.2.4. Mango - *Mangifera indica L***

Es una fruta cuyos orígenes no son oriundos del país, se cultiva en el norte y sur del Perú debido a las características climáticas similares que permite que adopten el color y sabor característico de la fruta. Se conoce en el Perú el cultivo de dos tipos; tradicionales (no injertadas y poliembriónicas) y mejoradas (injertadas y monoembriónicas). (MINAGRI, 2014) (Estrella y Hidalgo, 2015).

#### **2.2.4.1. Variedades**

Según AGROBANCO (2007) Las variedades de mangos existentes se distinguen según sus características originales, siendo tres variedades las más conocidas comercialmente:

- a. Variedades Rojas: Edward, Haden, Kent, Tommy Atkins.
- b. Variedades Verdes: Keitt, Amelie.
- c. Variedades Amarillas: Criollo de Chulucanas, Chato, Carne, Rosado de Ica, Ataulfo y Manila.

#### 2.2.4.2. Taxonomía del mango

**Tabla 2** Taxonomía del mango

Nombre Científico	<i>Mangifera indica</i> L	
Reino	Plantae	
División	Magnoliophyta	
Clase	Magnoliopsida	
Orden	Sapindales	
Suborden	Anacardiineae	
Familia	Anacardiaceae	
Género	Mangifera	
Especie	indica	

**Fuente:** Herbario virtual M.G.M. (2009).

El mango empleado en el presente trabajo, es del tipo (no injertadas y poliembriónicas) de las variedades amarillas, más conocidos comercialmente como mangos chatos y rosados de Ica.

La semilla de mango es un residuo que las industrias de jugos y conservas generan y que pocas veces se le da una utilización. (Ramírez, 2008)

Se han realizado muchos estudios con el fin de conocer las características fisicoquímicas de la semilla evaluando el porcentaje de proteínas, grasa, cenizas, humedad, fibra entre otros. Actualmente se está evaluando el reaprovechamiento de la semilla de mango para la generación de subproductos entre ellos coagulantes y floculantes. (Ramírez, 2008)

En la Tabla 3 se muestra la comparación de la caracterización fisicoquímica de la semilla de *Mangifera indica* L (mango) realizado por diferentes investigadores.

**Tabla 3** Análisis fisicoquímico de la semilla de mango

Parámetro	Valor	Referencia
% Proteínas	5.46	Bustamante et al. (2008)
	2.2	Ramírez et al. (2010)
% Grasa	27.82	Bustamante et al. (2008)
	9.5	Ramírez et al. (2010)
	15.0	Martínez et al. (2017)
% Cenizas	2.48	Bustamante et al. (2008)
	2.21	Ramírez et al. (2010)
	3.1	Martínez et al. (2017)
% Humedad	4.15	Ramírez et al. (2010)
	2.7	Martínez et al. (2017)
% Fibra	0.14	Ramírez et al. (2010)
% Extracto libre de nitrógeno (ELN)	62.35	Bustamante et al. (2008)
	85.95	Ramírez et al. (2010)

**Fuente:** Adaptado de Ramírez et al. (2008).

### 2.3. Definición de términos básicos

**Aguas potables:** Se considera agua potable al líquido que no presenta color, sabor ni olor, el cual es aceptable su consumo por el ser humano al no presentar perjuicios en el organismo. (Pérez , 2010)

**Aguas residuales:** Se considera aguas residuales al líquido que presenta alteraciones en sus características originales debido a diferentes actividades antropogénicas y que necesitan de un tratamiento antes de su vertimiento a cualquier cuerpo de agua natural. (R.J.541-2013-ANA, 2013)

**Coagulante:** Es una sustancia que al estar presente en el agua forma mediante reacciones químicas aglomerados de partículas coloidales que sedimentan por su peso generando un precipitado de aspecto voluminoso. (Andía, 2000)

**Floculante:** Es la formación de un polímero con un alto peso molecular. (Andía, 2000)

**Parámetros de calidad:** Son parámetros que indican las características físicas, químicas y biológicas presentes en las aguas determinando su calidad. (R.J.541-2013-ANA, 2013)

**Partículas coloidales:** Son partículas de diámetros muy pequeños que debido a su densidad son difíciles de sedimentar manteniéndose suspendidas en las aguas por largos tiempos, generan la turbidez y el color de las aguas. (Andía, 2000)

**Potencial de Hidrógeno:** Se mide en soluciones acuosas teniendo un rango de pH de 0 a 14, valores de pH < 7 indican un medio ácido, valores de pH > 7 un medio básico y un pH= 7 indican un valor neutro en la solución acuosa. (Peláez , 2013)

**Sedimentación:** Es cuando un aglomerado de partículas en suspensión desciende hacia el fondo debido a su mayor peso específico. (Pérez , 2010)

**Sulfato de aluminio:** Es un coagulante de origen químico utilizado en los procesos de tratamientos de agua convencionales por su efectividad en la remoción de la turbidez y el color. (Aldar Química S.A. de C.V, 2013)

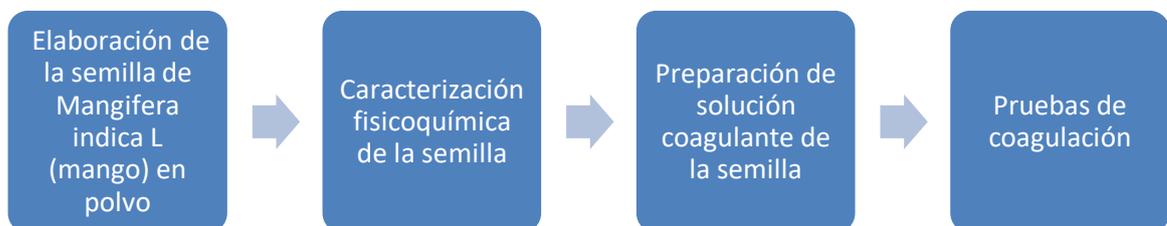
**Tratamiento de aguas:** El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua. (Metcalf, 1985)

**Turbidez:** Mide de manera indirecta la concentración de partículas coloidales presentes en el agua las cuales se encuentran en suspensión generando una turbidez en las aguas. (González, 2011)

## CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

### 3.1. Modelo de solución propuesto

El desarrollo del proyecto de ingeniería se realizó de acuerdo a las siguientes actividades:



**Figura 5.** Flujograma de actividades

#### 3.1.1. Elaboración de la semilla de *Mangifera indica L* (mango) en polvo

Los frutos de *Mangifera indica L* fueron pelados y lavados, para luego proceder a la extracción del cotiledón dentro de la testa con ayuda de un cuchillo. Los cotiledones extraídos fueron secados a una temperatura de 50°C y así mantener su estado proteico, por un tiempo de 48 horas.



**Figura 6.** a. Extracción del cotiledón de la semilla. b. Secado de semillas en la estufa.

Posteriormente, se molieron con un moladora hasta obtener una harina amarillenta de olor característico, que fue tamizado de manera manual con un tamiz N°80 (0.180mm de diámetro de poro) y almacenado en un frasco con tapa, para su posterior uso.



**Figura 7.** a. Molido de semillas de mango. b. Tamizado de la muestra en polvo.

### 3.1.2. Caracterización fisicoquímica de la semilla de *Mangifera indica L* (mango)

Se caracterizó parcialmente la semilla siguiendo las normas para productos de Cereales y Menestras; mediante los parámetros fisicoquímicos: Grasa, Humedad y Cenizas.

### a. Determinación del contenido de materia grasa

Se determinó el porcentaje de grasas utilizando el método descrito en la Norma Técnica Peruana 205.006:2017 “Cereales y menestras - Determinación de materia grasa”. El cual consistió en extraer de manera directa la grasa de una muestra molida, mediante un aparato de extracción intermitente (equipo Soxhlet), filtrada para eliminar sustancias hidrosolubles y secada; se utilizó el solvente etanol absoluto (99.9%), por un tiempo de extracción de cinco horas



**Figura 8.** Proceso de extracción de grasas de una muestra de 5g del polvo de semillas de mango.

### **b. Determinación de humedad**

Se determinó el porcentaje de humedad utilizando el método descrito en la Norma Técnica Peruana 205.002:1979 “Cereales y menestras - Determinación del contenido de humedad”. En el cual el porcentaje de humedad se obtuvo de la diferencia de pesos que experimenta la semilla entera al ser secado mediante calentamiento en una estufa a temperatura constante y presión atmosférica.



**Figura 9.** a. Peso de la cápsula seca y vacía. b. Cápsula con la semilla seca

### **c. Determinación de cenizas**

Se determinó el porcentaje de cenizas utilizando el procedimiento descrito por la Norma Técnica Peruana 205.004:2017 “Cereales y menestras - Determinación de cenizas”. Donde las cenizas representan la fracción mineral del material original.



**Figura 10.** a. Muestra en polvo de semillas llevado a la mufla. b. Cenizas obtenidas del polvo de semilla.

### 3.1.3. Preparación de solución coagulante de la semilla de mango

La solución coagulante de *Mangifera indica L* se preparó con un tamizado de 150 g de semillas secas y molidas; por el tamiz N°80 (0.180mm de diámetro de poro). Posteriormente, se pesaron 5 g de la muestra de semillas previamente molidas y tamizadas. Se tomó una fiola de 1000 mL aforado limpio y seco, se le añadieron los 5 g de semillas y se procedió a enrasar con agua destilada previamente hervida. Se colocó un agitador magnético en la fiola, se tapó y se colocó en plancha de agitación durante un período mínimo de dos horas, hasta obtener una mezcla homogénea que fue colocada en frascos esterilizados. A partir de esta solución, se obtuvo por dilución el rango de dosis ensayadas de 10 hasta 500 mg/L.



**Figura 11.** a. Preparación del coagulante natural al 0.5% de concentración llevado a agitación. b. Solución del coagulante natural homogéneo.

### 3.1.4. Pruebas de coagulación

#### 3.1.4.1. Procedencia de muestras

La toma de muestras de aguas fue del afluente y efluente procedente de las Plantas de Tratamiento de Aguas residuales Domésticas de la Municipalidad de Villa el Salvador (PTAR-MUNIVES) ubicadas en Avenida Juan Velasco Alvarado S/N cruce con Avenida Pastor Sevilla y Avenida César Vallejo S/N cruce con Avenida Pastor Sevilla.



**Figura 12.** a. Muestreo del afluente b. Muestreo del efluente (PTAR-MUNIVES).

### 3.1.4.2. Dosificación del coagulante natural de semilla de mango

La dosificación del coagulante fue obtenida mediante la prueba de jarras, mediante pruebas preliminares y por antecedentes; un rango de 6 dosis representativas: 10 mg/L, 25 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L, 250 mg/L y 500 mg/L para aguas de turbidez inicial alta y baja.

**Tabla 4** Dosis y concentración del coagulante natural para los dos niveles de turbidez

Nivel de turbidez inicial	Procedencia	Dosis representativas (mg/L)						Concentración (%)
		Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6	
Alta	Afluente (PTAR-MUNIVES)	10	25	50	100	250	500	0.5
Baja	Efluente (PTAR-MUNIVES)							0.5

**Fuente:** Elaboración propia.

Los ensayos exploratorios se hicieron por triplicado para reducir el error experimental en aguas turbias para los dos diferentes valores de turbidez inicial de la PTAR - MUNIVES, alta turbidez (209 UNT) y baja turbidez (19.9 UNT).

La dosis del coagulante natural se aplicó utilizando la fórmula de “Balance de masas” mediante la fórmula se determinó el volumen del coagulante para adicionar a cada jarra, dicho volumen está en función de la dosis del coagulante, del volumen de muestra en la jarra y la concentración de la solución coagulante.

### **Ecuación 1:** Balance de masas

$$V_{(ml)} = \frac{D_{\left(\frac{mg}{L}\right)} \times Q_{(ml)}}{C_{\left(\frac{mg}{L}\right)}}$$

**V** = Volumen del coagulante que se aplicará en la jarra con la jeringa (ml)

**D** = Dosis del coagulante (mg/L)

**Q** = Volumen de muestra en la jarra (ml)

**C** = Concentración de la solución del coagulante (mg/L)

El volumen de coagulante natural determinado mediante la ecuación de balance de masas se agregó en vasos precipitados utilizando pipetas, para luego succionar todo el contenido con ayuda de jeringas con las agujas puestas. Una vez preparadas las 6 dosis del coagulante se retiran las agujas y se aplican en cada jarra.



**Figura 13.** Succión del coagulante con jeringas hipodérmicas.

#### **3.1.4.3. Programación y funcionamiento del equipo de pruebas de jarras**

Se realizó la programación del equipo, el cual consta de seis jarras que son programadas a velocidad uniforme y constante con tipo de mezcla rápida y lenta, el cual crea turbulencia simultánea en cada una de los seis jarras produciendo de esta forma las condiciones de coagulación-floculación producidas en una planta de tratamiento de aguas.

**Tabla 5** Programación del equipo de jarras

Etapa	Secuencia	Velocidad	Tiempo
Homogenización	1	50 RPM	10 segundos
Mezcla rápida	2	100 RPM	2 minutos
Mezcla lenta	3	30 RPM	20 minutos

**Fuente:** Recuperado de López, M., 2018.

Se agregaron 1500 ml de agua residual a cada una de las jarras, luego se adicionaron las diferentes dosis de coagulante (10 mg/L, 25 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L, 250 mg/L y 500 mg/L) se realizó la homogenización, luego un mezclado rápido a 100 rpm por dos minutos y lento a 30 rpm durante veinte minutos para favorecer la interacción de partículas, de manera tal que se facilite la formación de floc con la finalidad de llegar a la sedimentación, se espera unos treinta a sesenta minutos de reposo del agua para que se dé por finalizado el proceso de coagulación



**Figura 14.** Montaje de las pruebas de coagulación en el test de jarras.

Una vez transcurrido el tiempo de sedimentación se tomó muestra del agua tratada con una pipeta introducida entre 2 a 5 centímetros por debajo del nivel del agua en las jarras, se midieron los parámetros de turbidez residual y variación pH.

#### 3.1.4.4. Determinación de los parámetros óptimos del coagulante natural de semilla de *Mangifera indica* L (mango)

##### a. Determinación de la dosis óptimas para aguas de alta y baja turbidez inicial

Se determinó la dosis óptima mediante el ensayo del test de jarras aplicando 6 dosis diferentes para los dos niveles de turbidez alta y baja, las cuales se prepararon al 0.5%, mediante la ecuación de balance de masas se determinó el volumen de coagulante a añadir, terminado el ensayo por triplicado se tomaron las muestras turbidez residual baja.

##### b. Determinación de la concentraciones óptimas para aguas de alta y baja turbidez inicial

Se determinó la concentración óptima del coagulante natural mediante la ejecución de la prueba de jarras aplicando las dosis óptimas obtenidas para los dos niveles de turbidez alta y baja; se prepararon a 3 concentraciones distintas, 1%, 3% y 5%, mediante la ecuación balance de masas se determinó el volumen del coagulante a adicionar. Terminado el ensayo por triplicado se tomaron las muestras con mayor porcentaje de remoción de turbidez.



**Figura 15.** Coagulante natural a diferentes concentraciones (1%, 3% y 5%).

Se realizó la determinación de los parámetros siguiendo la metodología propuesta en “Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales” 1989, 17 th Edition, propuesta por la Asociación Americana de Salud pública (siglas en inglés, APHA), Asociación Americana de Obras Hidráulicas (siglas en inglés, AWWA) y Federación de Control de Contaminación del Agua (siglas en inglés, WPCF). En la Tabla 6 se detallan los métodos empleados por cada parámetro medido.

**Tabla 6** Parámetros fisicoquímicos medidos del agua

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Método de referencia (Standard Methods 17 th Edition)</b>
pH	Valor de pH	Método 4500-H+ Valor pH
Turbidez	UNT	Método 2130 B Método de Nefelometría
Temperatura	°C	Método 2550 B Método de Laboratorio y Campo
Oxígeno disuelto	mg/L	Adaptado de Standard Methods for Examination of Water and wastewater 21th.2005.
Conductividad	μS/cm	Método 2510 Método de Laboratorio

**Fuente:** Adaptado de López, M., 2018.

En la Tabla 7 se detallan los equipos usados en el desarrollo del trabajo de investigación.

**Tabla 7** Equipos, marca y modelo usados

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
Turbidímetro	PALINTEST	MICRO 950
Multiparámetro	HACH	HQ40D
Termómetro	MICRO-TEMP	-
Test de jarras	AQUARA	YFL6
Estufa de esterilización	MEMMERT	SNE-300
	BINDER	ED23
Agitador con plancha de calentamiento	VELP SCIENTIFICA	ARE
Balanza analítica	SARTORIUS	TE214S
Mufla	THERMO SCIENTIFIC	FB1410M-33

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.1.4.5.- Análisis estadístico

Se determinó el Coeficiente de Variabilidad (CV), para las pruebas realizadas por triplicado por cada ensayo de la prueba de jarras, según el nivel de turbidez y coagulante natural aplicado, el cual indica la separación de valores respecto al valor medio, a fin de validar la precisión de las mediciones de los parámetros fisicoquímicos del agua como turbiedad y pH.

**Tabla 8** Rango de precisión de los experimentos

Aceptable	Buena / Regular	Mala	Descartar
$0 < CV \leq 10$	$10 < CV \leq 20$	$20 < CV \leq 30$	$CV \geq 30$

**Fuente:** Recuperado de López, M., 2018.

Mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA) se determinó la dosis óptima, para el coagulante natural y el nivel de turbidez, el cual contempló seis tratamientos, correspondientes a las seis dosis del coagulante aplicado, con tres repeticiones por cada tratamiento, siendo la variable respuesta la turbidez residual.

De igual manera mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA) se determinó la concentración óptima, para el coagulante natural y el nivel de turbidez, el cual contempló de 4 tratamientos, correspondientes a las cuatro concentraciones del coagulante aplicado, con tres repeticiones por cada tratamiento, siendo la variable respuesta la turbidez residual.

Se utilizó el software SPSS, creado en 1968 por Norman H. Nie, C. Hadlai (Tex) Hull y Dale H. Bent, versión IBM SPSS Statistics 23.0, para realizar el Análisis de Varianza (ANOVA) con 0.05 de nivel de significancia, para la validación estadística de los resultados de turbidez residual, en las pruebas de parámetros óptimos del coagulante natural a fin de determinar si los tratamientos (dosis aplicadas,

concentraciones) o la interacción de estos, tienen un efecto o influencia en el parámetro turbidez residual.

### 3.2. Resultados

Se expresan los porcentajes obtenidos en la determinación de grasas, humedad y cenizas de la semilla de *Mangifera indica* L y la determinación de los parámetros óptimos mediante la prueba de jarras con el coagulante natural hecho a base de semillas de *Mangifera indica* L (mango).

#### 3.2.1. Resultados de la caracterización fisicoquímica de la semilla de mango

##### a. Resultados del porcentaje de materia grasa

**Ecuación 2:** Determinación del porcentaje de materia grasa

$$Mg = \frac{100 (M_1 - M)}{M_2} \times \frac{100}{(100 - H)}$$

**Mg** = Contenido de materia grasa, en gramos/100 g de muestra seca.

**M** = Masa del recipiente en gramos.

**M<sub>1</sub>** = Masa del recipiente con la materia grasa.

**M<sub>2</sub>** = Masa de la muestra.

**H** = Porcentaje de humedad de la muestra.

$$Mg = \frac{100 (306.42_g - 305.66_g)}{5_g} \times \frac{100}{(100 - 0.076)} = 15.21\%$$

El porcentaje de grasas extraíbles en la semilla de *Mangifera indica* fue de 15.21% valor que se encuentra dentro del rango reportado por diferentes investigadores; Ramírez et al. (2010), Martínez et al. (2017) y Bustamante et al. (2008) quienes obtuvieron porcentajes de aceites y grasas de 9.5%, 15.0% y 28.8% respectivamente para este tipo de semillas.

## b. Determinación de humedad

**Ecuación 3:** Determinación del porcentaje de la humedad

$$H = \frac{M - M_1}{M} \times 100$$

**H** = porcentaje de humedad

**M** = Masa de la muestra original

**M<sub>1</sub>** = Masa de la muestra seca

$$H = \frac{5_g - 4.62_g}{5_g} \times 100 = 7.60\%$$

El porcentaje de humedad para la semilla de mango fue de 7.60% valor mayor al obtenido por otros investigadores: Martínez et al. (2017) y Ramírez et al. (2010) quienes obtuvieron porcentajes de humedad de 2.7% y 4.1% respectivamente.

## c. Determinación de Cenizas

**Ecuación 4:** Determinación del porcentaje de cenizas

$$C = 100 \times \frac{M_2 - M_1}{M} \times \frac{100}{(100 - H)}$$

**C** = Porcentaje de cenizas

**M** = Masa de la muestra

**M<sub>1</sub>** = Masa del crisol vacío

**M<sub>2</sub>** = Masa del crisol con las cenizas

**H** = Porcentaje de humedad

$$C = 100 \times \frac{36.08_g - 36.04_g}{2_g} \times \frac{100}{(100 - 0.076)} = 2.00\%$$

El valor del porcentaje de cenizas fue de 2.00% valor cercano al reportado por otros investigadores: Ramírez et al. (2010), Bustamante et al. (2008) y Martínez et al. (2017) quienes obtuvieron valores de 2.2%, 2.4% y 3.1%. Estos minerales inorgánicos dan una idea de la cantidad de minerales presentes en la semilla del mango.

**Tabla 9** Caracterización fisicoquímica obtenida de la semilla de *Mangifera indica* L (mango)

<b>Parámetros</b>	<b>Valor (%)</b>
Aceites y grasas (%)	15.21
Humedad (%)	7.60
Cenizas (%)	2.00

### 3.2.2. Determinación de parámetros óptimos del coagulante natural de semilla de *Mangifera indica* L (mango)

#### 3.2.2.1. Resultados en muestras de 19.9 UNT

Se determinó la dosis óptima del coagulante natural en muestras de baja turbidez (19.9 UNT), en siguiente Tabla 10 se muestran los seis parámetros medidos de la muestra inicial de agua.

**Tabla 10** Valores fisicoquímicos de la muestra inicial

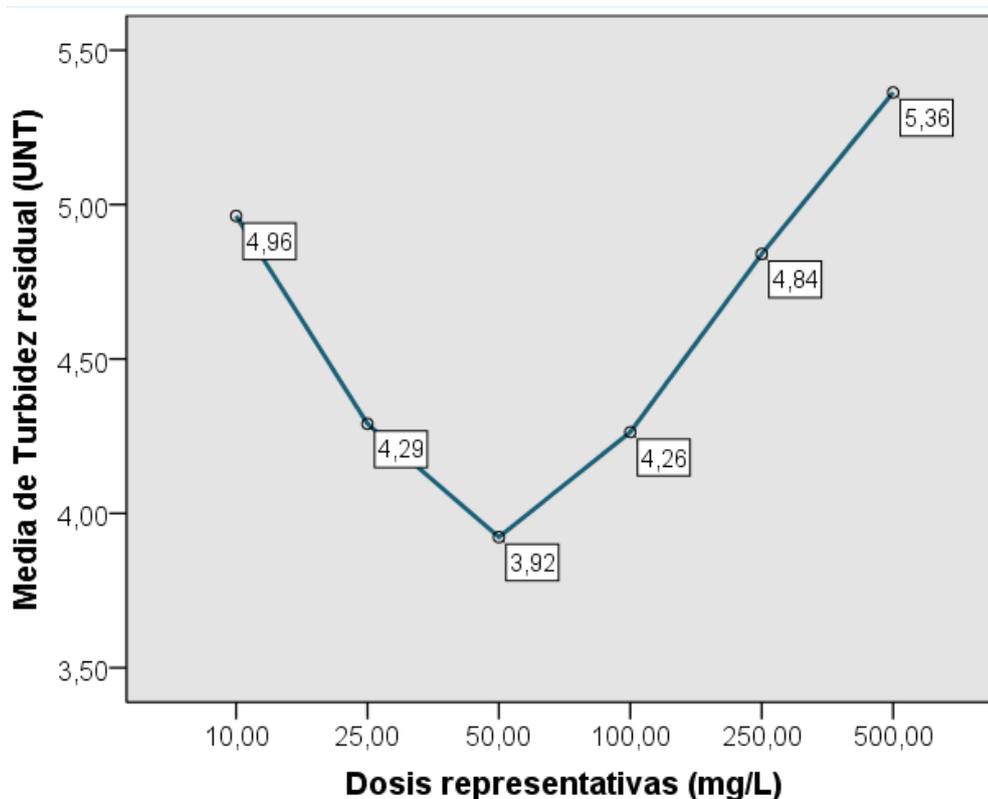
Efluente de (PTAR-MUNIVES)	
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
pH	7.75
Temperatura (°C)	26.4
Turbidez (UNT)	19.9
O.D (mg/L)	4.53
Conductividad (µs/cm)	1126

En la Tabla 11 se presentan los resultados de turbidez residual promedio al aplicar las seis dosis del coagulante natural.

**Tabla 11** Dosis óptima en aguas de baja turbidez (19.9 UNT)

Turbidez Inicial (UNT)	Nº de jarra	Dosis representativa del coagulante (mg/L)	Concentración del Coagulante (%)	Volumen jeringa (ml)	Variación promedio de pH	Turbidez residual promedio (UNT)	Remoción de turbidez (%)
19.9	1	10	0.5	3	7.66	4.96	75.1
	2	25	0.5	7.5	7.56	4.29	78.4
	3	50	0.5	15	7.51	3.92	80.3
	4	100	0.5	30	7.46	4.26	78.6
	5	250	0.5	75	7.40	4.84	75.7
	6	500	0.5	150	7.35	5.36	73.0

De la Tabla 11, se elaboró la Figura 16 donde se presenta la relación de la turbidez residual promedio con las seis dosis de solución de mango para aguas de turbidez baja.



**Figura 16.** Relación de la turbidez residual promedio con las seis dosis de solución de mango para aguas de turbidez baja.

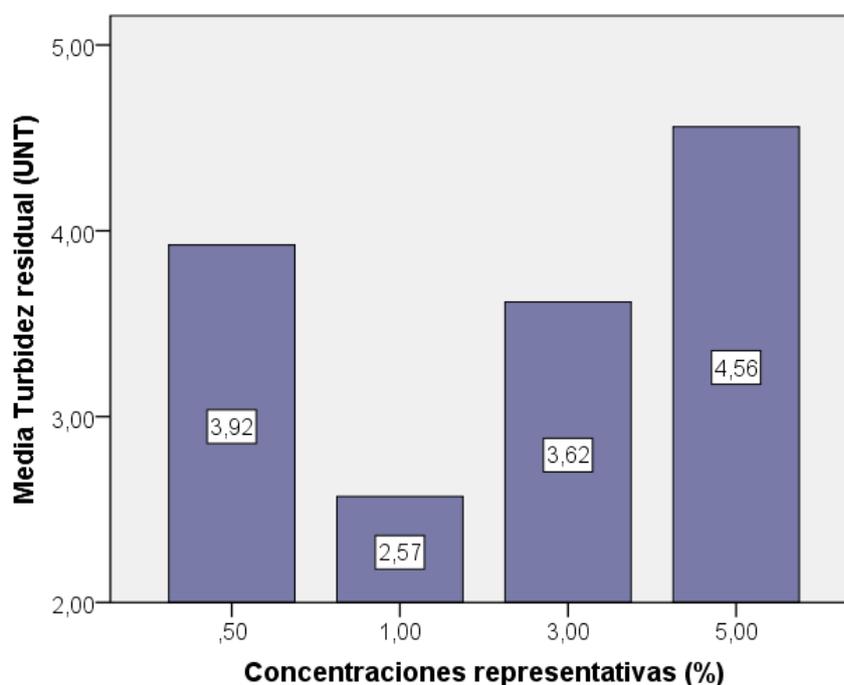
**Fuente:** Elaboración propia, Software SPSS versión Statistics 23.0.

En la Figura 16 se aprecia que a una baja turbidez 19.9 UNT la dosis óptima del coagulante natural fue 50 mg/L con la cual se obtuvo 3.92 UNT de turbidez residual y un porcentaje de remoción de 80.3%. Se calculó la concentración óptima a base de la dosis óptima, se prepararon tres soluciones de coagulante natural al 1%, 3% y 5%.

**Tabla 12** Concentración óptima en aguas de baja turbidez (19.9 UNT)

Dosis óptima (mg/L)	Concentraciones representativas (%)	Vol. de jeringa (ml)	Variación promedio de pH	Turbidez residual promedio (UNT)	Remoción de turbidez (%)
50	0.5	15	7.51	3.92	80.3
	1	7.5	7.44	2.57	87.1
	3	2.5	7.46	3.62	81.8
	5	1.5	7.43	4.56	77.1

De la Tabla 12, se elaboró la Figura 17 que expresa la variación de turbidez residual con diferentes concentraciones de coagulante natural.



**Figura 17.** Relación de la turbidez residual promedio con las cuatro concentraciones de la solución de mango para aguas de turbidez baja.

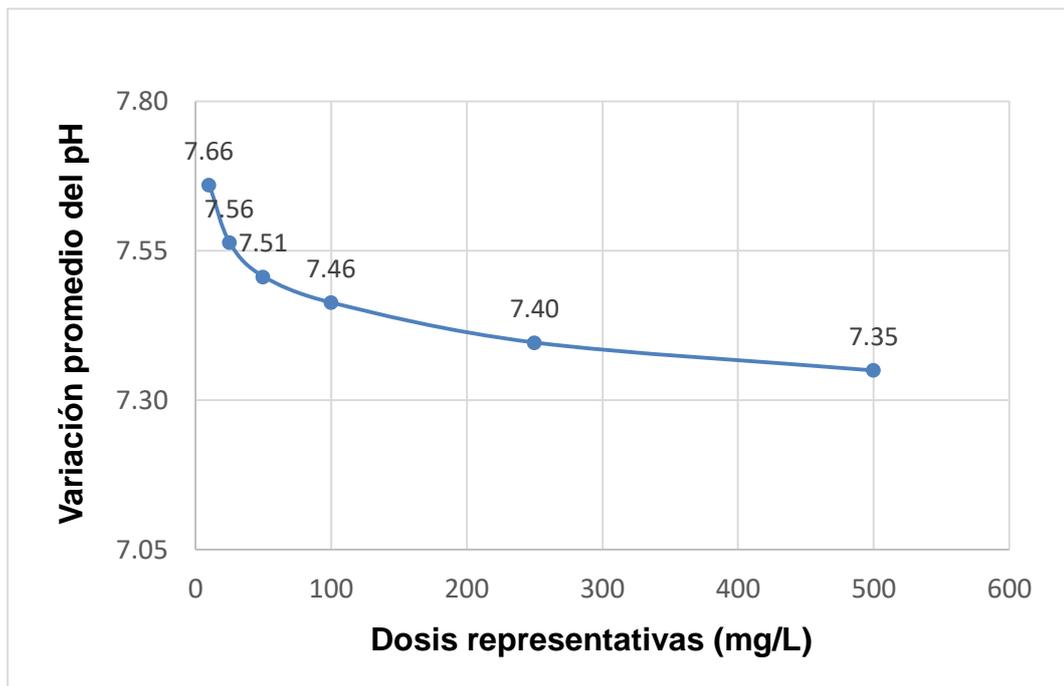
**Fuente:** Elaboración propia, Software SPSS versión Statistics 23.0.

De la Figura 17 se aprecia que en muestras de 19.9 UNT la concentración óptima del coagulante natural es 1% con la cual se obtuvo 2.57 UNT de turbidez residual y un mayor porcentaje de remoción de 87.1%.

Con lo cual se demuestra su efectividad en muestras con turbidez de 19.9 UNT, estuvo por encima del 85%.

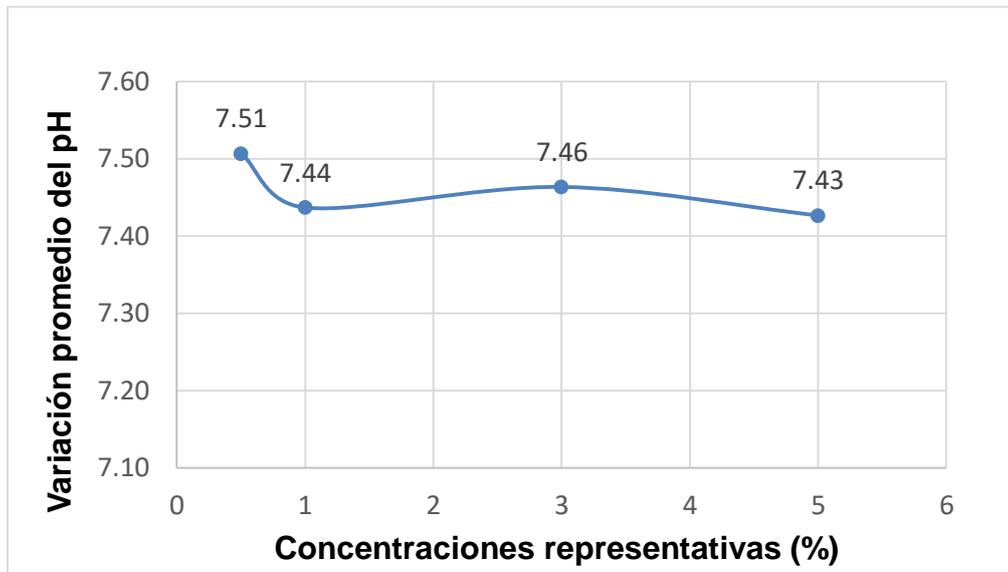
Al respecto, Martínez et al. (2017) trabajó con agua turbia sintética, utilizando arcilla caolín y dejándola estabilizar, de la cual obtuvo por rango de dosis siete niveles de turbidez para muestras con 15 UNT obtuvo una eficiencia del 83.7%. Siendo menor este valor a la eficiencia calculada la cual fue de 87.1%. Esto puede explicarse porque el referido investigador utilizó una muestra de agua turbia sintética, la cual tiene características diferentes como pH y tiempo de estabilización menor a comparación del agua residual doméstica.

En la Figura 18 y 19 se expresa las variaciones promedio del pH final en relación a la obtención de dosis y concentración óptima del coagulante natural.



**Figura 18.** Variación promedio de pH en relación de las seis dosis representativas a una turbidez baja (19.9 UNT).

**Fuente:** Elaboración propia, Software Microsoft Excel 2016.



**Figura 19.** Variación promedio de pH en relación de las concentraciones representativas a una turbidez baja (19.9 UNT).

**Fuente:** Elaboración propia, Software Microsoft Excel 2016.

De las Figuras 18 y 19 se aprecia que no genera variaciones significativas en el pH de las muestras, las cuales se encontraron en el rango óptimo de las aguas 6.5 a 8.5; por lo tanto puede presentar una ventaja al no necesitar modificaciones de pH.

Los resultados se procesaron para determinar el coeficiente de variabilidad (CV), los cuales se encuentran en el intervalo aceptable de  $0 < CV \leq 10$ ; por lo tanto se valida la precisión de las mediciones (Anexo 2.1), asimismo se comprobó mediante la Prueba de homogeneidad de varianzas a un nivel de significancia de 0.05 existen evidencias para afirmar que las varianzas de los tratamientos son homogéneas. (Anexo 3.1)

Comprobando que los valores obtenidos son aceptables y las varianzas homogéneas, se utilizó el software SPSS para procesar los valores obtenidos de turbidez residual con el estadístico ANOVA, a un nivel de significancia de 0.05, comprobando la existencia de evidencias para confirmar que las seis dosis del coagulante natural son diferentes estadísticamente o al menos una de las dosis es diferente significativamente a las demás (Anexo 3.1), asimismo las cuatro concentraciones del coagulante natural preparadas son diferentes estadísticamente o al menos una de las concentraciones es diferente significativamente a las demás. (Anexo 3.2)

### 3.2.2.2. Resultados en muestras de 209 UNT

Se determinó la dosis óptima del coagulante natural en muestras de turbidez alta (209 UNT), en la Tabla 13 se expresan los resultados de la medición de parámetros fisicoquímicos.

**Tabla 13** Valores fisicoquímicos de la muestra inicial

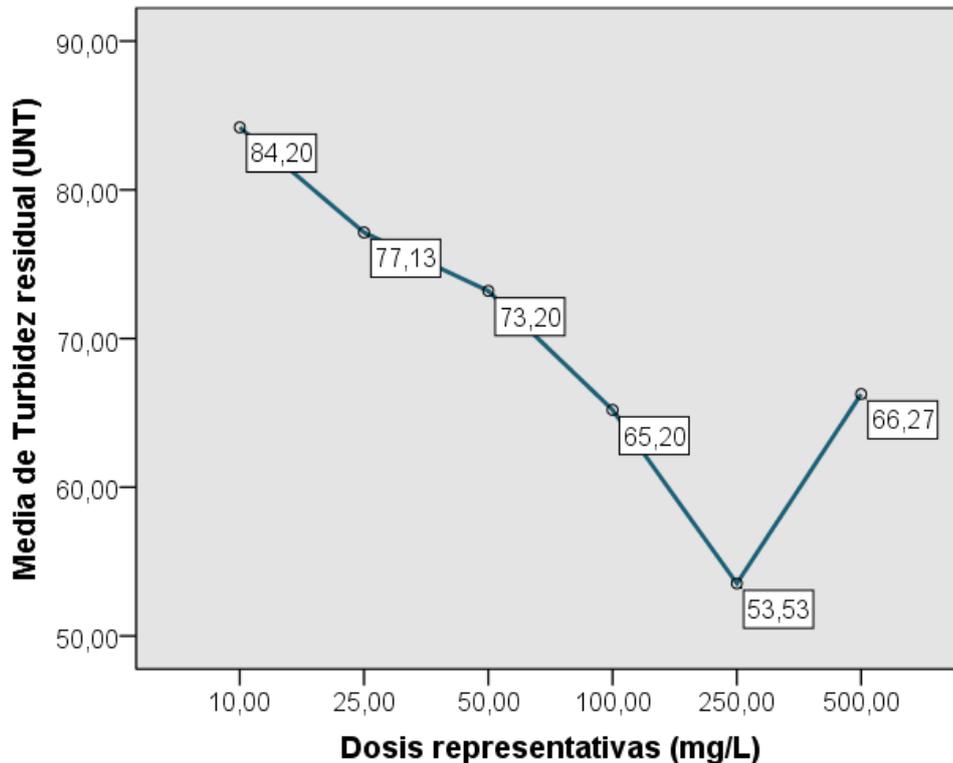
Afluente de (PTAR-MUNIVES)	
Parámetro	Valor
pH	7.41
Temperatura (°C)	26.8
Turbidez (UNT)	209
O.D (mg/L)	0.59
Conductividad (µs/cm)	1081

Se expresan los valores de la variación de pH y turbidez residual promedio al aplicar las seis dosis del coagulante natural.

**Tabla 14** Dosis óptima en aguas de alta turbidez (209 UNT)

Turbidez Inicial (UNT)	Nº de jarra	Dosis representativa del coagulante (mg/L)	Concentración del Coagulante (%)	Volumen jeringa (ml)	Variación promedio de pH	Turbidez residual promedio (UNT)	Remoción de turbidez (%)
209	1	10	0.5	3	7.37	84.2	59.7
	2	25	0.5	7.5	7.36	77.1	63.1
	3	50	0.5	15	7.34	73.2	65.0
	4	100	0.5	30	7.30	65.2	68.8
	5	250	0.5	75	7.25	53.5	74.4
	6	500	0.5	150	7.27	66.2	68.3

De la Tabla 14, se elaboró la Figura 20 para representar la relación de la turbidez residual promedio con las seis dosis de la solución de mango para aguas de turbidez alta.



**Figura 20.** Relación de la turbidez residual promedio con las seis dosis de la solución de mango para aguas de turbidez alta.

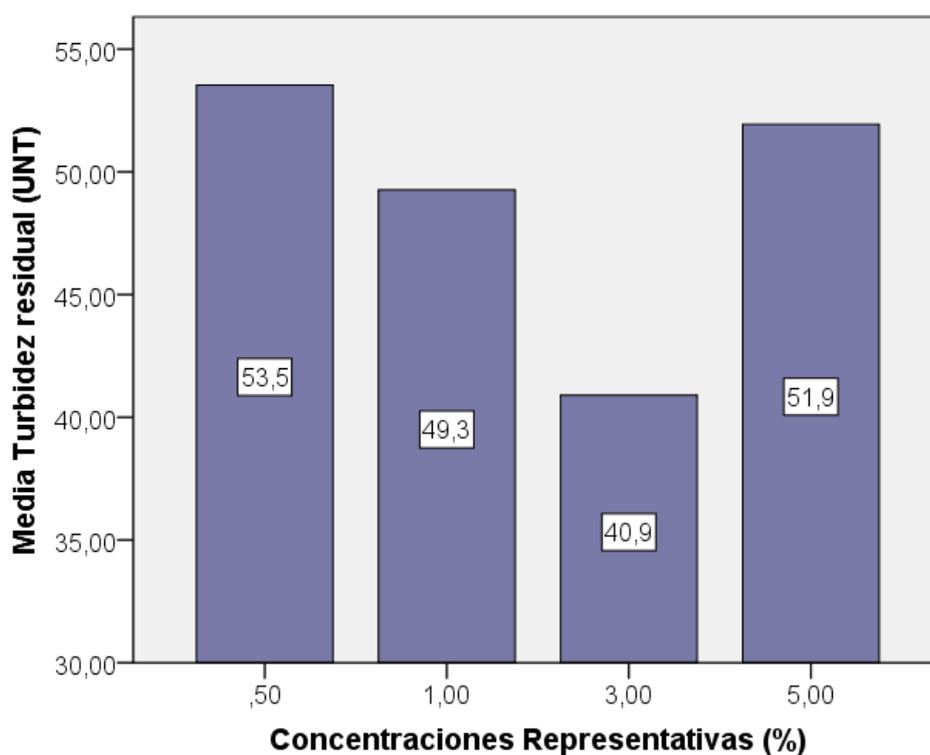
**Fuente:** Elaboración propia, Software SPSS versión Statistics 23.0.

En la Figura 20 se aprecia que la dosis óptima del coagulante natural fue 250 mg/L con la cual se obtuvo 53.5 UNT de turbidez residual y un porcentaje de remoción de 74.4%. Con la dosis óptima determinada se realizó la variación de concentraciones para obtener la óptima, se prepararon soluciones de coagulante natural al 1%, 3% y 5%.

**Tabla 15** Concentración óptima en aguas de alta turbidez (209 UNT)

Dosis óptima (mg/L)	Concentraciones representativas (%)	Vol. De jeringa (ml)	Variación promedio de pH	Turbidez residual promedio (UNT)	Remoción de turbidez (%)
250	0.5	75	7.25	53.5	74.4
	1	37.5	7.27	49.2	76.4
	3	12.5	7.22	40.9	80.4
	5	7.5	7.28	51.9	75.2

De la Tabla 15, se elaboró la Figura 21 que expresa la variación de turbidez residual con diferentes concentraciones de coagulante natural.



**Figura 21.** Relación de la turbidez residual promedio con las cuatro concentraciones de la solución de mango para aguas de turbidez alta.

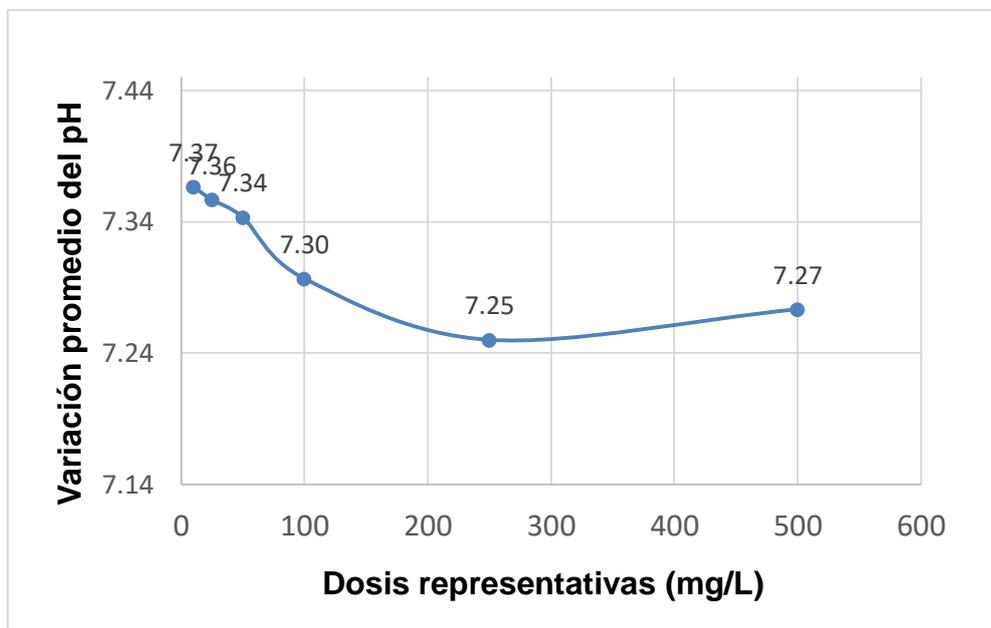
**Fuente:** Elaboración propia, Software SPSS versión Statistics 23.0.

De la Figura 21 se aprecia que en muestras de 209 UNT la concentración óptima del coagulante natural es 3% con la cual se obtuvo 40.9 UNT de turbidez residual y un mayor porcentaje de remoción de 80.4%.

Con lo cual se demuestra la efectividad del coagulante mediante la variación de sus concentraciones en la remoción de muestras con turbidez de 209 UNT, estuvo por encima del 80%.

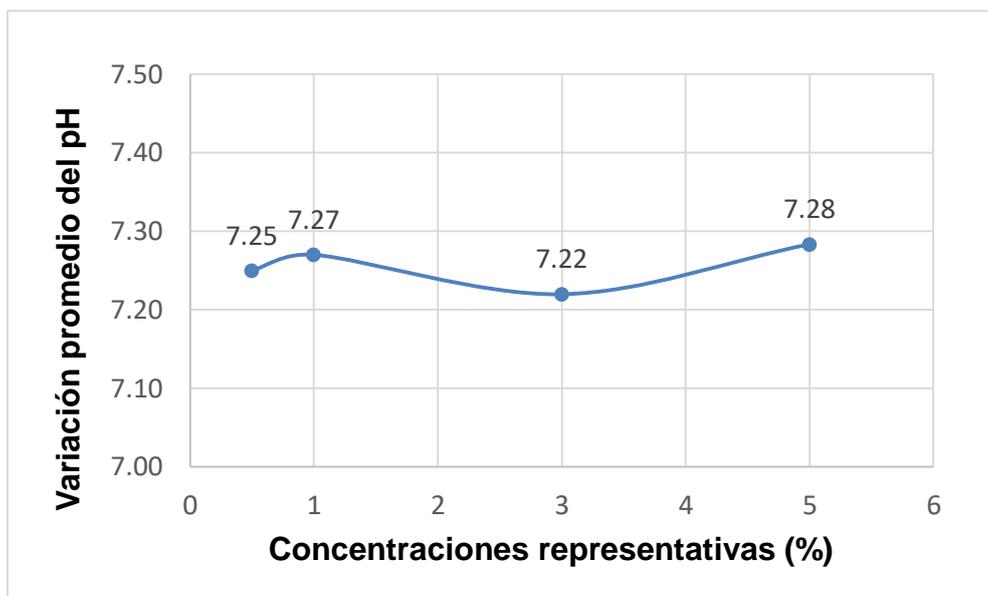
Al respecto, Martínez et al. (2017) trabajó con agua turbia sintética, utilizando arcilla caolín y dejándola estabilizar, de la cual obtuvo por rango de dosis, siete niveles de turbidez para muestras con 200 UNT obtuvo una eficiencia del 97,3%. Siendo mayor su porcentaje de remoción que la obtenida que fue de 80.4%. Esto puede explicarse porque el referido investigador utilizó una muestra de agua turbia sintética, la cual tiene características como pH y tiempo de estabilización menor a comparación del agua residual doméstica.

En la Figura 22 y 23 se expresa las variaciones promedio del pH final en relación a la obtención de dosis y concentración óptima del coagulante natural.



**Figura 22.** Variación promedio de pH en relación a las seis dosis representativas de la solución de mango para aguas de turbidez alta (209 UNT).

**Fuente:** Elaboración propia, Software Microsoft Excel 2016.



**Figura 23.** Variación promedio de pH en relación a las cuatro concentraciones representativas de la solución de mango para aguas de turbidez alta (209 UNT).

**Fuente:** Elaboración propia, Software Microsoft Excel 2016.

De las Figuras 22 y 23 se aprecia que no genera variaciones significativas en el pH de las muestras, las cuales se encontraron en el rango óptimo de las aguas 6.5 a 8.5; por lo tanto puede presentar una ventaja al no necesitar modificaciones de pH. Los resultados se procesaron para determinar el coeficiente de variabilidad (CV), los cuales se encuentran en el intervalo aceptable de  $0 < CV \leq 10$ ; por lo tanto se valida la precisión de las mediciones (Anexo 2.2), asimismo se comprobó mediante la Prueba de homogeneidad de varianzas a un nivel de significancia de 0.05 existen evidencias para afirmar que las varianzas de los tratamientos son homogéneas. (Anexo 3.3)

Comprobando que los valores obtenidos son aceptables y las varianzas homogéneas, se utilizó el software SPSS para procesar los valores obtenidos de turbidez residual con el estadístico ANOVA, a un nivel de significancia de 0.05, comprobando la existencia de evidencias para confirmar que las seis dosis del coagulante natural son diferentes estadísticamente o al menos una de las dosis es diferente significativamente a las demás (Anexo 3.3); asimismo las cuatro concentraciones del coagulante natural preparadas son diferentes estadísticamente o al menos una de las concentraciones es diferente significativamente a las demás. (Anexo 3.4)

## CONCLUSIONES

1. Mediante la caracterización fisicoquímica de la semilla de mango, se determinó su porcentaje de grasas, humedad y cenizas. En el análisis de las propiedades fisicoquímicas se obtuvo el porcentaje de los siguientes parámetros; grasas 15.21%, humedad 7.60% y cenizas 2.00% de los cuales se verificó el efecto sobre los contenidos de materia seca presentes en la semilla del mango.
2. La dosis óptima del coagulante natural para turbidez en 19.9 UNT fue 50 mg/L con la cual se obtuvo 3.92 UNT de turbidez residual y un porcentaje de remoción de 80.3%. Asimismo, la dosis óptima del coagulante natural para la turbidez en 209 UNT fue 250 mg/L con la que se obtuvo 53.5 UNT de turbidez residual y un porcentaje de remoción de 74.4%, concluyendo que no se necesitan grandes cantidades de coagulante en polvo en su proceso de coagulación. En el análisis estadístico los valores se encuentran en el intervalo aceptable de  $0 < CV \leq 10$ ; por lo tanto se valida la precisión de las mediciones, asimismo se comprobó mediante la homogeneidad de varianzas existen evidencias para afirmar que las varianzas de los tratamientos son homogéneas. Comprobando que los valores obtenidos son aceptables y las varianzas homogéneas se realizó la prueba de ANOVA, comprobando las existencias de evidencias para afirmar que las seis dosis del coagulante natural son diferentes estadísticamente o al menos una de las dosis es diferente significativamente a las demás dándole validación a los resultados obtenidos.
3. La concentración óptima del coagulante natural para la turbidez en 19.9 UNT fue de 1% con la cual se obtuvo 2.57 UNT de turbidez residual y por ende un mayor porcentaje de remoción de 87.1%. La concentración óptima del coagulante natural para la turbidez en 209 UNT fue de 3% con el cual se obtuvo 40.9 UNT de turbidez residual y un mayor porcentaje de remoción de 80.4%. En el análisis estadístico los resultados obtenidos también se encuentran en el intervalo aceptable de  $0 < CV \leq 10$ ; por lo tanto se valida la precisión de las mediciones, asimismo se comprobó mediante la homogeneidad de varianzas existen evidencias para afirmar que las varianzas de los tratamientos son

homogéneas. Comprobando que los valores obtenidos son aceptables y las varianzas homogéneas se realizó la prueba de ANOVA, a un nivel de significancia de 0.05, lo cual comprobó que existen evidencias para afirmar que las cuatro concentraciones del coagulante natural preparadas son diferentes estadísticamente o al menos una de las concentraciones es diferente significativamente a las demás dándole validación a los resultados obtenidos.

4. No se generó variaciones significativas en los valores de pH, las cuales se encontraron en el rango óptimo de 6.5 a 8.5, lo cual no es necesario el empleo de modificadores de pH, presentando una ventaja al no necesitar modificaciones.
5. Por lo expuesto, el coagulante natural a base de polvo de semilla de mango puede considerarse y emplearse para el tratamiento de aguas, debido a su viabilidad por ser un residuo poco utilizable dándole valoración a este; como también por tener bajo costo de elaboración en comparaciones con los coagulantes químicos utilizados comúnmente, siendo una opción en el proceso de coagulación.

## RECOMENDACIONES

1. La manipulación de equipos y medición de parámetros fisicoquímicos del agua, se deben realizar de manera adecuada, cumpliendo los procedimientos y metodologías establecidas, a fin de disminuir el error que podría producirse la mala utilización de estos.
2. Se debe tener en cuenta para la determinación del porcentaje de grasas de semillas de mango, que la muestra debe estar seca, para romper así las emulsiones agua-aceite y que la grasa se disuelva fácilmente en el solvente orgánico, como también molida considerando que la eficiencia de la extracción de lípidos depende del tamaño de partícula; por lo tanto, una molienda eficiente es importante; por último para obtener una extracción de grasas más rápida y con consecutivos lavados es recomendable utilizar un dedal de papel filtro de rápida filtración.
3. Se debe tener los cuidados adecuados siguiendo las normas de bioseguridad del laboratorio y trabajar con los EPP para la manipulación, montaje y operación de las pruebas de coagulación al tratarse de muestras de aguas residuales de origen doméstico.
4. El muestreo del agua residual doméstica se debe realizar de manera adecuada siguiendo el protocolo de muestreo para aguas y utilizando los cuidados adecuados en su manipulación; los equipos para realizar las mediciones deben estar previamente calibrados con sus respectivas soluciones de calibración, para obtener datos reales y precisos.
5. Se debe considerar proponer procesos complementarios al proceso de coagulación usando coagulantes naturales, como pruebas de filtración y sedimentación, comparar sus parámetros con los obtenidos mediante el uso de un coagulante químico.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGROBANCO. (2007). Banco Agropecuario, PE. *Cultivo y variedades de Mango*.
2. Aldar Química S.A. de C.V. (2013). Sulfato de Aluminio. *Aldar Química S.A. de C.V.*
3. Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua Coagulación y Floculación. *SEDAPAL, Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico.*, 44.
4. Arias, A., Hernández, J., Castro, A., & Sánchez, N. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de Sacrificio: Uso de polvo de la semilla M.oleífera como coagulante natural. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11.
5. Autoridad Nacional del Agua. (2013). Lineamientos para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del Impacto de un vertimiento de aguas residuales a un cuerpo natural de agua. *Resolución Jefatural N° 541-2013-ANA*, 107.
6. Autoridad Nacional del Agua. (2013). Reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reuso de aguas residuales tratadas. *Resolución Jefatural N° 224-2013-ANA*, 48.
7. Bustamante, S., Vilchis, G., Alvarez, C., & Trejo, M. (2008). *Caracterización del aceite obtenido de almendras de diferentes variedades de mango y su aplicación como sustituto de manteca de cacao en rellenos y coberturas de chocolate*.
8. Cuadro, & Rodas. (2018-2019). Alternativa para sustitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de yuca y moringa oleífera en tratamiento de aguas superficiales. *Universidad de Guayaquil*.
9. El agua potable. (2015). *Coloides*. Obtenido de <http://www.elaguapotable.com/coloides.pdf>
10. Estrella, S., & Hidalgo, S. (2015). Ciclo operativos de Especialización y Profesionalización en Marketing y Finanzas. *Alternativas de mercado para la exportación de mango fresco Mangifera indica. L.* Universidad Nacional Agraria La Molina.

11. Garcia, B. (2007). Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. *Tesis Mg. Seguridad Industrial y Medioambiente. Universidad Politécnica de Valencia.*
12. Gómez, N. (2005). Remoción de la materia orgánica por Coagulación - Floculación. *Remoción de la materia orgánica por Coagulación - Floculación*, 113. Manizales, Caldas, Colombia.
13. González, C. (2011). Monitoreo de la calidad del agua. *Servicio de Extensión Agrícola*, 11.
14. Guananga, A. (2013). Optimización de la Planta de tratamiento de agua potable del Canton Cevallos. Riobamba, Ecuador.
15. Guardado , & Hernandez. (2017). Evaluación de la efectividad de Floculantes Naturales en el tratamiento de aguas residuales provenientes de lavandería Industrial, utilizando el cladodio de nopal (opuntia ficus-indica) y la semilla de tamarindo (tamarindus indica). *Universidad del El Salvador.*
16. Guzmán, L., Taron, A., & Nuñez, A. (2015). Polvo de la semilla Cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7.
17. *Herbario virtual M.G.M.* (Noviembre de 2009). Obtenido de Herbario virtual M.G.M.: <http://herbariovirtualmgm.blogspot.com/2009/11/el-mango-nombre-cientifico-mangifera.html>
18. Laines, J., Goñi, J., Howard, A., & Camacho, W. (2008). Mezclas con Potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. *Interciencia*, 33.
19. Lopez, M. (2018). Evaluación del uso de la Cactacea Opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 19-20.
20. Martínez, G., Marquina, C., Carrasquero, S., Martínez, M., Rodríguez, C., & Morris, A. (2017). El Extracto de Semillas de Mango (Mangifera indica L) como Coagulante Natural en la Potabilización de aguas. *15 LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Global Partnerships for Development and Engineering Education"*, 8.
21. Metcalf, E. (1985). *Tratamiento y Depuración de las aguas residuales*. Madrid: Labor.

22. MINAGRI (Ministerio de Agricultura y riego, PE). (2014). *El Comercio Exterior Agrario*.
23. Nieto, C., & Orellana, V. (2011). Aplicación del Quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante. *Universidad Politécnica Salesiana. ME*.
24. Peláez, A. (2013). *Alternativas de solución para el tratamiento de efluentes Textiles*. Puebla, México.
25. Pérez, J. (2010). Definiciones Básicas. *Ingeniería*, 3.
26. Pérez, J., Cánepa de Vargas, L., & Richter, C. (1977). Coagulación. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). PE.*, 78.
27. Ramírez, A., Torres, L., Cervantes, J., & Corzon, L. (2010). Caracterización Química de la semilla de mango (*Mangifera indica* L) y la valoración de algunos de sus componentes. *Rev. Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, págs. 65-72.
28. Rodríguez, L. (2006). Estabilidad de los sistemas Coloidales. *Departamento de Química Física - Universidad de Salamanca*.
29. Salgado. (2018). Evaluación de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la remoción de turbidez de aguas superficiales. *Universidad de Sucre*.
30. Zamudio, J., Reinel, J., Ibarra, D., Solaque, Ó., Cafiero, A., & Garzón, E. (2015). *Desarrollo de un floculante natural para el tratamiento de aguas superficiales en hogares del sector rural del municipio de Fusagasugá*.

## ANEXOS

### ANEXO 1: Panel fotográfico



**Descripción:** Valores obtenidos por triplicado de turbidez residual del Efluente (PTAR-MUNIVES) a una dosis óptima de 50mg/L y a concentración óptima de 1% del coagulante natural.



**Descripción:** Valores obtenidos de turbidez residual del Afluente (PTAR-MUNIVES) a una dosis de 250mg/L y a concentración 0.5% y 3% respectivamente del coagulante natural.



**Descripción:** Vista de formación de flóculos sedimentados en las jarras.



**Descripción:** Turbidez inicial del afluente y efluente de la PTAR – MUNIVES.



**Descripción:** Muestra del efluente a una dosis de 250 mg/L de coagulante natural.



**Descripción:** Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Municipalidad de Villa el Salvador, tratamiento convencional - lodos activados.

## ANEXO 2: Tablas de resultados

### Anexo 2.1. Efluente de Ptar - Turbidez inicial 19.9 UNT

#### a. Determinación del coeficiente de variación CV – Dosis óptima

Nº jarra	Dosis (mg/L)	C.C (%)	Turbidez residual (UNT)						Variación de pH					
			T1	T2	T3	$\bar{x}$	$\sigma$	CV	pH 1	pH 2	pH 3	$\bar{x}$	$\sigma$	CV
1	10	0.5	4.82	5.12	4.95	4.96	0.15	0.03	7.65	7.64	7.69	7.66	0.03	0.003
2	25	0.5	4.42	4.29	4.16	4.29	0.13	0.03	7.59	7.54	7.56	7.56	0.03	0.003
3	50	0.5	3.87	3.98	3.92	3.92	0.06	0.01	7.48	7.53	7.51	7.51	0.03	0.003
4	100	0.5	4.29	4.12	4.38	4.26	0.13	0.03	7.53	7.42	7.44	7.46	0.06	0.008
5	250	0.5	4.85	4.76	4.91	4.84	0.08	0.02	7.35	7.39	7.45	7.40	0.05	0.007
6	500	0.5	5.26	5.34	5.49	5.36	0.12	0.02	7.31	7.38	7.36	7.35	0.04	0.005

#### b. Determinación del coeficiente de variación CV –Concentración óptima

Nº jarra	Dosis (mg/L)	C.C (%)	Turbidez residual (UNT)						Variación de pH					
			T1	T2	T3	$\bar{x}$	$\sigma$	CV	pH 1	pH 2	pH 3	$\bar{x}$	$\sigma$	CV
1	50	0.5	3.87	3.98	3.92	3.92	0.06	0.01	7.48	7.53	7.51	7.51	0.03	0.003
2		1	2.42	2.46	2.83	2.57	0.23	0.09	7.43	7.42	7.46	7.44	0.02	0.003
3		3	3.42	3.91	3.52	3.62	0.26	0.07	7.49	7.43	7.47	7.46	0.03	0.004
4		5	4.24	4.81	4.63	4.56	0.29	0.06	7.4	7.45	7.43	7.43	0.03	0.003

## Anexo 2.2. Afluente de Ptar - Turbidez inicial 209 UNT

### a. Determinación del coeficiente de variación CV – Dosis óptima

Nº jarra	Dosis (mg/L)	C.C (%)	Turbidez residual (UNT)						Variación de pH					
			T1	T2	T3	$\bar{x}$	$\sigma$	CV	pH 1	pH 2	pH 3	$\bar{x}$	$\sigma$	CV
1	10	0.5	82.5	84.8	85.3	84.20	1.49	0.02	7.35	7.34	7.41	7.37	0.04	0.005
2	25	0.5	77.2	75.3	78.9	77.13	1.80	0.02	7.39	7.31	7.37	7.36	0.04	0.006
3	50	0.5	71.5	75.8	72.3	73.20	2.29	0.03	7.37	7.31	7.35	7.34	0.03	0.004
4	100	0.5	66.6	63.9	65.1	65.20	1.35	0.02	7.29	7.27	7.33	7.30	0.03	0.004
5	250	0.5	53.4	54.5	52.7	53.53	0.91	0.02	7.23	7.28	7.24	7.25	0.03	0.004
6	500	0.5	68.3	66.8	63.7	66.27	2.35	0.04	7.31	7.24	7.27	7.27	0.04	0.005

### b. Determinación del coeficiente de variación CV –Concentración óptima

Nº jarra	Dosis (mg/L)	C.C (%)	Turbidez residual (UNT)						Variación de pH					
			T1	T2	T3	$\bar{x}$	$\sigma$	CV	pH 1	pH 2	pH 3	$\bar{x}$	$\sigma$	CV
1	250	0.5	53.4	54.5	52.7	53.53	0.91	0.02	7.23	7.28	7.24	7.25	0.03	0.004
2		1	47.9	49.2	50.7	49.27	1.40	0.03	7.27	7.29	7.25	7.27	0.02	0.003
3		3	40.9	40.7	41.1	40.90	0.20	0.00	7.24	7.19	7.23	7.22	0.03	0.004
4		5	52.1	53.9	49.8	51.93	2.06	0.04	7.28	7.26	7.31	7.28	0.03	0.003

## ANEXO 3: Resultados de análisis estadístico

### Anexo 3.1. Dosis óptima del coagulante natural – Turbidez 19.9 UNT

#### a. Descriptivos

Dosis representativas (mg/L)	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
10,00	3	4,9633	,15044	,08686	4,5896	5,3371	4,82	5,12
25,00	3	4,2900	,13000	,07506	3,9671	4,6129	4,16	4,42
50,00	3	3,9233	,05508	,03180	3,7865	4,0601	3,87	3,98
100,00	3	4,2633	,13204	,07623	3,9353	4,5913	4,12	4,38
250,00	3	4,8400	,07550	,04359	4,6525	5,0275	4,76	4,91
500,00	3	5,3633	,11676	,06741	5,0733	5,6534	5,26	5,49
Total	18	4,6072	,51315	,12095	4,3520	4,8624	3,87	5,49

#### b. Subconjuntos Homogéneos

Dosis representativas (mg/L)	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
50,00	3	3,9233			
100,00	3		4,2633		
25,00	3		4,2900		
250,00	3			4,8400	
10,00	3			4,9633	
500,00	3				5,3633
Student-Newman-Keuls <sup>a,b</sup>					
Sig.		1,000	,781	,214	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,013.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

b. Alfa = .05.

### c. Pruebas post hoc

#### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Turbidez

			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
	(I) Dosis	(J) Dosis				Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	10,00	25,00	,67333*	,09389	,000	,3580	,9887
		50,00	1,04000*	,09389	,000	,7246	1,3554
		100,00	,70000*	,09389	,000	,3846	1,0154
		250,00	,12333	,09389	,773	-,1920	,4387
		500,00	-,40000*	,09389	,011	-,7154	-,0846
	25,00	10,00	-,67333*	,09389	,000	-,9887	-,3580
		50,00	,36667*	,09389	,020	,0513	,6820
		100,00	,02667	,09389	1,000	-,2887	,3420
		250,00	-,55000*	,09389	,001	-,8654	-,2346
		500,00	-1,07333*	,09389	,000	-1,3887	-,7580
	50,00	10,00	-1,04000*	,09389	,000	-1,3554	-,7246
		25,00	-,36667*	,09389	,020	-,6820	-,0513
		100,00	-,34000*	,09389	,032	-,6554	-,0246
		250,00	-,91667*	,09389	,000	-1,2320	-,6013
		500,00	-1,44000*	,09389	,000	-1,7554	-1,1246
	100,00	10,00	-,70000*	,09389	,000	-1,0154	-,3846
		25,00	-,02667	,09389	1,000	-,3420	,2887
		50,00	,34000*	,09389	,032	,0246	,6554
		250,00	-,57667*	,09389	,001	-,8920	-,2613
		500,00	-1,10000*	,09389	,000	-1,4154	-,7846
250,00	10,00	-,12333	,09389	,773	-,4387	,1920	
	25,00	,55000*	,09389	,001	,2346	,8654	
	50,00	,91667*	,09389	,000	,6013	1,2320	
	100,00	,57667*	,09389	,001	,2613	,8920	
	500,00	-,52333*	,09389	,001	-,8387	-,2080	
500,00	10,00	,40000*	,09389	,011	,0846	,7154	
	25,00	1,07333*	,09389	,000	,7580	1,3887	
	50,00	1,44000*	,09389	,000	1,1246	1,7554	
	100,00	1,10000*	,09389	,000	,7846	1,4154	
	250,00	,52333*	,09389	,001	,2080	,8387	
	10,00	500,00	-,40000*	,09389	,005	-,6724	-,1276

T de Dunnett (bilateral) <sup>b</sup>	25,00	500,00	-1,07333*	,09389	,000	-1,3457	-,8009
	50,00	500,00	-1,44000*	,09389	,000	-1,7124	-1,1676
	100,00	500,00	-1,10000*	,09389	,000	-1,3724	-,8276
	250,00	500,00	-,52333*	,09389	,001	-,7957	-,2509

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

b. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

#### d. Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis a contrastar: Las varianzas de la turbidez residual (UNT) son iguales para los 6 tratamientos de estudio. Test a utilizar, Test de Levene de homogeneidad de varianzas.

Resultado: Valor del estadístico de Levene: 0.576 y su significación estadística es 0.718 (valor  $P > 0.05$ ). Por tanto podemos afirmar que las varianzas son iguales.

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
,576	5	12	,718

Prueba la hipótesis nula que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

### e. Prueba de ANOVA

Se verificó que la significancia obtenida de los 18 datos indica que  $p < 0.05$ ; por lo tanto hay evidencias significativas y se rechaza la  $H_0$  quedando por válida la  $H_a$  que las seis dosis del coagulante natural son diferentes estadísticamente o al menos una de las dosis es diferente significativamente a las demás.

#### ANOVA

Turbidez Residual (UNT)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4,318	5	,864	65,313	,000
Dentro de grupos	,159	12	,013		
Total	4,477	17			

### Anexo 3.2. Concentración óptima del coagulante natural - Turbidez 19.9 UNT

#### a. Descriptivos

Turbidez residual (UNT)

Concentración óptima (%)	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,50	3	3,9233	,05508	,03180	3,7865	4,0601	3,87	3,98
1,00	3	2,5700	,22605	,13051	2,0085	3,1315	2,42	2,83
3,00	3	3,6167	,25891	,14948	2,9735	4,2598	3,42	3,91
5,00	3	4,5600	,29138	,16823	3,8362	5,2838	4,24	4,81
Total	12	3,6675	,77574	,22394	3,1746	4,1604	2,42	4,81

**b. Subconjuntos homogéneos**

Turbidez residual (UNT)						
	Concentraciones	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
			1	2	3	
Student-Newman-Keuls <sup>a</sup>	1,00	3	2,5700			
	3,00	3		3,6167		
	,50	3		3,9233		
	5,00	3			4,5600	
	Sig.			1,000	,137	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

**c. Pruebas post hoc**

Dosis representativas (mg/L)

**Comparaciones múltiples**

Variable dependiente: Turbidez residual (UNT)

	(I) Concentraciones representativas (%)	(J) Concentraciones representativas (%)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	,50	1,00	1,35333*	,18532	,000	,7599	1,9468
		3,00	,30667	,18532	,404	-,2868	,9001
		5,00	-,63667*	,18532	,036	-1,2301	-,0432
	1,00	,50	-1,35333*	,18532	,000	-1,9468	-,7599
		3,00	-1,04667*	,18532	,002	-1,6401	-,4532
		5,00	-1,99000*	,18532	,000	-2,5835	-1,3965
	3,00	,50	-,30667	,18532	,404	-,9001	,2868
		1,00	1,04667*	,18532	,002	,4532	1,6401
		5,00	-,94333*	,18532	,004	-1,5368	-,3499
	5,00	,50	,63667*	,18532	,036	,0432	1,2301
		1,00	1,99000*	,18532	,000	1,3965	2,5835
		3,00	,94333*	,18532	,004	,3499	1,5368
T de	,50	5,00	-,63667*	,18532	,022	-1,1703	-,1030
Dunnett	1,00	5,00	-1,99000*	,18532	,000	-2,5237	-1,4563
(bilateral) <sup>b</sup>	3,00	5,00	-,94333*	,18532	,002	-1,4770	-,4097

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

b. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

#### d. Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis a contrastar: Las varianzas de la turbidez residual (UNT) son iguales para los 4 tratamientos de estudio. Test a utilizar, Test de Levene de homogeneidad de varianzas.

Resultado: Valor del estadístico de Levene: 2.302 y su significación estadística es 0.154 (valor  $P > 0.05$ ). Por tanto podemos afirmar que las varianzas son iguales.

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
2,302	3	8	,154

Prueba la hipótesis nula que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

#### e. Prueba de ANOVA

Se verificó que la significancia obtenida de los 12 datos indica que  $p < 0.05$ ; por lo tanto hay evidencias significativas y se rechaza la  $H_0$  quedando por válida la  $H_a$  que las cuatro concentraciones del coagulante natural son diferentes estadísticamente o al menos una de las dosis es diferente significativamente a las demás.

Turbidez residual (UNT)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	6,207	3	2,069	40,164	,000
Dentro de grupos	,412	8	,052		
Total	6,619	11			

### Anexo 3.3. Dosis óptima del coagulante natural - Turbidez 209 UNT

#### a. Descriptivos

Turbidez Residual (UNT)

Dosis representativas (mg/L)	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
10,00	3	84,2000	1,49332	,86217	80,4904	87,9096	82,50	85,30
25,00	3	77,1333	1,80093	1,03976	72,6596	81,6071	75,30	78,90
50,00	3	73,2000	2,28692	1,32035	67,5190	78,8810	71,50	75,80
100,00	3	65,2000	1,35277	,78102	61,8395	68,5605	63,90	66,60
250,00	3	53,5333	,90738	,52387	51,2793	55,7874	52,70	54,50
500,00	3	66,2667	2,34592	1,35442	60,4391	72,0943	63,70	68,30
Total	18	69,9222	10,14684	2,39163	64,8763	74,9681	52,70	85,30

#### b. Subconjuntos Homogéneos

Turbidez residual (UNT)

Dosis Representativas (mg/L)	N	Subconjunto				
		1	2	3	4	5
250,00	3	53,5333				
100,00	3		65,2000			
500,00	3		66,2667			
50,00	3			73,2000		
25,00	3				77,1333	
10,00	3					84,2000
Sig.		1,000	,475	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 3,143.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

b. Alfa = .05.

### c. Pruebas post hoc

#### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Turbidez

	(I) Dosis	(J) Dosis	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	10,00	25,00	7,06667 <sup>*</sup>	1,44760	,004	2,2043	11,9291
		50,00	11,00000 <sup>*</sup>	1,44760	,000	6,1376	15,8624
		100,00	19,00000 <sup>*</sup>	1,44760	,000	14,1376	23,8624
		250,00	30,66667 <sup>*</sup>	1,44760	,000	25,8043	35,5291
		500,00	17,93333 <sup>*</sup>	1,44760	,000	13,0709	22,7957
	25,00	10,00	-7,06667 <sup>*</sup>	1,44760	,004	-11,9291	-2,2043
		50,00	3,933333	1,44760	,142	-,9291	8,7957
		100,00	11,93333 <sup>*</sup>	1,44760	,000	7,0709	16,7957
		250,00	23,60000 <sup>*</sup>	1,44760	,000	18,7376	28,4624
		500,00	10,86667 <sup>*</sup>	1,44760	,000	6,0043	15,7291
	50,00	10,00	-11,00000 <sup>*</sup>	1,44760	,000	-15,8624	-6,1376
		25,00	-3,933333	1,44760	,142	-8,7957	,9291
		100,00	8,00000 <sup>*</sup>	1,44760	,001	3,1376	12,8624
		250,00	19,66667 <sup>*</sup>	1,44760	,000	14,8043	24,5291
		500,00	6,93333 <sup>*</sup>	1,44760	,005	2,0709	11,7957
	100,00	10,00	-19,00000 <sup>*</sup>	1,44760	,000	-23,8624	-14,1376
		25,00	-11,93333 <sup>*</sup>	1,44760	,000	-16,7957	-7,0709
		50,00	-8,00000 <sup>*</sup>	1,44760	,001	-12,8624	-3,1376
		250,00	11,66667 <sup>*</sup>	1,44760	,000	6,8043	16,5291
		500,00	-1,06667	1,44760	,973	-5,9291	3,7957
250,00	10,00	-30,66667 <sup>*</sup>	1,44760	,000	-35,5291	-25,8043	
	25,00	-23,60000 <sup>*</sup>	1,44760	,000	-28,4624	-18,7376	
	50,00	-19,66667 <sup>*</sup>	1,44760	,000	-24,5291	-14,8043	
	100,00	-11,66667 <sup>*</sup>	1,44760	,000	-16,5291	-6,8043	
	500,00	-12,73333 <sup>*</sup>	1,44760	,000	-17,5957	-7,8709	
500,00	10,00	-17,93333 <sup>*</sup>	1,44760	,000	-22,7957	-13,0709	
	25,00	-10,86667 <sup>*</sup>	1,44760	,000	-15,7291	-6,0043	
	50,00	-6,93333 <sup>*</sup>	1,44760	,005	-11,7957	-2,0709	
	100,00	1,06667	1,44760	,973	-3,7957	5,9291	
	250,00	12,73333 <sup>*</sup>	1,44760	,000	7,8709	17,5957	

T de Dunnett (bilateral) <sup>b</sup>	10,00	500,00	17,93333 <sup>*</sup>	1,44760	,000	13,7335	22,1332
	25,00	500,00	10,86667 <sup>*</sup>	1,44760	,000	6,6668	15,0665
	50,00	500,00	6,93333 <sup>*</sup>	1,44760	,002	2,7335	11,1332
	100,00	500,00	-1,06667	1,44760	,913	-5,2665	3,1332
	250,00	500,00	-12,73333 <sup>*</sup>	1,44760	,000	-16,9332	-8,5335

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

b. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

#### d. Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis a contrastar: Las varianzas de la turbidez residual (UNT) son iguales para los 6 tratamientos de estudio. Test a utilizar, Test de Levene de homogeneidad de varianzas.

Resultado: Valor del estadístico de Levene: 0.862 y su significación estadística es 0.534 (valor P >0.05). Por tanto podemos afirmar que las varianzas son iguales.

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
,862	5	12	,534

Prueba la hipótesis nula que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

#### e. Prueba de ANOVA

Se verificó que la significancia obtenida de los 18 datos indica que  $p < 0.05$ ; por lo tanto hay evidencias significativas y se rechaza la  $H_0$  quedando por válida la  $H_a$  que las seis dosis del coagulante natural son diferentes estadísticamente o al menos una de las dosis es diferente significativamente a las demás.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1712,571	5	342,514	108,965	,000
Dentro de grupos	37,720	12	3,143		
Total	1750,291	17			

### Anexo 3.4. Concentración óptima del coagulante natural - Turbidez 209 UNT

#### a. Descriptivos

Turbidez residual (UNT)

Concentraciones representativas (%)	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,50	3	53,5333	,90738	,52387	51,2793	55,7874	52,70	54,50
1,00	3	49,2667	1,40119	,80898	45,7859	52,7474	47,90	50,70
3,00	3	40,9000	,20000	,11547	40,4032	41,3968	40,70	41,10
5,00	3	51,9333	2,05508	1,18650	46,8282	57,0384	49,80	53,90
Total	12	48,9083	5,20934	1,50381	45,5985	52,2182	40,70	54,50

#### b. Subconjuntos homogéneos

Turbidez residual (mg/L)

	Concentraciones	N	Subconjunto		
			1	2	3
	3,00	3	40,9000		
	1,00	3		49,2667	
Student-Newman-Keuls <sup>a,b</sup>	5,00	3			51,9333
	,50	3			53,5333
	Sig.		1,000	1,000	,178

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 1,763.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

b. Alfa = ,05.

### c. Pruebas post hoc

Dosis representativas (mg/L)

#### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Turbidez residual (UNT)

	(I) Concentraciones representativas (%)	(J) Concentraciones representativas (%)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
						Límite inferior	Límite superior	
	,50	1,00	4,26667*	1,08397	,018	,7954	7,7379	
		3,00	12,63333*	1,08397	,000	9,1621	16,1046	
		5,00	1,60000	1,08397	,492	-1,8713	5,0713	
1,00	1,00	,50	-4,26667*	1,08397	,018	-7,7379	-,7954	
		3,00	8,36667*	1,08397	,000	4,8954	11,8379	
		5,00	-2,66667	1,08397	,142	-6,1379	,8046	
3,00	3,00	,50	-12,63333*	1,08397	,000	-	16,1046	
		1,00	-8,36667*	1,08397	,000	-	11,8379	
		5,00	-11,03333*	1,08397	,000	-	14,5046	
5,00	5,00	,50	-1,60000	1,08397	,492	-5,0713	1,8713	
		1,00	2,66667	1,08397	,142	-,8046	6,1379	
		3,00	11,03333*	1,08397	,000	7,5621	14,5046	
T de Dunnett (bilateral) <sup>b</sup>	,50	5,00	1,60000	1,08397	,374	-1,5215	4,7215	
		1,00	5,00	-2,66667	1,08397	,093	-5,7881	,4548
		3,00	5,00	-11,03333*	1,08397	,000	-	14,1548

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

b. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

#### d. Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis a contrastar: Las varianzas de la turbidez residual (UNT) son iguales para los 4 tratamientos de estudio. Test a utilizar, Test de Levene de homogeneidad de varianzas.

Resultado: Valor del estadístico de Levene: 1.762 y su significación estadística es 0.232 (valor  $P > 0.05$ ). Por tanto podemos afirmar que las varianzas son iguales.

Turbidez residual (UNT)

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
1,762	3	8	,232

Prueba la hipótesis nula que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

#### e. Prueba de ANOVA

Se verificó que la significancia obtenida de los 12 datos indica que  $p < 0.05$ ; por lo tanto hay evidencias significativas y se rechaza la  $H_0$  quedando por válida la  $H_a$  que las cuatro concentraciones del coagulante natural son diferentes estadísticamente o al menos una de las dosis es diferente significativamente a las demás.

**ANOVA**  
Turbidez residual (UNT)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	284,409	3	94,803	53,789	,000
Dentro de grupos	14,100	8	1,763		
Total	298,509	11			

## ANEXO 4: Presupuesto del proyecto

Tabla 16 Presupuesto del proyecto

<b>PRESUPUESTO FEBRERO - ABRIL</b>			
<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (S/.)</b>	<b>Precio total (S/.)</b>
Agua destilada	10 litros	20.00	20.00
Etanol absoluto	1000ml	35.00	35.00
Tamiz N°80 (0.180mm)	1	230.00	230.00
Papel tissue	5	1.00	5.00
Papel filtro	1	2.00	2.00
Papel aluminio	1	4.00	4.00
Guantes y mascarillas	15	0.50	7.50
Jeringas (3ml,10ml,20ml, 30ml, 60ml y 100ml)	10	-	23.40
<b>Análisis de laboratorio</b>			
Turbidez y pH	2	55	110.00
<b>Total</b>			<b>436.9</b>