



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**DIRECCIÓN DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA**

**INFORME DE INVESTIGACIÓN  
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN  
GESTIÓN AMBIENTAL**

**MODALIDAD: TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE COAGULANTES  
NATURALES *Moringa oleífera* y *Cassia fistula L.*, EN REMOCIÓN  
DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA**

**AUTORES:**

**ING. MERA ZAMBRANO JOSÉ MANUEL  
ING. ZAMBRANO RENDÓN JULIO CÉSAR**

**TUTOR:**

**Mg. CARLOS LUIS BANCHÓN BAJAÑA**

**CALCETA, FEBRERO DE 2023**

## DERECHOS DE AUTORÍA

MERA ZAMBRANO JOSÉ MANUEL y ZAMBRANO RENDÓN JULIO CÉSAR, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, que se han respetado los derechos de autor de terceros, por lo que asumimos la responsabilidad sobre el contenido del mismo, así como ante la reclamación de terceros, conforme a los artículos 4, 5 y 6 de la Ley de Propiedad Intelectual.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido en el artículo 46 de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.



---

**MERA ZAMBRANO JOSÉ MANUEL**

**C.C.: 1310435050**

---

**ZAMBRANO RENDÓN JULIO CÉSAR**

**C.C.: 1311500191**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Mg. CARLOS LUIS BANCHÓN BAJAÑA, certifica haber tutelado el trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE COAGULANTES NATURALES *Moringa oleífera* y *Cassia fístula L.*, EN REMOCIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA”**, que ha sido desarrollado por MERA ZAMBRANO JOSÉ MANUEL y ZAMBRANO RENDÓN JULIO CÉSAR, previo a la obtención del título de Magíster en Gestión Ambiental, de acuerdo al Reglamento de unidad de titulación de los programas de Posgrado de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**Mg. CARLOS LUIS BANCHÓN BAJAÑA**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Titulación titulado: **“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE COAGULANTES NATURALES *Moringa oleífera* y *Cassia fistula L.*, EN REMOCIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA”**, que ha sido desarrollado por MERA ZAMBRANO JOSÉ MANUEL y ZAMBRANO RENDÓN JULIO CÉSAR, previo a la obtención del título de Magíster en Gestión Ambiental, de acuerdo al Reglamento de la unidad de titulación de los programas de Posgrado de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**Blga. MARÍA FERNANDA PINCAY CANTOS Mg.**  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

**Ing. HOLANDA TERESA VIVAS SALTOS Mg.**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

**Mg. XAVIER LEÓN CASTRO**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## AGRADECIMIENTO

No hay premio sin esfuerzo, ni felicidad sin merecerla, teniendo siempre presente que, si queremos recibir lo mejor de la vida, necesariamente tenemos que dar lo mejor de nosotros. Sé que es justo reconocer el apoyo de las demás personas, porque han estado cuando las hemos necesitado.

En realidad, es importante saber que a los seres humanos no solo se les recuerda por los puestos obtenidos, a ellos se les recuerda por lo útil que fueron para la humanidad.

Mi sincero reconocimiento a quienes han sido parte de todo este trabajo, porque no hubiera sido posible culminar sin su gran colaboración. Con mucha satisfacción agradezco a nuestros catedráticos, luces del saber, muy especialmente.

Q.F. Patricio Noles Aguilar Mg.

Dra. Ayda De la Cruz Balón Mg.

Ing. Teresa Vivas Saltos Mg.

Ing. Julio Loureiro Mg.

Blga. María Fernanda Pincay Mg.

Ing. Flor María Cárdenas PHD

Agradezco a esta prestigiosa Institución Educativa, la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López" y a cada una de las personas que la conforman, ya que sin ellos no hubiese podido alcanzar mis anhelos.

Muchas gracias, no solo es nuestro trabajo, es también el esfuerzo de Ustedes.

**MERA ZAMBRANO JOSÉ MANUEL**

## **AGRADECIMIENTO**

Definitivamente, a Dios, mi Señor, mi Guía, mi Proveedor, mi Fin Ultimo; sabes lo esencial que has sido en mi posición firme de alcanzar esta meta, esta alegría, que, si pudiera hacerla material, la hiciera para entregártela, pero a través de esta meta, podré siempre de tu mano alcanzar otras que, espero sean para tu Gloria.

A mi madre Antonia, ese Ángel que hoy me acompaña desde el cielo, le debo todo, la vida y lo que soy; ella me impulsó siempre para alcanzar mis objetivos, hoy miro al firmamento y simplemente le digo GRACIAS. A mi padre Vicente, por apoyarme siempre y ser una pieza fundamental para que este logro sea posible. LOS AMO padres.

Mi hija Emilia, el mejor regalo que recibí de parte de Dios; eres mi mayor tesoro y también la fuente más pura de mi inspiración; por eso quiero agradecerte cada momento de felicidad con el que colmas mi vida. Te doy las gracias, hija mía, por darle sentido a mi vida y permitirme ser mejor padre cada día junto a ti. A mi esposa María, por entenderme en todo, siempre ha sido un apoyo incondicional en mi vida, es la felicidad encajada en una sola persona y por la cual estoy dispuesto a enfrentar todo y en todo momento, también este triunfo es tuyo, GRACIAS.

A mis hermanos Antonio, Jhonny, Aura y Cecilia, todos los días le doy gracias a Dios por haberlos traído a mi vida. Gracias infinitas por estar siempre presentes.

A nuestro tutor Mg. Carlos Banchón, luego de un hecho inesperado en nuestra comunidad universitaria, estuvo presto a ayudarnos a continuar con nuestro trabajo, nos permitió dar pasos agigantados, nos orientó, fue un soporte y una guía para que este trabajo llegara a un buen término. A nuestro maestro Q.F. Patricio Noles, fue quien nos inspiró a hacer este trabajo; hoy ya no está con nosotros, goza de la presencia de Dios; tenía mucha expectativa por saber el fin de este trabajo, pero los planes del Altísimo fueron otros.

A mi Tribunal de Tesis, fueron un pilar en los ánimos y desarrollo de este trabajo, gracias por ser el último escalón para poder alcanzar este sueño, que ahora es una realidad.

**ZAMBRANO RENDÓN JULIO CÉSAR**

## **DEDICATORIA**

Hoy, al culminar este trabajo que lleva mucho de mí, puesto que tiene plasmado: esfuerzo, constancia, voluntad y sobre todo conocimientos, los cuales fui adquiriendo a través de los años; con mucha satisfacción dedico esté trabajo de investigación científica, a ese ser incomparable que es Dios que me ha dotado de dones maravillosos que me han permitido luchar con tesón, ahínco y perseverancia para llegar al fin de esta gran meta.

A mi madre quien me dio la vida y quien me impulsó para alcanzar éxito, enseñándome que los bienes materiales se consiguen con el trabajo, los triunfos se alcanzan con sabiduría, pero que las glorias como esta, se logran solo en la lucha diaria, y a mi amada Esposa por su apoyo, amor, comprensión, tolerancia, consejos y motivación para seguir y continuar día a día.

¡Y todos los demás no mencionados...Dios los bendiga!!! y gracias totales.

**MERA ZAMBRANO JOSÉ MANUEL**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo primero que nada a Dios, el creador de todas las cosas, ya que, con su ayuda, supo otorgarme la sabiduría y la salud para lograr culminar con éxito lo realizado.

A mi madre Antonia, por su amor, sacrificio, esfuerzo y dedicación; hoy goza de la presencia de DIOS y desde aquel lugar me guía.

A mi padre Vicente, por su amor, apoyo y comprensión.

A mi hija María Emilia, ese ser tan importante en mi vida.

A mi compañera y esposa María, por estar conmigo en todo momento.

A mis hermanos Antonio, Jhonny, Aura y Cecilia los cuales fueron y son un soporte incondicional.

**ZAMBRANO RENDÓN JULIO CÉSAR**

## CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	ii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vii
CONTENIDO GENERAL.....	ix
CONTENIDO DE TABLAS Y GRÁFICOS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
<b>CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....</b>	<b>1</b>
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	5
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.4. HIPÓTESIS.....	5
<b>CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>6</b>
2.1. COAGULANTES NATURALES.....	6
2.1.1. CONCEPTUALIZACIÓN.....	6
2.1.2. AGENTES NATURALES EMPLEADOS EN LA COAGULACIÓN.....	6
2.1.3. VENTAJAS DE LOS COAGULANTES NATURALES.....	10
2.1.4. DESVENTAJAS DE LOS COAGULANTES NATURALES.....	11
2.2. COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN.....	11
2.3. NITRÓGENO Y FÓSFORO EN AGUAS.....	13
2.3.1. EUTROFIZACIÓN.....	13
2.3.2. ACTIVIDADES HUMANAS QUE FAVORECEN EL EXCESO DE NUTRIENTES (NITRÓGENO Y FÓSFORO) EN EL AGUA.....	14
2.3.3. CONTAMINACIÓN POR NITRÓGENO Y FÓSFORO.....	14
2.4. AGUAS RESIDUALES.....	15
2.4.1. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	16

2.4.2.	AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.....	17
2.4.3.	ACUERDO MINISTERIAL N°097 A.....	18
2.4.4.	TÉCNICAS DE MUESTREO EN AGUA.....	19
2.5.	INVESTIGACIONES RELACIONADAS A COAGULANTES NATURALES	
	21	
<b>CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....</b>		<b>23</b>
3.1.	UBICACIÓN.....	23
3.2.	DURACIÓN.....	23
3.3.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	23
3.3.1.	INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL .....	23
3.4.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	24
3.4.1.	MÉTODOS .....	24
3.4.2.	TÉCNICAS .....	25
3.5.	FACTORES EN ESTUDIO.....	26
3.5.1.	NIVELES DE ESTUDIO.....	26
3.6.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	26
3.7.	UNIDAD EXPERIMENTAL.....	27
3.8.	VARIABLES A MEDIR .....	27
3.8.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE .....	27
3.8.2.	VARIABLE DEPENDIENTE.....	27
3.9.	MANEJO DEL EXPERIMENTO .....	27
3.9.1.	FASE 1: OBTENCIÓN DE LOS COAGULANTES NATURALES	
	<i>Moringa oleífera Y Cassia fístula L.</i> .....	28
3.9.2.	FASE 2: DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO CON MAYOR	
	EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO.....	30
3.9.3.	FASE 3: ESTIMACIÓN DEL COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN DEL	
	MEJOR TRATAMIENTO .....	32
3.10.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	33
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>34</b>
4.1.	FASE 1: OBTENCIÓN DE LOS COAGULANTES NATURALES <i>Moringa</i>	
	<i>oleífera y Cassia fístula L.</i> .....	34

4.2. FASE 2: DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO CON MAYOR EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO .....	35
4.3. FASE 3: ESTIMACIÓN DEL COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO.....	49
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>54</b>
5.1. CONCLUSIONES .....	54
5.2. RECOMENDACIONES .....	54
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>65</b>

## CONTENIDO DE TABLAS Y GRÁFICOS

### TABLAS

Tabla 2.1. Actividades que contribuyen al exceso de nutrientes en el agua .....	14
Tabla 2.2. Clasificación de las Aguas Residuales .....	16
Tabla 2.3. Clasificación de las Aguas Residuales .....	16
Tabla 2.4. Parámetros del agua residual doméstica - Guápulo .....	17
Tabla 2.5. Parámetros del agua residual doméstica - Guatemala .....	18
Tabla 2.6. Límite máximo permisible de descarga .....	19
Tabla 3.1. Niveles de estudio .....	26
Tabla 3.2. Diseño de tratamientos.....	27
Tabla 3.3. Parámetros a Analizar .....	31
Tabla 3.4. Análisis de varianza (ANOVA).....	33
Tabla 4.1. Volúmenes de los coagulantes naturales para agregar en cada tratamiento .....	35
Tabla 4.2. Promedio de los análisis del agua residual doméstica de Calceta .....	36
Tabla 4.3. Comparación del agua residual doméstica .....	36
Tabla 4.4. Análisis obtenidos del agua residual doméstica de Calceta.....	37
Tabla 4.5. Resultados obtenidos después de aplicar los tratamientos .....	39
Tabla 4.6. Porcentaje de remoción de nitritos y fosfatos .....	44
Tabla 4.7. Remoción de nitritos y fosfatos por cada repetición.....	45
Tabla 4.8. Análisis ANOVA para nitritos .....	45
Tabla 4.9. Prueba de Tukey para nitritos.....	46
Tabla 4.10. Prueba de Tukey de la interacción de los factores A x B para nitritos	46
Tabla 4.11. Análisis ANOVA para fosfatos .....	47
Tabla 4.12. Prueba de Tukey para fosfatos.....	47
Tabla 4.13. Prueba de Tukey de la interacción de los factores A x B para fosfatos .....	48
Tabla 4.14. Análisis del Costo Unitario del coagulante de <i>Moringa oleífera</i> .....	50
Tabla 4.15. Análisis del Costo Unitario del coagulante de <i>Cassia fístula L.</i> .....	50
Tabla 4.16. Análisis del Costo Unitario del coagulante de sulfato de aluminio .....	52

## FIGURAS

Figura 2.1. Especie <i>Moringa oleífera</i> .....	7
Figura 2.2. Especie <i>Cassia fistula L.</i> .....	9
Figura 3.1. Izquierda, estación de Bombeo N°1 y Derecha, laboratorio de Química Ambiental.....	23
Figura 4.1. Sedimentación de los flóculos .....	38
Figura 4.2. Valores de pH después de los Tratamientos .....	40
Figura 4.3. Valores de Temperatura después de los Tratamientos .....	41
Figura 4.4. Valores de Sólidos Totales después de los Tratamientos .....	41
Figura 4.5. Valores de Turbidez después de los Tratamientos.....	42
Figura 4.6. Valores de Conductividad después de los Tratamientos .....	43

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la influencia de los coagulantes naturales *Moringa oleífera* y *Cassia fistula L.*, en remoción de nitrógeno (nitritos) y fósforo (fosfatos) en agua residual doméstica. Previamente se caracterizó el agua residual doméstica de la ciudad de Calceta obteniendo valores promedios de nitritos y fosfatos de 0,078 mg/l y 14,95 mg/l, respectivamente; a parte de estos parámetros también se consideraron pH, temperatura, sólidos totales, turbidez y conductividad. Al agregar los coagulantes naturales se observó la desestabilización de las partículas coloidales y la posterior formación de flóculos, demostrando las características coagulantes de las semillas de *Moringa oleífera* y *Cassia fistula L.*; posterior al tratamiento del agua residual doméstica se analizó nuevamente la misma obteniendo valores promedios en todos los parámetros y por cada tratamiento; en el T1 los valores promedios fueron para nitritos de 0,070 mg/l y fosfatos 6,20 mg/l. Luego con base en los resultados de porcentaje de remoción de nitritos y fosfatos, se determinó como mejor tratamiento el T1 – A1(500 mg/l) B1(500 mg/l), donde se utilizaron concentraciones medias por cada coagulante natural, obteniendo valores de remoción promedio de 10,3% para nitritos y 58,5% fosfatos; este resultado se confirmó estadísticamente por medio del análisis ANOVA y prueba de Tukey. Finalmente se determinó que para producir 20 L de la mezcla biocoagulante se requieren \$62,70 como costo total de producción, cuyo volumen serviría para tratar 1 m<sup>3</sup> de agua residual doméstica, el cual es alta en comparación con otros coagulantes de origen sintético como el sulfato de aluminio.

## PALABRAS CLAVE

Coagulantes naturales, coagulación/floculación, moringa, cassia, tratamiento de aguas.

## ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the influence of the natural coagulants *Moringa oleífera* and *Cassia fistula L.*, in the removal of nitrogen (nitrites) and phosphorus (phosphates) in domestic wastewater. Previously, domestic wastewater from Calceta city was characterized, obtaining average values of nitrites and phosphates of 0.078 mg/l and 14.95 mg/l, respectively; apart from these parameters, pH, temperature, total solids, turbidity and conductivity were also considered. When adding the natural coagulants, the destabilization of the colloidal particles and the subsequent formation of flocs were observed, demonstrating the coagulant characteristics of *Moringa oleífera* and *Cassia fistula L.* After the treatment of the domestic wastewater, it was analyzed again, obtaining average values in all the parameters and for each treatment. In T1 the average values were for nitrites of 0.070 mg/l and phosphates 6.20 mg/l. Then, based on the results of percentage removal of nitrites and phosphates, T1 - A1(500 mg/l) B1(500 mg/l) was obtained as the best treatment, where half concentrations were used for each natural coagulant, which obtained an average removal value of 10.3% for nitrites and 58.5% phosphates; this result was confirmed statistically by means of ANOVA analysis and Tukey's test. Finally, it was determined that to produce 20 L of the biocoagulant mixture, \$62.70 is required as total production cost, whose volume would serve to treat 1 m<sup>3</sup> of domestic wastewater, which is high compared to other coagulants of synthetic origin, such as aluminum sulfate.

## KEYWORDS

Natural coagulants, coagulation/flocculation, moringa, cassia, water treatment.

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

## 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el mundo se utiliza como coagulante tradicional el sulfato de aluminio, ya que presenta buenos resultados en cuanto a la clarificación del agua (Meza *et al.*, 2018), sin embargo, se ha demostrado que altos niveles de aluminio residual en aguas tratadas, puede ser causante de enfermedades neurodegenerativas, como el Alzheimer (Matias & López, 2018), ya que como sal soluble llega a ser biodisponible en el metabolismo humano (Rosero & Suárez, 2019); así mismo, generan muchos volúmenes de lodos tóxicos y difíciles de tratar (Yin, 2010).

En las aguas residuales, el fósforo procede principalmente de los detergentes y heces humanas (Mara, 2013), junto con el nitrógeno, son los responsables de favorecer el proceso de eutrofización; la presencia de nitrógeno ocasiona la reducción de oxígeno disuelto, siendo tóxico para los ecosistemas acuáticos y representado un riesgo para la salud pública (Organización de Información del Agua en España y Latinoamérica [IAGUA], 2018); en consecuencia, las aguas naturales del mundo se están alterando por el vertido de estos contaminantes y ocurre principalmente en donde la actividad humana es intensa (Yan *et al.*, 2016).

En el Ecuador cada planta de tratamiento de aguas posee su propio sistema de tratamiento en donde utilizan distintos agentes coagulantes-floculantes. En Guayaquil el concesionario Interagua utiliza como coagulante el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  líquido, en su planta de tratamiento, en una dosis promedio mensual de 22,43 mg/l (JVP Consultores S.A., 2014). Por otro lado, en Quito, la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento utiliza también el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  líquido como agente coagulante; en la planta de tratamiento Bellavista utilizan dosificaciones promedio de 65 mg/l (Cañas, 2015).

En Ecuador los ríos, lagos y lagunas están siendo afectados por el vertido de contaminantes, como materia orgánica, fertilizantes, plaguicidas, entre otros, procedentes de las actividades antropogénicas, incrementando los valores de nitrógeno y fósforo, considerados nutrientes esenciales para las plantas y en concentraciones elevadas aceleran el proceso de eutrofización y por ende el crecimiento desmedido de vegetación en el agua, reduciendo el oxígeno disuelto y

la capacidad biológica de los mismos (Quintana, 2017); por ejemplo, el estuario del Golfo de Guayaquil, se ha visto afectado por el proceso de la eutrofización, originado por el incremento urbano en zonas costeras (Troccoli & Prado, 2018).

En la provincia de Manabí los cauces naturales y los embalses se han modificado por las descargas de aguas residuales sin tratar (Quiroz *et al.*, 2017), sumado a la actividad agrícola en donde los plaguicidas llegan a los ecosistemas acuáticos mediante la aplicación directa, fumigación aérea y la escorrentía superficial de las tierras agrícolas (Churampi & Malpica, 2021); ambas situaciones contribuyen al aumento de nutrientes como el nitrógeno y fósforo, ocasionando la aceleración del proceso de eutrofización y por ende la pérdida de la calidad de este recurso; en un estudio en el embalse La Esperanza, en el cantón Bolívar, se determinó que presenta un estado eutrófico, por el exceso de nutrientes (Moreira & Sabando, 2016); también, el río Burro de la ciudad de Manta, se ha determinado la presencia de condiciones eutróficas, originando la pérdida de la vida acuática y del cauce del mismo (Vinces, 2018).

Los coagulantes químicos son eficientes en la remoción de contaminantes en el agua (Caldera *et al.*, 2011), motivo por el cual se los sigue utilizando en muchas plantas de tratamiento, su continuo uso es ocasionado por la presencia de la industria química en la vida del hombre para satisfacer sus necesidades y mejorar su calidad (Montes, 2015), acompañado también de la falta de conciencia del ser humano en seguir empleando estos agentes químicos poco amigables con el medio ambiente. Si estos agentes químicos se siguen utilizando, generarán pérdidas económicas a las empresas depuradoras, producirá lodos tóxicos no aptos para el uso agrícola (Yin, 2010), generarán problemas en el proceso de tratamiento de aguas (Cogollo, 2011) y sobre todo, pondrá en riesgo la salud de las personas y el ambiente (Matias & López, 2018).

Así mismo, la presencia de nutrientes en el agua a niveles excesivos, ha acelerado el proceso de eutrofización, originando la pérdida de la calidad de este recurso y otros impactos negativos a escala regional de índole ecológico y económico (Ledesma *et al.*, 2013); esto ha sido ocasionado por la falta de conciencia del ser humano, la ambición del mismo en obtener riquezas a costa de la naturaleza y por no introducir en sus costos de producción los de recuperación y reciclaje. De

continuar esta situación, es probable que lagos, ríos y otras fuentes de agua se sequen, perjudicando la diversidad del planeta (Fernández, 2022); también es posible que en pocos años el acceso a agua limpia sea una quimera y que los seres humanos terminen por disputarse la misma, por lo tanto, es muy importante y necesario evitar y/o retirar estos contaminantes en este recurso natural.

Por lo expuesto, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo influyen los coagulantes naturales *Moringa oleífera* y *Cassia fistula L.*, en la remoción de nitrógeno y fósforo en agua residual doméstica?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Los coagulantes naturales son sustancias de origen orgánico, usados en el tratamiento de aguas; algunos de ellos poseen propiedades coagulantes que actúan de modo similar a los sintéticos, es decir, logran desestabilizar las partículas coloidales contenidas en el agua cruda, aglomerándolas en partículas más grandes, en donde estas por su peso sedimentan y reducen la turbidez inicial; en muchos lugares son utilizados en forma empírica por nativos para aclarar el agua turbia, con muy buenos resultados (Yin, 2010).

Otras de las bondades que ofrecen los coagulantes naturales, es que producen menor cantidad de lodos residuales; incluso esta producción es cinco veces menor que en coagulantes químicos (Choy *et al.*, 2014); de forma similar, no consumen alcalinidad en comparación con los compuestos basados en aluminio o hierro; por tanto, no generan cambios bruscos de pH (Banchón *et al.*, 2016). Los coagulantes naturales han mostrado sus ventajas sobre los tradicionales, tales como bajo costo, buenas propiedades coagulantes, y propiedades saludables y no tóxicas (López *et al.*, 2017).

Para esta investigación se justifica el uso de las especies de *Moringa oleífera* y *Cassia fistula L.*, dada sus características coagulantes y removedoras de contaminantes, comprobadas en algunos estudios, como la realizada por Morales *et al.* (2009), en donde utilizaron *Moringa* como coagulante, obteniendo excelentes resultados en la remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro en un 80%; igualmente, Tarón *et al.* (2017) utilizaron *Cassia* como coagulante natural, en donde concluyeron que es muy eficaz y prometedor como sustituyente de

coagulantes inorgánicos en aguas residuales; finalmente la investigación de Ahumada & Severiche (2018) determinaron que la Moringa tiene alta capacidad de remoción de hasta el 98,8% de nitrógeno y fósforo en aguas residuales.

Así mismo, la investigación tiene un sustento legal, ya que la Constitución de La República del Ecuador (2008) en el artículo 12 expresa “*El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida*”; además, el Código Orgánico del Ambiente (2017) en el artículo 173, referente a las obligaciones del operador de un proyecto, obra o actividad, pública o privada, dice que “*El operador deberá promover en su actividad el uso de tecnologías ambientalmente limpias, [...] así como la implementación de mejores prácticas ambientales en la producción y consumo*”.

Desde el punto de vista teórico la investigación es importante, ya que permite aportar conocimientos referentes a la eficiencia de la *Moringa oleífera* y *Cassia fistula L.* en la remoción de fósforo y nitrógeno en aguas residuales domésticas, cuyos resultados servirán como referencias para otras investigaciones, aportando igualmente con nuevas ideas a la sociedad, la ciencia y ayudará también con el enriquecimiento de la lectura científica.

Así mismo, metodológicamente es factible la investigación, ya que por medio de los métodos, técnicas y diseños que se utilizarán para determinar la eficiencia de la *Moringa oleífera* y *Cassia fistula L.*, y con ello el grado de remoción de fósforo y nitrógeno en aguas residuales domésticas, contribuirá con una metodología que a futuro se podría utilizar en otros estudios relacionados a esta temática.

Finalmente, desde el punto de vista práctico es significativa la investigación, ya que se hace necesario el uso de componentes naturales, como *Moringa oleífera* y *Cassia fistula L.* en la remoción de contaminantes en el agua, para evitar agregar en los procesos de depuración agentes químicos, que puedan poner en riesgo la salud de las personas y de otros componentes ambientales, así como también generar bajos costos en los procesos de depuración.

Motivo por el cual, surge esta investigación con el propósito de proponer una alternativa innovadora, por medio de la evaluación de la influencia de coagulantes

naturales *Moringa oleífera* y *Cassia fístula L.*, en remoción de nitrógeno y fósforo en agua residual doméstica.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar la influencia de los coagulantes naturales *Moringa oleífera* y *Cassia fístula L.*, en la remoción de nitrógeno y fósforo en agua residual doméstica.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obtener los coagulantes naturales *Moringa oleífera* y *Cassia fístula L.*
- Determinar el tratamiento con mayor eficiencia en la remoción de nitrógeno y fósforo.
- Estimar el costo de producción del mejor tratamiento.

### **1.4. HIPÓTESIS**

**H<sub>0</sub>**: Ningún tratamiento influye en la remoción de nitrógeno y fósforo en agua residual doméstica.

**H<sub>A</sub>**: Al menos uno de los tratamientos influye en la remoción de nitrógeno y fósforo en agua residual doméstica.

## **CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. COAGULANTES NATURALES**

#### **2.1.1. CONCEPTUALIZACIÓN**

Guzmán *et al.* (2013) expresan que los coagulantes naturales son una alternativa respecto a los coagulantes químicos, los cuales se producen de manera espontánea por reacciones bioquímicas que ocurren normalmente en animales y plantas, presentan cero o mínima toxicidad y muchos de ellos presentan proteínas solubles en agua.

También, Ortega *et al.* (2021) manifiestan que los coagulantes naturales representan un gran avance en el desarrollo de la tecnología ambiental y sostenible, además permiten mejores condiciones en la salud ambiental y humana; son eficientes en la reducción de los parámetros fisicoquímicos del agua cruda, gracias a la aglomeración de las partículas en suspensión, facilitando la sedimentación y por ende la eliminación principalmente de color y turbidez.

Por último, Nieto & Orellana (2011) mencionan que los coagulantes naturales son sustancias de origen animal o vegetal, solubles en agua y tienen la capacidad de aglutinar partículas suspendidas que se encuentran dentro de un líquido y que, gracias a la gravedad, permite su remoción mediante la sedimentación de las mismas, reduciendo la turbidez de un efluente y por ende la presencia de ciertos elementos que se encuentran en forma suspendida.

#### **2.1.2. AGENTES NATURALES EMPLEADOS EN LA COAGULACIÓN**

El creciente desarrollo y uso de coagulantes naturales, extraídos a partir de microorganismos, tejidos de plantas o animales, son biodegradables y seguros para la salud humana, producen menos volumen de lodos, generando cantidades entre el 20-30 % mucho menores a las generadas por el empleo de agentes coagulantes metálicos, como el alumbre (Šćiban *et al.*, 2009).

Bravo (2017) identificó algunos agentes naturales que han sido utilizados con éxito como coagulantes y por ende en la remoción de contaminantes en el agua; entre estos agentes de origen vegetal y animal se tiene a la *Moringa oleífera*, *Cassia*

*obtusifolia*, *Jatropha curcas*, *Aesculus hippocastanum* y *Quercus robur*, *Abelmoschus esculentus*, *Plantago mayor* L, *Vitis vinífera*, *Plantago psyllium*, *Phaseolus vulgaris*, *Vicia faba* L, ácido láctico, lactato de calcio, escamas de pescado, *Acacia mearncii*, *Schinopsis balansae*, *Betula verrucosa*, Quitosano, *Zea mayz*, *Opuntia ficus indica* y *Musa spp.* A continuación, se detallan las características principales de la *Moringa oleífera* y la *Cassia fístula* L., objetos del presente estudio.

### 2.1.2.1. Moringa (*Moringa oleífera*)

La especie *Moringa oleífera* pertenece a la familia monogénero de las *Moringaceae*, que incluye 13 especies de árboles y arbustos, conocida comúnmente como moringa, es un árbol pequeño originario del noroeste de la India que usualmente alcanza de 10 a 12 m de altura (Liñán, 2010), poco longevo, a lo sumo puede vivir 20 años, es de crecimiento acelerado ya que en un año puede alcanzar 5 m de altura; fue introducida en América por el intercambio de plantas realizado por los españoles con Filipinas (Mora & Gacharná, 2015).



**Figura 2.1.** Especie *Moringa oleífera*

Fuente. (Agricultura Competitiva e Innovación, 2013)

La moringa es un árbol caducifolio, con raíces tuberosas y gruesas, hoja verde claro, de floración abundante, con frutos en cápsulas alargadas y colgantes y que contienen semillas oscuras (Doménech *et al.*, 2017); se estima que cada árbol

puede producir anualmente hasta 25000 semillas, con un peso promedio de 0,30 g por semilla (Foidl *et al.*, 2001). Otra característica muy importante de la moringa es su capacidad de resistencia a la sequía y el potencial agronómico, siendo un árbol cultivable en regiones áridas y semiáridas (García, 2007).

Los usos de la moringa son varios, se puede emplear desde el ámbito nutricional, hasta el tratamiento de aguas o suelos, y por ello, la importancia de esta planta (Mora & Gacharná, 2015). Las hojas, por ejemplo, son fuentes de alimento tanto para el hombre, como para los animales, dado su alto contenido nutricional y bajo costo de producción (Reyes *et al.*, 2010); así mismo, las hojas de la moringa, debido a su gran contenido de azúcar y almidón, son utilizadas como agrocombustibles ya que presentan un mejor rendimiento que la caña de azúcar, llegando a ser diez veces mayor (Castro, 2013).

El polvo de semilla de *Moringa oleífera* es efectivo como coagulante en el tratamiento de aguas residuales, dadas sus propiedades similares a las del sulfato de aluminio, mejorando parámetros físicos, químicos y microbiológicos (Mera *et al.*, 2016). El coagulante a base de la semilla de moringa es eficaz y seguro (Jairo *et al.*, 2014), además de constituirse en una alternativa ambientalmente correcta (Dearmas & Ramírez, 2015); así mismo, posee propiedades antibacterianas, lo cual la hace perfecta para dichos procesos sin afectar la salud humana ni el medio ambiente (Fernandez *et al.*, 2010).

Las características coagulantes son debido a los principios activos contenidos en ambas semillas. La semilla de *Moringa oleífera*, está compuesta principalmente por proteínas tipo globulinas y albúminas, las cuales representan el 53% y 44% de las proteínas totales de la semilla, respectivamente (Baptista *et al.*, 2017); estas proteínas a su vez están formadas por aminoácidos, compuestos nitrogenados que contienen carbono, hidrógeno, oxígeno, azufre, fósforo, hierro, cobre, entre otros, los cuales forman el principio activo responsable de la coagulación (Rondón *et al.*, 2017).

Folkard *et al.* (2001) han reportado que con una pasta de 2 g de polvo de semillas enteras, se pueden potabilizar 20 l de agua de río; normalmente, una semilla entera en polvo es suficiente para clarificar 1 L de agua muy turbia; así mismo, según Martín *et al.* (2013) 100 mg/l de polvo de semillas reduce hasta un 50 % la demanda

química de oxígeno (DQO). La moringa también se usa en casos de biorremediación dada su capacidad de absorber los metales pesados como plomo, cadmio y níquel (Gonçalves *et al*, 2013), cobre, circonio y níquel (Beltrán & Sánchez, 2008). Los extractos de semillas también se han mostrado eficaces en la eliminación de cianobacterias en potabilización de aguas eutrofizadas (Lürling & Beekman, 2010).

#### 2.1.2.2. *Cassia (Cassia fistula L.)*

La especie *Cassia fistula L.*, conocida también como caña fístula, carao, cañadonga y lluvia de oro, es un árbol pequeño de hasta 5 m de altura por 30 cm de diámetro, se encuentra naturalmente en América Central y las zonas costeras de las Antillas (Sánchez & Casquete, 2008), también es una especie nativa de la India y regiones adyacentes del sudeste asiático, pertenece a la familia Fabaceae (Bissanti, 2020).

La *Cassia fistula L.* es un árbol de crecimiento rápido, produce flores entre los tres a cuatro años, se multiplica por medio de semillas, adaptado a zonas con condiciones cálidas y secas, libre de heladas, con temperatura media entre 18 °C y 25 a 30 °C; puede soportar por poco tiempo temperaturas por debajo de 0°C, defoliándose en mayor o menor medida, pero recuperándose posteriormente (Sánchez, 2015).



Figura 2.2. Especie *Cassia fistula L.*

Fuente. (Sánchez, 2015)

Tiene la corteza gris verdoso, hojas compuestas, pinnadas, con cuatro a ocho pares de hojuelas, las flores son de color amarillo intenso y están dispuestas en grandes racimos colgantes (Sánchez & Casquete, 2008), los frutos son vainas alargadas, delgadas, cilíndricas, marrones y de 20 a 50 cm de largo (Killedar *et al.*, 2017). El fruto conserva un gran contenido de aceite volátil, glicósidos antraquinónicos, alcaloides, flavonoides y taninos, a diferencia de sus flores que poseen fistulina y resina; por otra parte, la raíz contiene oxiantraquinonas, taninos y flobafenos, sin embargo, la madera no incluye taninos ni glicósidos (Cañas *et al.*, 2003).

En cuanto a sus usos, a más de ser un árbol ornamental, algunas de sus partes tienen varias aplicaciones, que van desde las medicinales, como la cura de heridas y picaduras de insectos (Sánchez, 2015), hasta la industrial como coagulante en el tratamiento de aguas (Bravo, 2017).

La semilla pulverizada de la *Cassia fistula*, es muy eficiente como coagulante natural alternativo para el tratamiento de aguas crudas, ya que produce una alta actividad coagulante a un pH de 4, debido a que a pH bajo estas partículas proporcionan una superficie cargada positivamente, logrando reaccionar con las partículas coloidales de cargas negativas (Bravo, 2017). Con una dosis de 20 mg/l de este agente coagulante, se han alcanzado valores mínimos de 25 PCU para el color y 6 NTU para turbidez, confirmando el poder coagulante de la cassia, demostrando lo prometedor y eficaz que puede llegar a ser como sustituyente de coagulantes inorgánicos nocivos (Guzmán *et al.*, 2015).

La *Cassia fistula* contiene polisacáridos en su composición vegetal que contienen grupos funcionales que actúan como coagulantes naturales; estos polisacáridos también se encuentran en las semillas, que contiene galactomanano utilizado como coagulante natural de bajo costo (Singh *et al.*, 2009).

### **2.1.3. VENTAJAS DE LOS COAGULANTES NATURALES**

Guzmán *et al.* (2013) manifiestan que los coagulantes naturales, presentan algunas ventajas en comparación con los coagulantes de origen sintético (de manera especial con el alumbre), como por ejemplo, son muy eficientes en la remoción de turbidez en el agua, siendo esta ventaja una de las más importantes, además

producen poco volúmenes de lodos y de paso biodegradables, disminuyen el aumento de la carga iónica en el agua tratada, ahorro de dinero entre el 25% al 30% y presentan mínima o nula toxicidad; en definitiva los coagulantes orgánicos se han caracterizado ampliamente, por su potencial alternativo a los coagulantes de origen sintético en el tratamiento de agua.

Iguamente, Mejía *et al.* (2020) expresan que los coagulantes naturales son una excelente opción en la remoción de contaminantes de alta carga orgánica y turbidez, siendo una buena alternativa su aplicación en el tratamiento primario en zonas rurales de baja demanda de agua.

#### **2.1.4. DESVENTAJAS DE LOS COAGULANTES NATURALES**

Por otro lado, algunos autores manifiestan algunas desventajas de los coagulantes naturales, como es el caso de Choy *et al.* (2014) quienes expresan que los coagulantes naturales necesitan de varias pruebas para poder obtener una dosis óptima; además, Mejía *et al.* (2020) expresan que los coagulantes naturales posiblemente pueden contribuir a un aumento de carga orgánica en el agua debido a su origen natural; igualmente, Banchón *et al.* (2016) explican que al utilizar una concentración inadecuada de un coagulante natural, el exceso conduciría a la restauración de la estabilidad coloidal a través de la repulsión de carga y, por lo tanto, afectaría el proceso de sedimentación.

## **2.2. COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN**

Los procesos de coagulación - floculación de acuerdo a Marín (2020) tienen como objetivo sustraer las sustancias coloidales del agua cuya extraordinaria estabilidad hace que no puedan ser eliminadas por decantación simple, lo que supondría tiempos de tratamiento realmente inviables a escala industrial; en este sentido, el tiempo de sedimentación a 1 m de profundidad de una partícula coloidal de 1  $\mu\text{m}$  a 0,1  $\mu\text{m}$  de tamaño sería de 2 años, y para partículas coloidales de 0,1  $\mu\text{m}$  a 0,01  $\mu\text{m}$  ascendería a 20 años. Banchón *et al.* (2016) explican que la coagulación está diseñada para la desestabilización de sólidos suspendidos, más no los disueltos, aunque en ciertos estudios se eliminó contaminación disuelta, sin embargo, esto no es regla general.

Un coloide es un material que existe en un estado finamente disperso, se mantiene en suspensión debido a que son de tamaño muy pequeños, la relación de superficie y volumen es muy alta, gran hidratación y carga eléctrica de las partículas, así mismo, la partícula coloidal se encuentra sujeta a dos fuerzas opuestas, fuerzas de atracción de Van der Waals y las fuerzas de repulsión electrostáticas (Pradana & García, 2019).

Para que las partículas coloidales pueden sedimentar en poco tiempo, y por lo tanto, el tratamiento de agua sea viable, es necesario la adición de agentes coagulantes, de los cuales los más empleados son el sulfato de aluminio, el aluminato de sodio, alumbre de amonio, caparrosa, sulfato férrico, cloruro férrico, óxido de magnesio, bentonita, silicato de sodio e hidróxido de calcio, sin embargo, de este grupo el más utilizado por su bajo costo y gran efectividad es el sulfato de aluminio, aunque tiene la desventaja de su estrecho rango de pH (6,5 a 8) de aplicación (Rivas *et al.*, 2017).

Los coagulantes de origen natural han aparecido como una fuente alternativa que los nativos han empleado en varios países del mundo para el tratamiento del agua; se generan por reacciones espontáneas producidas en animales y plantas, producto de su metabolismo o de las reacciones bioquímicas que ellos producen (Guzmán *et al.*, 2013). Un aspecto importante es que presentan baja toxicidad y pueden ser empleados como agentes coagulantes y floculantes, debido a que aglutinan las partículas que se encuentran suspendidas en el agua, facilitando su sedimentación y posterior remoción (Galvis *et al.*, 2020).

En la coagulación - floculación, ocurre una mezcla lenta que tiene por objeto facilitar la formación de los flocs, estos van aumentando de tamaño y peso, al agitarse la columna de agua, facilitando su sedimentación; este proceso puede ser potenciado por la agitación proporcionada al sistema, la velocidad de la mezcla y el número de colisiones (Murillo *et al.*, 2020). Un estudio realizado por Mathivanan & Saranaathan (2017), demostraron que la velocidad de agitación de las partículas es un factor importante, ya que promueve una mayor eficiencia del coagulante, alcanzando hasta del 60% de remoción del color aparente.

## **2.3. NITRÓGENO Y FÓSFORO EN AGUAS**

Al igual que para el cuerpo humano, la presencia de nitrógeno y fósforo es esencial para la vida en los ecosistemas acuáticos, estos elementos tienen un papel fundamental como nutriente para el crecimiento de animales y vegetales, sin embargo, la actividad humana tiende a provocar la concentración de estos dos elementos, que en exceso puede provocar la extinción de los ecosistemas acuáticos mediante procesos de eutrofización (Laughinghouse *et al.*, 2022).

### **2.3.1. EUTROFIZACIÓN**

Romero (2020) expresa que la eutrofización es otra forma, poco conocida, de contaminación química que se produce por un aporte excesivo de nitratos y fosfatos a un medio acuático como puede ser un río, un lago o un estanque de la mano del hombre, a través del vertido de contaminantes agrícolas, ricos en nitrógeno y fósforo rompiendo con el equilibrio biológico entre la fauna y la flora de dichos ecosistemas.

Así mismo, Borrás (2022) explica que la eutrofización comienza cuando el agua recibe un vertido de nutrientes con desechos agrícolas o forestales, favoreciendo el crecimiento de materia orgánica, lo que provoca un crecimiento de algas y otras plantas verdes que cubren la superficie del agua y evita que la luz solar llegue a las capas inferiores; la proliferación de estas algas, ocasiona un enturbiamiento del agua, impidiendo que la luz penetre hasta el fondo del ecosistema, y en consecuencia la vegetación muere al no poder realizar la fotosíntesis, generando que otros microorganismos, como bacterias, se alimenten de la materia muerta, consumiendo el oxígeno que necesitaban peces y moluscos, y a la vez generar algas tóxicas y microorganismos patógenos que podrían causar enfermedades.

Ávila & Estupiñán (2013) manifiestan que la eutrofización es un proceso natural en los ecosistemas acuáticos que resulta del enriquecimiento de nutrientes en el cuerpo de agua; el ser humano ha acelerado este proceso, alterando la calidad del agua y la estructura de los biomas, debido al aumento de las cargas orgánicas e inorgánicas de los cuerpos de agua (García, 2016). La eutrofización reduce el uso de los recursos hídricos porque provoca la muerte de animales, la descomposición del agua y el crecimiento de microorganismos (Portela, 2021).

### 2.3.2. ACTIVIDADES HUMANAS QUE FAVORECEN EL EXCESO DE NUTRIENTES (NITRÓGENO Y FÓSFORO) EN EL AGUA

A continuación, se explica (Tabla 2.1) las actividades del hombre que tienden a provocar el exceso de estos nutrientes en el agua y por ende afectando la calidad de la misma.

**Tabla 2.1.** Actividades que contribuyen al exceso de nutrientes en el agua

Actividad	Descripción
Agricultura	Se emplean fertilizantes nitrogenados y fosforados para abonar los cultivos, filtrándose en la tierra y llegando a hasta los ríos y las aguas subterráneas.
Ganadería	Los excrementos de los animales son ricos en nutrientes, sobre todo en nitrógeno. Si los excrementos no son gestionados de buena manera pueden terminar contaminando las aguas cercanas.
Residuos Urbanos	Principalmente los detergentes con fosfatos.
Actividad Industrial	Se pueden producir vertidos tanto de productos nitrogenados como fosfatados entre otros muchos tóxicos.
Contaminación Atmosférica	Las emisiones de óxidos de nitrógeno y azufre reaccionan en la atmósfera produciendo lluvia ácida, llevando nutrientes de este modo a las masas de aguas.
Actividad Forestal	Los residuos forestales que se dejan en las aguas, se degradan aportándole todo el nitrógeno y el resto de nutrientes que tenía la planta.

*Fuente.* (Organización de Información del Agua en España y Latinoamérica [IGUA], 2020)

### 2.3.3. CONTAMINACIÓN POR NITRÓGENO Y FÓSFORO

De acuerdo a Pacheco *et al.* (2002), el nitrógeno se encuentra en el suelo, el aire y el agua de manera natural, existe en forma de nitritos y nitratos, sin embargo, en la actualidad se pueden encontrar altas concentraciones de nitrógeno por la alteración generada de la actividad humana, por lo tanto, se convierte en un peligro latente para la salud humana y animal.

Dentro de los principales efectos causados por la contaminación del nitrógeno en sistemas acuáticos, como lagos, ríos, humedales, entre otros, se encuentran la eutrofización de aguas dulces y marinas, la acidificación o reducida alcalinidad de ríos, lagos y la toxicidad directa para la vida en los ecosistemas presente en los mismos (Camargo & Alonso, 2007).

Por otro lado, Lavie *et al.* (2010) indican que el fósforo en forma de fosfato es muy abundante en la naturaleza, se encuentra de manera natural en las rocas y algunos minerales, además está presente en el estiércol, residuos urbanos, desechos

industriales, detergentes y fertilizantes, siendo este último uno de los mayores aportantes a la contaminación de las aguas superficiales; todos estos residuos y desechos, debido al mal uso o manejo inadecuado que se le da, contribuyendo al crecimiento acelerado de algas y otros organismos que provocan eutrofización y posterior deterioro de los cuerpos de agua.

Debido a que la agricultura se incrementa a nivel mundial, y por la baja calidad e insuficiencia de nutrientes en el suelo, se ha acudido a métodos de fertilización, la cual en su mayoría de casos es mal utilizada, generando exceso de estos en el mismo, que generan contaminación difusa, llegan a los cuerpos de agua, por medios naturales, como las escorrentías generadas por las lluvias, haciendo que los fosfatos tengan una incidencia directa en la contaminación de las aguas superficiales (Mazzucchelli, 2016).

En conclusión, el exceso de estos dos nutrientes, nitrógeno y fósforo, ocasionan que se deteriore la calidad del agua, los alimentos y los hábitats, además, reducen el oxígeno disuelto necesario para que los peces y otras especies acuáticas puedan vivir, todo esto, causa el crecimiento acelerado y desmedido de algas en el agua y cuyo exceso es difícil lidiar para los ecosistemas; así mismo, algunos florecimientos de algas son perjudiciales para los humanos, ya que producen cantidades elevadas de toxinas y crecimiento bacteriano, por ejemplo, si una persona entra en contacto con agua contaminada, la bebe o si consume pescado o moluscos contaminados, podría enfermarse (Agencia de Protección Ambiental [EPA], 2022).

## **2.4. AGUAS RESIDUALES**

Lazcano (2016) expresa que las aguas residuales son aquellas que provienen de las actividades del hombre y de los animales, tanto como de las precipitaciones y que son recolectadas en los sistemas de alcantarillado o vertidas directamente al ambiente.

Por otro lado, Ecomar Fundación (2020) expone que las aguas residuales, son aguas con impurezas procedentes de diferentes orígenes, como domésticos e industriales, principalmente, de esta forma estas aguas contienen elementos contaminantes originados en desechos urbanos o industriales.

Zarza (2022) indica que las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad está afectada negativamente por la influencia antropogénica, es decir, se trata de agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó, ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella.

### 2.4.1. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Según Aragonese & Zarzosa (2020) manifiestan que la clasificación de las aguas residuales, se las debe de realizar de acuerdo a su procedencia; En la Tabla 2.2 se explica:

**Tabla 2.2.** Clasificación de las Aguas Residuales

<b>Aguas Residuales</b>	<b>Descripción</b>
Blancas o de Lluvias	Procedentes de drenajes o escorrentías; se caracterizan por aportaciones intermitentes de grandes volúmenes de agua y elevada concentración de contaminantes al inicio de las lluvias. Estas aguas, incorporan también carga contaminante al atravesar parte de la atmósfera y por el lavado de terrenos.
Domésticas	Son las procedentes de zonas de vivienda y de servicios; generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.
Industriales	Son aquellas aguas vertidas desde locales utilizadas para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean domésticas ni pluviales.
Negras o Urbanas	Son las aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con las aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial.

*Fuente.* (Aragonese & Zarzosa, 2020)

Por otra parte, Lazcano (2016) explica que la clasificación de las aguas residuales (Tabla 2.3), se las debe de realizar de la siguiente manera:

**Tabla 2.3.** Clasificación de las Aguas Residuales

<b>Aguas Residuales</b>	<b>Descripción</b>
Domésticas	Son flujos de agua conformados por la combinación de las excretas eliminadas por la población, que incluye heces y orina; además, contiene desechos de animales domésticos, residuos de lavandería y residuos de industrias caseras. Las proteínas, los carbohidratos y las grasas, son los compuestos que se encuentran en mayor cantidad.
Industriales	Son las provenientes de las distintas industrias situadas en la periferia de las áreas urbanas y que deben ser tratadas antes de ser vertidas al alcantarillado. La carga orgánica (CO), los aceites y grasas, temperatura, pH y sustancias recalcitrantes, son los principales parámetros a ser tomados en cuenta para su control.

Municipales	Son aquellas provenientes tanto de los efluentes domésticos como de las pequeñas industrias y otras actividades realizadas en las áreas urbanas (comercios, oficinas, restaurantes, mercados de abasto, etc.).
Agropecuarias o Agroindustriales	Se refiere a las escorrentías que provienen de la actividad agrícola y de los mataderos, establos, granjas avícolas, etc., que generan gran cantidad de materia orgánica carbonácea, constituidas por el estiércol y purines de los animales, combinado con residuos tóxicos de los pesticidas y fertilizantes usados en la agricultura.
Origen Minero o Metalúrgico	Son los efluentes procedentes de las minas y son considerados los más peligrosos, debido a que mayormente lo constituyen metales pesados como el Pb, Hg, Cd, Zn, etc., y metaloides como el Sb y el As.
Pluviales	Son las aguas de las lluvias que llegan a las alcantarillas; pueden variar las características del agua como el pH, debido a que muchas de las aguas lluvias se convierten en lluvias ácidas antes de llegar al suelo y a las alcantarillas.

*Fuente.* (Lazcano, 2016)

## 2.4.2. AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

De acuerdo a una investigación realizada por Valle (2016) determina la composición de las aguas residuales domésticas, en un sector denominado Guápulo de la ciudad de Quito – Ecuador. A continuación, se muestran varios resultados (Tabla 2.4) obtenidos en este estudio en cuanto a la composición física, química y microbiológica de las aguas residuales domésticas, y que son los referenciales en un agua residual doméstica típica.

**Tabla 2.4.** Parámetros del agua residual doméstica - Guápulo

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura	°C	15,20
Conductividad	ms/cm	0,40
Turbidez	NTU	122,85
Sólidos Totales	mg/l	597,30
Sólidos Disueltos	mg/l	423,80
Sólidos Suspendidos	mg/l	173,50
Color	Unidades de Color	480
Caudal	m <sup>3</sup> /s	0,0010
Potencial de Hidrógeno	-	7,21
Nitrógeno Total	mg/l	40
Fosfatos	mg/l	14,80
Fósforo Total	mg/l	7,50
DBO5	mg/l	16
DQO	mg/l	47
Aceites y Grasas	mg/l	987,20*

Tensoactivos	mg/l	2895
Coliformes Totales	NMP/100ml	1,6x10 <sup>14</sup>
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1,1x10 <sup>6</sup>

\* El parámetro Aceites y Grasas, es el único que no está dentro los valores de composición típica del agua residual doméstica; de acuerdo a Romero (2010), debe ser como máximo de 100 mg/l.

*Fuente.* (Valle, 2016)

**Tabla 2.5.** Parámetros del agua residual doméstica - Guatemala

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura	°C	23
Sólidos Totales	mg/l	641
Sólidos Suspendidos	mg/l	283
Color	Unidades de Color	404
Potencial de Hidrógeno	-	7,44
Nitrógeno Total	mg/l	40,50
Fósforo Total	mg/l	11,60
DBO5	mg/l	253
DQO	mg/l	422
Coliformes Totales	NMP/100ml	9,7x10 <sup>11</sup>
Coliformes Fecales	NMP/100ml	6,8x10 <sup>11</sup>

*Fuente.* (Peralta, 2015)

Además, en la investigación realizada por Peralta (2015) determina los parámetros (Tabla 2.5) del agua residual doméstica en Guatemala, cuyos valores son típicos de estas aguas.

### 2.4.3. ACUERDO MINISTERIAL N°097 A

La norma tiene como objeto la prevención y control de la contaminación ambiental, en lo relativo al recurso agua; es decir, proteger la calidad de este recurso para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente de general (Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente, TULSMA, 2017). En la Tabla 2.6 se muestran los límites permisibles de descarga al sistema de alcantarillado público de algunos parámetros.

**Tabla 2.6.** Límite máximo permisible de descarga

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sustancia soluble en hexano	mg/l	70,0
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Potencial de Hidrógeno	pH	-	6-9
Sólidos Sedimentables	SD	mg/l	20,0
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	220,0
Sólidos Totales	ST	mg/l	1600,0
Temperatura	°C	-	<40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metilo	mg/l	2,0

Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, Tabla 8 Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público.

*Fuente.* (Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente [TULSMA], 2017)

#### 2.4.4. TÉCNICAS DE MUESTREO EN AGUA

Para la toma y conservación de las muestras, y otros aspectos, se siguieron ciertos procedimientos establecidos en algunas Normas Técnicas Ecuatoriana que a continuación se detallan:

##### 2.4.4.1. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2226:2013: Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Diseño de los Programas de Muestreo.

Precauciones Generales de Seguridad:

- La amplitud en el rango de condiciones encontradas en el muestreo de aguas y de sedimentos puede colocar al personal en una variedad de riesgos e inseguridades para la salud. Aparte del daño físico, se deben tomar precauciones para evitar la inhalación de gases tóxicos y la

ingestión de materiales tóxicos a través de la boca y la piel.

- Las situaciones específicas sobre seguridad se indican a continuación:
  - Se debe evitar en lo posible el muestreo en sitios inseguros; si el muestreo es inevitable, la operación debe ser conducida por un equipo que conozca y utilice las precauciones adecuadas, no se recomienda un solo operador. Como alternativa, donde sea posible, se puede muestrear desde puentes.

#### **2.4.4.2. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:1998: Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo.**

Características del muestreador y del equipo de muestreo:

- El recipiente tiene que proteger la composición de la muestra de pérdidas debidas a adsorción y volatilización, o de la contaminación por sustancias extrañas. El recipiente usado para recoger y guardar la muestra se debe elegir luego de considerar, por ejemplo: su resistencia a temperaturas extremas, resistencia a la rotura, facilidad para cerrar y reabrir, tamaño, forma, peso, disponibilidad, costo, facilidad para el lavado y la reutilización.

#### **2.4.4.3. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98: Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras.**

Refrigeración y congelación de las muestras:

- Las muestras se deben guardar a temperaturas más bajas que la temperatura a la cual se recolectó. Los recipientes se deben llenar casi pero no completamente.
- La refrigeración o congelación de las muestras es efectiva si se realiza inmediatamente luego de la recolección de la muestra. Se debe usar, cajas térmicas o refrigeradores de campo desde el lugar del muestreo.

Cabe recalcar que estas tres normas en donde se hace referencia a las técnicas de muestreo y conservación de muestras de agua, se han ubicado puntos de interés por parte de los investigadores; sin embargo, en las normas en cuestión

reposan más especificaciones referentes a este tema.

## **2.5. INVESTIGACIONES RELACIONADAS A COAGULANTES NATURALES**

En una investigación realizada en Colombia, Ahumada & Severiche (2018) trabajaron con adsorbentes elaborados de semillas y tallos de *Moringa oleífera Lam* para la remoción de fósforo y nitrógeno en agua residual doméstica e industrial, en donde obtuvieron remociones de 88,71, 90,97 y 98,81%, convirtiéndose en resultados efectivos en comparación con la eficiencia de tecnologías actuales. Luego recurrieron a las técnicas de análisis de varianza (ANOVA), con la finalidad de obtener un argumento estadístico de los datos, en el cual concluyeron que el tiempo y los tipos de adsorbentes influyen en la remoción de nutrientes.

Así mismo, Palmero & Lías (2018) evaluaron el efecto de la semilla de Moringa como coagulante natural en agua residual de origen agroindustrial. El estudio de la eficiencia lo realizaron haciendo uso de los ensayos de turbidez, color, pH, alcalinidad total, sólidos totales disueltos y sólidos totales suspendidos. El agua residual cruda reportó una turbidez inicial de 1826 NTU. Utilizaron un intervalo de concentración de 10 mg/l a 30 mg/l de la solución coagulante de *Moringa oleífera LAM*, en donde obtuvieron un valor de dosis óptima de 15 mg/l para el valor de turbidez mencionado y alcanzando un porcentaje de remoción del 92%; mientras que para el color lograron remover el 69%. Los valores de alcalinidad y pH no se vieron afectados con la aplicación de la solución coagulante.

Por otra parte, en Colombia de acuerdo a una investigación realizada por Cabrera *et al.* (2018), demostraron el potencial que presentan los coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales a nivel industrial, frente a los que existen en el mercado; así mismo, investigaron que estos coagulantes son una excelente alternativa en la remoción de turbidez en aguas residuales industriales, alcanzando porcentajes de remoción superior al 75% comparados con los resultados obtenidos por los coagulantes convencionales.

También, en una investigación realizada en Colombia por Tarón *et al.* (2017) utilizaron polvo de la semilla de la *Cassia fistula L.* en el tratamiento primario de aguas residuales, en donde encontraron una dosis óptima del coagulante natural

comprendida entre 15 a 25 mg/l, obteniendo valores finales de 30,25 NTU en la turbidez y 84 UC de color respectivamente; los valores de pH y alcalinidad total no presentaron mayores variaciones; lo que demuestra que la *Cassia fistula* es un coagulante natural, prometedor y eficaz para la sustitución de coagulantes inorgánicos en el proceso de coagulación de aguas residuales.

Finalmente, la investigación realizada en Perú por Salome & Salvatierra (2019) trabajaron con polvo de la semilla de *Cassia fistula* en agua para potabilización y determinaron que la remoción de turbidez en agua cruda alcanzó hasta el 97,8% en época de estiaje y hasta el 98,7% en época de avenida, con una dosis óptima de 20 mg/l y a 40 minutos como tiempo de agitación. Encontraron variaciones de pH de 8,03 en época de estiaje y 8,09 en época de avenida con 30 mg/l de dosis de coagulante, por lo que se llegó a la conclusión de que existe una relación directamente proporcional entre la dosis de coagulante y pH.

## CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

### 3.1. UBICACIÓN

La investigación se realizó en dos momentos; en primer lugar, la toma de muestra del agua residual doméstica en la estación de bombeo N°1 ubicada en la calle Salinas y José María Huerta, cuyas coordenadas UTM (Zona 17S) son 592784,3 E y 9906776,3 S; luego, en el laboratorio de Química Ambiental de la ESPAM MFL, cuyas coordenadas UTM (Zona 17S) son 590559,2 E y 9908649,9 S ubicado en el sitio el Limón, ambos en el Cantón Bolívar, provincia de Manabí (Figura 3.1).



**Figura 3.1.** Izquierda, estación de Bombeo N°1 y Derecha, laboratorio de Química Ambiental

*Fuente.* (Google Earth, 2019)

### 3.2. DURACIÓN

La investigación tuvo una duración de 120 días (4 meses), desde el mes de marzo de 2022 hasta junio de 2022.

### 3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.3.1. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

Consiste en la manipulación de la variable independiente. Se incluyen en este apartado los estudios que en general aplican diseños experimentales (busca

predecir lo que podría ocurrir) (Martínez, 2012); en este sentido la presente investigación fue de tipo experimental, ya que tuvo como característica la manipulación de la variable independiente, coagulantes naturales *Moringa oleífera* y *Cassia fístula L.*, en donde por medio de un diseño experimental se utilizó diferentes tratamientos; así mismo, la medición de la variable dependiente, remoción de nitrógeno y fósforo, para determinar la eficiencia de estos coagulantes.

### 3.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS

#### 3.4.1. MÉTODOS

- **Inductivo-Deductivo:** Parte de inferencias basadas en hechos particulares, en este sentido es inductivo; pero una vez establecidas dichas inferencias, las toma como afirmaciones universales para aplicar a casos particulares, en este sentido se convierte en deductivo (Muñoz, 2015); por lo que, la investigación utilizó estos dos métodos, ya que se infirió que las semillas de *Moringa oleífera* y *Cassia fístula L.*, son buenos coagulantes en conjunto y que pueden ser usados en la remoción de nutrientes en el agua que afectan la calidad de la misma.
- **Analítico:** El método analítico consiste en separar las partes de un fenómeno que se pretende estudiar, observando de manera secuencial sus causas y efectos, esto con la idea de comprender su naturaleza (Martínez, 2012); tiene estrecha relación con el método inductivo (Muñoz, 2015); motivo por el cual, el trabajo utilizó también este método, ya que se realizó por medio de la observación un análisis del comportamiento de las semillas de *Moringa oleífera* y *Cassia fístula L.*, como agentes coagulantes en la remoción de nitrógeno y fósforo, y partir de allí establecer una conclusión general (Monroy & Nava, 2018).
- **Estadístico:** De acuerdo a Monroy & Nava (2018), el método estadístico consiste en manejar los datos obtenidos en una investigación a partir de una serie de procedimientos, con el propósito de comprobar la validez de una hipótesis; la presente investigación utilizó este método ya que se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si existen diferencias

estadísticamente significativas con los datos obtenidos por cada factor y los tratamientos.

- **Bibliográfico o Documental:** Se basa en buscar datos sobre el tema elegido en textos, revistas, artículos especializados, de la red Internet, folletos, tesis, trabajos de investigación, entre otros, en forma organizada (García, 2012); en este sentido, el presente trabajo de investigación requirió también del soporte de este método, ya que necesitó de la búsqueda de información, especialmente con las relacionadas al uso de las semillas de *Moringa oleífera* y *Cassia fistula L.* como coagulantes naturales.

### 3.4.2. TÉCNICAS

- **Observación:** Consiste en el examen analítico de los fenómenos o sucesos que ocurren al alrededor. Se utiliza para recopilar datos empíricos (producto de la realidad), los cuales deben ser obtenidos sin prejuicios que suelen distorsionar la información que obtiene (Martínez, 2012); motivo por el cual fue imprescindible esta técnica ya que es la base de todas las investigaciones, por lo que sirve para percibir la realidad a través de los sentidos, posteriormente plantear todas las interrogantes y finalmente por medio de la experimentación encontrar las respuestas a todas las dudas.
- **Análisis de laboratorio (*Standar Methods*):** Los Standars Methods son técnicas desarrolladas por varios investigadores para la determinación de la calidad del agua (Standard Methods, 2017). Esta técnica fue usada de igual manera en la presente investigación, ya que se la requirió para el análisis del agua residual y al mismo tiempo fue necesario manejar una metodología estándar para que los resultados sean muy confiables.
- **Prueba o Test de Jarra:** Dispositivo llamado floculador provisto de cuatro o cinco puntos de agitación, que permite agitar simultáneamente, a una velocidad determinada, el líquido contenido en una serie de vasos (Wiki, 2007). Así mismo, técnica importante en el presente trabajo, ya que, por medio de esta se experimentó la eficiencia de los coagulantes naturales *Moringa oleífera* y *Cassia fistula L.* en la remoción de nitrógeno y fósforo.

- **Software SPSS:** Statistical Product and Service Solutions es una herramienta de tratamiento de datos y análisis estadístico (Bausela, 2005); se utilizó igualmente en esta investigación para el tratamiento y análisis de los datos obtenidos en el laboratorio, en donde se tuvo una visión más clara de las concentraciones de los coagulantes naturales que mejores resultados ofrecieron.

### 3.5. FACTORES EN ESTUDIO

Factor A: Coagulante de *Moringa oleífera*

Factor B: Coagulante de *Cassia fistula L.*

#### 3.5.1. NIVELES DE ESTUDIO

Tabla 3.1. Niveles de estudio

<b>FACTOR A: Coagulante de <i>Moringa oleífera</i></b>	<b>FACTOR B: Coagulante de <i>Cassia fistula L.</i></b>
A1: Concentración 500 mg/l	B1: Concentración 500 mg/l
A2: Concentración 3000 mg/l	B2: Concentración 3000 mg/l
A3: Concentración 6000 mg/l	B3: Concentración 6000 mg/l

*Elaboración. Autores*

Las concentraciones detalladas en la Tabla 3.1 para el diseño experimental, se solventaron con base a actividades exploratorias, en donde se evaluaron individualmente los coagulantes naturales con concentraciones bajas (150 mg/l), medias (600 mg/l) y altas (1000 mg/l, 3000 mg/l y 5000 mg/l).

### 3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplicó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) en arreglo bifactorial ( $3^2$ ). Se obtuvieron nueve tratamientos y en cada uno se realizaron tres réplicas, con un total de 27 unidades experimentales.

Tabla 3.2. Diseño de tratamientos

Tratamiento	Nomenclatura	Velocidad y Tiempo de Mezclado	Agua Residual
T1	A1B1	Mezcla rápida: 200 rpm, por 60 segundos. Mezcla lenta: 45 rpm, por 10 minutos.  Velocidad y tiempo de mezclado como variables fijas para todos los tratamientos.	1000 ml
T2	A1B2		
T3	A1B3		
T4	A2B1		
T5	A2B2		
T6	A3B3		
T7	A3B1		
T8	A3B2		
T9	A3B3		

Elaboración. Autores

### 3.7. UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental estuvo constituida por un vaso de precipitación con capacidad de 1 L y contuvo 1000 ml de agua residual doméstica; a esta se agregaron los volúmenes (Tabla 4.1) de los coagulantes de *Moringa oleífera* y *Cassia fistula L.* de acuerdo al tratamiento específico; la velocidad y tiempo de mezclado fue: en mezcla rápida 200 rpm por 60 segundos y en mezcla lenta 45 rpm por 10 minutos (Chethana *et al.*, 2016), ambas como variables fijas para todos los tratamientos.

### 3.8. VARIABLES A MEDIR

#### 3.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Coagulantes naturales *Moringa oleífera* y *Cassia fistula L.*

#### 3.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Remoción de nitrógeno y fósforo

### 3.9. MANEJO DEL EXPERIMENTO

La ejecución del trabajo de investigación se realizó en tres fases, mismas que estuvieron enlazadas a los objetivos planteados.

### 3.9.1. FASE 1: OBTENCIÓN DE LOS COAGULANTES NATURALES *Moringa oleífera* Y *Cassia fístula* L.

#### 3.9.1.1. Actividad N°1: Obtención del coagulante *Moringa oleífera*.

- **Preparación de la semilla:** Las semillas de *Moringa oleífera* se las ubicó en la estufa a 105 °C por el lapso de una hora (Anexo 1); seguidamente con la ayuda de un mortero se las trituró para obtener un polvo fino de aspecto grasoso (Rodríguez *et al.*, 2012) (Anexo 2).
- **Extracción de la grasa en la semilla:** Debido a que la semilla de *Moringa oleífera* cuenta con aproximadamente 40% de su peso en aceites y grasas (García *et al.*, 2016), los cuales no poseen propiedades coagulantes y al contrario deja un residual lipídico en el agua, se hizo una extracción de ese contenido. En este procedimiento se debió evitar la pérdida de proteína, el principal causante del mecanismo de coagulación que corresponde al 60% (Hassan *et al.*, 2012).

Luego de obtener el polvo fino de aspecto grasoso de la semilla de *Moringa oleífera*, se agregó 50 g del mismo a 200 ml de Etanol (95%); esta mezcla se agitó durante 2 minutos con un agitador magnético a 1300 rpm; la mezcla resultante se filtró al vacío con papel filtro, extrayendo de esta manera la grasa en la semilla (Anexo 3). Finalmente, la fracción de sólidos resultantes, se dejó secar a temperatura ambiente durante 24 horas (Arias *et al.*, 2017) (Anexo 4).

- **Preparación del coagulante:** Una vez secado el polvo fino de la semilla de *Moringa oleífera* ya sin grasa, se añadió 50 g del mismo en 1 L de solución de NaCl al 1M (5,85%), dado que la sal incrementa la solubilidad del componente activo de la semilla de *Moringa oleífera* (Mejía *et al.*, 2020), y se mezcló durante 10 minutos con un agitador magnético a 60 rpm (Okuda *et al.*, 2001) (Anexo 5).

La solución de cloruro de sodio al 1M (5,85%), se la consiguió agregando 58,5 g de esta sal en 1000 ml de agua destilada, mezclando con un agitador

magnético a 200 rpm durante 20 minutos para homogeneizar la distribución de la sal.

### 3.9.1.2. Actividad N°2: Obtención del coagulante *Cassia fístula L.*

- **Preparación de la semilla:** Obtenidas las semillas de *Cassia fístula L.*, se las ubicó en el sol durante un periodo de ocho días (Anexo 6). Una vez que las semillas estuvieron secas, se las molió y tamizó (tamiz = 1x1 mm), repitiendo varias veces este proceso en donde se obtuvo un polvo de consistencia fina o agente coagulante (Guzmán *et al.*, 2015) (Anexo 7).
- **Preparación del Coagulante:** Para la obtención del coagulante madre se añadió 50 g del polvo fino de la semilla en 1000 ml de agua destilada y se mezcló durante 10 minutos con un agitador magnético a 60 rpm (Yin, 2010) (Anexo 8).

### 3.9.1.3. Actividad N°3: Determinación de los volúmenes de los coagulantes naturales.

Se determinaron los volúmenes de los coagulantes naturales requeridos para agregar en cada tratamiento, el cual permitió lograr las concentraciones especificadas en los niveles de estudio. Se recurrió a la Fórmula 3.1.

Fórmula 3.1. Cálculo de volúmenes y concentraciones

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Donde:

- $C_1$  = Concentración inicial
- $C_2$  = Concentración final
- $V_1$  = Volumen inicial
- $V_2$  = Volumen final

### 3.9.2. FASE 2: DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO CON MAYOR EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO

#### 3.9.2.1. Actividad N°1: Caracterización del agua residual doméstica de la ciudad Calceta.

- **Toma de muestra:** La toma de muestra del agua residual doméstica se la realizó en la estación de bombeo N°1 (Anexo 9), se utilizó un GPS para georreferenciar el sitio (Anexo 10). Para la toma y conservación de la muestra se tomaron en cuenta las guías especificadas en las Normas Técnicas Ecuatorianas, INEN 2266 (2013) Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Diseño de los Programas de Muestreo; INEN 2176 (1998) Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo; INEN 2169 (1998) Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras.
- **Análisis de Laboratorio:** Recolectada la muestra, fue trasladada hacia los laboratorios de Química Ambiental de la ESPAM MFL para los respectivos análisis (Anexo 11). A más de considerar la concentración de nitrógeno y fósforo en función de nitritos y fosfatos respectivamente, también se tomaron en cuenta otros parámetros (Tabla 3.3). Una vez obtenidos los resultados de cada parámetro, se calculó un promedio en donde se logró un diagnóstico completo del agua residual. La guía para los análisis se realizó por medio del libro de Standard Methods (2017).

La toma de muestra y los análisis se realizaron durante dos semanas, considerándose los días martes y jueves entre la semana del 19 al 28 de abril de 2022.

#### 3.9.2.2. Actividad N°3: Realización de la prueba de jarras.

Se agregó en cada jarra 1000 ml de agua residual doméstica de la ciudad de Calceta, seguidamente a cada muestra se la sometió a una mezcla rápida de 200 rpm durante 60 segundos, en este lapso de tiempo se agregaron los volúmenes (Tabla 4.1) de los coagulantes naturales de *Moringa oleífera* y *Cassia fistula L.* de acuerdo al diseño experimental planteado (Tabla 3.2); la adición de los coagulantes se lo realizó rápidamente y se tuvo cuidado de añadirlos en el centro de la agitación.

Pasado los 60 segundos se redujo la velocidad a una mezcla lenta de 45 rpm por un periodo de 10 minutos (Anexo 12); transcurrido este tiempo se dejó sedimentar por un espacio de 20 minutos (Chethana *et al.*, 2016).

Finalmente, se tomaron las muestras (por separado) en cada jarra del agua tratada a 4 cm de profundidad y se determinó nuevamente los valores detallados en la Tabla 3.3, (a excepción de la DBO5 y DQO, cuyos parámetros sirvieron para obtener el diagnóstico general del agua residual doméstica).

**Tabla 3.3.** Parámetros a Analizar

Parámetros	Unidad	Método	Lugar
DBO5	mg/l	Standard methods 21th 5210 D	Laboratorio
DQO	mg/l	Standard methods 21th 5220 D	Laboratorio
Nitritos	mg/l	Standard methods 21th 3500	Laboratorio
Fosfatos	mg/l	Standard methods 21th 4500-P	Laboratorio
pH	N/A	Standard methods 21th 4500-H+	In Situ
Temperatura	°C	Standard Methods 21 th 2550	In Situ
Sólidos Totales	mg/l	Standard Methods 21th 2540 B	Laboratorio
Turbidez	UNT	Standard Methods 21th 2130 B	Laboratorio
Conductividad	S/m	Standard methods 21th 2510	Laboratorio

*Fuente.* (Standard Methods, 2017)

### 3.9.2.3. Actividad N°4: Cálculo del porcentaje de remoción de nitrógeno y fósforo.

Para obtener el porcentaje de remoción de nitrógeno y fósforo (en función de nitritos y fosfatos, respectivamente) de cada tratamiento, se usó la Fórmula 3.2 (Ahumada & Severiche, 2018); se consideraron los promedios obtenidos antes del tratamiento (Tabla 4.2) como concentración inicial y los resultados posterior al tratamiento (Tabla 4.5), como concentración final.

**Fórmula 3.2.** Porcentaje de remoción

$$\% \text{ de remoción} = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \times 100$$

Donde:

- $C_0$  = Concentración inicial
- $C_f$  = Concentración final

### 3.9.3. FASE 3: ESTIMACIÓN DEL COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO

Establecido el mejor tratamiento, se efectuó un análisis de costo unitario, en donde se acudió a la Fórmula 3.3, importante para el cálculo del costo total de producción del coagulante natural.

Se tomó como referencia el gasto efectuado en la elaboración de 1 L de coagulante natural del mejor tratamiento y datos correspondientes a las Estructuras Ocupacionales – Sueldos y Salarios Mínimos Sectoriales y Tarifas Salarios Mínimos Sectoriales 2022, del Ministerio de Trabajo del Ecuador (2022); luego, por medio de operaciones básicas, se procedió a calcular la cantidad de coagulantes naturales y el costo para tratar un metro cúbico de agua residual doméstica.

La Fórmula 3.3 consideró tres factores fundamentales de producción (Vinza, 2012).

- Herramientas o equipos
- Mano de obra directa
- Materia prima

**Fórmula 3.3.** Costo total de Producción

$$CP = (H + M_{od} + M_p)$$

Donde:

- $CP$  = Costo total de producción
- $H$  = Herramientas o equipos
- $M_{od}$  = Mano de obra directa
- $M_p$  = Materia prima

### 3.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla 3.4. Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente de Variación	Grados de Libertad
FACTOR A	2
FACTOR B	2
A x B	4
Error experimental	18
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>

*Elaboración. Autores*

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si existieron diferencias estadísticamente significativas con los datos obtenidos por cada factor y los tratamientos; de igual manera, se efectuó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0,05. Se trabajó con la herramienta estadística SPSS.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. FASE 1: OBTENCIÓN DE LOS COAGULANTES NATURALES

#### *Moringa oleífera* y *Cassia fístula* L.

Se obtuvo el coagulante madre de la *Moringa oleífera* (Anexo 13) con una concentración inicial de 50000 mg/l; igualmente, el coagulante madre de *Cassia Fístula* a una concentración inicial de 50000 mg/l (Anexo 14). Los coagulantes se mantuvieron en refrigeración por un periodo no superior a un mes para conservar su efectividad.

La refrigeración de los coagulantes naturales coincide con lo propuesto por Chethana *et al.* (2016), el cual hicieron una investigación referente al tratamiento de agua residuales con biocoagulantes y recomiendan la refrigeración de estos agentes para preservar su efectividad. Así mismo, Murillo *et al.* (2020) recomiendan que se debe preservar en custodia de frío durante un mes, después de este tiempo, la sustancia se descompone perdiendo sus características.

Para el cálculo del volumen del coagulante de *Moringa oleífera* del T1, se consideró como  $C_1 = 50000$  mg/l, que corresponde a la concentración del coagulante madre,  $C_2 = 500$  mg/l, concentración especificada en los niveles de estudio (A1, Tabla 3.1) y  $V_2 = 1000$  ml, el volumen del agua residual doméstica, entonces:

Se reemplaza los valores de la expresión  $C_1V_1 = C_2V_2$ , correspondiente a la Fórmula 3.1.

$$50000 \text{ mg/l} \times V_1 = 500 \text{ mg/l} \times 1000 \text{ ml}$$

Se despeja  $V_1$ :

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{500 \text{ mg/l} \times 1000 \text{ ml}}{50000 \text{ mg/l}} = 10 \text{ ml}$$

Los 10 ml corresponden al volumen del coagulante de *Moringa oleífera* para el T1; igual procedimiento se siguió para el cálculo de los otros volúmenes y con los del coagulante de *Cassia Fístula*. En la Tabla 4.1 se encuentran los volúmenes de coagulantes naturales para cada tratamiento.

**Tabla 4.1.** Volúmenes de los coagulantes naturales para agregar en cada tratamiento

Tratamientos	Volumen de los coagulantes	
	<i>Moringa oleífera</i> (50000 mg/l)	<i>Cassia fistula</i> L. (50000 mg/l)
T1	10 ml	10 ml
T2	10 ml	60 ml
T3	10 ml	120 ml
T4	60 ml	10 ml
T5	60 ml	60 ml
T6	60 ml	120 ml
T7	120 ml	10 ml
T8	120 ml	60 ml
T9	120 ml	120 ml

*Elaboración. Autores*

## **4.2. FASE 2: DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO CON MAYOR EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO**

Se calculó un promedio a partir de los resultados obtenidos en el laboratorio para cada parámetro luego de realizado el análisis al agua residual doméstica de la ciudad del Calceta. El promedio de los análisis (Tabla 4.2) dan cuenta que el agua residual doméstica (ARD) de Calceta contiene parámetros típicos de este tipo de agua; al hacer la comparación con los parámetros de ARD en Guatemala (Peralta, 2015) y del Acuerdo Ministerial N° 097 A: Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente [Tulsma], (2017): Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, Tabla 8 Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público, se observan valores muy semejantes (Tabla 4.3).

**Tabla 4.2.** Promedio de los análisis del agua residual doméstica de Calceta

<b>Promedio</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
DBO5	mg/l	260
DQO	mg/l	572
Nitritos	mg/l	0,078
Fosfatos	mg/l	14,95
pH	N/A	7,2
Temperatura	°C	27,3
Sólidos Totales	mg/l	641,7
Turbidez	UNT	91,41
Conductividad	S/m	0,99

*Elaboración. Autores*

**Tabla 4.3.** Comparación del agua residual doméstica

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>ARD de Calceta</b>	<b>ARD en Guatemala</b>	<b>Acuerdo Ministerial N° 097 A</b>
		<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Límite Máximo Permissible</b>
DBO5	mg/l	260	253	250
DQO	mg/l	572	422	500
pH	N/A	7,2	7,44	6 - 9
Sólidos Totales	mg/l	641,7	641	1600
Temperatura	°C	27,3	23	<40

*Elaboración. Autores*

Para el agua residual doméstica de Calceta los parámetros de DBO5 y DQO no se encuentran dentro del límite máximo permisible, sin embargo, su variación es mínima; en cuanto al pH, sólidos totales y temperatura, si se encuentran dentro de este Límite en relación al Acuerdo Ministerial N° 097 A.

En la Tabla 4.4 se muestran en forma general los análisis obtenidos en el laboratorio por cada fecha específica.

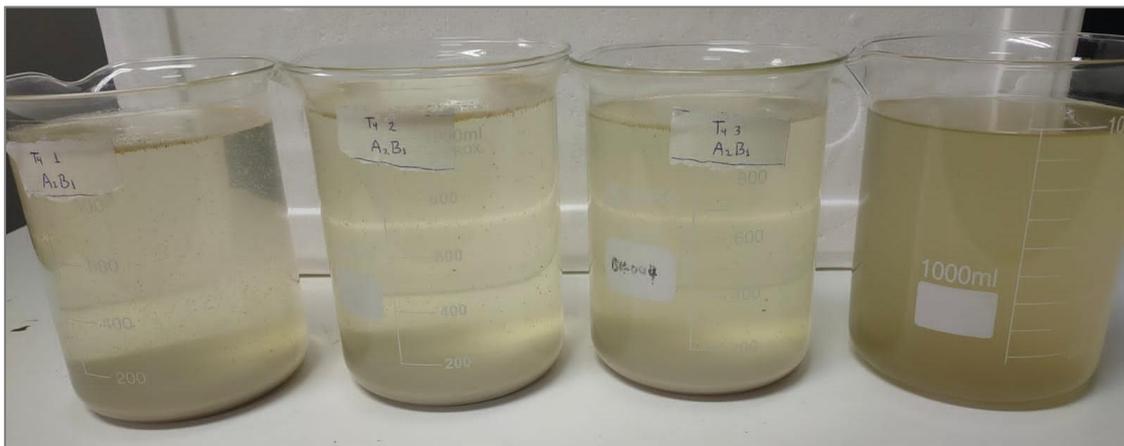
**Tabla 4.4.** Análisis obtenidos del agua residual doméstica de Calceta

Fecha: 19/04/2022			Fecha: 21/04/2022		
Parámetros	Unidad	Valor	Parámetros	Unidad	Valor
DBO5	mg/l	350	DBO5	mg/l	220
DQO	mg/l	770	DQO	mg/l	484
Nitritos	mg/l	0,079	Nitritos	mg/l	0,068
Fosfatos	mg/l	15,5	Fosfatos	mg/l	15
pH	N/A	7,43	pH	N/A	7,14
Temperatura	°C	28	Temperatura	°C	26,7
Sólidos Totales	mg/l	640	Sólidos Totales	mg/l	650
Turbidez	UNT	96	Turbidez	UNT	88
Conductividad	S/m	0,98	Conductividad	S/m	0,93
Fecha: 26/04/2022			Fecha: 28/04/2022		
Parámetros	Unidad	Valor	Parámetros	Unidad	Valor
DBO5	mg/l	245	DBO5	mg/l	225
DQO	mg/l	539	DQO	mg/l	495
Nitritos	mg/l	0,098	Nitritos	mg/l	0,065
Fosfatos	mg/l	22,8	Fosfatos	mg/l	6,5
pH	N/A	7,31	pH	N/A	6,92
Temperatura	°C	29,2	Temperatura	°C	25,2
Sólidos Totales	mg/l	630	Sólidos Totales	mg/l	646,7
Turbidez	UNT	146	Turbidez	UNT	35,63
Conductividad	S/m	1,04	Conductividad	S/m	1,02

Elaboración. Autores

En la prueba de jarras, una vez agregados los coagulantes naturales en cada unidad experimental, se observó la desestabilización de las partículas coloidales contenidas en el agua y la posterior formación de los flóculos, constatando el depósito de los mismos en el fondo de las jarras y las características coagulantes de las semillas de *Moringa oleífera* y *Cassia fistula L.* (Figura 4.1).

Esto concuerda con lo expresado por Gálvez *et al.* (2019) en donde concluyeron que la semilla de *Moringa oleífera* resalta como producto biorremediador en alternativa del sulfato de aluminio, cloro u otros removedores de carácter químico que no son favorables para el ambiente; igualmente, Tarón *et al.* (2017), en un estudio demostraron que la *Cassia fistula L.* es un coagulante natural prometedor y eficaz para la sustitución de coagulantes inorgánicos en el proceso de coagulación de aguas residuales.



**Figura 4.1.** Sedimentación de los floculos

Realizado los análisis a las muestras de agua tratada en cada jarra, es decir, después de aplicar los tratamientos (Tabla 4.5), se obtuvieron valores promedios de 0,070 mg/l para nitritos y 6,20 mg/l para fosfatos en el T1, lo que significa que en comparación con los promedios antes del tratamiento (Tabla 4.2) existió remoción en estos contaminantes en donde se utilizaron concentraciones medias. En contraste se pudo observar que, al utilizar mayores y/o variadas concentraciones como en el caso del T9, los parámetros de nitritos y fosfatos aumentan llegando a valores promedios de 0,147 mg/l y de >30 mg/l respetivamente, siendo esto último negativo para el fin que se busca en los coagulantes naturales de *Moringa oleífera* y *Cassia fístula L.*

Mejía *et al.* (2020) explican que este aumento ocurre debido a la procedencia natural de los coagulantes, ya que contribuyen a un aumento de carga orgánica en el agua debido a su origen orgánico.

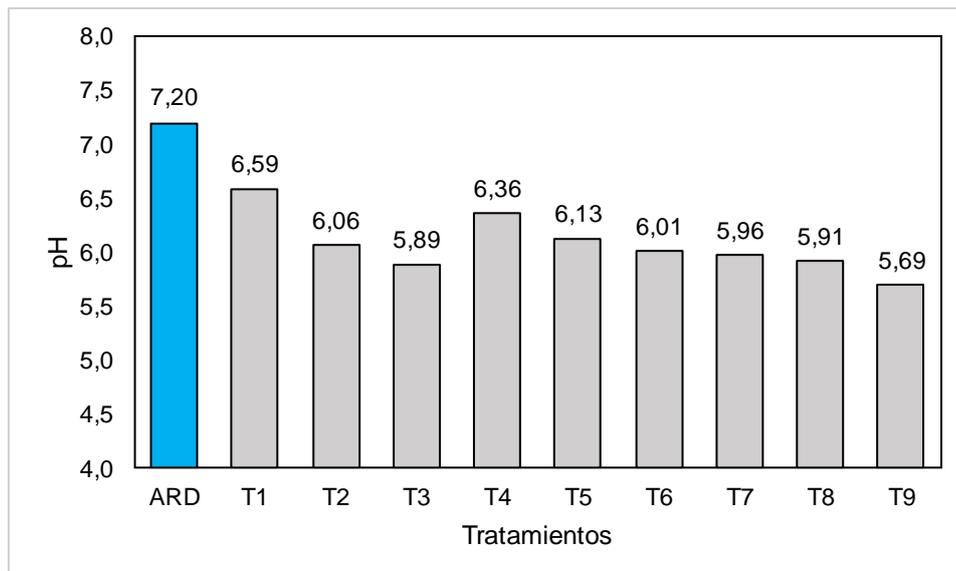
Tabla 4.5. Resultados obtenidos después de aplicar los tratamientos

Parámetros		Nitritos	Fosfatos	pH	Temperatura	Sólidos Totales	Turbidez	Conductividad
Unidad		mg/l	mg/l	N/A	°C	mg/l	UNT	S/m
T1	R1	0,070	6,30	6,61	23,1	1345	14,62	1,60
500/500 mg/l	R2	0,071	6,00	6,59	23,0	1245	16,12	1,62
	R3	0,069	6,30	6,56	23,3	1370	16,32	1,61
	<b>P</b>	<b>0,070</b>	<b>6,20</b>	<b>6,59</b>	<b>23,13</b>	<b>1320</b>	<b>15,69</b>	<b>1,61</b>
T2	R1	0,133	12,6	6,04	23,0	1975	38,35	1,63
500/3000 mg/l	R2	0,145	13,2	6,05	22,6	2005	36,95	1,62
	R3	0,128	12,7	6,08	23,1	2105	35,55	1,64
	<b>P</b>	<b>0,135</b>	<b>12,83</b>	<b>6,06</b>	<b>22,90</b>	<b>2028,3</b>	<b>34,89</b>	<b>1,63</b>
T3	R1	0,142	>30	5,90	23,7	2555	42,05	1,86
500/6000 mg/l	R2	0,159	>30	5,87	24,1	2405	40,12	1,94
	R3	0,125	>30	5,89	24,8	2480	38,23	1,95
	<b>P</b>	<b>0,142</b>	<b>&gt;30</b>	<b>5,89</b>	<b>24,20</b>	<b>2480</b>	<b>40,13</b>	<b>1,92</b>
T4	R1	0,115	18,1	6,30	23,5	4080	31,85	5,56
3000/500 mg/l	R2	0,095	18,7	6,35	22,9	4370	20,32	5,15
	R3	0,105	19,3	6,42	24,1	4395	26,09	5,56
	<b>P</b>	<b>0,105</b>	<b>18,7</b>	<b>6,36</b>	<b>23,50</b>	<b>4281,7</b>	<b>23,42</b>	<b>5,42</b>
T5	R1	0,110	24,4	6,16	27,8	4670	23,01	5,59
3000/3000 mg/l	R2	0,075	22,9	6,12	27,2	4665	25,83	5,61
	R3	0,088	21,2	6,10	26,7	4080	24,18	5,46
	<b>P</b>	<b>0,091</b>	<b>22,8</b>	<b>6,13</b>	<b>27,23</b>	<b>4471,7</b>	<b>24,34</b>	<b>5,55</b>
T6	R1	0,136	>30	6,04	24,9	4350	38,26	5,06
3000/6000 mg/l	R2	0,086	>30	6,01	25,3	4835	28,72	5,14
	R3	0,118	>30	5,97	25,8	4390	47,80	5,40
	<b>P</b>	<b>0,113</b>	<b>&gt;30</b>	<b>6,01</b>	<b>25,33</b>	<b>4525</b>	<b>38,26</b>	<b>5,20</b>
T7	R1	0,130	>30	5,82	22,7	7965	34,75	9,38
6000/500 mg/l	R2	0,118	>30	6,00	22,4	7845	29,92	9,47
	R3	0,126	>30	6,07	22,6	7905	30,81	9,49
	<b>P</b>	<b>0,125</b>	<b>&gt;30</b>	<b>5,96</b>	<b>22,57</b>	<b>7905</b>	<b>31,83</b>	<b>9,45</b>
T8	R1	0,131	>30	5,95	22,5	7945	34,59	9,02
6000/3000 mg/l	R2	0,126	>30	5,89	22,5	8155	35,90	9,09
	R3	0,117	>30	5,90	23,2	8130	33,28	9,07
	<b>P</b>	<b>0,125</b>	<b>&gt;30</b>	<b>5,91</b>	<b>22,73</b>	<b>8076,7</b>	<b>34,59</b>	<b>9,06</b>
T9	R1	0,167	>30	5,77	22,9	8100	41,04	8,64
6000/6000 mg/l	R2	0,131	>30	5,61	23,2	8050	33,33	8,77
	R3	0,143	>30	5,69	23,7	8125	48,74	8,80
	<b>P</b>	<b>0,147</b>	<b>&gt;30</b>	<b>5,69</b>	<b>23,27</b>	<b>8091,7</b>	<b>41,04</b>	<b>8,74</b>

R1 = Repetición 1; R2 = Repetición 2; R3 = Repetición 3; P = Promedio

Elaboración. Autores

Remoción y/o variación de los valores de pH, Temperatura, Sólidos Totales, Turbidez y Conductividad, después de los tratamientos.



**Figura 4.2.** Valores de pH después de los Tratamientos

En la Figura 4.2 se observa un cambio en los valores de pH; Cabrera *et al.* (2018) demostraron que un coagulante con semilla de *Moringa oleífera*, en aguas residuales industriales y a una concentración de 50 mg/l, tiende a mantener el valor de pH inicial. De igual forma, Tarón *et al.* (2017) encontraron que un coagulante con semilla de *Cassia fistula L.*, en aguas residuales y con varias concentraciones (120, 140, 150, 160, 180, y 200 mg/l) también presenta una tendencia general a mantener el pH inicial. En resumen, dado que los coagulantes se usaron juntos, se observó que esta interacción a concentraciones más altas y/o diferentes, provocó acidez en el agua residual doméstica.

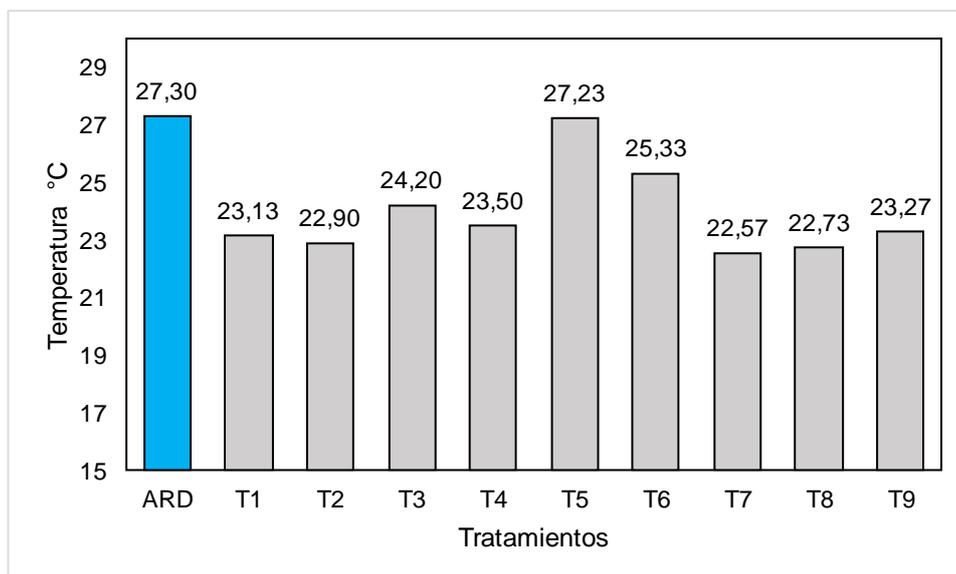


Figura 4.3. Valores de Temperatura después de los Tratamientos

Además, mediante la Figura 4.3 se verificó que existió un leve cambio de temperatura con respecto al valor inicial en el agua residual doméstica; esto demuestra que los coagulantes naturales tienen poco efecto en la temperatura, y que este parámetro depende de otros factores, como temperatura ambiente, lugar de almacenamiento de las muestras, entre otros.

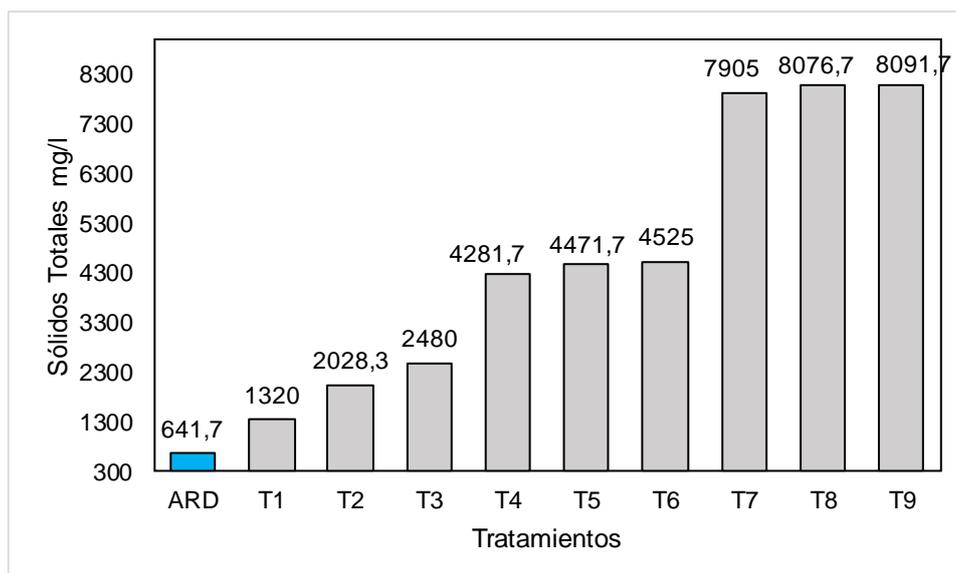
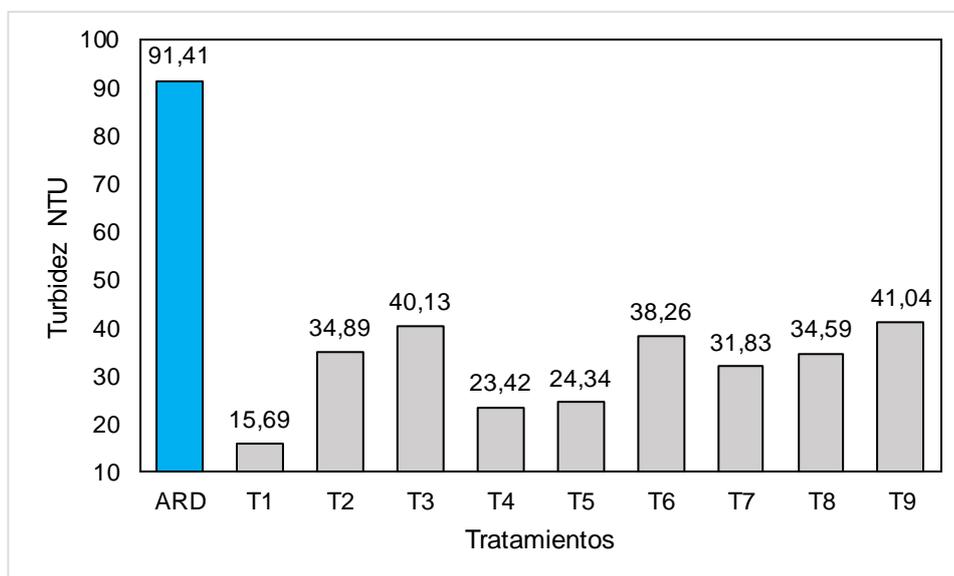


Figura 4.4. Valores de Sólidos Totales después de los Tratamientos

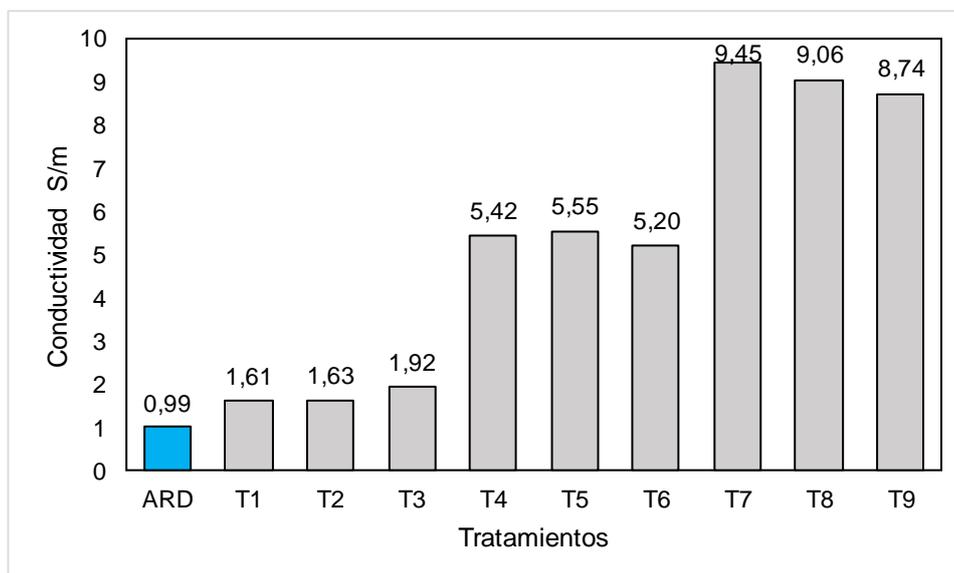
Por su parte, Palmero & Lías (2018) reportaron que al utilizar una concentración de 15 mg/l de coagulante con semilla de *Moringa oleífera* en agua residual agroindustrial, obtuvieron remoción del 71% para sólidos totales. Además, Tarón *et al.* (2017), utilizaron coagulantes con semilla de *Cassia fistula L.* en aguas residuales a una concentración de 200 mg/l, logrando una remoción de sólidos

totales del 70%, es decir, en ambos casos a concentraciones bajas. Sin embargo, la Figura 4.4 muestra que, en conjunto los coagulantes naturales en mención influyeron en un aumento significativo de los sólidos totales, más aun, cuando se utilizaron mayores y/o variadas concentraciones de los mismos; esto coincide con lo indicado por Banchón *et al.* (2016), en donde explican que al utilizar una concentración inadecuada de un coagulante natural, el exceso conduciría a la restauración de la estabilidad coloidal a través de la repulsión de carga, por lo tanto, afectaría el proceso de sedimentación



**Figura 4.5.** Valores de Turbidez después de los Tratamientos

Por su parte, la turbidez fue el parámetro por el cual los coagulantes naturales estudiados tienen mayor efecto en todos los tratamientos; por ejemplo, en la Figura 4.5 se observa que el tratamiento T1 fue el que más influyó en la remoción de este parámetro, pasando de 91,41 NTU a 15,69 NTU, es decir, se obtuvo 82,4% de remoción. Esto coincide con varios estudios donde, por ejemplo, se utilizó un coagulante con semilla de *Moringa oleífera* a una concentración de 15 mg/l, removiendo el 92% de turbidez en agua residual agroindustrial (Palmero & Lías 2018). De igual forma, Salome & Salvatierra (2019) trabajaron con coagulantes con semilla de *Cassia fistula* y determinaron que la remoción de turbidez en agua cruda alcanzó hasta el 97,8% en época de estiaje y el 98,7% en época de crecida, con una concentración de 20 mg/l.



**Figura 4.6.** Valores de Conductividad después de los Tratamientos

Comparado con el valor de conductividad de 0,99 S/m obtenido del agua residual doméstica de Calceta, se verificó una variación significativa de este parámetro en todos los tratamientos. La conductividad en el agua es una medida de su capacidad para transportar corriente eléctrica y se correlaciona con un alto contenido de sales en disolución o sólidos disueltos (Solís *et al.*, 2018). Dado que, el coagulante de *Moringa oleífera* se preparó en una solución de NaCl al 1M (5,85%) y al agregar este coagulante al agua residual doméstica en estudio esto contribuyó a aumentar esta sal y por ende a la conductividad. En un estudio de Fuentes *et al.* (2016) encontraron que el coagulante de *Moringa oleífera* para clarificación de aguas, no afecta significativamente el parámetro de conductividad; por otro lado, el estudio de Tarón *et al.* (2017), utilizaron coagulantes con semilla de *Cassia fistula L.* en aguas residuales a una concentración de 200 mg/l y verificaron un leve aumento del valor de conductividad, pasando de 1,16 S/m a 1,23 S/m.

Con el análisis y evaluación de estos parámetros (pH, Temperatura, Sólidos Totales, Turbidez y Conductividad), la turbidez y la temperatura tuvieron mejores resultados en términos de remoción y/o variación después de aplicar los tratamientos, por el contrario, con los demás parámetros se observó aumentos o variaciones en todos los valores, lo que implica que el agua residual doméstica cambie su característica y sea más difícil de tratar. Sin embargo, el tratamiento T1 – A1(500 mg/l) B1(500 mg/l), mostró un rendimiento relativamente mejor, coincidiendo como el más sobresaliente en la remoción de nitritos y fosfatos.

A continuación, se encuentra el porcentaje de remoción de nitritos y fosfatos en el agua residual doméstica de la ciudad Calceta por cada tratamiento planteado; este dato se obtuvo a partir de la concentración promedio de nitritos y fosfatos antes (Tabla 4.2) y después (Tabla 4.5) del tratamiento.

**Tabla 4.6.** Porcentaje de remoción de nitritos y fosfatos

Tratamientos	Nitritos (mg/l)			Fosfatos (mg/l)		
	Pa	Pd	R	Pa	Pd	R
T1 – A1(500 mg/l) B1(500 mg/l)	0,078	0,070	10,3%	14,95	6,20	58,5%
T2 – A1(500 mg/l) B2(3000 mg/l)	0,078	0,135	S/R	14,95	12,83	14,2%
T3 – A1(500 mg/l) B3(6000 mg/l)	0,078	0,142	S/R	14,95	>30	S/R
T4 – A2(3000 mg/l) B1(500 mg/l)	0,078	0,105	S/R	14,95	18,7	S/R
T5 – A2(3000 mg/l) B2(3000 mg/l)	0,078	0,091	S/R	14,95	22,8	S/R
T6 – A2 (3000 mg/l) B3(6000 mg/l)	0,078	0,113	S/R	14,95	>30	S/R
T7 – A3(6000 mg/l) B1(500 mg/l)	0,078	0,125	S/R	14,95	>30	S/R
T8 – A3(6000 mg/l) B2(3000 mg/l)	0,078	0,125	S/R	14,95	>30	S/R
T9 – A3(6000 mg/l) B3(6000 mg/l)	0,078	0,147	S/R	14,95	>30	S/R

Pa = Promedio antes del tratamiento; Pd = Promedio después del tratamiento; R = Remoción en Porcentaje

Elaboración. Autores

Con base en los resultados de porcentaje de remoción de nitritos y fosfatos, se determinó que el mejor tratamiento es el T1 – A1(500 mg/l) B1(500 mg/l), donde se utilizaron concentraciones medias por cada coagulante natural, el cual obtuvo un valor promedio de remoción de 10,3% para nitritos y 58,5% para fosfatos.

Esto concuerda con la investigación de Ahumada & Severiche (2018), en donde determinaron que la *Moringa oleífera* tiene alta capacidad de remoción de nitritos y fosfatos en aguas residuales de hasta el 98,8%, lo cual indica que estos materiales podrían ejercer una función similar a las tecnologías tradicionales utilizadas en la actualidad; por otro lado, (Tarón et al., 2017) probaron el coagulante de la semilla de *Cassia fistula L.* a una concentración de 160 mg/l en el tratamiento de aguas residuales; si bien es cierto la investigación no estuvo enfocada en la remoción de nutrientes, se utilizó en la remoción de otros parámetros como turbidez y BBO5, obteniendo excelentes resultados de remoción, 68,2% en turbidez y 69,6% en DBO5, lo cual demuestra que este coagulante natural es prometedor y eficaz en la sustitución de coagulantes inorgánicos en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 4.7.** Remoción de nitritos y fosfatos por cada repetición

Tratamientos	% Remoción de Nitritos			% Remoción de Fosfatos		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
T1 – A1(500 mg/l) B1(500 mg/l)	10,3%	9%	11,5%	57,9%	59,9%	57,9%
T2 – A1(500 mg/l) B2(3000 mg/l)	S/R	S/R	S/R	15,7%	11,7%	15,1%
T3 – A1(500 mg/l) B3(6000 mg/l)	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R
T4 – A2(3000 mg/l) B1(500 mg/l)	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R
T5 – A2(3000 mg/l) B2(3000 mg/l)	S/R	3,9%	S/R	S/R	S/R	S/R
T6 – A2 (3000 mg/l) B3(6000 mg/l)	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R
T7 – A3(6000 mg/l) B1(500 mg/l)	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R
T8 – A3(6000 mg/l) B2(3000 mg/l)	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R
T9 – A3(6000 mg/l) B3(6000 mg/l)	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R

R1 = Repetición 1; R2 = Repetición 2; R3 = Repetición 3

S/R = Sin Remoción

*Elaboración. Autores*

De manera similar, con base en los datos de remoción de nitritos y fosfatos obtenidos en la presente investigación (Tabla 4.7), se aplicó el análisis estadístico que permitió definir el tratamiento con mejores resultados. El análisis ANOVA se realizó para determinar si existieron diferencias significativas entre los niveles de estudio de cada factor y las interacciones entre los factores; luego se hizo la prueba de Tukey para determinar específicamente el mejor nivel y por ende el mejor tratamiento.

- Análisis ANOVA y prueba de Tukey para Nitritos

**Tabla 4.8.** Análisis ANOVA para nitritos

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	276,15	8	34,52	47,13	0,0001
FACTOR A	63,64	2	31,82	43,44	0,0001
FACTOR B	61,29	2	30,64	41,84	0,0001
INTERACCIÓN					
A x B	152,64	4	38,16	52,10	0,0001
Error	13,18	18	0,73		
<b>Total</b>	<b>289,33</b>	<b>26</b>			

*Elaboración. Autores*

Dado que se trabajó con un nivel de significancia de 0,05, se observa en la Tabla 4.8 que este valor es mayor que p-valor, tanto para el Factor A (Coagulante de

*Moringa oleífera*), Factor B (Coagulante de *Cassia fistula L.*) y la Interacción de A x B, lo que significa que sí existen diferencias significativas entre sus medias.

**Tabla 4.9.** Prueba de Tukey para nitritos

<b>FACTOR A (Coagulante de <i>Moringa oleífera</i>)</b>		<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>
A3		0,00	8	0,31	A	
A2		0,43	9	0,29	A	
A1		3,42	10	0,27		B
<b>FACTOR B (Coagulante de <i>Cassia fistula L.</i>)</b>		<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>
B3		0,00	9	0,30	A	
B2		0,43	9	0,29	A	
B1		3,42	9	0,29		B

Elaboración. Autores

Seguidamente se realizó la prueba de Tukey para determinar específicamente el mejor nivel en ambos factores; en la Tabla 4.9 se constata que el Nivel A1 en el Factor A y el Nivel B1 en el Factor B, se encuentran en otro grupo dada su diferencia significativa en comparación con los demás niveles, es decir, son los mejores para la remoción de nitritos (nitrógeno).

**Tabla 4.10.** Prueba de Tukey de la interacción de los factores A x B para nitritos

<b>TRATAMIENTOS</b>	<b>FACTOR A</b>	<b>FACTOR B</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>
T4	A2	B1	0,00	3	0,49	A	
T7	A3	B1	0,00	3	0,49	A	
T2	A1	B2	0,00	3	0,49	A	
T3	A1	B3	0,00	4	0,43	A	
T9	A3	B3	0,00	2	0,61	A	
T6	A2	B3	0,00	3	0,49	A	
T8	A3	B2	0,00	3	0,49	A	
T5	A2	B2	1,28	3	0,49	A	
T1	A1	B1	10,26	3	0,49		B

Elaboración. Autores

Finalmente, se realizó la prueba de Tukey para la interacción entre el Factor A (Coagulante de *Moringa oleífera*) y Factor B (Coagulante de *Cassia fistula L.*), es decir, para todos los tratamientos; se logró determinar en esta prueba que el tratamiento T1 – A1(500 mg/l) B1(500 mg/l) se encuentran en otro grupo dada su diferencia significativa en comparación con los otros tratamientos. Es el mejor para la remoción de nitritos (nitrógeno).

- Análisis ANOVA y prueba de Tukey para Fosfatos

**Tabla 4.11.** Análisis ANOVA para fosfatos

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9117,52	8	1139,69	1720,78	0,0001
FACTOR A	3631,18	2	1815,59	2741,30	0,0001
FACTOR B	1818,64	2	909,32	1372,95	0,0001
INTERACCIÓN					
A x B	3849,38	4	962,35	1453,01	0,0001
Error	11,92	18	0,66		
<b>Total</b>	<b>9129,44</b>	<b>26</b>			

Elaboración. Autores

Se observa en la Tabla 4.11 que el nivel de significancia es mayor que p-valor, tanto para el Factor A (Coagulante de *Moringa oleífera*), Factor B (Coagulante de *Cassia fistula L.*) y la Interacción de A x B, lo que significa que sí existen diferencias significativas entre sus medias.

**Tabla 4.12.** Prueba de Tukey para fosfatos

FACTOR A (Coagulante de <i>Moringa oleífera</i> )	Medias	n	E.E.	Grupo 1	Grupo 2	
A3	0,00	8	0,29	A		
A2	0,00	9	0,27	A		
A1	24,23	10	0,26		B	
FACTOR B (Coagulante de <i>Cassia fistula L.</i> )	Medias	n	E.E.	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
B3	0,00	9	0,28	A		
B2	4,72	9	0,27		B	
B1	19,51	9	0,27			C

Elaboración. Autores

A continuación, se realizó la prueba de Tukey para identificar específicamente el mejor nivel en ambos factores; la Tabla 4.12 muestra que el Nivel A1 en el Factor A y el Nivel B1 en el Factor B, están en grupos distintos dada su diferencia significativa en comparación con los demás niveles. Es decir, son los mejores para la remoción de fosfatos (fósforo). Es importante resaltar que el nivel B2 también tiene significancia, pues remueve fosfatos de manera similar, pero el nivel B1 tiene un mayor porcentaje de remoción.

**Tabla 4.13.** Prueba de Tukey de la interacción de los factores A x B para fosfatos

TRATAMIENTOS	FACTOR A	FACTOR B	Medias	n	E.E.	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
T3	A1	B3	0,00	4	0,41	A		
T5	A2	B2	0,00	3	0,47	A		
T6	A2	B3	0,00	3	0,47	A		
T8	A3	B2	0,00	3	0,47	A		
T7	A3	B1	0,00	3	0,47	A		
T9	A3	B3	0,00	2	0,58	A		
T4	A2	B1	0,00	3	0,47	A		
T2	A1	B2	14,16	3	0,47		B	
T1	A1	B1	58,53	3	0,47			C

Elaboración. Autores

Finalmente, se realizó la prueba de Tukey para la interacción entre el Factor A (Coagulante de *Moringa oleífera*) y Factor B (Coagulante de *Cassia fístula L.*), es decir, para todos los tratamientos. En esta prueba se logró determinar que el tratamiento T1 – A1(500 mg/l) B1(500 mg/l) mostraron una diferencia significativa mayor en comparación con los otros tratamientos. Es el mejor para la remoción de fosfatos (fósforo).

En un análisis conjunto de las Tabla 4.10 y Tabla 4.13 en donde se muestran las pruebas de Tukey (interacción Factor A y Factor B) para nitritos y fosfatos, respectivamente, se puede apreciar que en ambos casos el T1 – A1(500 mg/l) B1(500 mg/l) presenta diferencias significativas en comparación con los otros tratamientos. Se confirma estadísticamente que el T1 – A1(500 mg/l) B1(500 mg/l) fue el mejor en cuanto a la remoción de nitrógeno (nitritos) y fósforo (fosfatos).

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, ya que al menos uno de los tratamientos influye en la remoción de nitrógeno y fósforo en agua residual doméstica.

### 4.3. FASE 3: ESTIMACIÓN DEL COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO

Se determinó que el T1 – A1(500 mg/l) B1(500 mg/l) fue el mejor en cuanto a la remoción de nitrógeno y fósforo, en donde se utilizó 20 ml de coagulantes naturales, 10 ml de *Moringa oleífera* y 10 ml de *Cassia fístula L.* (Tabla 4.1) para 1 L de agua residual doméstica; como la estimación del costo total de producción del mejor tratamiento es para tratar 1 m<sup>3</sup> de agua residual doméstica (1000 L), se realizó una regla de tres simple para obtener la cantidad de coagulantes para tratar esa cantidad de agua, en donde:

Agua Residual Doméstica (L)	Coagulante Natural (ml)
1	20
1000	x = 20000

Entonces, para tratar 1 m<sup>3</sup> de agua residual doméstica, se necesitan 20000 ml de coagulantes naturales, es decir, 20 L (10 L de *Moringa oleífera* y 10 L de *Cassia fístula L.*). En las Tablas 4.15 y 4.16 se encuentran plasmados los datos y cálculos para la elaboración de 1 L de coagulante para cada semilla.

**Tabla 4.14.** Análisis del Costo Unitario del coagulante de *Moringa oleifera***PRODUCTO:** COAGULANTE DE MORINGA (5% = 50000 mg/l)**UNIDAD:** LITRO**DETALLE:**

<b>HERRAMIENTAS O EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO H. C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTAS MENORES (5% M. DE OBRA)					0,05
SUBTOTAL (H):					0,05
<b>MANO DE OBRA DIRECTA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/H B	COSTO H. C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
ESTRUCTURA OCUPACIONAL C2	1,00	3,88	3,88	0,25	0,97
SUBTOTAL (Mod):					0,97
<b>MATERIA PRIMA</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO U. B	COSTO C=A*B	
POLVO DE SEMILLA DE MORINGA	KG	0,05	15,0	0,75	
COLORURO DE SODIO (SAL DE MESA)	KG	0,06	0,49	0,03	
AGUA DESTILADA	GAL	0,26	2,35	0,62	
SUBTOTAL (Mp):					1,40
TOTAL COSTO DIRECTO (H+Mod+Mp):					2,42
INDIRECTOS Y UTILIDADES %:				15%	0,36
<b>COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN:</b>					<b>2,78</b>

*Elaboración. Autores***Tabla 4.15.** Análisis del Costo Unitario del coagulante de *Cassia fistula L.***PRODUCTO:** COAGULANTE DE CASSIA (5% = 50000 mg/l)**UNIDAD:** LITRO**DETALLE:**

<b>HERRAMIENTAS O EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO H. C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTAS MENORES (5% M. DE OBRA)					0,05
SUBTOTAL (H):					0,05
<b>MANO DE OBRA DIRECTA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/H B	COSTO H. C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
ESTRUCTURA OCUPACIONAL C2	1,00	3,88	3,88	0,25	0,97
SUBTOTAL (Mod):					0,97
<b>MATERIA PRIMA</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO U. B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL (Mp):					2,02
TOTAL COSTO DIRECTO (H+Mod+Mp):					3,04
INDIRECTOS Y UTILIDADES %:				15%	0,46
<b>COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN:</b>					<b>3,49</b>

*Elaboración. Autores*

Según el análisis de costo unitario, el costo de producción de 1 L de coagulante de *Moringa oleífera* es de \$2,78 y 1 L de coagulante de *Cassia fístula L.* es de \$3,49; dado que se requieren 20 L de coagulantes (10 L de *Moringa oleífera* y 10 L de *Cassia fístula L.*), los valores obtenidos se multiplicaron por 10 y luego se suman, entonces:

$$(\$2,78 \times 10) + (\$3,49 \times 10) = 62,70 \text{ dólares americanos}$$

En conclusión, para producir 20 L de la mezcla biocoagulante se requieren \$62,70 como costo total de producción. Con este volumen de 20 L se trataría 1 m<sup>3</sup> de agua residual doméstica.

Además, con motivo de comparación se realizó también el análisis de costo unitario para la elaboración de 1 L de coagulante de sulfato de aluminio, tomando como referencia la evaluación que se hizo al mismo en las actividades exploratorias; dado que el coagulante de sulfato de aluminio a concentraciones bajas (150 mg/l) presentó buenos resultados en cuanto a la remoción de nitritos (43,6%) y fosfatos (45,6%), se utilizó este dato para la estimación del costo total de producción para tratar 1 m<sup>3</sup> de agua residual doméstica. Se realizó el siguiente cálculo (regla de tres simple) para obtener la cantidad de coagulantes para tratar esa cantidad de agua, en donde:

Agua Residual Doméstica (L)	Coagulante (ml)
1	3
1000	x = 3000

Entonces, para tratar 1 m<sup>3</sup> de agua residual doméstica, se necesitan 3000 ml de coagulante de sulfato de aluminio, es decir, 3 L. En la Tabla 4.16 se encuentran plasmados los datos y cálculos para la elaboración de 1 L de ese coagulante.

**Tabla 4.16.** Análisis del Costo Unitario del coagulante de sulfato de aluminio

PRODUCTO: COAGULANTE DE SULFATO DE ALUMINIO (5% = 50000 mg/l)			UNIDAD: LITRO		
DETALLE:					
HERRAMIENTAS O EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO H. C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTAS MENORES (5% M. DE OBRA)					0,05
SUBTOTAL (H):					0,05
MANO DE OBRA DIRECTA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/H B	COSTO H. C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
ESTRUCTURA OCUPACIONAL C2	1,00	3,88	3,88	0,25	0,97
SUBTOTAL (Mod):					0,97
MATERIA PRIMA					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO U. B	COSTO C=A*B	
SULFATO DE ALUMINIO	KG	0,05	0,90	0,05	
AGUA DESTILADA	GAL	0,26	2,35	0,62	
SUBTOTAL (Mp):					0,67
TOTAL COSTO DIRECTO (H+Mod+Mp):					1,68
INDIRECTOS Y UTILIDADES %:				15%	0,25
<b>COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN:</b>					<b>1,94</b>

*Elaboración. Autores*

De acuerdo al análisis de costo unitario, elaborar 1 L de coagulante de sulfato de aluminio tienen un costo de producción de \$1,94; como se necesitan 3 L del coagulante, se multiplican ambos valores, entonces:

$$\$1,94 \times 3 = 5,82 \text{ dólares americanos}$$

En conclusión, para producir 3 L del coagulante se requieren \$5,82 como costo total de producción, es decir, 10,8 veces menos en comparación con los coagulantes naturales. Con el volumen de 3 L se trataría 1 m<sup>3</sup> de agua residual doméstica.

Este resultado concuerda con el estudio de Dearmas & Ramírez (2015), donde explicaron que durante el análisis de costos se encontró que el costo del tratamiento con *Moringa oleífera* es muy alto en comparación con el sulfato de aluminio. Estos altos costos se deben al uso de éteres de petróleo y alcohol iso propílico para eliminar las grasas de las semillas; así mismo, Zeas & Càrdenas, (2018) en un estudio técnico económico referente al uso de la *Moringa oleífera* como coagulante

en aguas superficiales, concluyeron que su producción es alta en comparación con el sulfato de aluminio.

En contraparte existen otros coagulantes que no representan mayores costos de producción, como el coagulante de *Opuntia ficus*; este coagulante se obtiene mediante procesos unitarios como secado, triturado, tamizado, que no son muy costosos, ni complicados (Olivero *et al.*, 2017). Igualmente, Fuentes *et al.* (2016), trabajaron con varios coagulantes naturales como, el *Cactus opuntia*, algas marinas y almidón, concluyeron que son económicos.

# CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. CONCLUSIONES

- Para la obtención de los coagulantes madres a base de la semilla de *Moringa oleífera* y *Cassia fístula L.* se utilizaron varios procesos unitarios como el secado en estufa, triturado, tamizado y extracción de grasas; ambos coagulantes se prepararon con una concentración inicial de 50000 mg/l.
- El tratamiento con mejor resultado en la remoción de nitrógeno (nitritos) y fósforo (fosfatos) fue el T1 – A1(500 mg/l) B1(500 mg/l), en donde se obtuvieron remociones de 10,3% para nitritos y 58,5% para fosfatos, es decir, en donde se utilizaron concentraciones medias para cada coagulante natural.
- Mediante el análisis ANOVA y la prueba de Tukey se identificó estadísticamente al tratamiento T1-A1(500 mg/l) B1(500 mg/l) como el de mejor resultado, mostrando diferencias significativas con respecto a otros tratamientos.
- Los coagulantes naturales de *Moringa oleífera* y *Cassia fístula L.* en mayores concentraciones no remueven nitrógeno y fósforo en agua residual doméstica, más bien coadyuva a que se aumenten estos contaminantes.
- El costo total de producción de los dos coagulantes naturales requeridos para tratar 1 m<sup>3</sup> de agua residual doméstica es de \$62, el cual es alta en comparación con otros coagulantes de origen sintético como el sulfato de aluminio.
- Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, ya que al menos uno de los tratamientos influye en la remoción de nitrógeno y fósforo en agua residual doméstica.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Para la solución salina, en la preparación del coagulante de *Moringa oleífera*, utilizar concentraciones que no superen valores de 1M.

- Para el secado de la semilla de la *Cassia fistula L.*, se recomienda recurrir al uso de la estufa con una temperatura de 50°C por 24 horas, con el propósito de hacer más eficiente el secado y ahorrar tiempo y recursos.
- Analizar otras opciones en la adquisición de las semillas, con el objeto de abaratar costos en la producción de los coagulantes naturales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Protección Ambiental. (2022). *Contaminación por nutrientes*. <https://Espanol.Epa.Gov>. <https://espanol.epa.gov/espanol/contaminacion-por-nutrientes>
- Agricultura Competitiva e Innovación. (2013). *Cultivo y usos potenciales de la Moringa en la isla de Tenerife*. [Http://Agriculturasiempre.Blogspot.Com](http://Agriculturasiempre.Blogspot.Com). <http://agriculturasiempre.blogspot.com/2013/11/cultivo-y-usos-potenciales-de-la.html>
- Ahumada, N., & Severiche, J. (2018). *Implementación de un Tratamiento Alternativo para la Remoción de Fósforo Y Nitrógeno en Aguas Residuales Mediante Absorbentes a Base de Semillas y Tallos de Moringa Oleífera Lam* [Universidad de la Costa]. [https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/4663/Implementación de un Tratamiento Alternativo para la Remoción de Fósforo Y Nitrógeno.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/4663/Implementación%20de%20un%20Tratamiento%20Alternativo%20para%20la%20Remoción%20de%20Fósforo%20Y%20Nitrógeno.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Aragoneses, S., & Zarzosa, H. (2020). *Fundamentos de Ingeniería Ambiental y del agua* (Dextra Editorial (ed.)). <https://elibro.net/es/lc/espam/titulos/148270>
- Arias, A., Hernández, J., Castro, A., & Sánchez, N. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la m. oleífera como coagulante natural. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial, Edición Es(1)*, 29–39. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/548>
- Ávila, S., & Estupiñán, S. (2013). Calidad sanitaria del agua del Parque Natural Chicaque. *Nova, 11(20)*, 45–51. <https://doi.org/10.22490/24629448.1026>
- Banchón, C., Baquerizo, R., Muñoz, D., & Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE, 7(4)*, 111–126. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n4.118>
- Baptista, A. T. A., Silva, M. O., Gomes, R. G., Bergamasco, R., Vieira, M. F., & Vieira, A. M. S. (2017). Protein fractionation of seeds of Moringa oleifera lam and its application in superficial water treatment. *Separation and Purification Technology, 180*, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.02.040>
- Bausela, E. (2005). Spss: Un Instrumento De Análisis De Datos Cuantitativos. *Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales, 2(4)*, 62–69. <http://laboratorios.fi.uba.ar/lie/Revista/Articulos/020204/A3mar2005.pdf>
- Beltrán, J., & Sánchez, J. (2008). Heavy metals removal from surface water with Moringa oleifera seed extract as flocculant agent. *Fresenius Environmental Bulletin, 17(12 A)*, 1. [https://www.researchgate.net/profile/J-Beltran-3/publication/236841642\\_Heavy\\_metals\\_removal\\_from\\_surface\\_water\\_with\\_Moringa\\_oleifera\\_seed\\_extract\\_as\\_flocculant\\_agent/links/00463519f1aa055fbb000000/Heavy-metals-removal-from-surface-water-with-Moringa-oleif](https://www.researchgate.net/profile/J-Beltran-3/publication/236841642_Heavy_metals_removal_from_surface_water_with_Moringa_oleifera_seed_extract_as_flocculant_agent/links/00463519f1aa055fbb000000/Heavy-metals-removal-from-surface-water-with-Moringa-oleif)
- Bissanti, G. (2020). *Cassia fistula*. <https://Antropocene.It/Es>. <https://antropocene.it/es/2020/08/07/cassia-fistula/>
- Borrás, C. (2022). *¿Qué es la eutrofización?* <https://Www.Ecologiaverde.Com>. <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-eutrofizacion-definicion-y-caracteristicas-34.html>
- Bravo, M. (2017). Coagulantes Y Flocculantes Naturales Usados En La Reducción De Turbidez, Sólidos Suspendidos, Colorantes Y Metales Pesados En Aguas Residuales.

- [UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS]. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5609/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf?sequence=1>
- Cabrera, N., Simancas, E., & Hernández, A. (2018). Test of natural coagulants extracted from *Ipomoea incarnata* and *Moringa oleifera* in the purification of industrial wastewater in Cartagena de Indias/Ensayo de coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleifera* en la depuración de ag... *Prospectiva*, 16(2), 94–99. <https://doi.org/10.15665/rp.v16i2.1434>
- Caldera, Y., Oñate, H., Rodríguez, Y., & Gutiérrez, E. (2011). Eficiencia del sulfato de aluminio durante el tratamiento de aguas residuales de una industria avícola. *Impacto Científico*, 6(2), 244–256. <https://www.researchgate.net/publication/282723287>
- Camargo, J. A., & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Revista Ecosistemas*, 16(2), 98–110. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/457>
- Cañas, A., Ramírez, J., & Valle, A. (2003). DETERMINACIÓN DE LA BIOACTIVIDAD CITOTÓXICA IN VITRO DE EXTRACTOS DE VEINTICINCO ESPECIES VEGETALES MEDIANTE EL ENSAYO CON *Artemia salina*. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5668/1/10126024.pdf>
- Cañas, C. (2015). PROPUESTA DE UN SISTEMA DE COSTEO POR PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA EN LA PLANTA BELLAVISTA DE LA EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO - EPMAPS [PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR]. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/10015/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castro, A. (2013). *EI ÁRBOL MORINGA (Moringa oleífera Lam.): UNA ALTERNATIVA RENOVABLE PARA EL DESARROLLO DE LOS SECTORES ECONÓMICOS Y AMBIENTALES DE COLOMBIA* [UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA]. [https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10956/Plantaciones de moringa en Colombia.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10956/Plantaciones%20de%20moringa%20en%20Colombia.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Chethana, M., Sorokhaibam, L., Bhandari, V., Raja, S., & Ranade, V. (2016). Green Approach to Dye Wastewater Treatment Using Biocoagulants. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4(5), 2495–2507. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b01553>
- Choy, Y., Prasad, N., Wu, Y., Raghunandan, E., & Ramanan, N. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 26(11), 2178–2189. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024>
- Churampi, B., & Malpica, M. (2021). Tratamientos biológicos en la remoción de contaminantes por plaguicida en el agua. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 13(1), 22–23. <https://doi.org/10.46571/JCI.2021.1.3>
- Código Orgánico del Ambiente, (2017). [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO\\_ORGANICO\\_AMBIENTE.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf)
- Cogollo, J. (2011). Clarificación De Aguas Usando Coagulantes Polimerizados : Caso Del Hidroxicloruro De Aluminio Water Clarification Using Polymerized Coagulants : Aluminum Hydroxychloride Case. *Dyna*, 165(February 2011), 18–27. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v78n165/a02v78n165.pdf>

- Constitución de la República del Ecuador, (2008). [https://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion\\_de\\_bolsillo.pdf](https://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion_de_bolsillo.pdf)
- Dearmas, D., & Ramírez, L. (2015). Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), 183–196. <https://doi.org/10.22490/21456453.1415>
- Doménech, G., Durango, A., & Ros, G. (2017). Moringa oleifera: Revisión sobre aplicaciones y usos en alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 67(2), 86–97. [https://www.researchgate.net/publication/322333702\\_Moringa\\_oleifera\\_Revision\\_sobre\\_aplicaciones\\_y\\_usos\\_en\\_alimentos](https://www.researchgate.net/publication/322333702_Moringa_oleifera_Revision_sobre_aplicaciones_y_usos_en_alimentos)
- Ecomar Fundación. (2020). *¿Qué son las aguas residuales?* <https://Fundacionecomar.Org>. <https://fundacionecomar.org/que-son-las-aguas-residuales/>
- Fernandez, G., Alves, J., Ângelo, Â., Albuquerque, R., & Silva, R. (2010). Antibacterial effect (in vitro) of Moringa oleifera and Annona muricata against Gram positive and Gram negative bacteria. *Revista Do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 52(3), 129–132. <https://doi.org/10.1590/S0036-46652010000300003>
- Fernández, I. (2022). *La Eutrofización*. <https://Www.Greenteach.Es>. <https://www.greenteach.es/eutrofizacion/>
- Foidl, N., Makkar, H. P. S., Becker, K., Foidl, N., & Km, S. (2001). the Potential of Moringa Oleifera for Agricultural and Industrial Uses. *What Development Potential for Moringa Products?* [https://moringatrees.org/moringa-doc/the\\_potential\\_of\\_moringa\\_oleifera\\_for\\_agricultural\\_and\\_industrial\\_uses.pdf](https://moringatrees.org/moringa-doc/the_potential_of_moringa_oleifera_for_agricultural_and_industrial_uses.pdf)
- Folkard, G., Sutherland, J., & Al-Khalili, R. (2001). *Water clarification using Moringa oleifera seed coagulant*.
- Fuentes, N., Molina, E., & Ariza, C. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> para clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 2. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552016000200005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000200005)
- Gálvez, M., Moreno, A., & Fernández, Y. (2019). *BIOREATHERING EFFECT OF SEEDS OF MORINGA OLEÍFERA LAM (MOL) TO IMPROVE THE QUALITY OF CONSUMPTION WATER IN CHICKEN FARMS*. 7(1), 125–133. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/253/278>
- García, B. (2007). *METODOLOGÍA DE EXTRACCIÓN IN SITU DE COAGULANTES NATURALES PARA LA CLARIFICACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL. APLICACIÓN EN PAISES EN VIAS DE DESARROLLO* [Universidad Politécnica de Valencia]. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12458/Tesi\\_de\\_Master\\_BEATRIZ\\_GARCIA\\_FAYOS.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12458/Tesi_de_Master_BEATRIZ_GARCIA_FAYOS.pdf?sequence=1)
- Garcia, B., Arnal, J., Sancho, M., & Rodrigo, I. (2016). Moringa oleifera for drinking water treatment: influence of the solvent and method used in oil-extraction on the coagulant efficiency of the seed extract. *Desalination and Water Treatment*, 57(48–49), 1–8. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1137144>
- García, L. (2012). *Técnicas de investigación de campo y documental: basado en competencias* (Éxodo (ed.); Cuarta). <https://elibro.net/es/lc/espam/titulos/153622>
- García, M. (2016). *Eutrofización: una visión general*. *CienciAcierta - Revista Científica, Tecnológica y Humanística*.

<http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/09/26/eutrofizacion-una-vision-general/>

- Gonçalves, A., Meneghel, A., Rubio, F., Strey, L., Dragunski, D., & Coelho, G. (2013). Applicability of *Moringa oleifera* Lam. pie as an adsorbent for removal of heavy metals from waters. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(1), 94–99. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100013>
- Guzmán, L., Taron, A., & Nuñez, A. (2015). POLVO DE LA SEMILLA *Cassia fistula* COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 123–129. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(13\)123-129](https://doi.org/10.18684/BSAA(13)123-129)
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253–262. <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.881>
- Hassan, M., Chukuemeka, J., Aremu, S., Isma, M., & Abdulkarim, I. (2012). Effect of Extraction Method on the Antimicrobial Activity of *Moringa Oleifera* Seeds Extract. In *Journal of American Science* (Vol. 8, Issue 9). <http://www.jofamericanscience.org><http://www.jofamericanscience.org450editor@americanscience.org><http://www.jofamericanscience.org>.63
- INEN 2169. (1998). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2196 : 1998 : AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS* (Primera). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2169.pdf>
- INEN 2176. (1998). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2176 : 1998 Primera revisión: AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO* (Primera). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2176.pdf>
- INEN 2266. (2013). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2266 : 2013 : AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO* (Primera). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2226-1.pdf>
- Jairo, J., Díaz, F., Bermúdez, S., María, A., & Tordecilla, E. (2014). Eficiencia de la semilla *Moringa Oleífera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción + Limpia*, 9(1).
- JVP Consultores S.A. (2014). *INFORME DE AUDITORIA N° IAG/IA/A13/003a EVOLUCIÓN DE INSUMOS QUÍMICOS ESTABLECIMIENTO LA TOMA*. [https://www.interagua.com.ec/sites/default/files/iag-ia-a13-003a\\_-\\_evolucion\\_de\\_insumos\\_quimicos\\_0.pdf](https://www.interagua.com.ec/sites/default/files/iag-ia-a13-003a_-_evolucion_de_insumos_quimicos_0.pdf)
- Killedar, S., Patil, S., & Pawar, A. (2017). Uses of *Cassia Fistula* Linn as a Medicinal Plant. *International Journal of Advance Research and Development*, 2(3), 85–91. <https://www.ijarnd.com/manuscripts/v2i3/V2I3-1166.pdf>
- Laughinghouse, H., Smyth, A., Havens, K., & Frazer, T. (2022). Repensando el papel del nitrógeno y fósforo en la eutrofización de los ecosistemas acuáticos. *EDIS*, 2022(2), 1–5. <https://doi.org/10.32473/edis-sg191-2022>
- Lavie, E., Morábito, J. A., Salatino, S. E., Bermejillo, A., & Filippini, M. F. (2010). Contaminación por fosfatos en el oasis bajo riego del río Mendoza. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 42(1), 169–184. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837646012>
- Lazcano, C. (2016). *Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales* (Segunda). <https://elibro.net/es/lc/espam/titulos/122526>

- Ledesma, C., Bonansea, M., Rodriguez, C. M., & Delgado, A. R. S. (2013). Determination of trophic indicators in Rio Tercero reservoir, Cordoba (Argentina). *Revista Ciencia Agronomica*, 44(3), 419–425. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000300002>
- Liñán, F. (2010). Moringa oleifera el árbol de la nutrición. *Revista Ciencia y Salud*, 2(1), 130–138. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6635304>
- López, S., Matias, C., & Matías, D. (2017). Vegetable coagulants as alternative for treatment of wastewater in Mexico. *Journal of Negative & No Positive Results*, 2(12), 687–694.
- Lüring, M., & Beekman, W. (2010). Anti-cyanobacterial activity of Moringa oleifera seeds. *Journal of Applied Phycology*, 22(4), 503–510. <https://doi.org/10.1007/s10811-009-9485-y>
- Mara, D. (2013). Domestic wastewater treatment in developing countries. In *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. <https://doi.org/10.4324/9781849771023>
- Marín, R. (2020). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: tratamiento y control de calidad de aguas* (Segunda). [https://books.google.com.ec/books?id=jmzWDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp\\_read\\_button&hl=es&redir\\_esc=y&pli=1#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=jmzWDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp_read_button&hl=es&redir_esc=y&pli=1#v=onepage&q&f=false)
- Martín, C., Martín, G., García, A., Fernández, T., Hernández, E., & Puls, J. (2013). Potenciales aplicaciones de Moringa oleifera. Una revisión crítica. *Pastos y Forrajes*, 36(2), 137–149. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v36n2/pyf01213.pdf>
- Martínez, H. (2012). *Metodología de la investigación Sexto semestre Campo de ciencias sociales* (Cengage Learning Editores (ed.)). <https://docplayer.es/12331518-Metodologia-de-la-investigacion-hector-martinez-ruiz-sexto-semester.html>
- Mathivanan, M., & Saranaathan, S. E. (2017). Moringa oleifera: A cost effective coagulant for dye degradation. *Rasayan Journal of Chemistry*, 10(4), 1093–1103. <https://doi.org/10.7324/RJC.2017.1041865>
- Matias, C., & López, S. (2018). El aluminio empleado en el tratamiento de aguas residuales y su posible relación con enfermedad de Alzheimer. *Journal of Negative and No Positive Results*, 3(2), 139–143. <https://doi.org/https://doi.org/10.19230/jonnpr.1704>
- Mazzucchelli, M. (2016). *Diagnóstico Físico Químico Y Microbiológico Del Agua Superficial Del Área Serrana Del Arroyo Napaleofu*. [Universidad Nacional de La Plata]. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/55976/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/55976/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Mejía, P., Urquía, K., Cabello, R., & Valdiviezo, L. (2020). Evaluación de la Moringa oleifera en el tratamiento de aguas con alta turbidez y carga orgánica. *Ingeniería Del Agua*, 24(2), 119–127. <https://doi.org/10.4995/ia.2020.12274>
- Mera, C., Gutiérrez, M., Montes, C., & Paz, J. (2016). EFECTO DE LA Moringa oleifera EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CAUCA, COLOMBIA. *Biotechnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2). [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)100-109](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)100-109)
- Meza, M., Riaños, K., Mercado, I., Olivero, R., & Jurado, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleifera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95–104. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>
- Ministerio de Trabajo del Ecuador. (2022). *Estructuras ocupacionales – sueldos y salarios*

- mínimos sectoriales y tarifas salarios mínimos sectoriales 2022* (Issue 1). [https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/01/3.-SMS-2022-\\_Rev-\\_21\\_dic\\_-FINAL.pdf](https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/01/3.-SMS-2022-_Rev-_21_dic_-FINAL.pdf)
- Monroy, M., & Nava, N. (2018). *Metodología de la Investigación* (Grupo Editorial Éxodo (ed.)). <https://elibro.net/es/lc/espam/titulos/172512>
- Montes, N. (2015). La industria Química. In *Lámpsakos, N°* (Vol. 14).
- Mora, J. S., & Gacharná, N. (2015). El árbol milagroso: la moringa oleífera. *Biodiversidad Colombia*, 5, 49–57. [https://www.researchgate.net/publication/282849273\\_EL\\_ARBOL\\_MILAGROSO\\_LA\\_MORINGA\\_OLEIFERA/link/561e4cee08aecade1acb7edf/download](https://www.researchgate.net/publication/282849273_EL_ARBOL_MILAGROSO_LA_MORINGA_OLEIFERA/link/561e4cee08aecade1acb7edf/download)
- Morales, F., Méndez, R., & Tamayo, M. (2009). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE RASTRO MEDIANTE SEMILLAS DE Moringa oleífera LAM COMO COAGULANTE. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1(6), 523–529. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93912996021>
- Moreira, J., & Sabando, B. (2016). DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE EUTROFIZACIÓN DEL EMBALSE SIXTO DURAN BALLÉN MEDIANTE ÍNDICES DE ESTADO TRÓFICO [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ “MANUEL FÉLIX LÓPEZ”]. <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/285/1/TMA86.pdf>
- Muñoz, C. (2015). *Metodología de la Investigación* (OXFORD (ed.)). <https://corladancash.com/wp-content/uploads/2019/08/56-Metodologia-de-la-investigacion-Carlos-I.-Munoz-Rocha.pdf>
- Murillo, S., Galvis, G., & Pacheco, S. (2020). *Manual Técnico Para La Elaboración De Coagulantes / Floculantes a.* [https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/6813/manual\\_coagulantes\\_floculantes.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/6813/manual_coagulantes_floculantes.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Nieto, C., & Orellana, V. (2011). APLICACIÓN DEL QUITOSANO COMO PROMOTOR DE FLOCULACIÓN PARA DISMINUIR LA CARGA CONTAMINANTE [Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1510/16/UPS-CT002068.pdf>
- Okuda, T., Baes, A., Nishijima, W., & Okada, M. (2001). Isolation and characterization of coagulant extracted from Moringa oleífera seed by salt solution. *Water Research*, 35(2), 405–410. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00290-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00290-6)
- Olivero, R., Florez, A., Vega, L., & Villegas, G. (2017). Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, Opuntia ficus y Moringa oleífera en clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 12, 71–79. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6307151.pdf>
- Organización de Información del Agua en España y Latinoamérica. (2018, May 21). *Eliminación del nitrógeno en las aguas residuales*. <https://www.lagua.es>. <https://www.lagua.es/noticias/aema/eliminacion-nitrogeno-aguas-residuales>
- Organización de Información del Agua en España y Latinoamérica. (2020). *¿Por qué hay exceso de nutrientes en el agua de mi balsa?* <https://www.lagua.es>. <https://www.lagua.es/noticias/sewervac-iberica/que-hay-exceso-nutrientes-agua-mi-balsa>
- Ortega, A., Cáceres, L., & Castiblanco, L. (2021). INTRODUCCIÓN AL USO DE COAGULANTES NATURALES EN LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA. *REVISTA AMBIENTAL AGUA, AIRE Y SUELO*, 11(2), 1–14.

<https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2020.873>

- Pacheco, J., Pat, R., & Cabrera, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*, 6(3), 73–81. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46760308.pdf>
- Palmero, J., & Lías, J. (2018). EFECTO DE LA SEMILLA DE MORINGA (*Moringa oleífera*) LAM COMO COAGULANTE NATURAL, EN UN AGUA RESIDUAL DE ORIGEN AGROINDUSTRIAL. *Revista Ambientellanía*, 1, 87–97. <http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/ambientellania/article/view/536>
- Peralta, I. (2015). *Composición típica de las aguas residuales domésticas crudas en Guatemala*. 10(1), 50–59. <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/view/1444/914>
- Portela, R. (2021). *Eutrofización: cuando los nutrientes destruyen el ecosistema*. Ciencia y Biología. <https://cienciaybiologia.com/eutrofizacion/>
- Pradana, J., & García, J. (2019). *Criterios de calidad y gestión del agua potable* (UNED (ed.)). <https://elibro.net/es/lc/espam/titulos/111749>
- Quintana, D. (2017). “Comparación De La Eficiencia De Los Filtros De Macrofitas En Flotación Fmf, Para El Tratamiento De Aguas De Lagos Eutróficos.” [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. In *Trabajo De Titulación Tipo: Proyectos De Investigación*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7875/1/236T0301.pdf>
- Quiroz, L., Izquierdo, E., & Menéndez, C. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(3), 41–57. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v38n3/riha04317.pdf>
- Reyes, F., Pérez, A., Sánchez, T., & Armengol, N. (2010). Características y potencialidades de *Moringa oleífera*, Lamark. Una alternativa para la alimentación animal. *Scielo*, 33(4), 1–16. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v33n4/pyf01410.pdf>
- Rivas, S., Menés, G., & Rómulo, A. (2017). Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la empresa del Níquel comandante Ernesto Che Guevara. *Tecnología Química*, 37(2), 173–183. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v37n2/rtq02217.pdf>
- Rodríguez, G., Banda, K., Reyes, S., & Estupiñán, A. (2012). Lista comentada de las plantas vasculares de bosques secos prioritarios para la conservación en los departamentos de Atlántico y Bolívar (Caribe colombiano). *Biota Colombiana*, 13(2), 1–45. <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/261/259>
- Romero, M. (2020). El Proceso de Eutrofización: otra de las múltiples caras de la contaminación. *MoleQla: Revista de Ciencias de La Universidad Pablo de Olavide*, 36, 33–36. <https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero36/Numero-36.pdf>
- Rondón, M., Díaz, Y., Rodríguez, S., Guerra, B., Fernández, E., & Tabio, D. (2017). Empleo de semillas de *Moringa oleífera* en el tratamiento de residuales líquidos TT - Use of *Moringa oleífera* seeds in the wastewater treatment. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(2), 87–101. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382017000200007&lang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382017000200007&lang=es)
- Rosero, A., & Suárez, M. (2019). EFECTO DE LA CONCENTRACION DE QUITOSANO EN LA DISMINUCION DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS EN EL AGUA DE INGRESO A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE BELLAVISTA. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(1), 19–24. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1330>

- Salome, E., & Salvatierra, J. (2019). Evaluación de la concentración de la semilla de *Cassia fistula* como coagulante natural y el tiempo de agitación, en el tratamiento de aguas para la potabilización en la Unidad Minera Poderosa – Huancavelica [Universidad Nacional del Centro de Perú]. In *Universidad Nacional del Centro del Perú*. [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5391/T010\\_48102121\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5391/T010_48102121_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sánchez, Joaquín, & Casquete, A. (2008). *Arboles ornamentales del Valle Central de Costa Rica: especies con floración llamativa* (INBIO (ed.)). <http://biblioteca.museocostarica.go.cr/detalle.aspx?id=16525>
- Sánchez, José. (2015). *Cassia fistula (Leguminosae-Caesalpinioideae) ¿en Murcia?* 8, 4–7. [https://www.arbolesornamentales.es/Cassia fistula en Murcia.pdf](https://www.arbolesornamentales.es/Cassia%20fistula%20en%20Murcia.pdf)
- Šćiban, M., Klačnja, M., Antov, M., & Škrbić, B. (2009). Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology*, 100(24), 6639–6643. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>
- Singh, V., Sethi, R., & Tiwari, A. (2009). Structure elucidation and properties of a non-ionic galactomannan derived from the *Cassia pleurocarpa* seeds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 44(1), 9–13. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2008.09.012>
- Solís, Y., Zúñiga, L., & Mora, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 31, 35–46. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n1/0379-3982-tem-31-01-35.pdf>
- Standard Methods. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. <https://secure.apha.org/imis/ItemDetail?iProductCode=978-087553-2875&CATEGORY=BK>
- Tarón, A., Guzmán, L., & Barros, I. (2017). Evaluación de la *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. *Orinoquia*, 21(1), 73–78. <https://doi.org/10.22579/20112629.396>
- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, TULSMA, Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-mar.-2003 1 (2017). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- Troccoli, L., & Prado, M. (2018). Estado trófico y estructura comunitaria del microfitoplancton en un sector del golfo de Guayaquil, Ecuador. *Biota Colombiana*, 18(2), 145–163. <https://doi.org/10.21068/c2017.v18n02a09>
- Valle, V. (2016). Evaluación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el agua residual doméstica de la ciudad de Quito [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO]. In *Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Carrera de Ingeniería Ambiental*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13727/1/UPS-ST002819.pdf>
- Vinces, D. (2018). *IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS DESCARGAS DE AGUAS NEGRAS EN EL RÍO BURRO DE LA CIUDAD DE MANTA* [UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ]. [http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1298/1/TESIS-DANIA VANESSA.pdf](http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1298/1/TESIS-DANIA-VANESSA.pdf)
- Vinza, S. (2012). *PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE COSTEO POR ACTIVIDADES ABC (ACTIVITY BASED COSTING) DE LA INDUSTRIA “GRÁFICAS*

OLMEDO" DE LA CIUDAD DE QUITO [Universidad Central del Ecuador].  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/165/1/T-UCE-0005-20.pdf>

- Wiki. (2007). *Ingeniería de aguas residuales* (Wiki (ed.)).  
<https://elibro.net/es/lc/espam/titulos/35813>
- Yan, Z., Han, W., Peñuelas, J., Sardans, J., Elser, J. J., Du, E., Reich, P. B., & Fang, J. (2016). Phosphorus accumulates faster than nitrogen globally in freshwater ecosystems under anthropogenic impacts. *Ecology Letters*, 19(10), 1237–1246.  
<https://doi.org/10.1111/ele.12658>
- Yin, C. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. In *Process Biochemistry* (Vol. 45, Issue 9, pp. 1437–1444).  
<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>
- Zarza, L. (2022). *¿Qué son las aguas residuales?* <https://www.lagua.es>.  
<https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>
- Zeas, B., & Càrdenas, J. (2018). Estudio técnico económico del uso de la moringa como coagulante- floculante en aguas superficiales. *Universidad de Guayaquil*.

## **ANEXOS**

**Anexo 1:** Secado de la semilla de *Moringa oleífera*



**Anexo 2:** Polvo grasoso de *Moringa oleífera*



**Anexo 3:** Extracción de la grasa del polvo de la *Moringa oleífera*



**Anexo 4:** Polvo de *Moringa oleífera*



**Anexo 5:** Obtención del Coagulante de *Moringa oleífera*



**Anexo 6:** Secado de la semilla de *Cassia fistula* L.



**Anexo 7:** Obtención del polvo de *Cassia fistula* L.



**Anexo 8: Obtención del coagulante de *Cassia fistula* L.**



**Anexo 9: Toma de muestra**



**Anexo 10: Georreferenciación del punto de muestreo**



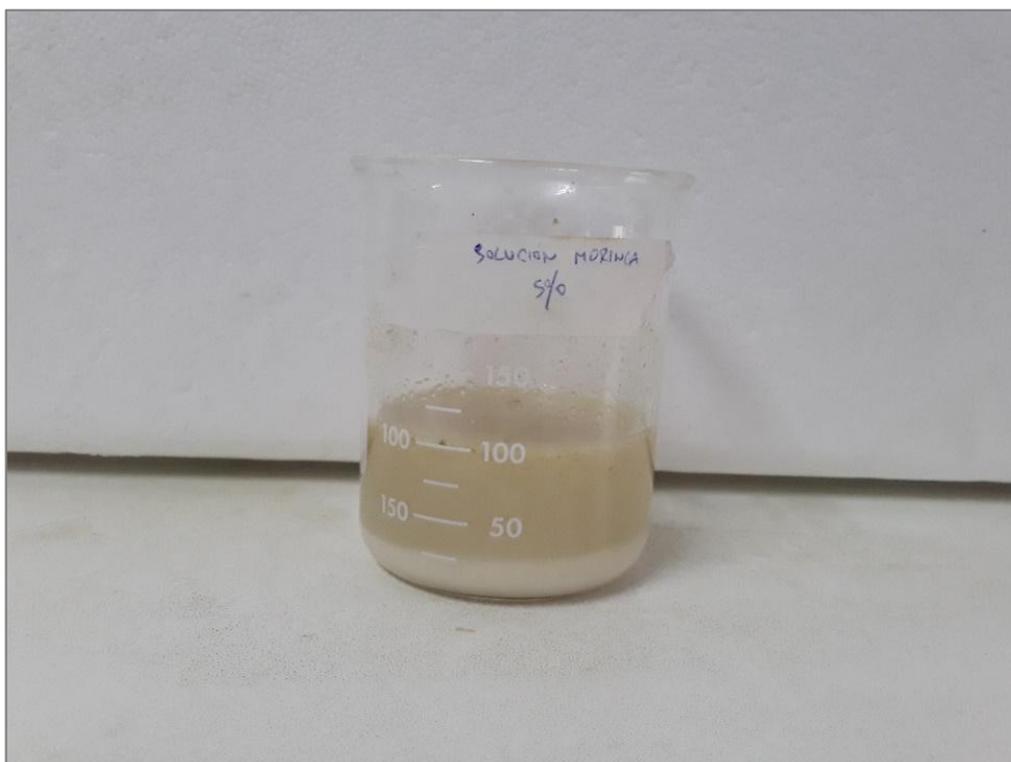
**Anexo 11: Análisis de laboratorio**



**Anexo 12: Prueba de Jarra**



**Anexo 13: Coagulante de *Moringa oleifera***



**Anexo 14:** Coagulante de *Cassia Fístula*

