

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“EFECTO COAGULANTE DE *Moringa oleifera*, *Caesalpinia spinosa* y
Opuntia ficus-indica EN LA CLARIFICACIÓN DE AGUA POR
CONSUMO HUMANO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO LA
QUESERA-CELENDÍN, 2022”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR LA BACHILLER:

MARIANELA TALITHA PEREYRA CHÁVEZ

ASESOR:

Ing. M. Cs. ADOLFO MÁXIMO LÓPEZ AYLAS

CAJAMARCA – PERÚ

2024



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:

MARIANELA TALITHA PEREYRA CHÁVEZ.

DNI: 72556063

Escuela Profesional/Unidad UNC:

De Ingeniería Ambiental

2. Asesor:

ING. M. Cs. ADOLFO MÁXIMO, LÓPEZ AYLAS

Facultad/Unidad UNC:

Ciencias Agrarias

3. Grado académico o título profesional

Bachiller

Título profesional

Segunda especialidad

Maestro

Doctor

4. Tipo de Investigación:

Tesis

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación:

"EFECTO COAGULANTE DE *Moringa oleifera*, *Caesalpinia spinosa* y *Opuntia ficus-indica*
EN LA CLARIFICACIÓN DE AGUA POR CONSUMO HUMANO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO LA QUESERA-CELENDÍN, 2022"

6. Fecha de evaluación: 11/01/2024

7. Software antiplagio: TURNITIN

URKUND (OURIGINAL) (*)

8. Porcentaje de Informe de Similitud: 10 %

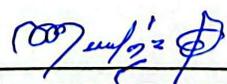
9. Código Documento: 0000-3117:303259969

10. Resultado de la Evaluación de Similitud: 10 %

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 11/01/2024

Firma y/o Sello
Emisor Constancia


Ing. M. Cs. ADOLFO MÁXIMO, LÓPEZ AYLAS
DNI: 26606367



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

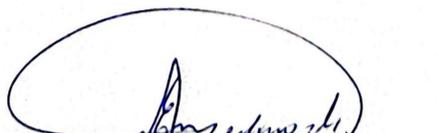
En la ciudad de Celendín, a los veintinueve días del mes de agosto del año dos mil veinticuatro, se reunieron en el Aula 101 de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental - Sede Celendín, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 163-2024-FCA-UNC**, de fecha 18 de marzo del 2024, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**EFFECTO COAGULANTE DE *Moringa oleifera*, *Caesalpinia spinosa* y *Opuntia ficus-indica* EN LA CLARIFICACIÓN DE AGUA POR CONSUMO HUMANO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO LA QUESERA - CELENDÍN, 2022**", realizada por la Bachiller **MARIANELA TALITHA PEREYRA CHÁVEZ** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las diez horas y diez minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciocho (18); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las once horas y treinta minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.


Ph.D. Manuel Roberto Roncal Rabanal
PRESIDENTE


Ing. M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna
SECRETARIO


Dr. Agustín Emerson Medina Chávez
VOCAL


Ing. M. Cs. Adolfo Máximo López Aylas
ASESOR

COPYRIGHT © 2024 by
MARIANELA TALITHA PEREYRA CHÁVEZ
Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo a Dios, por estar siempre conmigo y permitirme llegar a este momento muy importante en mi vida.

A mi madre María Elizabeth Chávez Salazar, por estar siempre conmigo en las buenas y malas, por ese amor incondicional que me brindas día tras día, sin ti no sabría qué hacer.

A Cesar Valdivia Escuadra quien me acompañado y ayudado durante todo el proceso de mi investigación, por creer en mí y no dejarme sola.

Al Ingeniero Adolfo Máximo López Aylas, por su apoyo incondicional, apoyándome y ayudándome a mejorar este trabajo de investigación.

A mis amigos por estar siempre ahí dándome ánimos para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque sin él nada de esto hubiera sido posible, por no dejarme sola y cuidarme en todo momento.

Agradezco a todas las personas que con un granito de arena me ayudaron a realizar esta investigación primordial para mí, gracias a sus consejos, apoyo y cariño estoy terminando un ciclo de mi vida muy importante y sin ellos no hubiera sido posible la realización de este proyecto.

A los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, por haberme preparado para desempeñarme como profesional.

ÍNDICE

RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes de la investigación.....	3
2.2. Bases teóricas	8
2.2.1. Proceso de clarificación.....	8
2.2.2. Coloides.....	8
2.2.2. Coagulación.....	12
2.2.3. Floculación	18
2.2.4. Sedimentación	19
2.2.5. Descripción botánica de <i>M. oleifera</i>	20
2.2.6. Descripción botánica de la <i>C. spinosa</i>	24
2.2.7. Descripción botánica de la <i>O. ficus-indica</i>	27
2.2.8. Diseño de Bloques Completamente al Azar.....	31
2.2.9. Experimentos factoriales	31
2.2.10. Diseños factorial completo 3k.....	32

2.3.	Definición de términos básicos	33
CAPÍTULO III		35
3.1.	Localización de la investigación	35
3.2.	Materiales	36
3.2.1.	Materiales de laboratorio.....	36
3.2.2.	Equipos.....	36
3.2.3.	Materiales de campo.....	36
3.2.4.	Material experimental.....	37
3.3.	Tipo y diseño de investigación.....	37
3.4.	Variables (factores), niveles y tratamientos en estudio.....	37
3.5.	Diseño experimental y arreglo factorial	39
3.6.	Evaluaciones que se realizó.....	40
3.7.	Procedimiento de la extracción de los coagulantes.....	40
3.7.1.	Trabajo de campo y gabinete.....	40
3.7.2.	Procedimiento del experimento.....	42
3.7.3.	Tratamiento y análisis de datos	44
CAPÍTULO IV		46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		46
CAPÍTULO V		64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		64

CAPÍTULO VI	67
REFERENCIAS	67
CAPÍTULO VII.....	76
ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clasificación taxonómica M. oleífera</i>	20
Tabla 2 <i>Composición proximal de las semillas de M. oleífera</i>	21
Tabla 3 <i>Formas de la moringa en su actividad de coagulación</i>	22
Tabla 4 <i>Clasificación taxonómica de la C. spinosa</i>	24
Tabla 5 <i>Composición químico proximal por 100g. de semilla</i>	26
Tabla 6 <i>Clasificación taxonómica de la O. ficus indica</i>	27
Tabla 7 <i>Composición química de la O. ficus-indica</i>	28
Tabla 8 <i>Propiedad del polvo de cactus O. Ficus-indica</i>	29
Tabla 9 <i>Combinaciones del arreglo factorial</i>	39
Tabla 10 <i>Diseño y distribución de combinación de tratamientos.</i>	40
Tabla 11 <i>Dosis, volumen y porcentaje de los coagulantes</i>	43
Tabla 12 <i>Cuadro A N V A</i>	44
Tabla 13 <i>Resultado de turbidez promedio del agua en UNT</i>	46
Tabla 14 <i>Análisis de varianza del parámetro turbiedad.</i>	47
Tabla 15 <i>ANVA para efectos principales e interacciones de la turbidez.</i>	54
Tabla 16 <i>Porcentaje de remoción</i>	58
Tabla 17 <i>Análisis de varianza del porcentaje de remoción</i>	60
Tabla 18 <i>Porcentaje de remoción por tratamiento</i>	61
Tabla 19 <i>Resultado de la prueba de Tukey con ALS (T)=14.86</i>	61
Tabla 20 <i>Resultado del parámetro pH del agua</i>	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Doble capa de una partícula coloidal.</i>	10
Figura 2 <i>Mecanismos de coagulación/floculación por proteínas catiónicas de M. oleifera</i>	24
Figura 3 <i>Estructura química del endospermo de C. spinosa</i>	27
Figura 4 <i>Mecanismo de coagulación de O. ficus-indica</i>	30
Figura 5 <i>Ubicación geográfica de la investigación</i>	35
Figura 6 <i>Promedio del parámetro turbiedad.</i>	48
Figura 7 <i>Efecto principal E</i>	55
Figura 8 <i>Efecto principal D (mg/L)</i>	56
Figura 9 <i>Interacción especie por dosis</i>	57
Figura 10 <i>Porcentaje de remoción de turbidez</i>	58
Figura 11 <i>Parámetro del pH.</i>	63

RESUMEN

La investigación tuvo como propósito determinar el efecto coagulante de tres especies *Moringa oleifera*, *Caesalpinia spinosa* y *Opuntia ficus-indica* en la clarificación del agua para consumo humano de la planta de tratamiento la Quesera-Celendín; el tipo y diseño fue de carácter explicativo y experimental con arreglo factorial de 3x3, explicativo porque detalló en forma minuciosa el grado de influencia entre coagulantes naturales y su dosificación en el agua y experimental porque conllevó a la manipulación de variables, la muestra estuvo conformada por nueve tratamientos (tres tratamientos para cada especie) y cuatro repeticiones, la concentración fue del 1% y las dosis aplicadas fueron de 90 mg/L, 120 mg/L y 150 mg/L de cada especie. Los resultados muestran que al aplicar los coagulantes naturales se obtuvieron una remoción de turbidez del 62.74% al 51.80%, concluyendo que las tres especies si contribuyen en la clarificación del agua; así mismo se demostró que el coagulante natural más eficaz fue el *O. ficus-indica* con 62.74% de remoción de turbidez, así mismo estos coagulantes estuvieron sometidos a tres diferentes dosis, indicando los resultados que la dosis que tuvo mayor significación fue la de 120 mg/L.

Palabras clave: *Moringa oleifera*, *Caesalpinia spinosa*, *Opuntia ficus-indica*, coagulante natural, turbidez, concentración óptima.

ABSTRACT

The purpose of the research was to determine the coagulant effect of three species *Moringa oleifera*, *Caesalpinia spinosa* and *Opuntia ficus-indica* in the clarification of water for human consumption at the La Quesera-Celendín treatment plant; the type and design was explanatory and experimental with a 3x3 factorial arrangement, explanatory because it detailed in detail the degree of influence between natural coagulants and their dosage in the water and experimental because it involved the manipulation of variables, the sample consisted of nine treatments (three treatments for each species) and four repetitions, the concentration was 1% and the applied doses were 90 mg/L, 120 mg/L and 150 mg/L of each species. The results show that when applying the natural coagulants, a turbidity removal of 62.74% to 51.80% was obtained, concluding that the three species do contribute to the clarification of the water; Likewise, it was shown that the most effective natural coagulant was *O. ficus-indica* with 62.74% turbidity removal. Likewise, these coagulants were subjected to three different doses, with the results indicating that the dose with the greatest significance was 120 mg/L.

Keywords: *Moringa oleifera*, *Caesalpinia spinosa*, *Opuntia ficus-indica*, natural coagulant, turbidity, optimal concentration

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable segura y de calidad es fundamental para la salud y el bienestar de las comunidades; sin embargo, en muchas regiones del Perú, el acceso al agua segura sigue siendo un desafío persistente, ya que en las fuentes de aguas naturales contienen partículas orgánicas e inorgánicas de diferentes tamaños, partículas grandes que pueden sedimentar por gravedad y otras partículas más pequeñas llamadas coloidales que necesitan la ayuda de un coagulante para poder flocular y sedimentar (Ramírez Quirós, 2023), debido a la problemática se debe de buscar alternativas de tratamiento de agua potable sostenibles, es así que los coagulantes naturales ofrecen una alternativa o sustitución de los coagulantes sintéticos ya que estos al ser naturales presenta una nula toxicidad para las personas, medio ambiente y reducción de costos (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2011).

La importancia de este estudio radica en la búsqueda de coagulantes naturales locales que ayudan en los procesos de clarificación del agua, la eficiencia de estos coagulantes no solo podría mejorar la calidad del agua para múltiples usos, sino proporcionar una solución sostenible y económica para sistemas de tratamiento de agua convencionales, además proponer prácticas de tratamiento de agua más responsable desde

el punto de vista ambiental al utilizar recursos naturales y minimizar la dependencia de productos químicos que causan enfermedades.

Esta investigación beneficia a las comunidades urbanas y rurales que no cuentan con un buen tratamiento de agua y se encuentran en entornos con recursos limitados, a los gobernantes locales y juntas administradoras de servicios de saneamiento (JASS) que, con recursos económicos, eficientes y sostenibles pueden mejorar el suministro de agua de sus consumidores, a los estudiantes para que realicen más investigaciones sobre plantas locales y mejorar la calidad de las comunidades que cuentan con recursos limitados.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

Caldera et al. (2007) realizaron su investigación en la planta de tratamiento Pueblo Viejo, Zulia, Venezuela, los ensayos se realizaron a escala de laboratorio, las concentraciones de *M. oleifera*, fueron 300, 400, 500, 600 y 700 ppm. Los resultados demostraron la eficiencia de las semillas para remover turbidez desde 75 y 150 UNT a valores mínimos de 14,9 y 8,5 UNT, respectivamente. Las concentraciones óptimas del coagulante para valores de turbidez inicial de 75 y 150 UNT, fueron de 500ppm y 400 ppm, respectivamente. Los porcentajes de remoción para dichas concentraciones fueron de 80,1% y 94,3%. (p.1)

Campos Castro (2020) evaluó el efecto coagulante de la semilla de *M. oleifera* para clarificar el agua del canal Monsefú, utilizó tres dosis de 0.2, 0.4 y 0.6 g, antes de aplicar las tres dosis los parámetros fueron, turbidez inicial de 413 UNT, pH de 8 y conductividad eléctrica de 818 $\mu\text{S}/\text{cm}$, posterior al aplicar las tres dosis los resultados fueron para 0,2 g se redujo de 413 UNT a 48,1 UNT, para 0,4 g se redujo de 413 UNT a 46,5 UNT y para 0,6 g se redujo de 413 UNT a 54,8 UNT, concluyó que el mejor porcentaje de eficiencia con un 88,74 % se obtuvo con una dosis de 0,4 g de polvo semilla de Moringa. (p.3)

Ccora y Curasma (2021) determino la dosis óptima de la goma de la semilla *C. spinosa* para mejorar la calidad del agua potable de Huancabelica, trabajo con 6 dosis diferentes, hizo medición de los siguientes parámetros: dosis óptima, pH, turbiedad; los resultados después de aplicar el coagulante natural tuvieron mejores resultados con la dosis óptima de 5.5 g de goma de *C. spinosa* tanto en pH con 8.5 y en la remoción de turbiedad con un 93.3% de remoción. (p.2)

Escobal Pérez (2018) realizó su estudio directamente en el suministro de agua para consumo humano que abastece a la comunidad de Balzas - Amazonas, esta agua presentó una turbiedad de 40.08 UNT; utilizó el tejido vascular de las especies “*Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R.”, en relación masa – volumen de 25 g/L, 50 g/L y 75 g/L para sus tratamientos; obtuvo los siguientes resultados: La turbiedad y sólidos suspendidos totales disminuye en un 39,47 % y un 34,10 % con *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y usando *Espostoa mirabilis* R disminuye 27,45 % y 25,24 % respectivamente. La conductividad eléctrica se incrementa significativamente para ambas especies; en los análisis de pH disminuye de 8,33 a un intervalo de 7,34 a 6,72 agregándole las diferentes relaciones masa – volumen (g/L) de cactus. (p.11)

Gómez Cornejo (2018) evaluó la eficiencia del tratamiento de las aguas superficiales mediante el uso de semilla de *M. oleifera* en la cuenca del río Caravelí sus parámetros a evaluar fueron turbiedad eléctrica, conductividad eléctrica, solidos disueltos totales, pH y temperatura, los resultados indicaron que al utilizar el test de jarras los resultados antes de aplicar el coagulante sus parámetros fueron: pH, 7.23; conductividad eléctrica, 1251 $\mu\text{S}/\text{cm}$; solidos disueltos totales, 570 mg/l; temperatura, 19,1 °C; turbiedad, 578 UNT; los resultados después de aplicar el coagulante sus parámetros fueron:

pH, 7.23; conductividad eléctrica, 1069 $\mu\text{S}/\text{cm}$; sólidos disueltos totales, 411 mg/L; temperatura, 19 °C; en turbiedad, 17.14 UNT y con una eficiencia del 14,55% en conductividad eléctrica; 27,89 % en sólidos disueltos totales y 97,03% en turbiedad. Llegando a la conclusión que el uso de la semilla *M. oleifera* fue eficiente como coagulante orgánico en la remoción de contaminantes en un pretratamiento de aguas. (p.5)

López Pérez, (2018) evaluó la eficiencia del cactus *O. ficus-indica* como coagulante natural para remover muestras de aguas preparadas en laboratorio, con valores de turbiedad inicial de 20, 50, 100, 300 y 500, determinó los siguientes parámetros: dosis, concentración y pH por cada nivel de turbidez; los resultados indicaron que al utilizar tes de jarras obtuvo un rango de remoción del 58% al 86%, las dosis óptimas para muestras de 20, 50, 100, 300 y 500 UNT fueron 30, 45, 55, 75 y 90 mg/L, respectivamente. Para muestras de turbidez baja (20-50 UNT) su concentración óptima fue del 2%; para muestras de turbiedad media (100-300 UNT) fue del 1%; y para muestras de 500 UNT fue de 0.5%; el pH óptimo fue 9 para todos los niveles de turbiedad. (p.11)

Morejón Díaz (2017) en su investigación utilizó el mucílago de tuna (*O. ficus-indica*) en estado fresco para la clarificación del agua de consumo humano en la comunidad de Pusir Grande, Provincia del Carchi, Ecuador. Los ensayos se realizaron a nivel laboratorio para lo cual se utilizó agua cruda proveniente del tanque desarenador de la planta de tratamiento de la comunidad. La dosis que utilizó fue, 25%, 50%, 75% y 100% respectivamente, concluyó que con la relación volumétrica 25% mucílago de tuna – 75% agua a tratar, actúa efectivamente en el proceso de coagulación- floculación teniendo como resultado: pH (6,93 pH), turbidez (5,89 UNT), dureza (63,52 mg/L), color (15,50 UTC unidades de color Pt-Co), y para sólidos disueltos totales (85mg/L). (p.10)

Moreno Pérez (2016) utilizó tres especies como coagulantes naturales para disminuir la turbidez del río Crisnejas-Cajabamba, las especies *O. ficus-indica*, *Aloe vera* y *C. spinosa*, fueron puestas a prueba como coagulante floculante natural, se tomó un total 108 litros de agua, necesarios para la aplicación del tratamiento mediante el método test de jarras, las concentraciones fueron de 6g y 9g para todas las especies logrando reducir la turbidez en un 61.09% al usar *O. ficus-indica*, en un 48.47% al usar *C. spinosa* y en un 42.48% en el caso del uso de *Aloe vera*. (p.10)

Romero Norabuena (2018) utilizó la especie *C. spinosa* (tara) para remover turbiedad en el periodo de avenidas para el río Paria, Ancash, utilizando cuatro concentraciones 2 gr, 5 gr, 7.5 gr y 10 gr, mediante el test de jarras observó que con una gradiente de 60 S^{-1} , velocidad de 45 rpm, y con un tiempo total de floculación de 20 minutos, el % de remoción de sólidos totales utilizando la goma de tara, de acuerdo a sus ensayos fue de, 212 mg/lt hasta 64 mg/lt con el 69.81 % de remoción solidos totales siendo el valor más bajo y de 232 mg/lt hasta 24 mg/lt con el 89.66 % de remoción solidos totales siendo el valor más alto. (p.11)

Villanueva Abanto (2019) determinó el efecto de los mucílagos deshidratado de tuna (*O. ficus-indica* (L.) Miller) y de San Pedro (*Echinopsis pachanoi* (Britton & Rose) Friedrich & G.D. Rowley), en la clarificación de agua turbia, utilizando tres concentraciones 0.75 g/L, 1 g/L y 1.25 g/L, mediante la prueba de jarras, obteniendo los siguientes resultados; porcentaje de remoción de turbiedad en un rango de 62 % a 90 % para la tuna y de 60 % a 78 % para San Pedro, con tuna la conductividad eléctrica se incrementa de 170 a 710 $\mu\text{S/cm}$ y el pH disminuyen de 7.6 a 6.7; con San Pedro se

incrementa la conductividad eléctrica de 186 a 962 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los valores de pH disminuyen de 7.8 a 6.1. (p.11)

Sáenz Damián (2019) comparó la eficiencia de la *M. oleífera* y *C. spinosa*, para mejorar la calidad del agua, aplicó tres dosis de 0.75g, 1g y 1.25g y los parámetros a evaluar fueron: turbiedad, conductividad eléctrica y sólidos suspendidos totales; para el coagulante de *M. oleífera* con la dosis de 0.75g presentó los siguientes valores: turbidez de 60 UNT a 9.6 UNT, conductividad eléctrica de 1.791 de mS/cm a 1170 de mS/cm , sólidos suspendidos totales de 895 ppm a 585ppmm; para el coagulante de *C. spinosa* con la dosis de 1g presentó los siguientes valores: turbidez de 60 UNT a 17 UNT, una conductividad eléctrica de 1.791 de mS/cm a 1351 de mS/cm , sólidos suspendidos totales de 895 ppm a 676; concluyendo así que ambos tratamientos reducen los parámetros fisicoquímicos del agua. (p.6)

Saenz Tahua (2015) evaluó la eficiencia de la semilla de *M. oleífera* como coagulante primario en el tratamiento de agua para consumo humano utilizó pruebas de jarras, desarrollando los análisis de dosificación, floculación y sedimentación, las muestras de agua lo realizó con las muestras de Lullán, utilizó seis dosis 90, 100, 105, 110, 115 y 120 mg/L, identificó que la con la dosis de 110 mg/L fue en la obtuvo mejores resultados puesto que fue la más eficiente para reducir la turbidez del agua de 30 UNT a 12.10 UNT. (p.4)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Proceso de clarificación*

La clarificación del agua tiene por objeto retirar los sólidos suspendidos, sólidos finamente divididos y materiales coloidales, convirtiéndolos en partículas más grandes que se puedan remover con mayor facilidad (Cogollo Flórez, 2011).

La clarificación del agua pasa por el proceso de coagulación que reduce la carga negativa, contribuyendo a la agregación de partículas para formar microfloculos; la floculación que consiste en la agregación de partículas para formar floculos más grandes y la sedimentación que comprende la precipitación de sólidos (Ramírez y Jaramillo, 2015).

2.2.2. *Coloides*

Las partículas coloidales, son partículas de muy bajo diámetro entre 1 y 1000 milimicrómetros, entre ellos están la arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica, que son responsables de la turbidez y color del agua superficial, estas partículas finas, presentan una carga superficial, por lo general negativa, que impide que se aproximen entre ellas, y hace que permanezcan de manera estable y suspendidas en el líquido que los rodea, debido a su baja sedimentación la mejor manera de eliminarlos es por los procesos de coagulación, floculación. Por este motivo, para que sean removidas es preciso la adición de una sustancia denominada coagulante Vargas (como se citó en López, 2018).

2.2.2.1. Tipos de coloides de acuerdo con su comportamiento en el agua.

Un coloide es una partícula pequeña responsable de la turbidez, ya que los coloides no se separan, pero tampoco se asientan ni logran sedimentarse, dando apariencia turbia u opaca al agua, estos coloides se dividen en dos grupos que son, Hidrofóbicos e Hidrofilicos (Segura Pelaez, 2023).

2.2.2.1.1. Hidrofóbicos. Los hidrófobos o suspensores (tienen repulsión por el agua), en los coloides hidrófobos, su falta de estabilidad por el agua hace que se separen de ella. La forma de estabilizar al coloide es mediante una sustancia estabilizante que permite que un coloide hidrofóbico no se pueda separar y forme coágulos, esto se da por la absorción de iones que quedan en la superficie; estos iones adsorbidos interactúan con el agua estabilizando al coloide, además la repulsión mutua entre partículas coloidales con iones adsorbidos que tiene la misma carga evita que las partículas choquen y se hagan más grandes (Romero Norabuena, 2018).

2.2.2.1.2. Hidrófilicos. Los hidrófilos o emulsores, (tienen fuerte afinidad por el agua), estos coloides son muy estables a diferencia de los hidrofóbicos, presentan gran tamaño y están en forma suspendida, presentan también propiedad de la adaptabilidad, que se van adaptar al medio en que se encuentren permitiendo que los grupos polares o hidrofílicos interactúen con las moléculas de agua o medio acuoso y van a esconder sus partes hidrofóbicas no polares para que no interactúen y que queden fuera del medio acuoso (Romero Norabuena, 2018).

2.2.2.2. Propiedades de los coloides. Estas propiedades no permiten que los coloides sedimenten de forma instantáneamente.

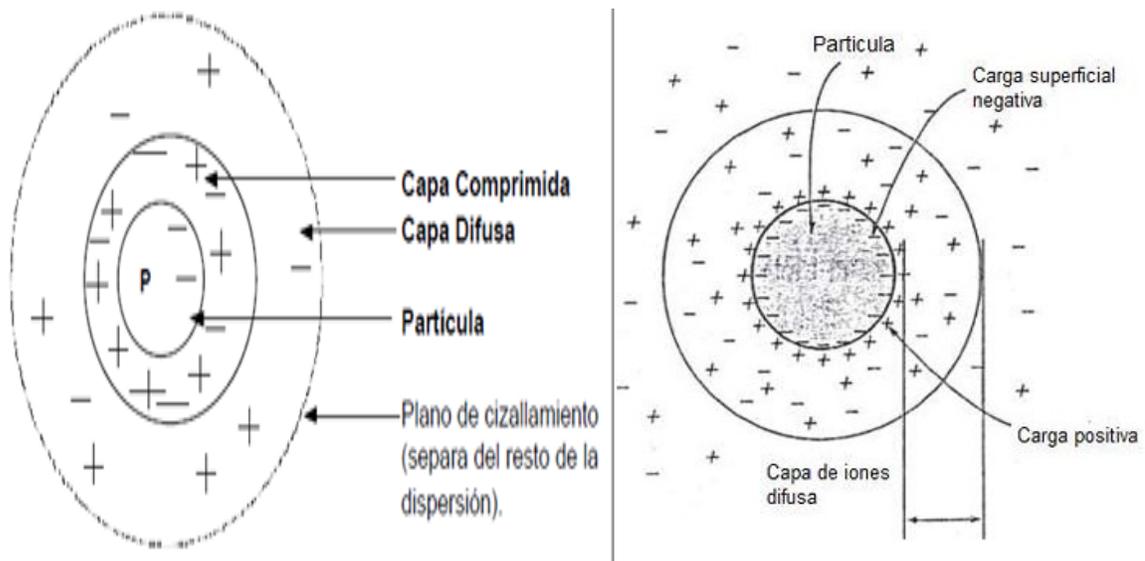
2.2.2.2.1. Movimiento browniano. Bombardeo desigual y casual de las partículas en suspensión con las moléculas del líquido, al incrementar la temperatura del líquido las moléculas adquieren mayor energía cinética y aumenta el movimiento browniano (Rodríguez Salcedo, 2008).

2.2.2.2.2. Difusión. Debido al movimiento las partículas coloidales tienden a dispersarse por todas partes en el líquido (Arena Díaz, 2019).

2.2.2.2.3. Doble Capa. Debido a que los coloides presentan en su superficie grandes áreas, estos adsorben iones en cantidades diferentes, produciendo cargas eléctricas sobre su entorno surgiendo así la doble capa, propiedad que contribuye a la estabilidad de las partículas coloidales (Rodríguez Salcedo,2008). Como la mayoría de las superficies de los coloides son negativas, existen mayores iones positivos que negativos en la interfaz (sólido - líquido) que en conjunto con la carga negativa del coloide forman la doble capa eléctrica o capa compacta, a la zona donde se encuentran mayores iones positivos dentro de la doble capa eléctrica se llama capa de Stern o capa comprimida, a su vez, seguido de la doble capa eléctrica se encuentra la capa difusa formada por iones negativos y positivos resultado de la aproximación de estos a los iones de la capa de Stern generando la fuerza de repulsión entre los coloides Vargas (como se citó en Arena Díaz, 2019, p.16).

Figura 1

Doble capa de una partícula coloidal.



Fuente: Andía (como se citó en Castro, 2020)

Según Rodríguez Salcedo (2008), para lograr la inestabilización de las partículas coloidales y poderse agrupar entre ellas, se debe reducir las fuerzas de repulsión, para que prevalezcan las fuerzas de atracción entre cada partícula de tal manera permitan la unión entre ellas. Para disminuir la estabilidad o reducir las fuerzas de repulsión de las partículas coloidales, se logra mediante dos mecanismos.

1. Ajustando el pH, para que la carga de la partícula se anule.
2. Añadiendo iones de carga eléctrica contraria al de los coloides, mientras mayor sea la valencia del ion que se añade, mayor será su influencia de coagulación.

2.2.2.2.4. Estabilidad e inestabilidad de los coloides.

Estabilidad. Se refiere a la capacidad de las partículas de mantenerse como entidades independientes dentro de un líquido, a continuación, se presenta la característica que interfiere en la estabilidad de los coloides Bratby (como se citó en Arena Díaz, 2019).

- La presencia de carga superficial en la interface entre el coloide y el líquido, el material coloidal presente en el agua en su gran mayoría posee una superficie cargada negativamente y permanecen estables debido a la fuerza de repulsión existente entre ellas.

Desestabilización o atracción. Permite la unión entre las partículas coloidales, según Vargas (como se citó en Arena Díaz, 2019), los factores que intervienen en la desestabilización son los siguientes:

- **Movimiento browniano.** Permite que las partículas entren en contacto, lo que constituye un requerimiento para la desestabilización (Arena Díaz 2019).

- **La fuerza de Van der Waals.** Esta es una fuerza débil de origen eléctrico, constituye la principal fuerza atractiva entre las partículas coloidales. Estas fuerzas siempre

son atractivas y decrecen rápidamente con la distancia. Son resultado de la interacción de dipolos permanentes o inducidos en las partículas (Arena Díaz 2019).

- **Remoción de las partículas coloidales.** Para alterar superficialmente el material coloidal dentro de una solución o líquido se realizan tres procesos (Arena Díaz 2019).

1. Incrementando la adsorción de las partículas a un medio filtrante.
2. Agregación de partículas para formar partículas más grandes.
3. Precipitación de los materiales disueltos.

2.2.2. Coagulación

Es un proceso de desestabilización de las partículas coloidales a través de la neutralización de sus cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo la aglomeración y formulación de flóculos Kirchner (como se citó en López, 2018).

La coagulación comienza mediante la agregación del coagulante que consiste en inestabilizar a los coloides mediante la remoción de las fuerzas que los mantienen separados, los cuales inicialmente son muy pequeños, pero se juntan y forman aglomeraciones mayores capaces de sedimentar Andia (como se citó en Álvarez, 2019).

2.2.2.1. Etapas o fases de la coagulación.

Núñez Álvarez (2014), presenta 5 etapas o fases de la coagulación, el proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto.

1. Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
2. Formación de compuestos químicos poliméricos.
3. Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
4. Adsorción mutua de coloides.
5. Acción de barrido.

2.2.2.2. Mecanismos de coagulación.

2.2.2.2.1. *Coagulación por comprensión de la doble capa.* Al incrementar la concentración de los coagulantes a la muestra de agua se incorporan en la solución contraiones lo que permite que su carga de la partícula se contraiga disminuyendo así las fuerzas repulsivas, permitiendo la eliminación de la barrera de energía; sin embargo, el exceso de electrolitos agregados en la solución permite que los coloides no puedan absorber los contraiones de los que su carga primaria lo permite (Rodríguez Salcedo,2008).

Cuando la concentración de los contraiones en la dispersión es baja, el grosor de la doble capa eléctrica es alto, dos coloides no pueden acercarse entre sí cuando el grosor de la doble capa eléctrica es alto y por tanto el coloide es estable; cuando la concentración de los contraiones se incrementa, se da una reducción del grosor de la doble capa eléctrica o también llamada compresión de la doble capa eléctrica (Arena Díaz, 2019, p.17).

2.2.2.2.2. *Coagulación por neutralización y adsorción.* El efecto de adsorción y neutralización de la carga se encuentra estrechamente ligado al de compresión de la doble capa; este tipo de coagulación, se da cuando la cantidad de coloides presentes en el agua es grande, donde al ser vaciado el coagulante al agua turbia, los productos solubles de los coagulantes son adsorbidas por los coloides formándose los flóculos en un tiempo muy corto, de forma casi instantánea (Núñez Álvarez, 2014). Esto se debe a la gran cantidad de partículas coloidales presentes en el agua y al encontrarse más próximas entre ellas, tendrán una fuerza de atracción mayor, lo que favorecerá el proceso de coagulación de una forma casi instantánea, lo que requerirá una menor cantidad de coagulante (López Pérez, 2018).

2.2.2.2.3. Coagulación por barrido. En la que se producen las interacciones entre el coloide y el hidróxido precipitado; este tipo de coagulación se presenta cuando el agua presenta baja turbiedad o sea la cantidad de partículas coloides es pequeña, la coagulación se efectuará porque las partículas serán enredadas al producirse una sobresaturación del coagulante añadido (Núñez Álvarez, 2014). En este caso, debido al tamaño y a la distancia de las partículas, las fuerzas de atracción son menores, por lo cual, se requiere de una mayor cantidad de coagulante y energía para desestabilizarlas (López Pérez, 2018).

2.2.2.2.4. Coagulación por puente químico. La adsorción de contraiones se realiza mediante los enlaces de hidrogeno, iónicos, covalentes, etc., entre las superficies de los coloides y las moléculas adsorbidas es decir las moléculas quedaran adheridas a puntos fijos de adsorción y el número de moléculas podrá aumentar hasta cambiar la carga del coloide de negativo a positivo (Rodríguez Salcedo,2008).

2.2.2.2.5. Coagulación por atrapamiento de partículas coloidales en un precipitado. Van formando un precipitado cuando se añaden al agua y la partícula coloidal actúa como sitio nuclear, para que el precipitado se forme quedando el coloidal atrapado dentro de él (Arenas Díaz, 2019). Este mecanismo no depende de la neutralización de la carga de los coloides, la coagulación puede no corresponder a aquella teoría donde la potencial zeta sea mínima (Saenz Tahua, 2015).

2.2.2.2.6. Adsorción y enlace de puente inter partícula. Las moléculas poliméricas compuestas por largas cadenas de iones, gozan de la propiedad de presentar sitios ionizables a lo largo de su cadena, estos sitios ionizables forman sitios activos del coagulante que atrae a una partícula coloidal, al adsorber al coloide en uno de sus

extremidades, deja el resto de la cadena libre, de tal forma que pueda flotar en el líquido y adherirse a su vez a otro coloide (Rodríguez Salcedo, 2008), (Saenz Tahua, 2015) y (Vilavila Morales, 2018).

Según Saenz Tahua (2015), estos polímeros se clasifican en:

1. **Catiónicos:** presentan sitios ionizables positivos.
2. **Aniónicos:** presentan sitios ionizables negativos.
3. **No iónicos:** no presentan sitios ionizables.
4. **Anfolíticos:** presentan sitios ionizables positivos y negativos

Cabe mencionar que si no hay colides libres para la adsorción, las partes dilatadas del coagulante serán adsorbidas en la misma partícula coloidal y este polímero no servirá como puente, por lo que cabe recordar que si existe una excesiva carga del polímero ocurrirá una reestabilización de los coloides Bravo (como se citó en Vilavila Morales, 2018).

“Se ha observado que muchas veces los polímeros con carga negativa son efectivos para coagular coloides con carga negativa, fenómeno que no puede ser explicado de acuerdo con modelos basados en la neutralización de cargas” (Saenz Tahua, 2015, p.30).

2.2.2.3. Tipos de coagulantes.

2.2.2.3.1. Coagulantes sintéticos. “Son utilizados para el tratamiento del agua de tipo industrial y doméstico, pero también para la eliminación de metales pesados, aceites, grasas, fosfatos, etc” Nieto (como se citó en López, 2018). Entre los principales coagulantes químicos utilizados para desestabilizar las partículas coloidales y producir los flóculos son: sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso (Núñez Álvarez, 2014).

2.2.2.3.2. Coagulantes naturales. Conocidos también como biocoagulantes y polímeros naturales, estas sustancias son extraídas de los tejidos de las plantas o animales, muchos de los compuestos de los coagulantes son: proteínas, polisacáridos, mucílagos, taninos y alcaloides, que permiten la desestabilización de los coloides. Existe un gran interés por investigar a los coagulantes naturales que puedan sustituir a los actuales, porque estos son amigables con el medio ambiente y más seguros para el ser humano. Algunos de estos coagulantes naturales poseen además propiedades antimicrobianas, por lo que reducen o eliminan el contenido de microorganismos patógenos susceptibles de producir enfermedades (Núñez Álvarez, 2014).

De acuerdo a López Pérez (2018), menciona que el uso de coagulantes de origen sintético para la potabilización, tales como el sulfato de aluminio o cloruro férrico, es cuestionada debido a que advierte que se ha relacionado con la existencia de algunas enfermedades con la presencia de aluminio residual en el agua potable y entre otros motivos tenemos lo siguiente. (p. 20)

- Relación con la enfermedad de Alzheimer
- Empeoramiento de enfermedades neurodegenerativas.
- Relación con el cáncer.

2.2.2.4. Factores que influyen en la coagulación

pH. Uno de los factores que influye en el proceso de coagulación, a valores de pH bajos prevalece una superficie cargada positivamente; por el contrario, a valores de pH altos prevalece una superficie cargada negativamente (Arena Díaz, 2019).

Temperatura del agua. López Pérez (2018), menciona que de 0° a 10° se estaría impidiendo el acercamiento de los coloides para su desestabilización, asimismo la

viscosidad de agua se incrementa y con ello el transporte de los coloides se anula; de 10° a 40° la eficiencia en la remoción de turbidez mejoraba al aumentar la temperatura, esto porque al aumentar la temperatura, incrementa también las colisiones de las partículas coloidales.

Dosis del coagulante. Influye en la eficiencia de la coagulación; una mínima dosis no permitirá neutralizar por completo la carga de la partícula coloidal formándose micro flóculos elevándose aún más la turbiedad; a elevadas dosis generará una inversión de cargas de la partícula coloidal, permitiendo a la superficie de la partícula adsorber el exceso del coagulante formándose de igual manera micro flóculos muy difíciles de sedimentar (Campos Castro, 2020).

Concentración del coagulante. Se debe tener en cuenta que la cantidad de coagulante añadido es muy pequeña en comparación al volumen del agua a ser tratado, para lo cual, es necesario una suficiente turbulencia que asegure la dispersión del coagulante en toda la masa de agua para que entre más rápido y más fácilmente en contacto con el mayor número de partículas coloidales; asimismo, soluciones muy diluidas pueden hidrolizarse antes de su aplicación, formando productos que no son favorables en el proceso de coagulación (López Pérez, 2018).

Así mismo López Pérez (2018), menciona que “para muestras de turbidez baja (20-50 UNT) la concentración óptima es del 2%; para muestras de turbiedad media (100-300 UNT) es del 1%; y para muestras de 500 UNT es de 0.5%” (p.1).

Mezcla de la solución. A una agitación desigual hará que en la solución solo en algunas partes se concentre el coagulante y otras partes una mínima o nula cantidad del

coagulante; es por eso que la agitación debe ser intenso y homogéneo en toda la solución (Campos Castro, 2020).

2.2.3. Floculación

Es un proceso que sigue después de la coagulación, se podría decir que la floculación va de la mano con la coagulación porque la coagulación se encarga de eliminar las cargas eléctricas que contiene el colide, permitiendo la unión y la adherencia de esta, formándose flóculos inicialmente de menor tamaño a aglomeraciones grandes capaces de sedimentar con facilidad, en la floculación un mezclado lento sería ideal porque permitiría juntar poco a poco los flóculos sin romper estos ya formados Aguilar (como se citó en Álvarez, 2019).

2.2.3.1. Tipos de floculación. Normalmente, se conoce a la floculación como la aglomeración de colides desestabilizados, pero la floculación pasa por dos mecanismos de transporte que son: floculación pericinética y floculación ortocinética (Loza Pacheco, 2014).

2.2.3.1.1. Floculación pericinética o browniana. Es un movimiento aleatorio e irregular de las partículas principalmente menores a 1 micrón suspendidas en el agua, como el resultado del choque de dos o más moléculas en un movimiento rápido, este movimiento browniano se caracteriza por tener movimientos en zigzag debido a la relación de la partícula con la temperatura del agua, esta temperatura hace que la partícula cambie de dirección y velocidad, cuanta más pequeña es la partícula más desordenada es su trayectoria (Gómez Puentes, 2005).

2.2.3.1.2. Floculación ortocinética o gradiente de velocidad. Especialmente este movimiento se da en las partículas suspendidas mayores a 1 micrón por la influencia

de una energía ya exterior (mecánica o hidráulica) en el movimiento del agua, con el objetivo de que estas partículas mayores (1 micrón) se encuentren o choquen con las partículas menores, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran (Gómez Puentes, 2005).

2.2.4. Sedimentación

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación, está relacionada a la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua, estas partículas deberán tener un peso mayor que el fluido (Romero Norabuena, 2018). Se basa en la diferencia de peso específico entre los sólidos suspendidos y el agua, permitiendo que las partículas más pesadas se asientan en el fondo de un tanque de sedimentación (Arboleda et al., 1992).

2.2.4.1. Factores que afectan la sedimentación

Densidad de las partículas: Las partículas más densas se asientan más rápidamente que las de menor densidad. La densidad relativa de las partículas en comparación con el agua (gravedad específica) determina la velocidad de sedimentación (Arboleda et al., 1992).

Tamaño y forma de las partículas: Las partículas más grandes y de forma más aerodinámica sedimentan más rápido. Las partículas finas y coloidales requieren procesos adicionales como la coagulación y floculación para aumentar su tamaño y facilitar su sedimentación (Howe et al., 2016).

Temperatura del agua: La temperatura influye en la viscosidad del agua y la velocidad de sedimentación. A temperaturas más bajas, la velocidad de sedimentación

disminuye, y puede ser necesario ajustar las dosis de químicos coagulantes (Arboleda et al., 1992).

Condiciones hidráulicas: El diseño del tanque de sedimentación, incluyendo la velocidad del flujo y el tiempo de detención, afecta la eficiencia del proceso. El tiempo de detención debe ser suficiente para permitir la sedimentación de los sólidos sin llegar a descomponerse y generar malos olores (Howe et al., 2016).

2.2.5. Descripción botánica de *M. oleifera*

Tabla 1

Clasificación taxonómica M. oleifera

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Superdivisión	Spermatophyta
División	Magnolophyta
Clase	Eudicots
Subclase	Rosids
Orden	Brassicales
Familia	Moringaceae
Género	<i>Moringa</i>
Especie	<i>Moringa oleifera</i>

Fuente: Arenas Díaz (2019)

2.2.5.1. Origen y Distribución

M. oleifera es una especie arbórea perteneciente a la familia Moringaceae. Es originaria de las regiones subhimalayas del noroeste de la India, Paquistán y Afganistán, donde crece espontáneamente al pie de la cordillera del Himalaya. Desde su lugar de origen, se ha extendido a muchas regiones del mundo con clima tropical o subtropical, incluyendo Arabia, África tropical y subtropical, Madagascar, Sudeste de Asia, Sri Lanka,

Filipinas, islas del Caribe y del Pacífico, y América Latina (Botanical-online, 2020) y (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020). En Perú, se encuentra principalmente en las regiones de la costa y la selva baja, debido a su capacidad para crecer en climas cálidos y secos (Chepote Cavero, 2018).

2.2.5.2. Características Botánicas

M. oleifera es un árbol de crecimiento rápido que puede alcanzar hasta 12 metros de altura, tiene un tronco delgado y ramas extendidas con hojas compuestas de pequeños foliolos verdes, las flores son fragantes y blancas, y se agrupan en racimos, el fruto es una vaina larga y delgada que contiene semillas redondas de color castaño (FAO, 2020).

El coagulante utilizado en esta investigación son las semillas de *M. oleifera*, las semillas presentan una forma redonda, al quitar la cáscara, se encuentra un endospermo blanquecino oleaginoso rico en proteínas, vitaminas y minerales. La composición aproximada de las semillas incluye 4% de humedad, 38.4% de proteína cruda, 34.7% de aceite, 3.5% de fibra y 3.2% de cenizas (Sandoval y Laines, 2013).

Tabla 2

Composición proximal de las semillas de M. oleifera

Parámetro	Abdulkarim <i>et al.</i> (2015) (Malasia)	Leone <i>et al.</i> (2016)	Adegbec <i>et al.</i> (2016) (Nigeria)
Grasa/Aceite	30.8	36.7	32.50
Proteínas	38.3	31.4	39.57
Carbohidratos	16.5	18.4	7.44
Fibra	4.5	6.8	5
Ceniza	6.5	4.4	5
Humedad	7.9	5.7	10.5

Fuente: Arena Díaz (2019).

La *M. oleifera* está compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y lípidos, la sustancia soluble que presenta la *M. oleifera* es la proteína coagulante y su composición principal es el aminoácido (Arena Díaz, 2019).

Tabla 3

Formas de la moringa en su actividad de coagulación

Formas de moringa	Actividad de coagulación
Vainas verdes:	
Vainas enteras	Ausente
Semillas	Ausente
Corteza de vainas verdes	Ausente
Vainas verdes secadas	Ausente
Vainas secadas:	
Vainas enteras	Ausente
Semillas no descascaradas	
No filtrado	Presente
Filtrado	Presente
Residuos sólidos	Ausente
Semillas descascaradas	
No filtrado	Presente
Filtrado	Presente
Residuos sólidos	Ausente
Corteza de vainas	Ausente
Corteza de semillas	Ausente

Nota. “Presente” = Remoción de turbidez de 80% y 90%; “Ausente” = Remoción de turbidez menor a 30%.

Fuente: Ndabigengesere *et al.* (como se citó en Alvarez Chancasanampa, 2019).

Las semillas se pueden utilizar con cáscaras o sin cáscaras, reduciendo la turbidez máxima de 95% y 98.2% respectivamente (Campos Castro, 2020).

2.2.5.3.Mecanismo de coagulación

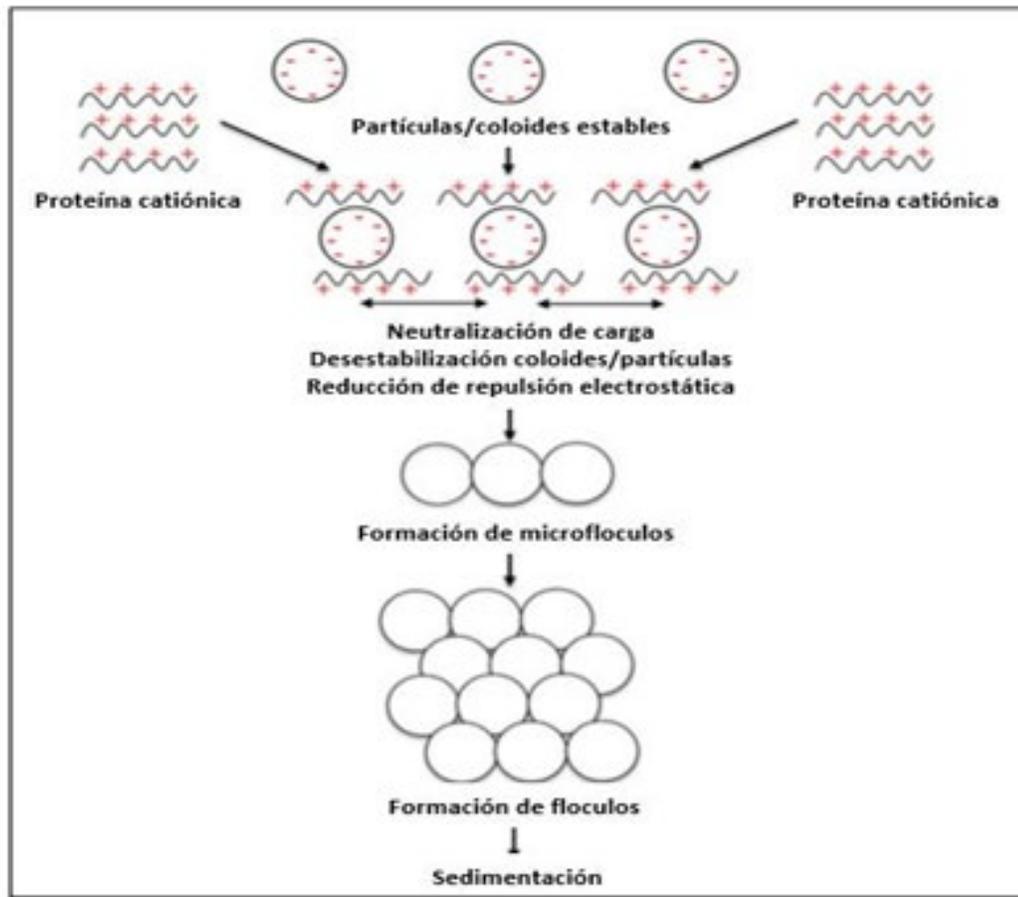
La *M. oleifera* tiene 17 aminoácidos: glicina (Gli), prolina (Pro), alanina (Ala), ácido aspártico (Asp), serina (Ser), ácido glutaminico (Glu), arginina (Arg), histidina (His),

treonina (Tre), valina (Val), fenilalanina (Fen), tirosina (Tir), metionina (Met), lisina (Lis), cistina (Cis), isoleucina (Ile) y leucina (Leu), De los 17 aminoácidos, ocho son aminoácidos no polares: Ala, Gli, Pro, Met, Val, Leu, Ile y Fen, tienen la característica de ser hidrófobos, es decir, estos no tienen afinidad por el agua; los nueve aminoácidos restantes son polares, Tre, Ser, Cis, Tir, Arg, His, Asp, Lis y Glu, tienen la característica de ser hidrófilos, con tendencia a asociarse con el agua. De estos nueve aminoácidos, cuatro no poseen carga, Tre, Ser, Cis y Tir son levemente polares, tres presentan carga netamente positiva, His, Lis y Arg son fuertemente polares y dos presentan carga netamente negativa, Glu, Asp son polares, todos estos aminoácidos suelen ubicarse en la superficie de la proteína, en contacto directo con el medio acuoso que los rodea (Sáenz Damian 2019) y (Campos Castro 2020).

Esta existencia de aminoácidos catiónicos (Lis, Arg y His) y de aminoácidos aniónicos (Asp, Glu), da paso a deducir que la proteína activa de la semilla de *M. oleifera*, es un polielectrolito, que tiene en su superficie aminoácidos polares, tanto positivos como negativos; estos aminoácidos por las cargas que posee permite que la *M. oleifera* al ingresar a una muestra de agua con alta turbiedad neutralice las cargas de las partículas coloidales, reduciendo las fuerzas de repulsión existente entre ellas; para seguir con la adsorción que consiste que sus cargas de estas partículas solubles o cadenas polipeptídicas de *M. oleifera*, sean adheridas por las superficies de los coloides, formando así flóculos grandes y de mayor peso para finalmente sedimentar (Sáenz Damian 2019), (Campos Castro 2020) y (Arena Díaz 2019).

Figura 2

Mecanismos de coagulación/floculación por proteínas catiónicas de M. oleifera



Fuente: Villaseñor-Basulto et al. (como se citó en Arango y Martínez, 2020).

2.2.6. Descripción botánica de la *C. spinosa*

Tabla 4

Clasificación taxonómica de la C. spinosa

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Superdivisión	Spermatophyta

División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Género	<i>Caesalpinia</i>
Especie	<i>Caesalpinia spinosa</i>

Fuente: Sanabria Pérez (2011)

2.2.6.1. Origen y Distribución

La tara, conocida como “el oro de los incas”, ha sido recientemente objeto de estudio para el tratamiento de efluentes industriales por sus altos contenidos de taninos en la vaina y gomas en el endospermo de las semillas Revelo *et al.* (como se citó en Banchón *et al.*, 2016).

Conocido comúnmente como tara o taya, planta que pertenece a las familias leguminosas, con poca exigencia agrícola, el coagulante que se obtuvo fue la semilla, estas semillas están contenidas en vainas de 8 a 10 cm de largo por 2 cm de ancho que contienen 4 a 7 semillas semiredondas de 6 a 7 mm, de color pardo negruzco cuando están maduros. (ALNICOLSA, 2021, p. 1)

2.2.6.2. Características Botánicas

La semilla presenta tres partes; primero la cutícula o cáscara, dura y fuertemente adherida al endospermo, segundo el endospermo o goma es semitransparente muy dura también y tercero el germen, que representa el núcleo de las semillas (Segura Pelaez, 2023). Los porcentajes promedios del análisis químico de la semilla son: humedad 12.01%, proteínas 19.62%, cenizas 3%, fibra bruta 4%, extracto etéreo 5.20%, carbohidratos 56.17% (Cruz Lapa, 2004).

La goma de tara o hidrocoloide, posee las características propias de las gomas vegetales, actúa como espesante, aglomerante, (Nieto y Hidrobo, 2013). Lo cual forma parte del mecanismo de coagulación (Revelo et al, 2015). La goma también tiene gran capacidad de retener agua y formar suspensiones coloidales, así como también para estabilizar partículas coloidales diversas (Bastidas Pimentel, 2013).

Tabla 5

Composición químico proximal por 100g. de semilla

	Vainas	Semillas	Goma	germen	cáscara
Humedad	11.70%	12.01%	13.76%	11.91%	10.44%
Proteínas	7.17%	19.62%	2.50%	40.22%	1.98%
Cenizas	6.24%	3%	0.53%	8.25%	3.03%
Fibra bruta	5.30%	4%	0.86%	1.05%	1.05%
Extracto etereo	2.01%	5.20%	0.48%	12.91%	0.97%
Carbohidratos	67.58%	56.17%	81.87%	25.66%	83.56%
Azúcares	-	-	83.20%	-	-
Taninos	62%	-	-	-	.-

Fuente: Sanabria Pérez (2011)

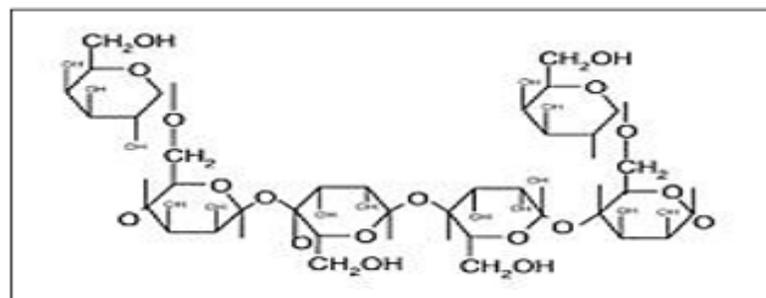
2.2.6.3.Mecanismo de coagulación

El endospermo de la especie de *C. spinosa* está conformada por polisacáridos hidrocoloidales de alto peso molecular que se pueden disolver en el agua y el mayor componente del hidrocoloide es el galactomanano que son moléculas no iónicas formada principalmente por manosa y galactosa, la proporción entre manosa y galactosa es de 3:1 (por cada tres moléculas de manosa, una ramificación de galactosa), siendo estos dos componentes importantes para la coagulación ya que pertenecen al grupo de estabilizantes, espesantes y gelificantes (Sanabria Pérez, 2011) y (Bastidas Pimentes, 2013).

Esta formación de geles se produce debido a la presencia de diversos polisacáridos hidrofílicos que a su vez poseen numerosos grupos hidroxilos libres (OH) siendo este grupo muy importante porque favorecen la solubilización e hidratación, lo que le permite al coagulante de esta especie que al introducirse en muestras de aguas turbias se rehumedezcan rápidamente y estas moléculas vayan usándose como adhesivos, para que las partículas coloidales se estabilicen y vayan aumentando de tamaño, permitiendo la floculación para posteriormente la sedimentación (Sanabria Pérez, 2011) y (Bastidas Pimentel, 2013).

Figura 3

Estructura química del endospermo de C. spinosa



Fuente: Sanabria Pérez (2011)

2.2.7. Descripción botánica de la *O. ficus-indica*

Tabla 6

*Clasificación taxonómica de la *O. ficus indica**

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Cactaceae
Subfamilia	Opuntioideae

Género	<i>Opuntia</i>
Especie	<i>ficus-indica</i>
Nombre binomial	<i>O. ficus-indica</i> (L.) 1768 Mill

Fuente: López Pérez (2018)

2.2.7.1. Origen y Distribución

O. ficus-indica, conocida comúnmente como nopal, tuna o chumbera, es una especie de cactus originaria de México. Ha sido introducida en muchas regiones del mundo, incluyendo América del Sur, el suroeste de Estados Unidos, la cuenca mediterránea, Australia y África. En México, es una planta de gran importancia agronómica y cultural, cultivada por sus frutos y tallos comestibles desde tiempos precolombinos (Ramírez et al., 2012).

2.2.7.2. Características Botánicas

Conocido como tuna, perteneciente a la familia de las Cactáceas del género *Opuntia*, que pueden desarrollarse en climas muy extremas, la tuna es un vegetal arborecente de 3 a 5 m de alto, su tronco es leñoso y mide de entre 20 a 50 cm de diámetro, sus ramas están formadas por pencas de color verde opaco denominadas cladodios de 30 a 60 cm. de largo x 20 a 40 cm de ancho y de 2 a 3 cm de espesor, con areolas de las cuales brotan las espinas, de aproximadamente 4 a 5 mm de longitud (Gerencia Regional Agraria la Libertad [GRAL], 2009).

Tabla 7

Composición química de la O. ficus-indica

Humedad	12.96 %
Cenizas	9.64%
Grasas totales	0.73%
Proteínas	7.8%

Carbohidratos totales	68.93%
-----------------------	--------

Fuente: Jiménez Fernández (2014).

La especie *O. ficus indica* presenta en sus componentes proteínas, carbohidratos, así como también la ausencia de taninos y alcaloides.

Villaloba et al. (como se citó en López Pérez, 2018), realizó una caracterización del coagulante en polvo, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 8

Propiedad del polvo de cactus O. Ficus-indica

Parámetro	Valor
Ph	6.19
Estado físico	Sólido
Color	Blanco marfil
Nitrógeno X 6.35 (%)	7.39
Carbohidratos	58.77
Densidad (g/mL)	0.626

Fuente: Villabona *et al.* (como se citó en López Pérez, 2018).

2.2.7.3.Mecanismo de coagulación

La *O. ficus indica* presenta mayor cantidad de carbohidratos algunos autores Yang, Almendárez y Arboleda, (como se citó en López Pérez, 2018) indican que el alto contenido de carbohidratos favorece la coagulación.

Este género *Opuntia* se caracteriza por la producción de un hidrocoloide conocido como mucílago este mucílago son sustancias poliméricas complejas de naturaleza carbohidrato, con una estructura altamente ramificada, que contiene proporciones variables de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa y D-xilosa, los cuales tienen efectos sinérgicos con ácidos galacturónicos para iniciar el efecto de desestabilización coloidal mediante

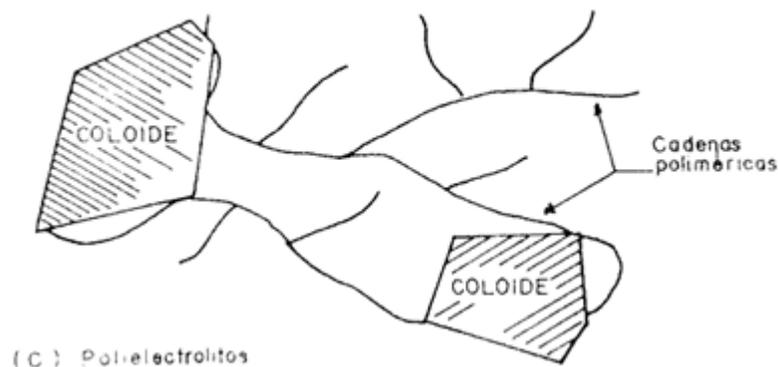
formación de puentes entre partículas Villabona et al. (como se citó en López Pérez, 2018) y (Jiménez Fernández, 2014).

Así mismo Villanueva Abanto (2019), Cáceres y Castiblanco (2020), determinan que el componente clave del coagulante *O. ficus Indica* es el ácido galacturónico que actúa como agente activo del polvo obtenido de los cladiolos de *O. ficus*, debido a que se caracterizan por ser un polielectrolito aniónico que va formando puentes.

El mecanismo de coagulación de *O. ficus-indica* es la de adsorción y puente intermolecular que consiste en lo siguiente, las moléculas poliméricas compuestas por largas cadenas de iones, gozan de la propiedad de presentar sitios ionizables a lo largo de su cadena, estos sitios ionizables forman sitios activos del coagulante que atrae a una partícula coloidal, dejándose adsorber por el coloide en uno de sus extremidades y dejando el resto de la cadena libre del coagulante de tal forma que pueda flotar en el líquido y adherirse a su vez a otro coloide (Rodríguez Salcedo, 2008), (Saenz Tahua, 2015) y (Vilavila Morales, 2018).

Figura 4

Mecanismo de coagulación de O. ficus-indica



Fuente: Rodríguez Salcedo (2008)

2.2.8. *Diseño de Bloques Completamente al Azar*

El diseño de bloques completamente al azar (DBCA), es un método de diseño experimental que se utiliza para reducir la variabilidad en los datos experimentales. En este diseño, los sujetos se dividen en bloques homogéneos y luego se asignan aleatoriamente a los tratamientos. El DBCA es útil cuando hay una fuente de variación que no está bajo control del experimentador y que puede afectar los resultados del experimento. Por ejemplo, se está realizando un experimento agrícola para evaluar el efecto de diferentes fertilizantes en el rendimiento del cultivo, este diseño se puede utilizar para reducir la variabilidad debido a las diferencias en el suelo o a las condiciones climáticas (Díaz Rosell, 2006).

2.2.9. *Experimentos factoriales*

Son experimentos en los que se estudian simultáneamente dos o más factores, estos se diferencian de los experimentos simples en los que solo se estudia un solo factor. Estos en si no constituyen un diseño experimental como muchas veces se cree, más bien ellos deben ser llevados en cualquiera de los diseños, tal como el bloque completamente al azar, cuadrado latino, etc.

En un diseño factorial, cada uno de los niveles de cada factor independiente se combina con cada uno de los niveles de los demás, para así realizar todas las combinaciones posibles. Cada una de las combinaciones se convierte en una condición para el experimento. Esto produce que los experimentos sean más eficientes, dado que se puede proporcionar información de los efectos de todos los factores en relación a los niveles de los otros Kuehl (como se citó en Fernández Bao, 2020). Este efecto se define

como, el cambio en la respuesta del experimento producido por un cambio de nivel en el factor. Montgomery (como se citó en Fernández Bao, 2020, p.16)

Para realizar un diseño factorial se selecciona un número fijo de niveles para cada uno de los factores, y corren los experimentos en todas las posibles combinaciones.

Los factores pueden ser tanto cualitativos como cuantitativos, y los efectos que causan pueden ser de tres tipos, simples, principales y de interacción.

- **Efectos simples:** Se observan al comparar entre todos los niveles de un factor a un solo nivel del otro factor.

- **Efectos principales:** Se observan al comparar entre todos los niveles de un factor promediados para todos los niveles de otro factor.

- **Efecto de interacción:** Estos miden la diferencia entre los efectos simples de un factor a diferentes niveles de otros.

2.2.10. Diseños factorial completo 3^k

Los diseños factoriales 3^k cuentan con un número de factores k , los cuales tienen tres niveles cada uno, por lo que una réplica completa de este diseño tendrá un número de observaciones igual a 3^k , esto nos muestra una desventaja con respecto al diseño factorial 2^k , que requiere un mayor número de experimentos en este nuevo diseño; Sin embargo, un experimento en los cuales se tienen un número pequeño de factores puede ser una buena alternativa, este diseño permite que la relación entre la respuesta y los factores del diseño se puedan de forma cuadrática. Maehara (como se citó en Fernández Bao, 2020, p.32)

2.2.10.1. Efectos principales

“Los efectos principales tratan a cada factor por separado, es decir, los ensayos factoriales permiten extraer información sobre la independencia o dependencia de los

factores” Underwood (como se citó en Willems y Raffaele, 2001, p.10). Cuando esta relación es de dependencia, los factores interactúan.

2.2.10.2. Interacción

“Los efectos de las interacciones miden la influencia que tienen las combinaciones de los factores en la respuesta” (Fernández Bao, 2020, p.30).

En el análisis estadístico, una interacción se refiere a la situación en la que el efecto de una variable independiente (VI) sobre una variable dependiente (VD) depende del nivel de otra variable independiente. Esto significa que los efectos combinados de dos o más variables independientes no son simplemente aditivos, sino que interactúan entre sí, afectando de manera diferente la variable dependiente (Alea Riera, et al., 2016).

2.3. Definición de términos básicos

Coagulantes naturales: “Están compuestos principalmente de polímeros de origen natural extraídos de plantas, algas o animales. Entre estos encontramos polisacáridos y sustancias solubles en agua que actúan como agentes de coagulación y/o floculación” (Servyeco, 2021, p. 1).

Polímeros: “Son compuestos orgánicos constituidos por una larga cadena de moléculas más pequeñas. los polímeros pueden ser, catiónicos (cargas positivas), aniónicos (cargas negativas), o no iónicos (carga neutra)” (Adminmgv, 2016, p. 1).

Turbidez: Parámetro fisicoquímico para medir la calidad del agua principalmente en las fuentes de abastecimiento y en agua suministrada a los usuarios, ya que a elevadas concentraciones de turbidez estos protegen a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimulando la proliferación de bacterias. (Pérez, 2005, p. 7)

Rango de dosis optimas necesarias: “Consiste en determinar la dosis de coagulante que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales, que permita la formación de un floculo grande, compacto y pesado” (Yareth, 2017, p. 4).

CAPÍTULO III

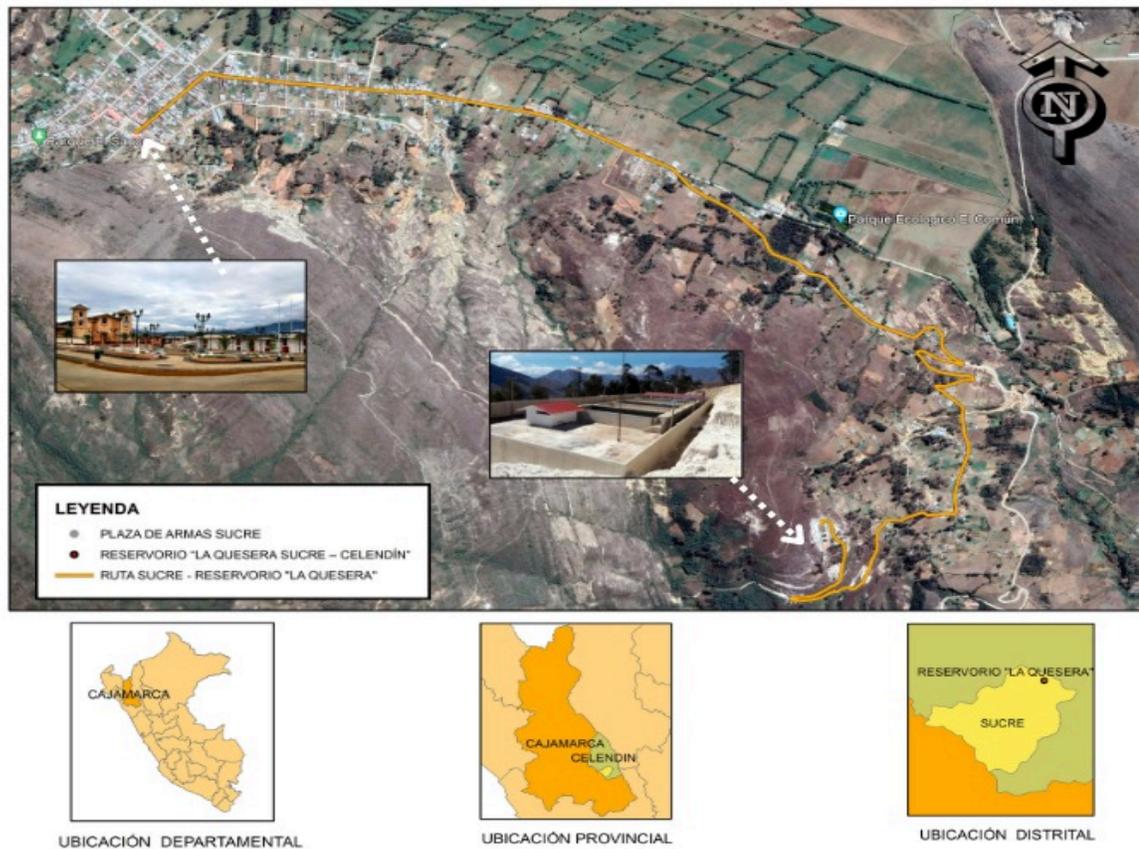
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización de la investigación

La presente investigación se realizó en la planta de tratamiento de agua potable, la Quesera, ubicado en el distrito de Sucre, provincia Celendín, departamento Cajamarca.

Figura 5

Ubicación geográfica de la investigación



3.2. Materiales

3.2.1. *Materiales de laboratorio*

- Vasos de precipitación (2 L).
- Pipeta graduada.
- Mortero de porcelana.
- Tamiz.
- Bagueta de vidrio.
- Placas Petri.
- Embudo.
- Matraz aforado.
- Fiola de 1000 ml.
- Espátula.
- Cronómetro.
- Agua destilada.
- Bolsas herméticas.
- Guantes de seguridad.

3.2.2. *Equipos*

- Turbidímetro TUB – 430.
- pHmetro EXTECH DQ700.
- Balanza analítica digital SARTORIUS ED224S.
- Estufa WTC binder.

3.2.3. *Materiales de campo*

- Cámara fotográfica.

- Etiquetas de identificación.
- Recipientes de plástico.
- Libreta de campo.
- Cámara fotográfica.
- Lápiz.
- Tijera.
- Cuchillo.
- Plumones indelebles.
- Cinta adhesiva.

3.2.4. *Material experimental*

- Semillas de *M. oleifera*.
- Semilla de *C. spinosa*
- Cladiolos de *O. ficus-indica*.
- Muestras de agua del lugar la Quesera.

3.3. Tipo y diseño de investigación

La investigación fue de carácter explicativo y experimental, explicativo porque se detalló en forma minuciosa el grado de influencia entre coagulantes naturales y su dosificación en el agua; y experimental que conllevó a la manipulación de variables.

3.4. Variables (factores), niveles y tratamientos en estudio

El arreglo factorial consistió en el estudio de un factor cualitativo, “coagulante”, con tres niveles y un factor cuantitativo, “dosis”, también con tres niveles, como se indica a continuación:

- Factor cualitativo, coagulante natural: “C”

Niveles en estudio:

- Coagulante de *M. oleifera*: C1.
- Coagulante de *C. spinosa*: C2
- Coagulante de *O. ficus-indica*: C3.

- Factor cuantitativo dosis “D”

Niveles en estudio:

- Dosis de 90 mg/L: D1.
- Dosis de 120 mg/L: D2.
- Dosis de 150 mg/L: D3.

- Operacionalización de variables

Variables independientes

- Dosis y Coagulantes

Variable dependiente

- Turbiedad

Variable interviniente

- pH

3.5. Diseño experimental y arreglo factorial

El diseño experimental utilizado fue el DBCA con arreglo factorial de 3 x 3 que tuvo las siguientes características: Un factor cualitativo, tipo “coagulante”, con tres niveles (C1, C2, C3) y un factor cuantitativo, “dosis”, con tres niveles (D1, D2, D3).

Tabla 9

Combinaciones del arreglo factorial

Tratamientos	Combinaciones
T1 (C1D1)	Coagulante <i>M. oleifera</i> a 90 mg/L
T2 (C1D2)	Coagulante <i>M. oleifera</i> a 120 mg/L
T3 (C1D3)	Coagulante <i>M. oleifera</i> a 150 mg/L
T4 (C2D1)	Coagulante <i>C. spinosa</i> a 90 mg/L
T5 (C2D2)	Coagulante <i>C. spinosa</i> a 120 mg/L
T6 (C2D3)	Coagulante <i>C. spinosa</i> a 150 mg/L
T7 (C3D1)	Coagulante <i>O. ficus-indica</i> a 90 mg/L
T8 (C3D2)	Coagulante <i>O. ficus-indica</i> a 120 mg/L
T9 (C3D3)	Coagulante <i>O. ficus-indica</i> a 150 mg/L

Cada una de las nueve combinaciones de tratamientos se asignó completamente al azar a cada una de las unidades experimentales de acuerdo con el diseño establecido en la siguiente tabla.

Tabla 10

Diseño y distribución de combinación de tratamientos.

T R A T A M I E N T O S

Repetición 1	T8	T4	T1	T5	T3	T6	T9	T2	T7
Repetición 2	T9	T1	T7	T4	T5	T3	T6	T8	T2
Repetición 3	T5	T8	T2	T7	T3	T9	T1	T4	T6
Repetición 4	T2	T7	T3	T9	T1	T4	T5	T6	T8

3.6. Evaluaciones que se realizó

Variable dependiente:

- Reducción de la turbiedad (UNT)

Variables intervinientes:

- Resultados del pH

3.7. Procedimiento de la extracción de los coagulantes

3.7.1. Trabajo de campo y gabinete

3.7.1.1. Extracción del coagulante de *M. oleifera*

1. Se compró tres kilos de semillas *M. oleifera* en Ecotienda Orgánica y Natural.
2. Se separó la cáscara de la semilla para quedar la parte céntrica de esta.
3. Con un mortero se trituro el germen de la semilla se tamizó hasta obtener partículas finas para finalmente almacenarlo en una bolsa hermética.

3.7.1.2.Extracción del coagulante *C. spinosa*

1. Se recogió 18 kilos de vainas de *C. spinosa*, bien secas en el valle de Llanguat.
2. Se seleccionó las vainas que libres de hongos.
3. Se separó las semillas de sus vainas y se remojaron durante dos días, para ablandarlo.
4. Con un bisturí se separó el endospermo de la cáscara y germen.
5. El endospermo se deshidrató a temperatura ambiente por 24 horas, ya que es muy fino.
6. Se trituró con un mortero y tamizó hasta obtener partículas finas para finalmente almacenarlo en una bolsa hermética.

3.7.1.3.Extracción del coagulante de *O. ficus-indica*

1. Se recogió 10 unidades de cladiolos de tuna de la comunidad el Limón ubicado del distrito de Utco, excluyendo aquellas que estuvieron con plagas o enfermas.
2. Se quitaron las espinas de los cladiolos de tunas para facilitar su manipulación y se lavaron para eliminar cualquier residuo que hayan estado adherido a las tunas.
3. Se cortaron en pequeños trozos y se llevaron a una estufa a temperatura de 100 °C por 24 horas.
4. Los trozos deshidratados se trituraron en un mortero hasta obtener un tamaño uniforme y se tamizó hasta obtener partículas muy finas para finalmente almacenarlo en una bolsa hermética.

3.7.2. Procedimiento del experimento

3.7.2.1. Dosificación del coagulante natural

Para la dosificación de los 3 coagulantes, primero se preparó los coagulantes a una concentración del 1%, por lo cual se pesó 10g de polvo de cada uno de los coagulantes (*M. oleifera*, *C. spinosa* y *O. ficus-indica*) y se diluyó en agua destilada de un 1L, utilizando un matraz aforado.

Para aplicar las dosis (90, 120 y 150 mg/l) de los coagulantes (*M. oleifera*, *C. spinosa* y *O. ficus-indica*) a las muestras de agua de la Quesera, se aplicó la ecuación de balance de masas, mediante el cual se determinó el volumen de los coagulantes para añadir a cada vaso precipitado, dicho volumen se encontró en función de la dosis del coagulante 1% y del volumen de la jarra de la muestra siendo el volumen de los vasos de precipitación de 1 litro.

López Pérez (2018), menciona la siguiente ecuación de balance de masas:

$$V_{(\text{COAGULANTE})} = D_{(\text{COAGULANTE})} = V_{(\text{MUESTRA})} = D_{(\text{MUESTRA})}$$
$$V(\text{COAGULANTE}) (\text{ml}) = \frac{D(\text{MUESTRA}) \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) * V(\text{MUESTRA})(\text{ml})}{D(\text{COAGULANTE}) (\text{mg/L})}$$

- $V_{(\text{COAGULANTE})}$ = Volumen del coagulante que se añadirá los vasos precipitados con la pipeta (ml)
- $D_{(\text{COAGULANTE})}$ = Dosis del coagulante al 1% (mg/L)
- $V_{(\text{MUESTRA})}$ = Capacidad de la jarra de la muestra (L)
- $D_{(\text{MUESTRA})}$ = Dosis del coagulante que se añadirá a la muestra 90, 120 y 150 (mg/L)

Tabla 11

Dosis, volumen y porcentaje de los coagulantes

CC. Coagulante (%)	Dosis de coagulante (mg/l)	Volumen del coagulante en solución al 1% (ml)
1	90	9
1	120	12
1	150	15

3.7.2.2. Proceso en la clarificación de agua turbia

Se tomaron muestras de agua de la planta de tratamiento la Quesera y se determinó la turbiedad y el pH inicial que sirvió de base para realizar las comparaciones con los resultados de la turbidez y pH final del experimento; luego se distribuyó en nueve vasos de vidrio de 1000 ml, de los nueve tratamientos se tomaron tres tratamientos para cada especie (*M. oleifera*, *C. spinosa* y *O. ficus-indica*) y a una concentración del 1% se agregaron los coagulantes a los tratamientos de acuerdo a las tres diferentes dosis (9 ml, 12 ml y 15 ml); luego a cada tratamiento se realizó una agitación intensa con una bagueta por un tiempo de cuatro minutos (proceso de coagulación), esta parte de la metodología se tomó según Villanueva Abanto (2019), luego se dejó en reposo 30 minutos con la finalidad de favorecer la floculación y sedimentación. Luego de este tiempo de sedimentación se midió la turbiedad final utilizando el turbidímetro previamente calibrado; asimismo, se midió el pH de cada tratamiento utilizando el pH metro también calibrado.

3.7.2.3. Determinación del porcentaje de remoción de turbiedad

El cálculo del porcentaje de remoción se estimó de acuerdo con la siguiente relación:

(Concentración de entrada – Concentración de salida)

$$\text{Remoción (\%)} = \frac{\text{Concentración de entrada} - \text{Concentración de salida}}{\text{Concentración de entrada}} \times 100$$

3.7.3. Tratamiento y análisis de datos

Con los resultados obtenidos después de medir la turbiedad y pH a cada uno de los tratamientos de estudio se calculó la eficiencia de cada uno de los coagulantes. El modelo estadístico utilizado fue el análisis de varianza (ANVA) para el DBCA de la turbiedad de los tratamientos en estudio y llevados a porcentajes de remoción se calculó el ANVA para el DBCA para ver si existe diferencias significativas entre la combinación de tratamientos a un nivel de significación de 0.05. Para analizar las diferencias estadísticas entre combinación de tratamientos se aplicó la prueba de Tukey. Los cálculos estadísticos y representación gráfica serán utilizando el programa de Excel. El esquema del análisis de varianza para este modelo se presenta en la tabla 12.

Tabla 12

Cuadro ANVA

Fuentes de variación	Suma de Cuadrado	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F Calculado	F Tabulado
Tratamientos	SCTr	Tr-1 = 8	CMTr	CMTr/CME	F > Fo
Bloques	SCBI	BI-1 = 3	CMBI	CMBI/CME	
Error Experimental.	SCT-SCTr-SCBI = SCE	Tr x BI = 24	CME		
TOTAL	SCT	T-1 = 35			

C.V.

3.7.3.1. Determinación de la prueba de Tukey

Para realizar esta prueba se tiene que ejecutar los siguientes pasos:



1. Determinación de $S_x = \frac{CME}{r} = \frac{38.09}{4} = 3.09$

2. Determinar $ALS(T) = AES(T) \cdot S_x = 4.81 \times 3.09 = 14.86$

AES(T) con $p = 9$ con $\alpha = 0.05$ (Tabla: Amplitudes Estudiantizadas Significativas para 0.05)

3. Resultados del porcentaje de remoción.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Turbiedad

La tabla 13 muestra los resultados de los análisis de turbiedad realizadas a cada unidad experimental, para la especie *M. oleifera* le corresponde los tratamientos T1, T2 y T3; para la especie *C. spinosa* le corresponde los tratamientos T4, T5 y T6; y para la especie *O. ficus-indica* corresponde los tratamientos T7, T8 y T9.

Tabla 13

Resultado de turbidez promedio del agua en UNT

Repeticiones	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
	<i>M. oleifera</i>			<i>C. spinosa</i>			<i>O. ficus-indica</i>			
	90	120	150	90	120	150	90	120	150	Prom.
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	Repet.
1	25.3	20.9	23.8	23.9	17.42	22.7	18.71	16.64	17.46	20.76
2	32.8	29.4	31.4	39.8	31.8	32.5	32.1	25.2	25.5	31.17
3	33.7	30.8	32.1	24.8	19.6	20.4	20	17.97	19.88	24.36
4	46.5	29.9	36.7	30.3	25.9	28.5	28.3	26	27.2	31.03
Prom Trats	34.58	27.75	31	29.70	23.68	26.03	24.78	21.45	22.51	26.83

La tabla 14, muestra el análisis de varianza (ANVA) de los nueve tratamientos con cuatro repeticiones que corresponde a las tres especies *M. oleifera*, *C. spinosa* y *O. ficus-indica*, con tres diferentes dosis 90, 120 y 150 mg/L, respectivamente.

Tabla 14

Análisis de varianza del parámetro turbiedad.

Fuentes	SC	GL	CM	Fc	Ft	Significación
Lectura	714.86	3	238.29	18.87	3.01	*
Tratamiento	595.28	8	74.41	5.89	2.36	*
Error Exper.	303.06	24	12.63			
Total	1613.20	35				

CV = 13.244542

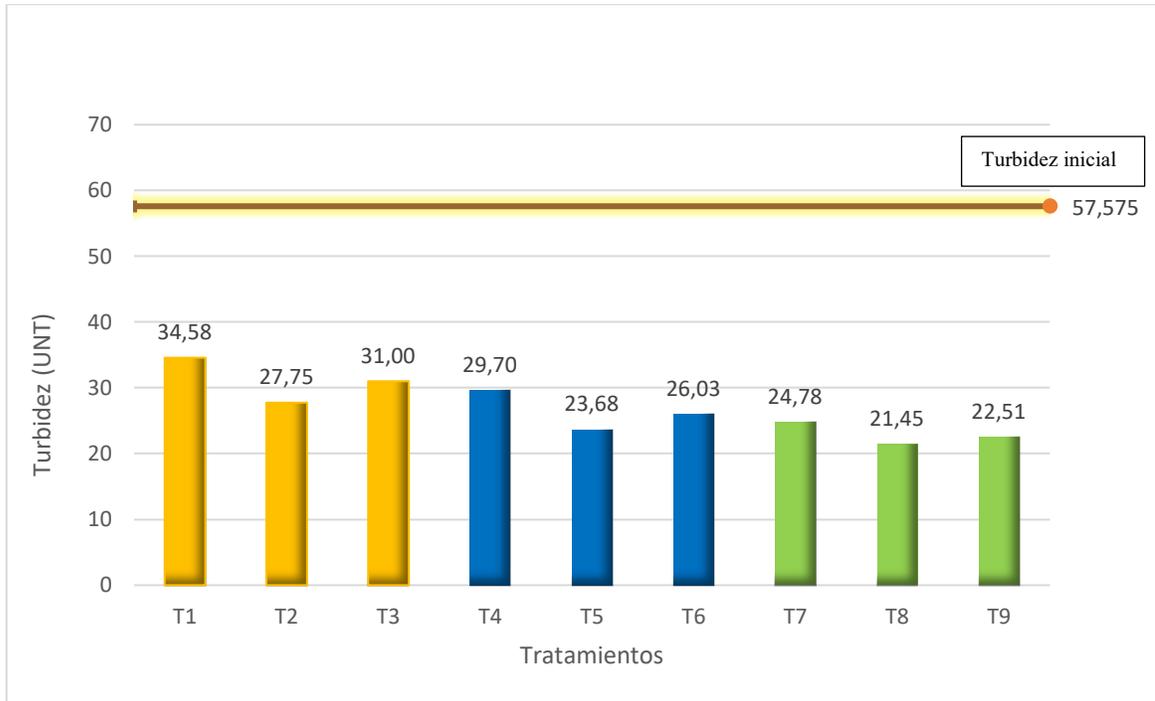
Nota. (*) Existe significación

En la tabla 14, también podemos observar que, existe una diferencia significativa estadística para la variación lectura y tratamiento, pues el F tabulado o valor crítico es menor que el F calculado, para ambos casos se trabajó bajo un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Podemos ver que para el caso de la variación lectura su F tabulado (3.01) es mucho menor que su F calculado (18.87), lo que indica que, si existen diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes lecturas o al menos una de las lecturas es diferentemente significativa a las demás; en el caso con la variación tratamientos, podemos observar también que su F tabulado (2.36) es menor que su F calculado (5.89), lo que señala que, si hay una diferencia significativa, entre los diferentes tratamientos o al menos uno de los tratamientos es diferentemente significativa a los demás.

El ANVA presenta un coeficiente de variabilidad de 13.24 %, que no sobrepasa al 30%, considerado como un valor aceptable.

Figura 6

Promedio del parámetro turbiedad.



Análisis del parámetro turbiedad del coagulante *M. oleifera*

En la figura 6, se puede apreciar los tratamientos T1, T2 y T3 que corresponden al coagulante *M. oleifera* después de aplicar las tres dosis para una turbidez inicial de 57.58 UNT se presentaron los siguientes valores, el T1 muestra una turbidez final de 34.58 UNT, seguido del T2 con una turbidez final de 27.75 UNT, y finalmente el T3 con una turbidez final de 31.00 UNT, estos resultados obtenidos coinciden con Caldera et al. (2007), que al aplicar el coagulante *M. oleifera* en muestras de agua de 75 y 150 UNT obtuvieron valores mínimos de 14.9 y 8.5 respectivamente, de igual manera Gómez Cornejo (2018), al aplicar el coagulante *M. oleifera* en muestra de agua de 578 UNT obtuvo un valor considerable de 17.14 UNT, así mismo Sáenz Damián (2019), al aplicar el coagulante *M. oleifera* en muestras de agua de 60 UNT tuvo una reducción de turbidez de 9.6 UNT, estos diferentes

resultados demuestran que el coagulante natural de *M. oleifera* si pudo reducir la turbidez inicial en todos los casos. Esto se debe porque el agente activo del coagulante de las semillas *M. oleifera* está presente en los aminoácidos polares hidrofílicos: Iones catiónicos: arginina (Arg), lisina (Lis), histidina (His) e iones aniónicos: ácido glutamínico (Glu), ácido aspártico (Asp), estos aminoácidos por las cargas que poseen permiten que la *M. oleifera* al ingresar a una muestra de agua con alta turbiedad neutralice las cargas de las partículas coloidales, es decir al ingresar este electrolito positivo al agua, la concentración de cargas positivas que se encuentran dentro de la capa difusa del coloide se vaya incrementando facilitando la eliminación de la barrera de energía, permitiendo cancelar las cargas eléctricas que se encuentran alrededor de la superficie del coloide, es en ese momento en que las fuerzas atractivas de Van der Waals supera las fuerzas de repulsión (potencial zeta) de los coloides; una vez reducido las fuerzas de repulsión sigue el proceso de la adsorción que consiste en que las partículas solubles positivas del coagulante de *M. oleifera*, sean adheridas por las superficies de los coloides negativos, formando flóculos grandes y de mayor peso para sedimentar (Sáenz Damian 2019), (Campos Castro 2020) y (Arena Díaz 2019).

Análisis del parámetro turbiedad del coagulante *C. spinosa*

Los tratamientos T4, T5 y T6 que corresponden al coagulante *C. spinosa* después de aplicar las tres dosis se presentan los siguientes resultados, para una turbidez inicial de 57.575 UNT, se presentaron los siguientes valores, el T4 muestra una turbidez final de 29.70 UNT, el T5 muestra una turbidez final de 23.68 UNT, y finalmente el T6 muestra una turbidez final de 26.03 UNT, estos resultados obtenidos coinciden con Romero Norabuena (2018), que al aplicar el coagulante *C. spinosa* en muestras de agua de 25.90 y

52.3 UNT obtuvo valores mínimos de 12.59 y 15.53 UNT respectivamente, de igual manera Ccora y Curasma (2021), al aplicar el coagulante *C. spinosa* en muestras de agua de 41.5 UNT obtuvo valores bajos de 2.79 UNT, así mismo Sáenz Damián (2019), al aplicar el coagulante *C. spinosa* en muestras de agua de 60 UNT tuvo una reducción de turbidez de 17 UNT; estos diferentes resultados demuestran que el coagulante natural de *C. spinosa* si pudo reducir la turbidez inicial en todos los casos. Esto se debe porque el endospermo de la especie de *C. spinosa* está conformada por polisacáridos hidrocoloidales el mayor componente es el galactomanano que son moléculas no iónicas formada principalmente por manosa y galactosa, su estructura de este hidrocoloide de formar redes tridimensionales permite que en cuyos espacios retengan moléculas de agua, lo que le permite al coagulante de esta especie que al introducirse en muestras de aguas se rehumedezcan rápidamente (poseen numerosos grupos de hidroxilos libres (OH)) y estas moléculas vayan usándose como adhesivos para que las partículas coloidales que se encuentran en el agua se estabilicen formando mallas tridimensionales de coágulos porosos, a la vez que van aumentando de tamaño, permitiendo la floculación y la sedimentación (Sanabria Pérez, 2011), (Bastidas Pimentel, 2013) y (Rodríguez Salcedo, 2008).

Análisis del parámetro turbiedad del coagulante *O. ficus-indica*

Finalmente, los tratamientos T7, T8 y T9 que corresponden a la especie *O. ficus-indica* después de aplicar las tres dosis se presentan los siguientes resultados, para una turbidez inicial de 57.575 UNT, se presentaron los siguientes valores, el T7 muestra una turbidez final de 24.78 UNT, seguido por el T8 con una turbidez final de 21.45 UNT, y finalmente el T9 con una turbidez final de 22.51 UNT, estos resultados obtenidos

coinciden con Morejón Díaz (2017), al aplicar el coagulante *O. ficus-indica* en muestra de agua de 59.10 UNT obtuvo el valor mínimo de 5.89 UNT, de igual manera López Pérez (2019), al aplicar el coagulante *O. ficus-indica* en muestras de agua de 50 UNT obtuvo el valor mínimo de 23.98 UNT; estos diferentes resultados demuestran que el coagulante natural de *O. ficus-indica* si pudo reducir la turbidez inicial en todos los casos. Esto se debe porque la especie *O. ficus-indica* presenta cadenas ramificadas muy largas que contienen a los grupos de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa y D-xilosa, los cuales tienen efectos sinérgicos con el ácido galacturónico, siendo este último muy importante porque es el principal agente activo del coagulante; cuando la *O. ficus-indica* ingresa a una muestra de agua con altos niveles de turbidez estas macromoléculas que contiene polímeros aniónicos, presenta sitios activos o sitios ionizables lo que permite que las superficies de las partículas coloidales entren en contacto con uno de sus extremidades de esta cadena larga y flexible dejando el resto de la cadena libre de tal forma que pueda flotar en el líquido y adherirse a su vez a otro coloide, provocando así la unión entre partícula-polímero-partícula, esta formación de puentes ya constituido se debe a los iones con carga negativa -2 que presenta los sitios activos del coagulante desestabilizando y agrupando las partículas coloidales, haciendo actuar a esta especie como coagulante y floculante (Morejón, 2017) y (López Pérez, 2018). Rodríguez Salcedo (2008), menciona “mientras mayor sea la valencia del ion que se añade, mayor será su poder de coagulación” (p.12)

Análisis de las dosis del coagulante de *M. oleífera*, *C. spinosa* y *O. ficus-indica*

La figura 6 muestra los datos promedios de los tres coagulantes (*M. oleifera*, *C. spinosa* y *O. ficus-indica*) que fueron sometidos a tres diferentes dosis de 90 mg/L, 120 mg/L y 150 mg/L.

El coagulante *M. oleifera* con dosis de 90 mg/L logró reducir la turbidez inicial de 57.58 UNT a 34.58 UNT, para la dosis de 120 mg/L redujo de 57.58 UNT a 27.75 UNT y la dosis de 150 mg/L redujo de 57.58 UNT a 31.00 UNT. El coagulante *C. spinosa* con dosis de 90 mg/L logró reducir la turbidez inicial de 57.58 UNT a 29.70 UNT, la dosis de 120 mg/L redujo de 57.58 UNT a 23.68 UNT y la dosis de 150 mg/L redujo de 57.58 UNT a 26.03 UNT. El coagulante *O. ficus-indica* con dosis de 90 mg/L logró reducir la turbidez inicial de 57.58 UNT a 24.78 UNT, la dosis de 120 mg/L redujo de 57.58 UNT a 21.45 UNT y la dosis de 150 mg/L se redujo de 57.58 UNT a 22.51 UNT.

Los resultados obtenidos en esta investigación indican que la dosis óptima para la clarificación del agua con *M. oleifera*, *C. spinosa* y *O. ficus-indica* es de 120 mg/L este resultado es congruente con estudios previos, como los realizados por Campos Castro (2020), quien evaluó el efecto coagulante de *M. oleifera* utilizando dosis de 0.2, 0.4 y 0.6 g, encontrando que la dosis de 0.4 g fue la que mayor porcentaje de remoción obtuvo con 88.74%; Saenz Tahua (2015), quien determinó la eficiencia del coagulante de *M. oleifera* usando seis dosis 90, 100, 105, 110, 115 y 120 mg/L e identificó que la dosis de 110 mg/L fue la más eficiente en reducir la turbidez del agua de 30 UNT a 12.10 UNT; Ccora y Curasma (2021), quien investigó el uso de *C. spinosa* con dosis de 4, 4.5, 5, 5.5, 6 y 6.5 g, encontró que la dosis de 5.5 g obtuvo mejores resultados con una remoción de turbidez de 93.3%; y López Pérez (2018), quien evaluó el efecto coagulante de *O. ficus-indica*

utilizando seis dosis 30, 40, 45, 50, 55, 60 mg/L, encontró que la dosis de 45 g fue la que mayor porcentaje de remoción obtuvo con 52.04%.

Estos resultados demuestran que las dosis intermedias dentro de un rango probado son en el mayor de los casos las más eficaces para la clarificación del agua, esto se debe porque a escasas dosis del coagulante, no permitirá neutralizar la carga de las partículas al momento de coagular, formándose así una escasa floculación permitiendo que la turbiedad sea elevada; por otra parte cuando la dosis del coagulante es excesivo, se producirá la reestabilización de la carga de la partícula, evitando la unión de esta partícula con el polímero, ya que este polímero forma una capa entre ellos evitando que las partículas coloidales se agreguen produciendo así una carga inversa permitiendo también que la turbiedad sea elevada (López Pérez, 2018) y (Romero Norabuena, 2018).

De igual manera cuando la turbiedad es poca se necesita alta cantidad de coagulante (mayor dosis) porque al no producir contacto entre las partículas la formación del flóculo será menor; por otro lado, cuando la turbiedad es alta se necesita poca cantidad de coagulante (dosis menor) porque al haber mayor cantidad de partículas habrá mayor colisión entre ellas, produciendo rápidamente la floculación (López Pérez, 2018).

4.2 Efectos principales e interacciones

En la tabla 15 se presenta el ANVA correspondiente a los efectos principales y la interacción que a continuación se analizar. Podemos afirmar de acuerdo con los resultados que existe diferencia significativa para el efecto principal especie (E) como también para el efecto principal dosis (D). No existiendo diferencias significativas para la interacción especie por dosis (ExD).

Tabla 15

ANVA para efectos principales e interacciones de la turbidez.

Fuentes	SC	GL	CM	Fc	Ft	Significación
Lectura	714.86	3				
Tratamiento	595.28	8				
Especies (E)	405.30	2	202.65	16.05	3.403	*
Dosis (D)	176.14	2	88.07	6.98	3.403	*
E x D	13.84	4	3.46	0.27	2.776	N
Error Exper.	303.06	24	12.63			
Total	1613.20	35				

CV = 13.24

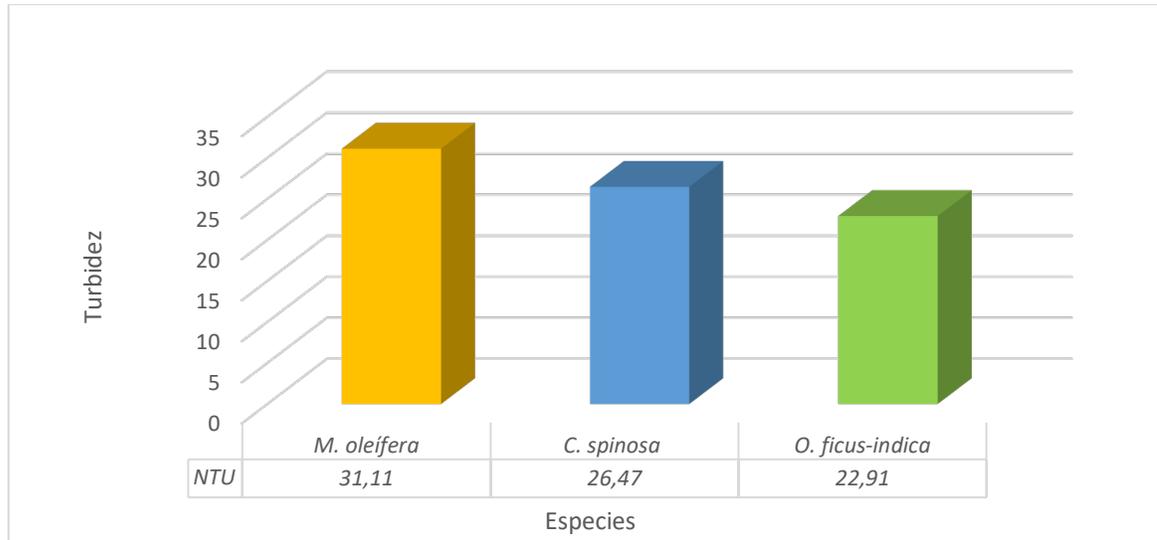
Nota. (*) Existe diferencia significativa; (N) No hay diferencia significativa.

4.2.1 Efecto principal especie (E)

El efecto principal E corresponde los coagulantes naturales de las tres especies *M. oleifera*, *C. spinosa* y *O. ficus-indica* que se utilizaron para realizar el estudio. En la tabla 15 se puede observar que existe diferencia significativa entre las especies, con $\alpha = 0.05$.

Figura 7

Efecto principal especie (E)



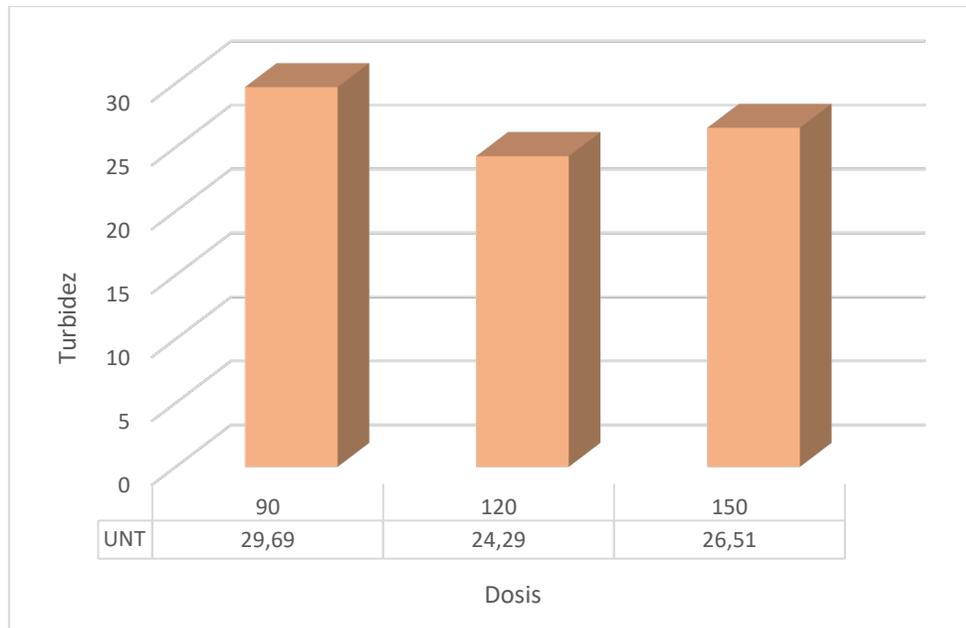
En la figura 7, se puede apreciar que los tres coagulantes naturales contribuyen en la clarificación del agua reduciendo la turbidez inicial, en el caso de la especie *O. ficus-indica* se ha demostrado que contribuye más en la clarificación del agua con una turbidez promedio de 22.91 UNT, seguido de la especie *C. spinosa* con una turbidez promedio de 26.47 y finalmente la especie *M. oleifera*, con una turbidez promedio de 31.11 UNT; esta diferencia de valores se debe a los mecanismos de coagulación de cada especie, estos mecanismos ya se mencionaron anteriormente.

4.2.2 Efecto principal dosis (D)

El efecto principal D, corresponde a las tres dosis de 90 mg/L, 120 mg/L y 150 mg/L de cada uno de los coagulantes de las especies utilizadas para realizar este estudio. En la tabla 15 se observa que existe diferencia significativa entre las diferentes dosis, con $\alpha = 0.05$.

Figura 8

Efecto principal dosis (D) (mg/L)



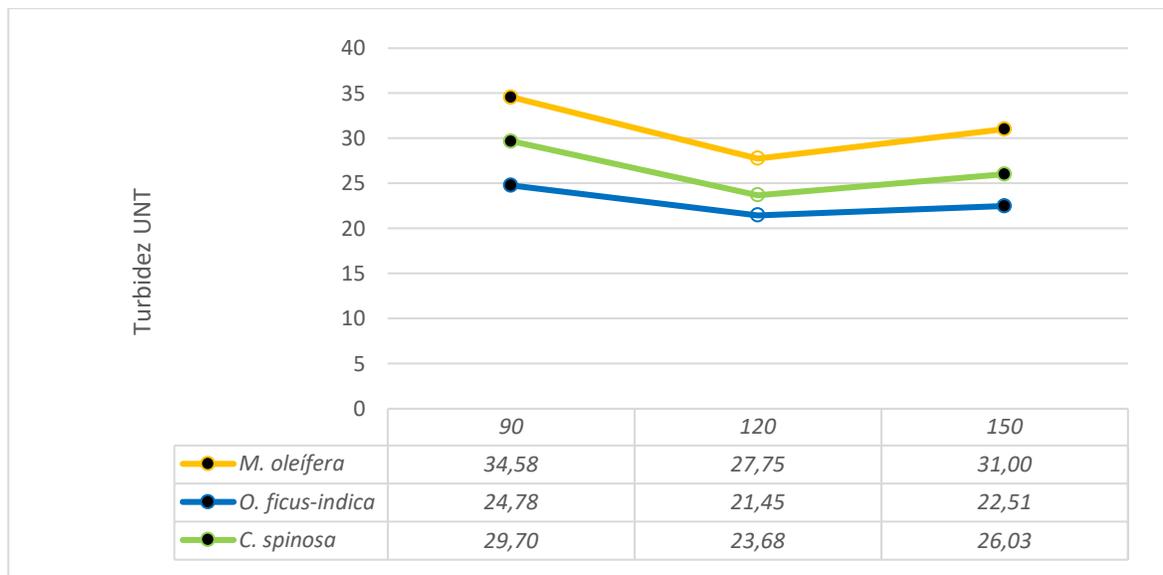
En la figura 8, se aprecia que la dosis que mejor respuesta ha dado, es el de 120 mg/L, con una turbidez final de 24.29 UNT, demostrando que es mucho menor en comparación con las dosis de 90 mg/L, y 150 mg/L, que presentan una turbidez final de 29.69 UNT y 26.51 UNT, respectivamente; como se explicó anteriormente esto se debe porque el exceso del coagulante cubre los sitios de adsorción de las partículas coloidales, permitiendo reestabilizarlos (López Pérez, 2018).

4.2.3 Interacciones (E*D)

La interacción ExD, corresponde a las tres especies *M. oleifera*, *C. spinosa* y *O. ficus-indica* por las tres dosis 90 mg/L, 120 mg/L y 150 mg/L, en la tabla 7 se puede observar que, no existe diferencia significativa entre la interacción ExD, con $\alpha = 0.05$.

Figura 9

*Interacción especie por dosis (E*D)*



En la figura 9 se observa cómo la interacción entre dosis y especie no es significativa, lo que significa que el cambio de nivel del factor especie no alterado el cambio en el otro factor dosificación, es decir no habido un efecto cruzado entre los factores como se visualiza en la figura 9, aceptando los argumentos de Fernández Bao (2020), quien menciona que la presencia de un factor en nada interviene en el cambio del otro factor o sea actúan independientemente.

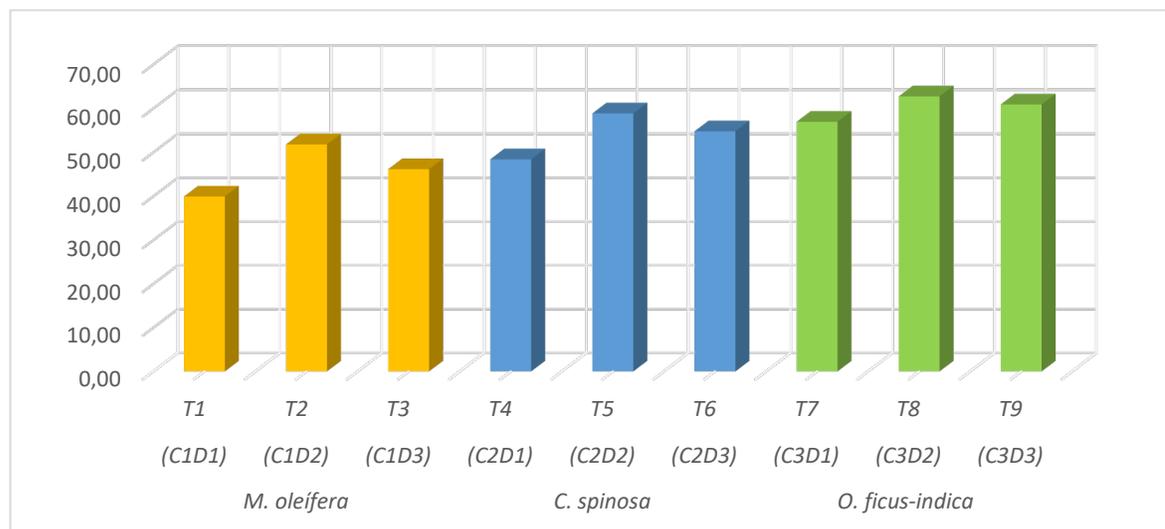
4.4 Evaluación del porcentaje de remoción

4.4.1 Turbiedad residual

En la tabla 16 se aprecia los resultados de la turbiedad residual, obtenidos después de determinar los valores de la turbiedad inicial y final de cada muestra experimental, para posteriormente determinar el porcentaje de remoción de turbidez de cada tratamiento.

Tabla 16*Porcentaje de remoción*

Tratamientos	Turbiedad inicial	Turbiedad final	Porcentaje de remoción de turbidez
	UNT	UNT	%
T1	57.575	34.58	39.94
T2		27.75	51.80
T3		31.00	46.16
T4		29.70	48.42
T5		23.68	58.87
T6		26.03	54.79
T7		24.78	56.96
T8		21.45	62.74
T9		22.51	60.90

Figura 10*Porcentaje de remoción de turbidez*

En la tabla 16 y figura 10, se aprecia los resultados del porcentaje de remoción de la turbidez de los nueve tratamientos, se puede observar que el tratamiento T8 es la más eficiente con 62.74%, seguido por el T9 con 60.90%, ambos correspondientes al coagulante de la especie *O. ficus-indica*; otro tratamiento que destaca es el T5 con una eficiencia de remoción del 58.87%, que corresponde al coagulante de la *C. spinosa*; los valores de ambos coagulantes se acercan al investigador Moreno Pérez (2016), que al aplicar los coagulantes *O. ficus-indica* y *C. spinosa* obtuvo una reducción de turbidez de un 61.09% y 48.47%, respectivamente, indicando que el coagulante *O. ficus-indica* fue la especie que pudo remover mayor turbiedad para ambos casos.

Esto se debe porque la especie *O. ficus-indica* presenta en su estructura cadenas altamente ramificados (López Pérez, 2018) y la especie *C. spinosa* presenta en su estructura cadenas lineales Huarino (como se citó en Sáenz Damian, 2019), es así que las sustancias de configuraciones lineales son difíciles de disolver de manera inmediata, mientras que las sustancias que presentan mayores ramificaciones están dotadas de mayor flexibilidad en sus enlaces y son fácilmente solubles en el agua (Bastidas Pimentel, 2013); así mismo su peso molecular de la especie *O. ficus-indica* es 13000 kDa (Rodríguez-González et al., (s.f)) y su peso molecular de la especie *C. spinosa* es 351.4 kDa (Jappsem y Rodrigo, 2019) por tal razón el peso molecular y el tamaño del polímero también influyen en la coagulación, debido al amplio número de sitios de adsorción (Banchón et al., 2016).

En el caso de la especie *M. oleifera* se puede observar que el mejor resultado se obtiene con T2 con una reducción de turbidez de 51.80% discrepando resultados contrarios con Caldera et al. (2007), quienes obtuvieron en sus resultados de remoción valores de

80.1% y 94.3%, mostrando mayor eficiencia en la remoción de turbidez. Cabe recalcar que en esta investigación la preparación de su coagulante fue distinto al de la investigación, ya que aparte de moler la semilla, lo disolvieron en agua destilada para luego filtrar la solución y utilizaron esta solución como su coagulante, asimismo utilizaron el test de jarras, y también pasaron sus muestras por un proceso de filtración después de su coagulación obteniendo así mejores resultados.

Yarahmadi (como se citó en López Pérez, 2018) menciona que el coagulante *M. oleífera* presenta mayor eficiencia en muestras de agua con una turbidez alta de 500 UNT y 1000 UNT de igual manera Rodríguez Salcedo (2008), menciona que los extractos de las semillas *M. oleífera* son bastantes efectivas en aguas con alta turbidez.

4.4.2 Prueba de Tukey del porcentaje de remoción

Para realizar esta prueba se tomó en cuenta el GL del Error, el CM del Error y el nivel de significación ($\alpha=0.05$) con que se realizó el ANVA relacionado al porcentaje de remoción.

Tabla 17

Análisis de varianza del porcentaje de remoción

Fuentes	SC	GL	CM	Fc	Ft	Significación
Repeticiones	2156.41	3	718.80	18.87	3.01	*
Tratamiento	1795.42	8	224.43	5.89	2.36	*
Error Exper.	914.25	24	38.09			
Total	4866.09	35				

Nota: (*) Existe significación entre porcentajes de remoción.

Tabla 18*Porcentaje de remoción por tratamiento*

Tratamiento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Promedios	39.94	51.80	46.16	48.42	58.87	54.79	56.96	62.75	60.91

Tabla 19*Resultado de la prueba de Tukey con ALS (T)=14.86*

MEDIAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
T1		-11.86	-6.21	-8.47	-18.93 *	-14.85	-17.02 *	-22.79 *	-20.96 *
T2			5.65	3.39	-7.07	-2.99	-5.16	-10.93	-9.1
T3				-2.26	-12.72	-8.64	-10.81	-16.58 *	-14.75
T4					-10.46	-6.38	-8.55	-14.32	-12.49
T5						4.08	1.91	-3.86	-2.03
T6							-2.17	-7.94	-6.11
T7								-3.94	-3.94
T8									1.83
T9									

La tabla 19 muestra los resultados de la prueba de Tukey, que compara las medias de los tratamientos para identificar cuáles son significativamente diferentes entre sí. Las celdas sombreadas y los valores con asterisco indican diferencias significativas entre los tratamientos a un nivel de significación del 0.05.

Se observa una diferencia significativa entre los tratamientos T1 y T5, T1 y T7, T1 y T8, T1 y T9 finalmente T3 y T8; lo que quiere decir que las mayores diferencias se encuentran entre el tratamiento T1 (*M. oleifera* a 90 mg/L) y los tratamientos T5 (*C. spinosa* a 120 mg/L), T8 (*O. ficus-indica* a 120 mg/L) y T9 (*O. ficus-indica* a 150 mg/L), indicando que estos últimos son significativamente más efectivos en la remoción de turbidez.

Finalmente, la significancia en las diferencias entre los tratamientos muestra que los diferentes coagulantes y sus dosis tienen efectos distintos en la remoción de turbidez, específicamente, la dosis de 120 mg/L de *O. ficus-indica* (T8) ha demostrado ser la más efectiva, seguida por la misma especie a una dosis de 150 mg/L (T9), y por *C. spinosa* a 120 mg/L (T5).

4.3. pH

La tabla 20 muestra los resultados de los análisis de pH realizadas a cada unidad experimental, los nueve tratamientos (combinaciones) y las cuatro lecturas realizadas (replicas).

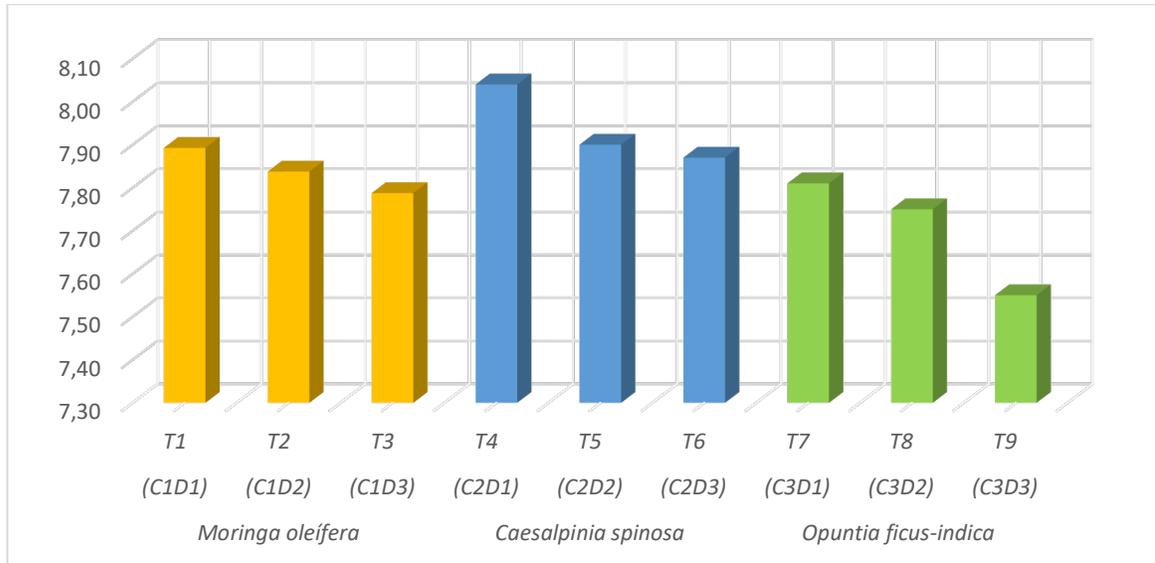
Tabla 20

Resultado del parámetro pH del agua

Repeticiones	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	Prom. Repet.
	<i>M. oleifera</i>			<i>C. spinosa</i>			<i>O. ficus-indica</i>			
	90 mg/l	120 mg/l	150 mg/l	90 mg/l	120 mg/l	150 mg/l	90 mg/l	120 mg/l	150 mg/l	
1	8	7.96	7.94	8.4	8	8.01	7.96	7.87	7.75	7.99
2	7.95	7.87	7.86	7.91	7.89	7.88	7.66	7.67	7.64	7.81
3	7.82	7.79	7.72	7.98	7.96	7.93	7.78	7.75	7.17	7.77
4	7.8	7.73	7.63	7.86	7.76	7.64	7.85	7.71	7.64	7.74
Prom Trats	7.89	7.83	7.79	8.04	7.90	7.87	7.81	7.75	7.55	7.82

Figura 11

Parámetro del pH.



En la tabla 20 y figura 11, se aprecia los valores promedios de las tres especies *M. oleifera*, *C. spinosa* y *O. ficus-indica* del parámetro pH y se puede observar que al aplicar los tres coagulantes y dosis sobre las unidades experimentales se obtuvieron valores promedios entre 7.55 y 8.04, de igual manera Saenz Tahua (2015), señala que el coagulante *M. oleifera* presenta mayor eficiencia en remoción de turbidez con un pH de 7; también Ccora y Curasma (2021), señala que el coagulante *C. spinosa* presenta mayor eficiencia en remoción de turbidez con un pH de 7 y 8; así mismo López Pérez (2018), menciona que la *O. ficus indica* presenta mayor eficiencia en remoción de turbidez con un pH de 7; aceptando la teoría de Trujillo et al., (2014), para permitir los procesos de coagulación y floculación estos valores se deben de encontrar en un rango de pH que oscile entre 6.5 y 8.5; esto es porque para la clarificación del agua los coagulantes necesitan un pH de 6 a 8 ya que en estos valores los coagulantes proporcionan cargas positivas para reducir la magnitud del potencial zeta (Arena Díaz, 2019).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El efecto coagulante de *M. oleífera*, *C. spinosa* y *O. ficus-indica* tiene un impacto significativo en la reducción de la turbidez inicial del agua, esto se evidencia en los resultados obtenidos durante la investigación, para una turbidez inicial de 57.575 UNT la especie *M. oleífera* redujo a 27.75 UNT, la *C. spinosa* redujo a 23.68 UNT y la *O. ficus-indica* redujo a 21.45 UNT.

El efecto coagulante de *M. oleífera* varía según las dosis aplicadas, con una turbidez inicial de 57.575 UNT, la dosis de 90 mg/l logró reducir la turbidez a 34.58 UNT, mientras que la dosis de 150 mg/l redujo la turbidez a 31 UNT. Sin embargo, la dosis más eficaz y significativa en la clarificación del agua fue de 120 mg/l, logrando una turbidez final de 27.75 UNT.

El efecto coagulante de *C. spinosa* varía según la dosis, con una turbidez inicial de 57.575 UNT, la dosis de 90 mg/l logro reducir la turbidez a 29.70 UNT, mientras que la dosis de 150 mg/l redujo la turbidez a 26.03 UNT. Sin embargo, la dosis más eficaz y significativa en la clarificación del agua fue de 120 mg/l, logrando una turbidez final de 23.68 UNT.

El efecto coagulante de *O. ficus-indica* varía según la dosis, con una turbidez inicial de 57.575 UNT, la dosis de 90 mg/l logro reducir la turbidez a 24.78 UNT, mientras que la dosis de 150 mg/l redujo la turbidez a 22.51 UNT. Sin embargo, la dosis más eficaz y significativa en la clarificación del agua fue de 120 mg/l, logrando una turbidez final de 21.45 UNT.

Los efectos principales de los factores en la clarificación del agua especie por dosis, la especie que contribuyó más en la clarificación del agua fue la *O. ficus-indica* y la dosis óptima con lo que se obtuvo mejores resultados para todas las especies fue la dosis de 120 mg/l; con respecto a las interrelaciones especie por dosis, indica que cada uno de ellos han actuado de forma independiente en el proceso de coagulación.

El porcentaje de remoción obtenidos fueron los siguientes, 51.80% para *M. oleifera*, 58.87% para *C. spinosa* y 62.74% para *O. ficus-indica*, demostrando que la especie *O. ficus-indica* muestra una superioridad estadística como coagulante en comparación con las otras dos especies evaluadas.

5.2. Recomendaciones

El acceso al agua potable segura es fundamental para el bienestar de las comunidades y la clarificación mediante los procesos de coagulación floculación permite mejorar la calidad de este líquido elemento, se recomienda a futuras investigaciones buscar nuevos coagulantes locales con la finalidad de beneficiar a las comunidades urbanas, rurales que se encuentran con recursos limitados.

Investigar y proponer métodos de extracción más eficientes de estos coagulantes naturales, que permitan reducir mayor la turbidez inicial.

Tomar en cuenta los factores que influyen en la coagulación, como la concentración del coagulante, el pH, temperatura y conductividad eléctrica.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS

Arboleda Valencia, J., Buitrago León, I., Jaramillo Gómez, L. A. (1992). *Teoría y práctica de la purificación del agua potable*. Eco Ediciones.

Alvarez Chancasanampa, H. (2019). *Extracto de moringa (Moringa oleífera) para la remoción de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá*.

[Magister en ciencias ambientales, Universidad Nacional Agraria la Molina]

Alea Riera, V., Jiménez Garrido, E., Muñoz Vaquer, C., & Viladomiu Canela, N. (2016).

Estadística I: Teoría y ejercicios. [Universidad de Barcelona].

https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/66107/1/EstadisticaI_2016.pdf

Adminmgv. (8 de junio 2016). *Tratamiento del Agua*.

<https://www.tratamientodelagua.com.mx/coagulantes-para-tratamiento-de-agua/>

ALNICOLSA. (5 de marzo 2021). *Goma de Tara: Tara Gum*. S.A.C.

<https://taninos.tripod.com/goma.htm>

Álvarez Chancasanampa, H. (2019). *Extracto de Moringa (Moringa oleífera) para la remoción de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá* [Tesis

de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina].

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3923/alvarez-chancasanampa-hermelinda.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Arango Surichaqui, R. S. y Martínez Huaira A. W. (2020). *Evaluación del efecto de la semilla de moringa oleífera en la reducción de turbidez y e. Coli en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del río Shullcas*. [Tesis de ingeniero, Universidad Nacional del Centro del Perú]
- Arenas Díaz, E. M. (2019). *Efecto de la remoción del aceite de las semillas de Moringa oleífera en el tratamiento de aguas por coagulación-floculación* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional Agraria La Molina].
<https://core.ac.uk/download/pdf/199654895.pdf>
- Banchón, C; Baquerizo, R; Muñoz, D y Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Universidad Tecnológica Equinoccial*. 7(4), 111-126. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n4.118>
- Bastidas Pimentel, R. M. (2013). *Extracción y caracterización de la goma de semilla de Tara (Caesalpinia spinosa) provenientes de los distritos de Soraya y Vilcabamba, Apurímac* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac].
http://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/435/T_0044.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Botanical-online. (2020). *Características de la planta moringa*. <https://www.botanical-online.com>
- Caldera, C., Mendoza, I., Briceño, L., García, J. y Fuentes, L. (2007). Eficiencia de las semillas *Moringa Oleífera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua. *Centro de Investigaciones Biológicas*, 41(2), 244-254.
<https://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/76/76>

- Campos Castro, H. S. (2020). *Efecto coagulante de la semilla de moringa (Moringa oleífera) para clarificar agua del canal Monsefú, centro poblado Callanca, distrito Monsefú 2019*. [Tesis de Ingeniero, Universidad de Lambayeque].
<https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/304/1/TESIS%20CAMPOS%20CASTRO.pdf>
- Ccora Crispin, R. V. y Curasma Bendezu, N. (2021). *Eficiencia de la goma de la semilla de tara (Caesalpinia spinosa) como ayudante de coagulación en el tratamiento de agua potable de la EPS EMAPA Huancavelica*. [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de Huancavelica]
- Comisión Nacional de Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. México.
- Cogollo Flórez, J. M. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxicloriguro de aluminio. *Universidad Nacional de Colombia: DYNA*, 78(165),18-27. <https://www.redalyc.org/pdf/496/49622372002.pdf>
- Cruz Lapa. P. (2004). Aprovechamiento integral y racional de la Tara: *Caesalpinia spinosa – Caesalpinia tinctoria*. *Instituto de Investigación FIGMMG. Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 7(14), 64-73.
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/733/584>
- Decreto Supremo n° 004, 2017 (ANA). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. 7 de junio de 2017.
- Díaz Rosell, FA. (2006). *Diseño Estadístico de Experimentos*. [Trabajo de Diploma, Universidad Central Marta Abreu de las Villas].

https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7525/_La%20Tesis%20Impimir.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Escobal Pérez, L. (2018). *Eficiencia de Armatocereus rauhii y Espostoa mirabilis en la remoción de sólidos suspendidos totales en el agua para consumo humano del Distrito de Balzas – Amazonas* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de Cajamarca].https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2628/T016_46902737_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Fernández Bao, P. (2020). *Diseño de experimentos: Diseño factorial*. [Maestría de ingeniero, Universidad Nacional de Ingeniería Nicaragua]

Folkars, G., Sutherland, J. (1996). *Moringa oleífera* un árbol con enormes potencialidades. *Agroforestería en las Américas. Universidad de Leicester*, 8(3), 5-8.
http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6596/Moringa_Oleifera.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gerencia Regional Agraria la Libertad [GRAL]. (1 de noviembre de 2009). *CULTIVO DE TUNA (Opuntia ficus indica)*. Manual técnico de Tuna.
<http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20TUNA.pdf>

Gómez Cornejo, M. S. (2018). *Tratamiento de las aguas superficiales mediante el uso de semilla de Moringa (Moringa Oleífera) como coagulante orgánico en la cuenca baja del río Caraveli – Arequipa 2017*”. [Tesis de Ingeniero, Universidad alas Peruanas]

Gómez Puentes, N. A. (2005). *Remoción de materia orgánica por coagulación – floculación* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de Colombia].

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2841/nestoralejandrogomezpuentes.2005.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Howe, K. J., Hand, D. W., Crittenden, J. C., Trussell, R. R., & Tchobanoglous, G. (2016).

Principios de tratamiento del agua. Cengage Learning.

Jappsem, V. M y Rodrigo, M. C. (2019). Influencia de la Goma de Tara (*Caesalpinia spinosa*) como ayudante en el proceso de coagulación- floculación para la remoción de turbidez de una suspensión artificial de bentonita. *Información tecnológica*.

5(30). [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000500299#:~:text=La%20goma%20de%20tara%20es%20extra%C3%A)

[07642019000500299#:~:text=La%20goma%20de%20tara%20es%20extra%C3%A](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000500299#:~:text=La%20goma%20de%20tara%20es%20extra%C3%A)
[Dda%20de%20las%20semillas%20del,como%20coagulantes%20o%20ayudantes%](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000500299#:~:text=La%20goma%20de%20tara%20es%20extra%C3%A)
[20de](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000500299#:~:text=La%20goma%20de%20tara%20es%20extra%C3%A)

Jiménez Fernández, E. E. (2014). *Obtención del mucílago de la cáscara de la Tuna*

(Opuntia ficus-indica) a partir de diferentes métodos de extracción [Tesis de Ingeniero, Universidad de Chile].

<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130028/Obtencion-del-mucilago-de-lacascara-de-la-tuna.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

López Pérez, M. (2018). *Evaluación del uso de la cactácea Opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional Agraria La Molina].

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3541/lopez-perez-malena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Loza Pacheco, R. B. (2014). *Determinación de la dosificación óptima de coagulantes y floculante aplicados a un sistema continuo por flotación en el tratamiento de*

efluentes pesqueros [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3989/IQloparb063.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Medina Chávez, A. E. (2018). *Calidad del agua en función de turbidez y coliformes en la Planta de Tratamiento La Quesera, Sucre, Celendín, 2016-2017*. [Tesis de Doctor, Universidad Nacional de Cajamarca].

Morejón Díaz, B. J. (2017). *Utilización del mucílago de Tuna (Opuntia ficus-indica) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir Grande, provincia del Carchi* [Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica Nacional de Ecuador].

<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6621/1/PG%20496%20TESIS.pdf>

Moreno Pérez, S. C. (2016). *Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando Opuntia ficus indica, Aloe vera y Caesalpinia spinosa* [Tesis de Ingeniero, Universidad Cesar Vallejo].

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/6854/moreno_ps.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Nieto, C. y Hidrobo, G. (2013). *La cadena agro-productiva del Guarango (Caesalpinia spinosa kuntze), elementos que resaltan su competitividad*. Universidad de Quito.

<https://www.bibliotecasdelecuador.com/Record/oai:localhost:28000-809>

Núñez Álvarez, C. C. (2014). *Recuperación de sólidos del agua de cola por Coagulación-Floculación y Cuantificación de Histamina* [Tesis de Ingeniero, Universidad

Nacional Agraria La Molina].

<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1920/P10.N8-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020).

Moringa. <http://www.fao.org>

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2011). *Guías para la calidad del*

agua de consumo humano. (4 ed.). World Health Organization

Pérez Farrás, L. E. (2005). *Teoría de la sedimentación*. Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

https://cms.fi.uba.ar/uploads/institutos_teoria_sedimentacion_8d6be3a941.pdf

Ramírez Arcila, H. y Jaramillo Peralta, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para

el tratamiento del agua. *Universidad Militar Nueva Granada de Colombia*, 11(2),

136-153. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/1303/1359>

Ramírez Quirós, F. (2023). *El agua potable: La coagulación – Floculación en el proceso*

de tratamiento. <http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm>

Ramírez, R., Espino Rodríguez, E. P., & Tingal Infante, I. (2012). *Morfología de tuna*

(Opuntia ficus indica Mill.). Universidad Nacional de Cajamarca. Recuperado de

Revelo, A., Proaño, D. y Banchón, C. (2015). Biocoagulación de aguas residuales de

industria textilera mediante extractos de *Caesalpinia spinosa*. *Enfoque UTE*

(Universidad Tecnológica Equinoccial), 6(1), 1-12.

<https://www.redalyc.org/pdf/5722/572260846003.pdf>

Rodríguez Salcedo, C. F. (2008). *Uso y control del proceso de coagulación en plantas de*

tratamiento de agua potable. [Tesis de ingeniero, Universidad de Sucre]

Romero Norabuena, E. L. (2018). *Cálculo de la relación de pH, concentración y nivel cantidad de la especie *Cesalpinia spinosa* para remover turbiedad en el periodo de avenidas para el río Paria Huaraz Ancash* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo de Ancash].

http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2228/T033_44882540_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sáenz Damián, G. S. (2019). *Comparación de la eficiencia de *Moringa oleífera* y *Caesalpinia spinosa* para mejorar la calidad del agua residual del dren 2000*. [Título de Ingeniero, Universidad Cesar Vallejo]

Sáenz Tahua W. S. (2015). *Utilización de la semilla natural *Moringa oleífera* como ayudante de la coagulación en la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Caraz provincia de Huaylas Ancash*. [Título de ingeniero, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]

Sanabria Pérez, N. R. (2011). *Extracción de goma a partir de semillas de Tara (*Caesalpinia spinosa*) y evaluación de sus propiedades reológicas*. [Título de ingeniero, Universidad Nacional del Centro del Perú]

Sandoval Arreola, M. M. y Laines Canepa, J. R. (2013). **Moringa oleífera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales*. *Universidad Autónoma de Yucatan. Ingeniería*, 17(2), 93-101.

<https://www.redalyc.org/pdf/467/46730913001.pdf>

Servyeco. (5 de marzo 2021). *Gestión Integral del agua*.

<https://www.servyeco.com/coagulantes-naturales.html>

Segura Pelaez, L. A. (2023). *Aloe vera y Caesalpinia spinosa para la remoción de turbidez en aguas residuales del sector azucarero* [Tesis de Ingeniero, Universidad Privada del Norte].

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/33898/Segura%20Pelaez%20C%20Leyla%20Alina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vilavila Morales, S. B. (2018). *Determinación de la remoción de la turbidez de agua del río Ayaviri en la zona de captación para consumo humano empleando polímero de goma de Tara - Puno, 2018*. [Tesis de ingeniero, Universidad Peruana Unión]

Villanueva Abanto, J. (2019). *Efecto de tres concentraciones de mucilago de Tuna (Opuntia ficus-indica (L.) Miller) y de San Pedro (Echinopsis pachanoi (Britton & Rose) Friedrich & G.D. Rowley) en la clarificación del agua* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de Cajamarca].

Willems, P. y Raffaele, E. (2001). Implicancias del efecto de las interacciones en la interpretación de experimentos factoriales en biología. *Ecología austral*. 11(2).

Yareth. (3 de diciembre de 2017). *Manual de usuario: Test de Jarras*. Químicos LTDA.
http://yarethquimicos.com/Dowloand/Floculador-test%20de%20jarras/Manual-floculador/Manual_Floculador_%20test_de_jarras_%202_puestos_YARETH_QUIMICOS_LTDA.pdf

CAPÍTULO VII

ANEXOS

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LO-0002-2023

Expediente : 000240

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2023-02-07

- 1. Solicitante** : **Marianela Talitha Pereyra Chavez**
- 2. Dirección** : Jr. Arica 214 Celendín Cajamarca
- 3. Instrumento** : **TURBIDÍMETRO**
- Marca / Fabricante** : EZODO
- Modelo** : TUB-430
- Serie** : 0003119
- Procedencia** : Taiwan
- Código de identificación** : No indica
- Intervalo de Indicación** : 0 NTU a 1000 NTU
- Resolución** : 0,01 NTU; 0,1 NTU; 1 NTU
- Ubicación** : No indica
- 4. Lugar de calibración** : Laboratorio de óptica de ALAB E.I.R.L.
- 5. Fecha de calibración** : 2023-02-07

6. Método de calibración

La calibración se realizó por comparación de la indicación del equipo con material estandar certificado de valores nominales conocidos.

7. Trazabilidad

Producto	Marca	N° Lote	Expiración
20 NTU	HACH	A2292A	Octubre 2024
100 NTU	HACH	A2237	Agosto 2024
800 NTU	HACH	A2327	Noviembre 2024

8. Condiciones de calibración

	Inicial	Final
Temperatura ambiental	24,7 % H.R.	25,2 % H.R.
Humedad relativa	63,0 % H.R.	60,0 % H.R.

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones internacionales, los cuales son aceptados por la EPA como un estándar primario para ser utilizado en la calibración de instrumentos de turbidez.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.



Meyler Villalobos Bravo
Responsable de Laboratorio
de Óptica



Randy Santiago Jurado
Jefe de Laboratorio

📍 **SEDE PRINCIPAL**

Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

9. Resultados

Lecturas del equipo antes del ajuste

Valor referencia (NTU)	Lectura del equipo (NTU)
20,0	35,0
100,1	103,0
802,2	818

Resultados del equipo

Valor de Referencia (NTU)	Lectura Promedio del Equipo (NTU)	Error (NTU)	Incertidumbre (NTU)
20,0	20,0	0,0	0,3
100,1	100,0	-0,1	0,9
802,2	796	-6,2	6,8

Valor de referencia = Lectura Promedio del equipo - Error

10. Observaciones

Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO" y N° IM-00684.

Los resultados corresponden al promedio de 3 mediciones.

Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25 °C .

La incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura k=2 de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

(FIN DEL DOCUMENTO)

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 717 5802 - Cel.: 977 515 129

www.alab.com.pe

Certificate of Calibration

Certificate Number: 238850

Page: 1 of 3

Customer Details:

Customer Name: ARMOTEC S.A.C.

Customer Number: 09986

Instrument Details:

Manufacturer: Extech Instruments Corporation Date Received: October 03, 2022

Description: Dissolved Oxygen Kit Calibration Date: October 07, 2022

Model Number: DO007 Calibration Due: October 07, 2023

Serial Number: 9395006712 Interval: 12 months

ID Number: N/A As Received: In Tolerance

Environmental Details:

Temperature: 21°C ± 5°C Relative Humidity: 40% ± 15%

Procedures Used:

Checking Procedure: DO007 dated Enero 2018 - QC.

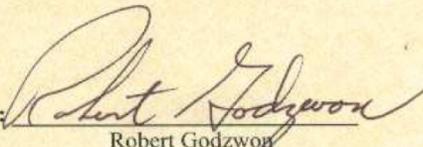
Calibration Procedure: None used

Certification

Extech Instruments certifies that the instrument listed above meets the specifications of the manufacturer at the completion of its calibration. Standards used are traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST), or have been derived from accepted values, natural physical constants, or through the use of the ratio method of self-calibration techniques. Methods used are in accordance with ISO10012-1 and ANSI/NCSS Z540-1-1994. This certificate is not to be reproduced other than in full, except with prior written approval of Extech Instruments Corporation. All the calibration standards used have an accuracy of 4:1 or better, unless otherwise stated.

Technician's Notes:

Technician: Patrick McGrath

Approved By: Robert Godzwon
Calibration Lab Manager

PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD

ESPECIE	<i>Moringa oleifera</i>			<i>Caesalpinia spinosa</i>			<i>Opuntia ficus-indica</i>			SUMA	PROMEDIO
TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9		
DOSIS	90 mg/L	120 mg/L	150 mg/L	90 mg/L	120 mg/L	150 mg/L	90 mg/L	120 mg/L	150 mg/L		
Bloque 1	41.84	51.95	45.29	45.06	59.95	47.82	56.99	61.75	59.86	470.51	52.28
Bloque 2	52.67	57.58	54.69	42.27	54.11	53.1	53.68	63.64	63.2	494.94	54.99
Bloque 3	36.77	42.21	39.77	53.47	63.23	61.73	62.48	66.29	62.7	488.65	54.29
Bloque 4	27.57	53.43	42.83	52.8	59.66	51.61	55.92	59.5	57.63	460.95	51.22
SUMA	158.85	205.17	182.58	193.6	236.95	214.26	229.07	251.18	243.39	1915.05	-
PROMEDIO	39.71	51.29	45.65	48.40	59.24	53.57	57.27	62.80	60.85	53.20	-

Recolección de la muestra (La Quesera)



Obtención del coagulante *Opuntia ficus-indica* (tuna)



a)



b)



c)



d)

a) Limpieza de la tuna. b) Cortado de la tuna en pequeños trozos. c) Procesos de secado. d) Trituración de la tuna en un mortero.

Obtención del coagulante *Caesalpinia spinosa* (tara)

a)



b)

Obtención del coagulante *Moringa oleifera*

c)



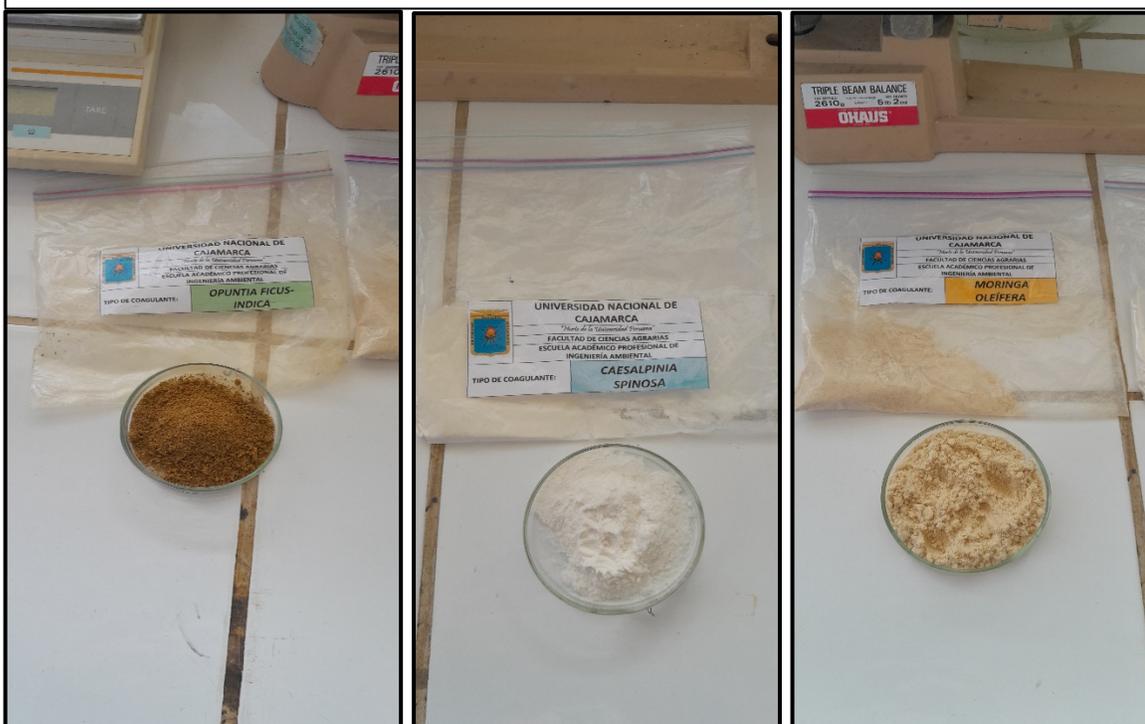
d)

a) Separación del endospermo de la semilla de la tara. b) Endospermo de la tara c) Pelado de la cáscara de la semilla *Moringa*. d) Trituración de la *M. oleifera*

Tamizado de los coagulantes.



Almacenamiento de los coagulantes



a)

b)

c)

a) *O. ficus-indica*. b) *C. spinosa*. c) *M. oleifera*.

Peso de 10 gramos de los tres coagulantes.



a)

b)

c)

Disolución de los 10 gramos en 1 litro de agua destilada de los tres coagulantes.



d)

e)

f)

a) y d) *O. ficus-indica*. b) y e) *C. spinosa*. c) y f) *M. oleifera*.

Coagulantes disueltos.



Muestras de agua antes de agregar los coagulantes.



Añadimos los coagulantes a la muestra de agua La Quesera en mililitros



a)

b)

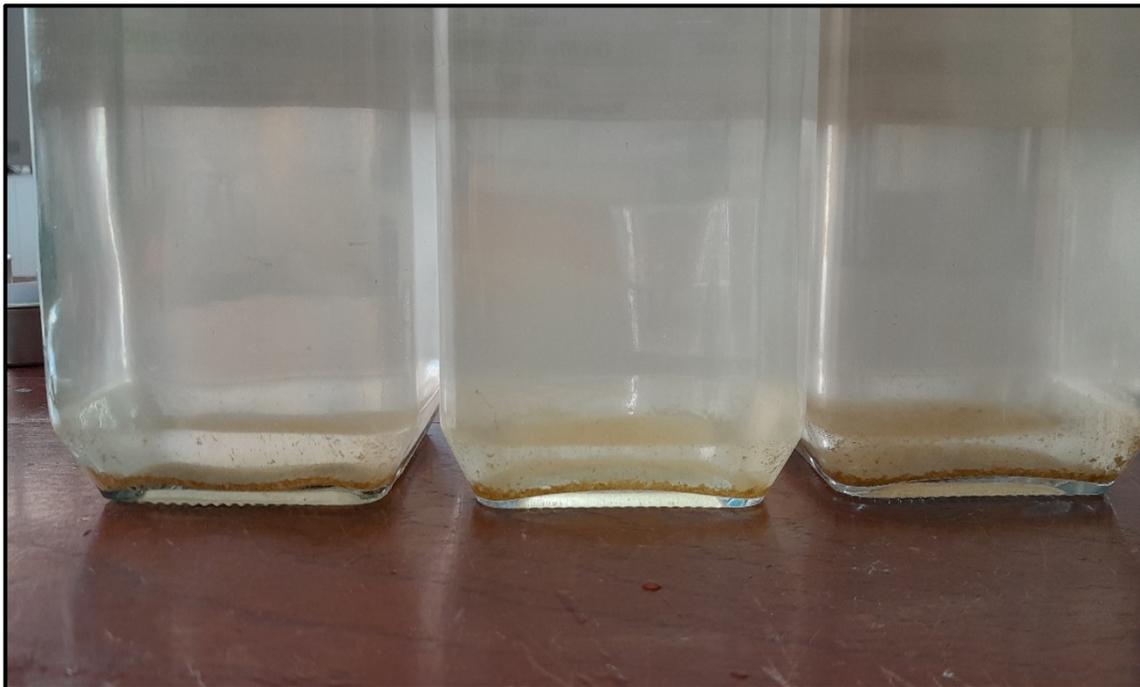
c)

Agitación rigurosa una vez vertido los coagulantes a la muestra de agua.

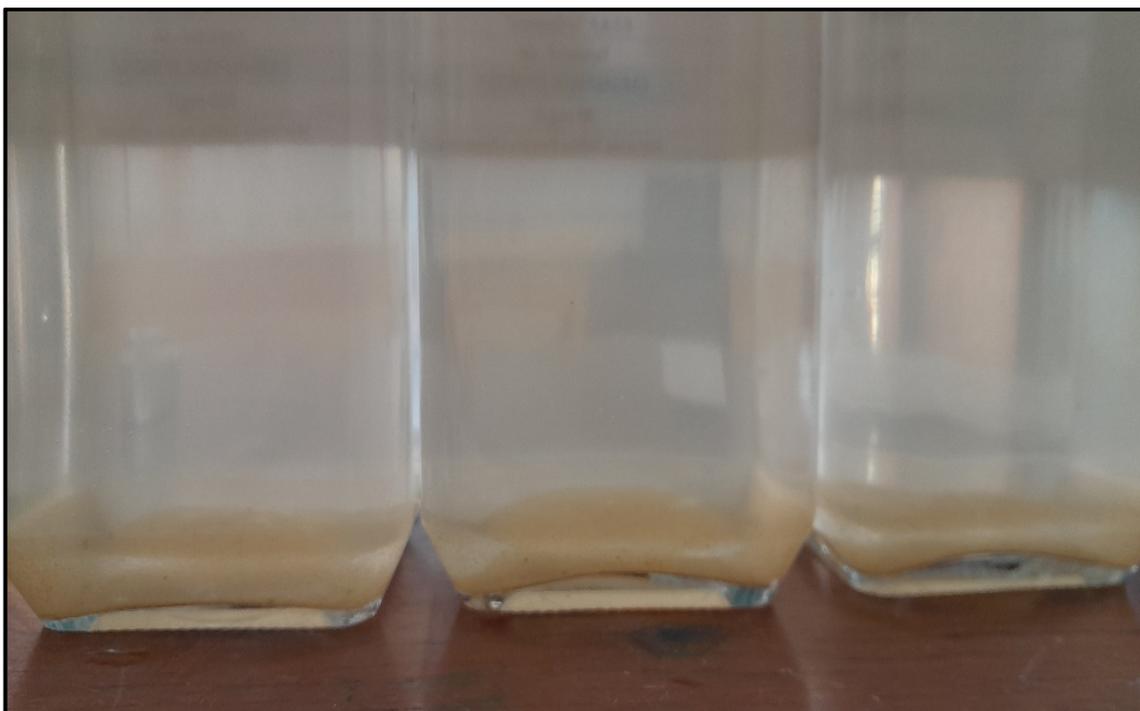


a) *O. ficus-indica*. b) *C. spinosa*. c) *M. oleifera*

Floculación del coagulante *O. ficus-indica* (tuna).



Floculación del coagulante *C. spinosa* (tara).



Floculación del coagulante *M. oleifera*.



Medición del parámetro turbiedad.



Medición del parámetro pH.



Visita del docente (Asesor)

