

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

MAESTRÍA EN QUÍMICA MENCIÓN QUÍMICA – FÍSICA

Tema: OBTENCIÓN DE COAGULANTES / FLOCULANTES ORGÁNICOS A PARTIR DE EXTRACTOS NATURALES Y EVALUACIÓN DE SU POTENCIAL COMO COADYUVANTE EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA.

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de Magíster en Química mención Química – Física

Modalidad de Titulación PROYECTO DE DESARROLLO

Autora: Ing. Rebeca Abigail Poveda Ocaña

Directora: Lcda. Yanet Tibaire Villasana Aguilera PhD

Ambato-Ecuador

2022

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por la Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Magister. e integrado por los señores: Químico Lander Vinicio Pérez Aldáz, Magister. e Ingeniero Diego Manolo Salazar Garcés, Magister., designados por la Unidad Académica de Titulación de Posgrado de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Obtención de coagulantes/ floculantes orgánicos a partir de extractos naturales y evaluación de su potencial como coadyuvante en el proceso de tratamiento de agua”, elaborado y presentado por la señorita, Ingeniera Rebeca Abigail Poveda Ocaña, para optar por el Grado Académico de Magíster en Química mención Química-Física; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.
Presidente y Miembro del Tribunal de Defensa

Quím. Lander Vinicio Pérez Aldáz, Mg.
Miembro del Tribunal de Defensa

Ing. Diego Manolo Salazar Garcés, Mg.
Miembro del Tribunal de Defensa

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “Obtención de coagulantes/ floculantes orgánicos a partir de extractos naturales y evaluación de su potencial como coadyuvante en el proceso de tratamiento de agua”, le corresponde exclusivamente a: Ing. Rebeca Abigail Poveda, Autora bajo la Dirección de Lcda. Yanet Tibaire Villasana Aguilera PhD, Directora del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Rebeca Abigail Poveda Ocaña

AUTORA

Lcda. Yanet Tibaire Villasana Aguilera PhD

DIRECTORA

DERECHOS DEL AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Rebeca Abigail Poveda Ocaña

c.c. 1803593662

ÍNDICE GENERAL

Contenido

PORTADA	i
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DEL AUTOR	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
AGRADECIMIENTO	xi
DEDICATORIA	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
EXECUTIVE SUMMARY.....	xv
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Introducción:	1
1.2. Justificación:	2
1.3 Objetivos:	3
1.3.1 General:	3
1.3.2 Objetivos Específicos:.....	3
CAPÍTULO II	4
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	4
2.1 El agua:.....	4
2.1.1 Importancia:	4
2.2 Contaminación del agua:.....	5

2.2.1 Tipos de contaminantes del agua:	5
2.2.2 Normativa legal Vigente:	6
2.3 Procesos para el tratamiento de agua:	8
2.3.1 Coagulación – floculación:	10
2.3.2 Etapas de la coagulación:	11
2.3.3 Tipos de Coagulantes:	11
2.3.4 Policloruro de aluminio:.....	12
2.4. Prueba de jarras:.....	12
2.4.1 Etapas de la prueba de jarras:.....	12
2.4.2 Índice de Willcomb:.....	13
2.5 Parámetros de calidad de agua:	13
2.6 Nuevas alternativas para el tratamiento de agua:	15
2.6.1 Extractos naturales:	15
2.7 Coagulantes y floculantes orgánicos:.....	16
2.7.1 Ventajas:.....	16
2.7.2 Tipos de coagulantes orgánicos:	17
MORINGA (Moringa oleífera)	17
TANINOS:	18
QUITOSANO:	20
CHÍA (Salvia hispanica):	21
LINAZA (Linum usitatissimum):	23
2.8. Técnicas de caracterización molecular:	24
2.8.1 Espectroscopía infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR)	24
2.8.2 Ventajas:.....	25
2.8.3 Aplicaciones:.....	25

CAPÍTULO III	26
MARCO METODOLÓGICO	26
3.1. Ubicación:	26
3.2. Equipos y materiales:	27
3.2.1 Equipos y materiales utilizados en el proceso de extracción:	27
3.2.2 Caracterización Molecular:	29
3.2.3 Equipos y materiales utilizados en la prueba de jarras y análisis de parámetros físicoquímicos del agua:	29
3.3. Tipo de investigación:	30
3.4. Prueba de Hipótesis:	31
3.4.1 Hipótesis Nula:	31
3.4.2 Hipótesis alternativa:	31
3.5. Población o muestra:	31
3.5.1 Muestra de los extractos orgánicos:	31
Biomasa vegetal:	32
Biomasa animal:	32
Muestras de agua:	32
3.6 Recolección de información:	32
3.6.1 Obtención de extractos naturales:	32
3.6.2 Caracterización molecular:	35
3.6.3 Prueba de Jarras:	35
3.7 Procesamiento de la información y análisis estadístico:	36
3.8 Variables respuesta o resultados alcanzados:	36
CAPÍTULO IV	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38

4.1 Identificación de biomasa:	38
4.2 Obtención de floculantes/coagulantes naturales:	38
4.3 Parámetros físicos y químicos de los extractos obtenidos:	40
4.4 Identificación de los compuestos coagulantes por Espectroscopía FTIR	42
4.4.1 Espectro de quitosano:	42
4.4.2 Espectro de linaza:	43
4.4.3 Espectro de Chía	43
4.4.4 Espectro de Moringa	44
4.4.5 Espectro de Palo Santo.....	45
4.5 Prueba de Jarras:	46
4.5.1 Análisis cuantitativos:	46
Parámetro: Turbidez (NTU).....	47
Parámetro: pH	49
Parámetro: Conductividad eléctrica (CE)	49
4.5.2 Análisis Cualitativos:	50
4.5.4 Determinación del porcentaje de remoción:	52
4.6 Prueba de coadyuvante del policloruro de aluminio:	53
4.7 Análisis estadístico:.....	56
4.8 Verificación de la hipótesis:.....	57
CAPÍTULO V	58
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS	58
5.1. Conclusiones:	58
5.2 Recomendaciones:.....	59
5.3 Bibliografía:	60
5.4. ANEXOS:	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Norma NTE INEN 1108:2011 (Agua potable. Requisitos)	6
Tabla 2: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional	7
<i>Tabla 3: Valores del índice de Willcomb</i>	13
Tabla 4: Equipos y materiales utilizados en la extracción del coagulante: Moringa	27
Tabla 5: Equipos y materiales utilizados en la extracción del coagulante: Chía y Linaza	28
Tabla 6: Equipos y materiales utilizados en la extracción del coagulante: Quitosano	28
Tabla 7: Equipos y materiales utilizados en la extracción del coagulante: Palo Santo	29
Tabla 8: Equipos y materiales utilizados en la prueba de Jarras	30
Tabla 9: Parámetros fisicoquímicos del agua	30
Tabla 10: Parámetros evaluados para el tratamiento de agua	36
Tabla 11: Resultado del proceso de extracción de floculantes/coagulantes naturales	39
Tabla 12: Porcentaje del rendimiento durante el proceso de extracción	40
Tabla 13: Parámetros fisicoquímicos promedios de coagulantes/floculantes naturales ..	41
Tabla 14: Asignación de variables	47
Tabla 15: Resultado de Índice de Willcomb	51
Tabla 16: Formación del floc de los coagulantes naturales a 40ppm	51
Tabla 17: Combinaciones utilizadas para la prueba de sustitución	54
Tabla 18: Turbidez (NTU) empleando la combinación del policloruro de aluminio con coagulantes naturales.	54
Tabla 19: Índice de Willcomb de muestras de agua utilizando combinación de coagulantes.	56
Tabla 20: Análisis estadístico del diseño experimental	56
Tabla 21: Resultado turbidez (NTU) del método de jarras	69
Tabla 22: Resultado del pH de la prueba de jarras	69
Tabla 23: Resultado de la conductividad eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$) de la prueba de jarras	70
Tabla 24: Resultado del porcentaje de reducción de la turbidez con coagulantes orgánicos.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de una planta de tratamiento de agua potable	10
Figura 2: Estructura general del tanino	19
Figura 3: Estructura del Quitosano	20
Figura 4: Estructura del mucílago de chíá.....	22
Figura 5: Espectro infrarrojo.....	25
Figura 6: Ubicación de la planta de tratamiento "Santa Marianita".....	26
Figura 7:Espectro FTIR del quitosano	42
Figura 8:Espectro FTIR de la Linaza	43
Figura 9: Espectro FTIR de la Chíá	44
Figura 10:Espectro FTIR de la Moringa	45
Figura 11: Espectro FTIR del taninos del palo santo	46
Figura 12: Turbidez del agua con el uso de diferentes coagulantes.....	48
Figura 13: pH en el agua por floculante.....	49
Figura 14: Conductividad eléctrica (us/cm) por floculante	50
Figura 15: Porcentaje de reducción de la turbidez por floculante.....	53
Figura 16: Análisis del porcentaje de reducción de la turbidez de las combinaciones entre los coagulantes naturales y policloruro de aluminio.....	55
Figura 17: Equipo de la prueba de Jarras	68
Figura 18: Índice de Willcomb del de la combinación de coagulantes.....	68
Figura 19: Resultados de la turbidez de las combinaciones del coagulante.	71

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial por todo su respaldo para cumplir con este sueño profesional.

A la doctora Yanet Villasana PhD, directora de mi tesis por ser una gran persona y que con su experiencia y profesionalismo me ayudó a conseguir mi meta aspirada.

Al doctor Oscar Corona PhD por su gran profesionalismo y su magnífico aporte en la presente investigación.

A la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato por brindarme su apoyo para el desarrollo de mi trabajo de investigación y de manera especial al Ing. David Díaz por su constante colaboración.

Y en general a todas las personas que de una u otra manera estuvieron involucrados en el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, quien siempre ha llenado mi vida de bendiciones.
A mis padres y hermanos por su guía y apoyo constante en todos los momentos y decisiones importantes. A mis sobrinas, por ser una alegría constante en mi vida.
Y al resto de mi familia que de una u otra manera siempre estuvieron junto a mí dándome su apoyo y ayuda en los buenos y malos momentos.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN QUÍMICA MENCIÓN QUÍMICA – FÍSICA

TEMA:

OBTENCIÓN DE COAGULANTES/ FLOCULANTES ORGÁNICOS A PARTIR DE
EXTRACTOS NATURALES Y EVALUACIÓN DE SU POTENCIAL COMO
COADYUVANTE EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA

AUTORA: Ing. Rebeca Abigail Poveda Ocaña

DIRECTORA: Lcda. Yanet Tibaire Villasana Aguilera Ph.D.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

- Medioambiente

FECHA: 10 de febrero de 2022

RESUMEN EJECUTIVO

La escasez de agua potable en varios países y zonas representa un problema a escala mundial, en donde, se utilizan métodos convencionales con policloruro de aluminio en los procesos de coagulación y floculación en el tratamiento de agua. Estos procesos generan lodos residuales, los cuales, pueden contener altos niveles de aluminio y causar daños a los seres humanos y al ambiente. Es importante en la actualidad generar nuevas alternativas ecológicas y de fácil acceso para mejorar la calidad del agua; motivo por el cual, el propósito de la presente investigación fue obtener coagulantes orgánicos, y evaluar su utilidad como coadyuvante del policloruro de aluminio en el proceso de tratamiento de agua. El proyecto se desarrolló mediante procesos de extracción de la

biomasa, la misma que fue evaluada a través de pruebas de sustitución parcial-total y análisis físicos químicos de las muestras de agua tratadas con este combinado químico-orgánico. Los resultados se procesaron con herramientas de análisis estadístico para determinar los requisitos para ser utilizados como coadyuvante, tales como: porcentaje rendimiento en el proceso de extracción, su disponibilidad en el medio, porcentaje de remoción, rendimiento económico. Tomando en cuenta las normas ambientales vigentes en el país, detalladas en el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente- TULSMA y normas INEN.

Palabras claves: Coadyuvante, biomasa, pruebas, coagulación, tratamiento.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN QUÍMICA MENCIÓN QUÍMICA – FÍSICA

THEME:

OBTAINING ORGANIC COAGULANTS/FLOCCULANTS FROM NATURAL
EXTRACTS AND EVALUATION OF ITS POTENTIAL AS CO-ADJUVANTS IN
THE WATER TREATMENT PROCESS

AUTHOR: Ing. Rebeca Abigail Poveda Ocaña

DIRECTED BY: Lcda. Yanet Tibaire Villasana Aguilera Ph.D.

LINE OF RESEARCH:

- Environment.

DATE: February 10th, 2022

EXECUTIVE SUMMARY

The scarcity of drinking water in several countries and areas represents a problem on a global scale, where conventional methods with polyaluminum chloride are used in the coagulation and flocculation processes in water treatment. These processes generate residual sludge, which may contain high levels of aluminum and cause harm to humans and the environment. It is currently important to generate new ecological and easily accessible alternatives to improve water quality. For this reason, the purpose of this research was to obtain organic coagulants, and to evaluate their usefulness as a co-adjuvant for polyaluminum chloride in the water treatment process. The project was developed through biomass extraction processes, which was evaluated through partial-

total substitution tests and physical-chemical analyzes of the water samples treated with this chemical-organic combination. The results were processed with statistical analysis tools to determine the requirements to be used as an co-adjuvant, such as: yield percentage in the extraction process, its availability in the medium, removal percentage, economic yield. Considering the current environmental regulations in the country, detailed in the Unified Text of Secondary Environmental Legislation.

Keywords: Adjuvant, biomass, test, coagulation, treatment.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción:

El agua es el elemento esencial para la vida. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el 2015 el 71% de la población cuenta con la dotación de agua potable, utilizada para el consumo humano, fabricación de alimentos, actividades domésticas, recreativas, etc. Algunas veces la calidad del agua puede alterarse por la presencia de contaminantes, tales como: microorganismos infecciosos, productos orgánicos, químicos, entre otras [1][2]. Debido a estos agentes infecciosos, el agua generalmente debe ser sometida a un tratamiento con el uso de coagulantes químicos convencionales [3].

Entre los aspectos negativos del uso de estos compuestos se puede mencionar: los costos de adquisición, generación de lodos residuales y en algunos casos cambios en el pH y alcalinidad del agua [3]. Por lo que se busca nuevas alternativas para uso de productos amigables con el ambiente.

Según, últimas investigaciones en la naturaleza existen varios polímeros y/o polisacáridos de origen animal y vegetal o de sus respectivos residuos que presentan propiedades específicas para ser utilizados como posibles floculantes naturales, como, por ejemplo: almidón, moringa, quitosano, linaza, chía, etc [3].

Por lo que la presente investigación tiene como propósito la obtención de coagulantes/floculantes orgánicos y la evaluación de su efectividad a través del método de jarras y análisis de los parámetros fisicoquímicos, con la finalidad de encontrar un coagulante natural que pueda sustituir total o parcialmente a los compuestos químicos convencionales utilizados durante el tratamiento de agua, tomando en cuenta porcentaje rendimiento como floculante, su disponibilidad en el medio, nivel y efectividad de

conservación y degradación a lo largo del tiempo y en consecuencia su rendimiento económico y su posible comercialización.

1.2. Justificación:

Las diferentes actividades antropogénicas producen gran cantidad de desperdicios aproximadamente 4,06 millones de toneladas métricas al año que en muchos de los casos son eliminados en el medio ambiente específicamente en los cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento, lo que provoca una alteración en las características de los recursos hídricos y ocasiona que muchas fuentes de agua dulce no sean óptimas para el consumo humano [4].

El agua para el consumo humano, debe ser sometida a un tratamiento, que conlleva varias etapas que conlleva un proceso de floculación/coagulación, sedimentación, filtración y desinfección hasta purificarla. [4] Este tratamiento inicia con un proceso químico con el uso coagulantes/ floculantes para la remoción de los contaminantes suspendidos en los cuerpos de agua. Entre los compuestos utilizados durante este proceso están las sales de aluminio, hierro y varios polímeros, por ejemplo: poli (etilendiamina), poli (acrilamida), polímero de acrilato. Como resultado final se elimina o reduce varios contaminantes y compuestos tóxicos de los cuerpos de agua, mismos que ya son aptos para su consumo [5].

Uno de los subproductos formados como resultado del tratamiento de agua, son los llamados lodos residuales que pueden contener metales pesados en algunos casos, mismo que pueden producir daños al ambiente si no se da una disposición final correcta. Debido a, estos problemas, se están investigando técnicas promisorias con el uso de compuestos amigables con el ambiente, por ejemplo: coagulantes-floculantes naturales, con el fin de obtener un tratamiento adecuado del agua y reducir la utilización de productos nocivos a nivel ambiental y para la salud humana [6].

Uno de los ejemplos más destacados son los polímeros orgánicos naturales, que provienen de los recursos disponibles en la naturaleza, por ejemplo: plantas (celulosa, almodón, taninos, semillas), animales (quitosano), los cuales han llegado a convertirse en gran interés, debido a que son compuestos que no producen efectos perjudiciales para el medio ambiente y para salud humana, por su origen natural y su bajo costo de obtención [6].

1.3 Objetivos:

1.3.1 General:

- Obtener coagulantes/floculantes orgánicos a partir de extractos naturales y evaluar su potencial como coadyuvantes del policloruro de aluminio en el proceso de tratamiento de agua.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Identificar biomasa que pudieran actuar como coadyuvante del policloruro de aluminio utilizado en el tratamiento de aguas.
- Extraer compuestos orgánicos a partir de fuentes naturales de residuos de biomasa o subproductos industriales (quitosano, linaza, chía, taninos y/o moringa) mediante sistemas de extracción continua y purificación de compuestos activos.
- Identificar los compuestos orgánicos activos extraídos de la biomasa por la técnica de caracterización molecular como: Espectroscopía infrarroja por Transformada de Fourier (IR-TF), cromatografía de gases acoplada a masas (CG-MS), espectroscopia ultravioleta-visible (UV-Vis).
- Determinar la efectividad de los compuestos obtenidos como agentes coagulantes/floculantes a través del método de jarras en muestras de agua para consumo humano de la ciudad de Ambato.
- Evaluar la capacidad coagulante de los extractos orgánicos obtenidos como coadyuvantes de policloruro de aluminio a través de parámetros fisicoquímicos en muestras de agua para consumo humano de la ciudad de Ambato.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1 El agua:

Es el líquido indispensable para la vida. Las fuentes de agua son: la lluvia, aguas superficiales o subterráneas, las mismas que son utilizadas como suministro líquido para una población [4].

Clasificación de partículas presentes en el agua, de acuerdo a su tamaño [7]:

- Sólidos suspendidos (partículas mayores a 10^{-6} m): Aportan a la turbidez y color del agua. Pueden ser de origen mineral como arena o arcillas, u orgánico como residuos provenientes de las plantas o animales. Por otra parte, en esta categoría también están los microorganismos como bacterias, plancton, algas y virus.
- Partículas coloidales (tamaños entre 10^{-6} y 10^{-9} m): provienen de fuentes similares a los sólidos suspendidos, pero con un tamaño inferior y sedimentación lenta, y aportan con las mismas propiedades a los cuerpos de agua.
- Sustancias disueltas (menor a 10^{-9} m): estas son usualmente sustancias de origen inorgánico y orgánico como: cationes, aniones, ácidos, gases, entre otras.

2.1.1 Importancia:

Por el incremento demográfico en el mundo se ha generado un incremento en la demanda de los recursos hídricos y un aumento de la contaminación de diversas fuentes de agua productos dañinos como: los metales pesados (aluminio, plomo), residuos provenientes de procesos industriales, agronómicos y domésticos, lo cual ocasionado la alteración de los ciclos biogeoquímicos y daño a los organismos que están en contacto con este tipo de agua [4].

Según la Organización Mundial de la Salud, la falta de agua destinada específicamente para el consumo humano es uno de los principales problemas relacionados con la salud.

Por ejemplo, en el 2015 sólo el 71% de la población contaba con este recurso de una manera segura y sin ningún tipo de contaminación y según estudios detallan que la mayor parte de la carga global de enfermedades podría prevenirse con el acceso de fuentes de agua segura para beber, a un saneamiento adecuado y una correcta higiene [2].

2.2 Contaminación del agua:

Las actividades humanas e industriales generan grandes cantidades de desechos y lo que ocasiona una contaminación en el recurso hídrico, y en muchas zonas no se cuenta con una planta de tratamiento de agua o no se lleva a cabo la potabilización de dicho recurso. Dicho problema se ha convertido en un tema relevante de la Salud Pública, debido a que, muchas personas presentan problemas de salud como, por ejemplo: la disentería, infecciones, gastroenteritis, entre otras. Además, afecta a los animales y medio ambiente propiamente dicho y puede generar cambios o daños irreversibles, como por ejemplo en las zonas anexas a la industria minera [8].

2.2.1 Tipos de contaminantes del agua:

La evaluación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos son utilizados para determinar la calidad del agua. Dichos parámetros proporcionan información sobre las propiedades y características del agua analizada y de los posibles contaminantes que se encuentran en los diferentes cuerpos de agua. Entre las principales contaminantes del agua se puede mencionar [8]:

- De origen químico: producto de actividades antropogénicas, por ejemplo: residuos industriales, agrícolas, farmacéuticos, alimenticios, etc.
- Microbiológicos: Las bacterias, hongos, parásitos, virus, mismo que son resultados en la mayoría de los casos de actividades desarrolladas por el ser humano.

2.2.2 Normativa legal Vigente:

Dentro de la normativa de mayor relevancia se puede mencionar la norma NTE INEN 1108:2011 donde detalla los requisitos mínimos que los cuerpos de agua deben cumplir para ser considerados para consumo humano, reportados en la Tabla 1.

Tabla 1: Norma NTE INEN 1108:2011 (Agua potable. Requisitos)

PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	...	no objetable
Sabor	...	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,2
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 ¹⁾
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO₃	mg/l	50
Nitritos, NO₂	mg/l	0,2
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total α^*	Bq/l	0,1
Radiación total β^{**}	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,01

¹⁾ Es el rango en que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos *Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰PO, ²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu **Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁸Ra

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) [9]

Además, existen datos sobre los límites máximos permisibles establecidos para que el agua sea considerada óptima para el uso doméstico, reportados en la Tabla 2.

Tabla 2: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Bifenilo	Concentración	ug/I	0,0005
Policlorados/PCBs	de PCBs totales		
Fluoruro (total)	F	mg/I	1,5
Hierro (total)	FE	mg/I	1,0
Manganeso (total)	Mn	mg/I	0,1
Materia flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/I	0,001
Nitrato	N-Nitrato	mg/I	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/I	1,0
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
			No menor al 80% de

			oxígeno de saturación y no menor a 6mg/I
Oxígeno disuelto	O.D.		
Plata (total)	Ag	mg/I	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/I	0,05
Potencial de hidrógeno	pH	mg/I	6-9
Selenio (total)	Se	mg/I	0,01
Sodio	Na	mg/I	200
Sólidos disueltos		mg/I	1 000
totales			
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/I	400
Temperatura		°C	Condición Natural + 0 – 3 grados 0,5
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/I	100
Turbiedad		UTN	5,0

Fuente: Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA) [10]

2.3 Procesos para el tratamiento de agua:

Existen varias etapas utilizadas para el tratamiento de agua, mismos que dependen de las características y del tipo de agua a tratar, que se detallan a continuación [4][11]:

- Cribado: Con el uso de rejas o mallas se retienen los sólidos de gran tamaño, que vienen en los cuerpos de agua, por ejemplo: ramas, piedras, plásticos, restos en descomposición, antes que ingrese a la planta de tratamiento.
- Coagulación-floculación: Es una de las fases más importante del tratamiento de agua, que consiste en la desestabilización de las partículas coloidales por medio de la adicción de sustancias principalmente químicas y se termina con la floculación en el cual las partículas desestabilizadas chocan entre sí y se aglomeran formando una suspensión más concentrada, denominada comúnmente flóculos.
- Sedimentación: Las partículas suspendidas en el agua como resultado del proceso anterior son removidas o separadas del fluido. Dichas partículas son más densas que el agua, y el resultado que se obtiene será un fluido clarificado (agua) y el floc.
- Filtración: Consiste en la separación de partículas y pequeñas cantidades de microorganismos (bacterias, virus) a través de un medio poroso llamados filtros (carbón activado, arena), los cuales tienen una eficiencia de remoción superior a 99%. Los estándares de calidad para el agua potable se definen en el proceso de filtración.
- Desinfección: Tratamiento final del agua con el uso de compuestos como el cloro, que consiste en la destrucción selectiva de los organismos potencialmente infecciosos. Lo que significa que no todos los organismos patógenos son eliminados en este proceso, por lo que requieren procesos previos como la coagulación, sedimentación y filtración para su eliminación.

Los factores que influyen en la desinfección son:

- El tipo de microorganismo y del agente desinfectante.
- La temperatura del agua.

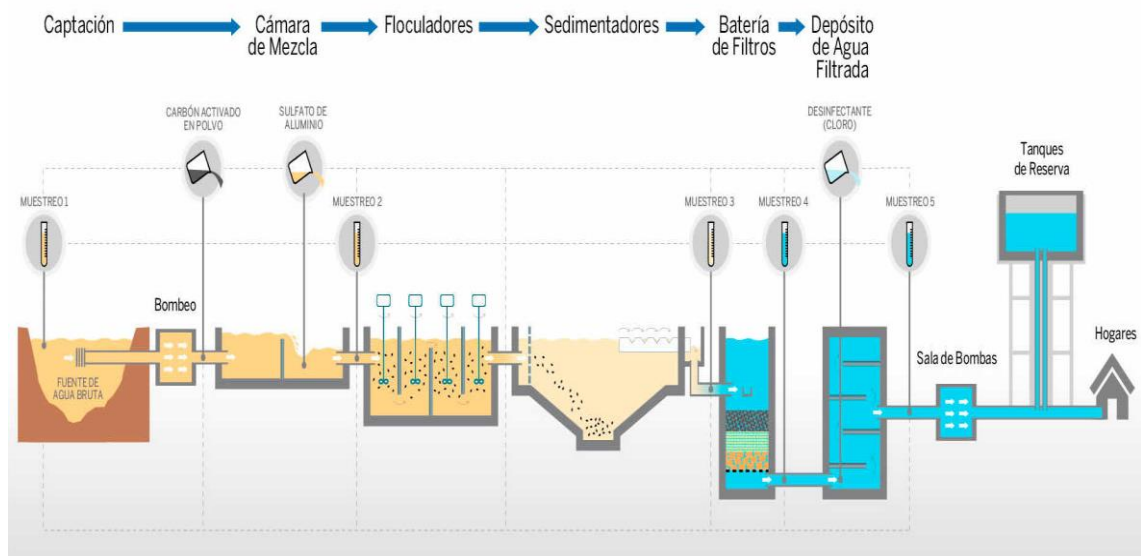


Figura 1: Esquema de una planta de tratamiento de agua potable[12]

2.3.1 Coagulación – floculación:

Es uno de los procesos fisicoquímicos más importante en el tratamiento de agua, debido a que, durante este proceso se produce la remoción de una gran cantidad de partículas coloidales y suspendidas presentes en el agua; y se forma el Floc [13].

En la mayoría de estos procesos se usan productos químicos como floculantes, tales como: sulfato de aluminio, sulfato férrico, los cuales poseen iones positivos, los mismo que son agregados a los cuerpos de agua con la finalidad de promover una desestabilidad en las partículas coloidales con carga negativa, debido a la, presencia de los grupos COO^- y OH^- en el agua. De igual manera la alcalinidad representa una propiedad muy significativa, debido a que, se puede dar lugar a la formación de compuestos que ayudan a la recolección de impurezas o partículas presentes en los cuerpos de agua, detallada a continuación [13]:



Los resultados finales de este procesos son [4] [14]:

- Reducción de la turbidez, sólidos suspendidos, partículas coloidales, color.
- Eliminación de microorganismos patógenos, olor, sabor y otros compuestos que se encuentran suspendidos en el agua.

2.3.2 Etapas de la coagulación:

Existen tres etapas, detalladas a continuación [14]:

1. Hidrólisis del coagulante y disminución de la estabilidad de los sólidos suspendidos en los cuerpos de agua.
2. Precipitación y aparición de compuestos polimerizados.
3. Adsorción de compuestos coloides presente en el agua.

2.3.3 Tipos de Coagulantes:

Existen diversos tipos de coagulantes usados en el proceso de tratamiento de agua, de los que se puede mencionar [7][14]:

- Metálicos: Son los que se usan tradicionalmente ya que como resultado final forma compuestos hidratados. Por ejemplo: sulfato de aluminio, férrico, ferroso.
- Minerales: Como el carbón activado, arena fina, arcilla, sílice, etc.
- Polielectrólitos: Son compuestos orgánicos sintéticos, de un alto valor. Por ejemplo: catiónicos, aniónicos, etc.
- Naturales: Pueden ser de origen vegetal o animal, que se degradan en el ambiente, no tóxicos. Por ejemplo: semillas, tallos, hojas, etc. Dentro de este grupo se puede mencionar a los polímeros orgánicos naturales como por ejemplo los almidones.

2.3.4 Policloruro de aluminio:

Es el tipo de coagulante químico más conocido, de un valor económico bajo, de fácil adquisición y de amplio espectro de efectividad, es decir, es uno de los floculantes comúnmente utilizados para la reducción de cargas orgánicas e inorgánica y la remoción del color, turbidez y en algunos casos los microorganismos presentes en el agua [15].

El uso de las sales de aluminio debe ser vigilado de una manera constante porque puede existir en algunos casos trazas de aluminio en el agua tratada, los cuales se relacionan con algunas enfermedades, por ejemplo, Alzheimer [16].

2.4. Prueba de jarras:

Técnica comúnmente utilizada para la determinación de la dosis óptima del coagulante a utilizar durante el tratamiento de agua. En esta prueba se simula las etapas de: coagulación, floculación y sedimentación a escala de laboratorio. Tomando en cuenta factores como: pH, temperatura y concentración de coagulante en las muestras de agua. Los factores que influyen en el equipo son [14]:

- Velocidad y tiempo de agitación
- Tiempo de sedimentación.

2.4.1 Etapas de la prueba de jarras:

Las condiciones operacionales que se desarrollan en la prueba son [14]:

- **Mezcla rápida:** Utilizada para poner en contacto el coagulante con todas las partículas coloidales presentes en el cuerpo de agua, para disminuir su estabilidad e iniciar el proceso de aglomeración para la formación del Floc. Este tiempo estimado es de 30 a 100 revoluciones por minuto y depende directamente del tipo de coagulante a utilizar y sus propiedades.

- **Mezcla lenta:** No puede exceder de los 15 minutos como tiempo máximo, porque puede interferir en la calidad del Floc que se encuentra formando y la aparición de burbujas y disminuir las partículas que se van a sedimentar.
- **Sedimentación:** Es la última etapa de este proceso, el tiempo aproximado es de 30 minutos, tiempo necesario para que las partículas se sedimenten.

2.4.2 Índice de Willcomb:

Llamado también nota de floculación y es el parámetro comúnmente utilizado para evaluar una prueba de jarras, en donde, se califica las características del Floc, tales como: tamaño, uniformidad, velocidad de formación, que se detalla en la siguiente tabla [14]:

Tabla 3: Valores del índice de Willcomb

Número del Índice	Descripción
00	Floc coloidal. Ninguno signo de aglutinación
02	Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
04	Disperso. Floc bien formado, pero uniformemente distribuido. (Sedienta muy lentamente o no sedienta).
06	Claro. Floc de tamaño relativamente claro que precipita con lentitud.
08	Bueno. Floc que se deposita fácil pero completamente.
10	Excelente. Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina.

2.5 Parámetros de calidad de agua:

Existe varios parámetros que proveen información importante de la calidad del agua, detallados a continuación:

- **Turbidez:**

Este parámetro es el considerado el más importante para la determinación de la eficiencia del proceso de floculación y sedimentación en las muestras de agua[17], es decir, se puede realizar una estimación del contenido de partículas coloidales, suspendidas. Una turbidez alta puede afectar en el proceso de desinfección. La unidad de medida es el UTN (Unidades Nefelométricas de Turbidez) [14].

- **Conductividad eléctrica:**

Es la propiedad que tienen algunas soluciones para transportar electricidad a través de sus partículas que contienen carga eléctrica (iones) que llevan corriente a través del agua. Los mismos que se encuentran principalmente en los ácidos y sales. La relación es directamente proporcional, es decir, mientras más concentrada sea la concentración mayor es la cantidad de iones y como consecuencia se produce un incremento de la conductividad[18].

- **Temperatura:**

Es un parámetro que juega un papel importante en el proceso de coagulación, en relación a la eficiencia del coagulante y la velocidad de formación del floc. La relación entre la temperatura y la cantidad de coagulante es inversamente proporcional al, es decir, a menor temperatura mayor cantidad de dosis del químico usado en dicho proceso [14].

- **Sólidos totales Disueltos:**

Son partículas constituidas principalmente por minerales, sales, metales de un tamaño menor a $2\mu\text{m}$ y que no pueden ser retenidos en los filtros convencionales y que requieren de otros procesos como el de coagulación para su respectiva eliminación [19].

- **pH:**

El potencial de hidrógeno (pH) es la medición de los iones de hidrógeno presentes en el agua y representa un factor importante en el proceso de coagulación-floculación, debido a que, una fracción de las partículas coloidales presentes en el agua, queda

desestabilizada por un aumento en los iones H_3O^+ , produciendo una desestabilización de la suspensión coloidal. El pH en los cuerpos de agua debe ser preferiblemente neutro o con una ligera inclinación a medio ácido, debido a que, en este medio se produce un mejor proceso de coagulación. Por ejemplo, los coagulantes químicos convencionales trabajan dentro de un pH entre 7.4; 7.0 o inferior al pH neutro [14][19].

2.6 Nuevas alternativas para el tratamiento de agua:

Durante el tratamiento de agua se lleva a cabo el proceso de coagulación y floculación con el uso de compuestos químicos que generan residuos que presentan toxicidad por los metales pesados, baja degradabilidad y en algunos casos un alto costo de adquisición[20]. Por estas razones actualmente es importante la búsqueda de nuevas y eficientes alternativas que brinden la posibilidad de mejorar la calidad del agua con el uso de compuestos basados en productos naturales [2].

Por ejemplo, en países asiáticos y africanos han usado los polímeros orgánicos como ayudantes del proceso de coagulación especialmente en cuerpos de agua con altos índices de contaminación y turbidez. Estos compuestos alternativos pueden tener una eficacia similar o mayor a los coagulantes convencionales y con propiedades biodegradables [21].

2.6.1 Extractos naturales:

Es la materia prima que se puede extraer u obtener de fuentes naturales sin la aplicación de ningún proceso invasivo o dañino para la naturaleza, y en algunos casos con la ayuda de algún tipo de solvente como: agua, etanol, etc [21].

La mayor parte de los extractos naturales provienen de las plantas, especialmente de las semillas, cortezas, hojas, raíces, etc. Generalmente, las proteínas son las moléculas con propiedades de floculante, mismas que provienen de los extractos naturales. Estos extractos pueden ser utilizados como sustituto total o parcial de los coagulantes

convencionales o como coadyuvantes del proceso coagulación-floculación, con el objetivo de reducir la turbidez y en algunos casos contribuir a la disminución de la carga microbiana en el agua cruda (sin tratamiento) [7].

Es decir, en las últimas investigaciones se ha demostrado gran potencial en el uso de las sustancias orgánicas en procesos de clarificación del agua, en relación a la disminución de turbidez, color y microorganismos presentes en los distintos cuerpos de agua [21].

2.7 Coagulantes y floculantes orgánicos:

Los coagulantes de origen natural llamados también biocoagulantes son compuestos bioactivos como: proteínas, polisacáridos, mucílagos, taninos y alcaloides, los cuales presentan la propiedad de desestabilización de los contaminantes coloidales por la presencia de aniones y cationes en los cuerpos de agua [22].

2.7.1 Ventajas:

Entre las ventajas de este tipo de productos se puede mencionar[22] [23]:

- Se produce menor cantidad de lodos residuales o lodos amigables con el ambiente.
- No se producen cambios en el pH de agua, como sucede en algunos casos con el uso de compuestos químicos.
- Son amigables con el ambiente, debido a que, son productos naturales que se pueden degradar con facilidad.
- Pueden ser utilizados como coagulantes o coadyuvantes en el proceso de clarificación de diferentes cuerpos de agua.
- Se puede reutilizar el lodo residual como un compuesto biosólido que tiene aplicaciones en la agricultura como fertilizante.

- Puede reducir los microorganismos presentes en el agua, así como la turbidez, color, etc.
- Se encuentra fácilmente en la naturaleza y su obtención puede ser a través de procesos sencillos como: maceración, destilación, ebullición.

2.7.2 Tipos de coagulantes orgánicos:

Entre los ejemplos más relevantes de los floculantes/coagulantes naturales se puede mencionar:

MORINGA (Moringa oleífera)

Es una especie vegetal perteneciente a la familia *Moringaceae* que presenta muchas propiedades especialmente en sus hojas y semillas[24]. Dichas semillas tienen gran contenido de proteínas catiónicas que presentan interés en el ámbito nutricional, medicinal e industrial[25].

- **Composición:**

Esta planta presenta una combinación de macronutrientes como: proteínas (30% de su peso), lípidos, fibra; minerales como: calcio, hierro), vitaminas como: A (retinol), C (ácido ascórbico) [26][27].

- **Propiedades:**

Entre las principales propiedades se puede mencionar[25]:

- No es un producto tóxico, a dosis controladas.
- Es biodegradable y no cambia el pH del agua.
- Pueden actuar como polímero sintetizado para tratamiento del agua.
- La mayoría de sus órganos pueden ser utilizados como medicina natural y alimento.

- Disminución de los lodos residuales en un proceso de coagulación.

- **Aplicaciones:**

Se utiliza principalmente en la industria[25]:

- Alimenticia: En varios países sus hojas, semillas pueden ser consumidas como un complemento alimenticio.
- Farmacéutica: Pueden ser consumidas sus hojas en infusión para enfermedades digestivas, antiinflamatorios, sin embargo, actualmente existe ya en el mercado productos derivados de esta planta para tratar distintas enfermedades.
- Biorremediación: Las proteínas presentes en la semilla pueden ser utilizadas como coagulante, que se une a las partículas coloidales presentes en los cuerpos de agua.

TANINOS:

Es un metabolito secundario que se extrae principalmente de algunas cortezas de árboles y plantas como, por ejemplo, palo santo, pino, ciprés, [7]. Son combinados polifenólicos que pueden formar uniones con diferentes moléculas, tales como proteínas, carbohidratos, para dar lugar a la formación de complejos estables con características especiales [28].

- **Estructura:**

Se dividen en: hidrolizables y condensados. El primer grupo pertenece a los compuestos que se forman con enlaces incompletos. En el segundo grupo corresponde a los complejos de enlaces totalmente cruzados y son insolubles [29].

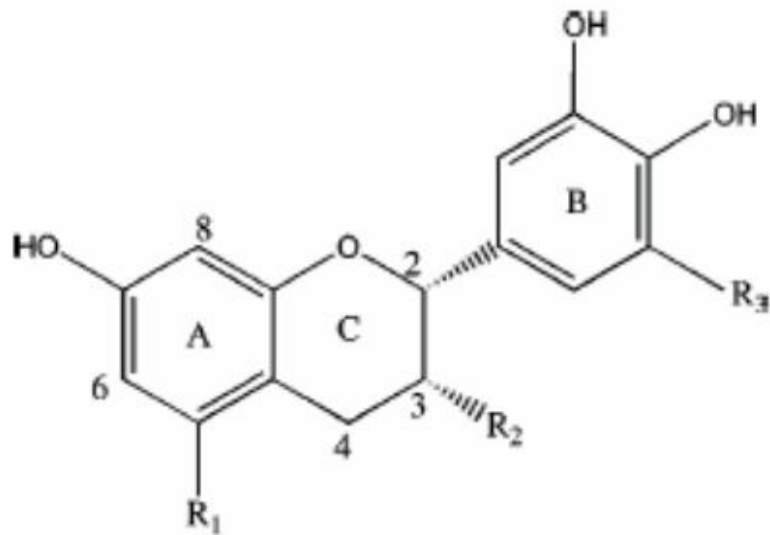


Figura 2: Estructura general del tanino

- **Propiedades:**

Entre las más relevantes se puede mencionar [29]:

- Son productos hidrosolubles.
- Gran capacidad para formar compuestos, especialmente a pH ácidos.
- Bioquímicas como, por ejemplo, actúan como inhibidores del crecimiento microbiano.

- **Aplicaciones:**

Se puede mencionar en el ámbito de [7] [30] [30] :

- Biorremediación: Se usa comúnmente como agentes desinfectantes.
- Alimentación y agricultura: Los taninos presentes en las frutas como, fresa, almendra, presentan capacidades antioxidantes.
- Industriales: en la curtiembre de los cueros, elaboración de productos adhesivos.
- Farmacéuticas: Muchos de estos compuestos presentan características antiinflamatorias, bactericidas, etc.

QUITOSANO:

Es un polímero natural de alto peso molecular que se obtiene a partir de la quitina, que se encuentra en gran cantidad en la naturaleza, sus fuentes principales son: algunos hongos y los exoesqueletos de varios crustáceos como el camarón, langosta, conchas, etc [31].

- **Obtención y estructura:**

A través de un proceso de desproteínización y desmineralización se obtiene la quitina, la misma que proceso físico-químico de desacetilación parcial de la quitina, es decir, este precursor es sometido a una reacción en un medio alcalino principalmente como el NaOH [32], con la finalidad de reemplazar el grupo acetilo por un grupo amino, característico del quitosano[33].

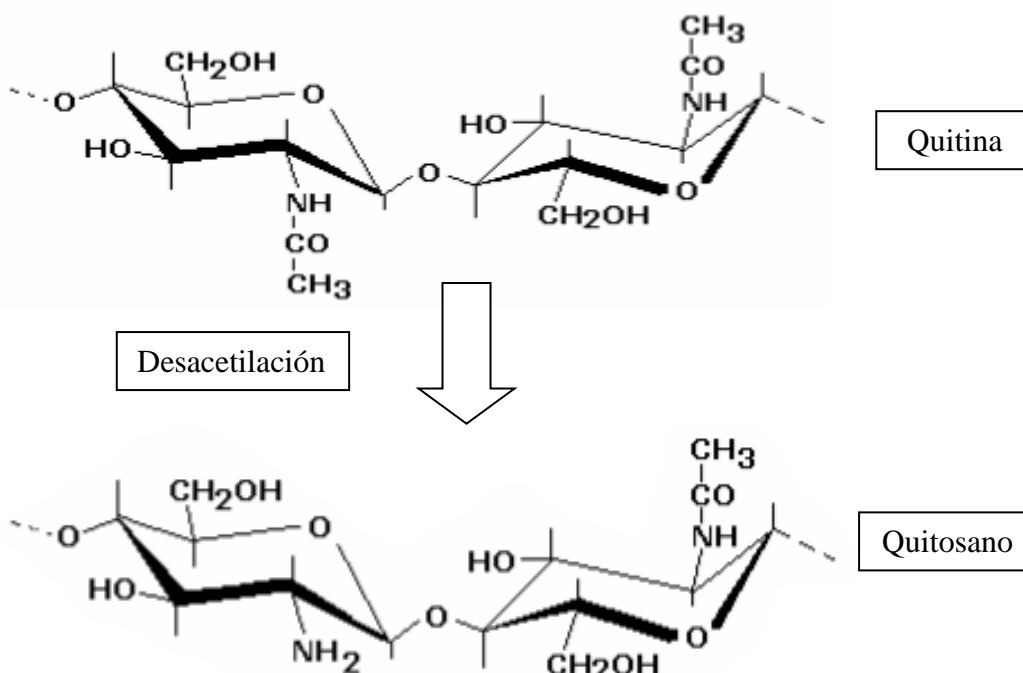


Figura 3: Estructura del Quitosano

- **Propiedades:**

Entre las principales propiedades, se puede mencionar [31]:

- Es un recurso renovable y biodegradable.

- Funcionales y fisicoquímicas por el grupo amina en su estructura y su solubilidad.
- Es un producto biofloculante, no tóxico.

- **Aplicaciones:**

Tiene varias aplicaciones en la industria, detalladas a continuación [31][32]:

- Alimentaria: Usados como aditivos de productos y películas protectoras.
- Farmacéutica: En la elaboración de cremas, geles, cápsulas, etc.
- Biorremediación: En el tratamiento de agua, como coagulantes/ floculantes naturales.
- Agricultura: Suelen ser utilizados como fertilizantes o fungicidas.
- Cosmética: Cremas, hidratantes de piel, jabones, entre otras.

CHÍA (*Salvia hispanica*):

La chía es una planta que produce pequeñas semillas de color negro con un alto contenido oleaginoso y proteico. El mucílago es un hidrocoloide soluble en agua que se extrae principalmente de la semillas [34].

- **Obtención y estructura:**

El mucílago de la chía es un gel de color transparente obtenido de la fibra soluble de la semilla cuando esta entra en contacto con el agua. [35]. Misma que forma un halo transparente alrededor de la semilla[34].

El contenido de mucílago en semillas es de 3.5% aproximadamente. Por otra parte el mucílago está compuesto por: proteína, fibra, lípidos y cenizas [35].

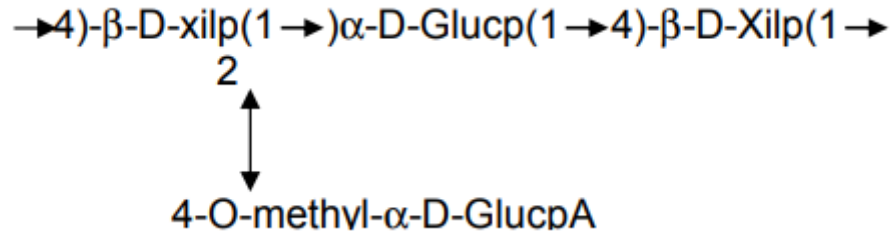


Figura 4: Estructura del mucílago de chía

- **Propiedades:**

Entre las principales se puede mencionar [35]:

- Las semillas de chía contienen una parte proteica y otra oleaginosa, en mayor cantidad que en otros granos.
- Fuente natural de omega 3 y de antioxidantes, fibra, vitaminas y minerales.
- El mucílago es de gran viscosidad y es soluble en agua, con propiedades emulsionantes, espesantes, estabilizadoras, etc.

- **Aplicaciones:**

Entre los principales usos en la industria se puede mencionar [35][36]:

- Alimentaria: Espesante o aditivo de productos como mermeladas, jaleas, etc. El mucílago es usado generalmente como fibra soluble y dietética.
- Cosmética: En la elaboración de geles (mucílago).
- Biotecnología: Liberación de medicamentos y nanocompuestos.
- Tratamiento de agua: Como coagulante orgánico por sus propiedades gelatinizantes.

LINAZA (*Linum usitatissimum*):

Denominada también semilla de lino, es una planta oleaginosa con varias aplicaciones en la industria alimenticia, textil, farmacéutica[37]. A la fibra soluble de la linaza se la denomina mucílago.

- Estructura:

Tiene un alto contenido oleaginoso (lípidos) de 40% aproximadamente, distribuido principalmente en los cotiledones de la semilla. Tiene además compuestos tales como: ácido linoleico, lignanos, minerales y fibra dietética.[38]

- Propiedades:

Presenta propiedades como [38][37]:

- Terapéuticas en el tratamiento de algunas inflamaciones.
- Viscosidad alta.
- Baja toxicidad y material biodegradable.
- Menor cantidad de lodos residuales (coagulación/floculación)

- Aplicaciones:

Entre las principales se puede mencionar [38] [37] :

- Las semillas pueden ser utilizadas para la elaboración de harinas con un alto contenido proteico.
- Como planta medicinal para algunas afecciones o enfermedades.
- Por otro parte el mucílago es el principal subproducto obtenido de dichas semillas, mismos que pueden ser utilizados como coagulantes orgánicos en el proceso de tratamiento de agua.

2.8. Técnicas de caracterización molecular:

Existen varias técnicas más conocidas y disponibles en el mercado para la determinación de los grupos funcionales de distintas muestras, se puede mencionar [39]:

- Espectroscopía ultravioleta visible (UV-Vis)
- Espectroscopía infrarrojo
- Resonancia magnética nuclear.
- Espectrometría de Masas
- Espectroscopía Raman
- Espectroscopía de difracción láser

2.8.1 Espectroscopía infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR)

Es una técnica utilizada para la identificación de grupos funcionales en los distintos tipos de muestras. Como resultado se obtienen espectros de infrarrojo. Un espectro es una secuencia de picos o bandas que describe los grupos funcionales presentes en una muestra [40].

Las principales partes que confirmar el espectro infrarrojo son [40]:

- El eje X se detalla el número de onda (cm^{-1})
- El eje Y la radiación infrarroja que puede ser dado en valores de transmitancia o absorbancia (%).
- La región relevante en el espectro entre 1500 y 500 cm^{-1} se denomina huella digital, que ayuda en la identificación de estructuras específicas de cada molécula.

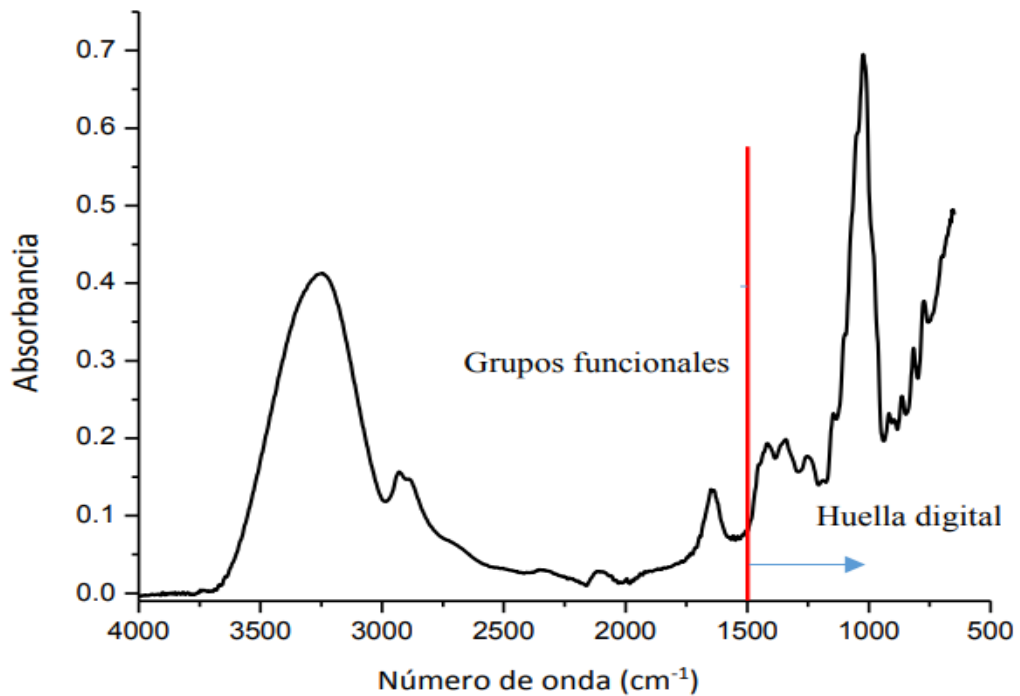


Figura 5: Espectro infrarrojo

2.8.2 Ventajas:

- Es más utilizada para el análisis de los grupos funcionales en alimentos, bebidas, etc.
- De bajo costo a relación de otras técnicas
- No requiere una cantidad significativa de la muestra
- No es de carácter invasivo para la muestra al momento de realizar los análisis.

2.8.3 Aplicaciones:

Entre las más relevantes se puede mencionar[40][39]:

- Se utiliza principalmente para la identificación de los grupos funcionales en muestras de alimentos, suelos, bebidas, extractos naturales, entre otras.
- En la industria en la identificación de materiales, análisis de productos, análisis de contaminantes.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación:

- Las muestras de biomasa fueron adquiridas en la Ciudad de Ambato en la Provincia de Tungurahua en Ecuador.
- El proceso de caracterización molecular se realizó en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos (LACONAL) de la Universidad Técnica de Ambato.
- Los análisis físicos químicos del agua y la prueba de jarras se realizaron en la Planta de Tratamiento “Marianitas” de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato de la Provincia de Tungurahua, Ecuador. Coordenadas $1^{\circ}17'47.2''S$ $78^{\circ}38'51.5''W$.

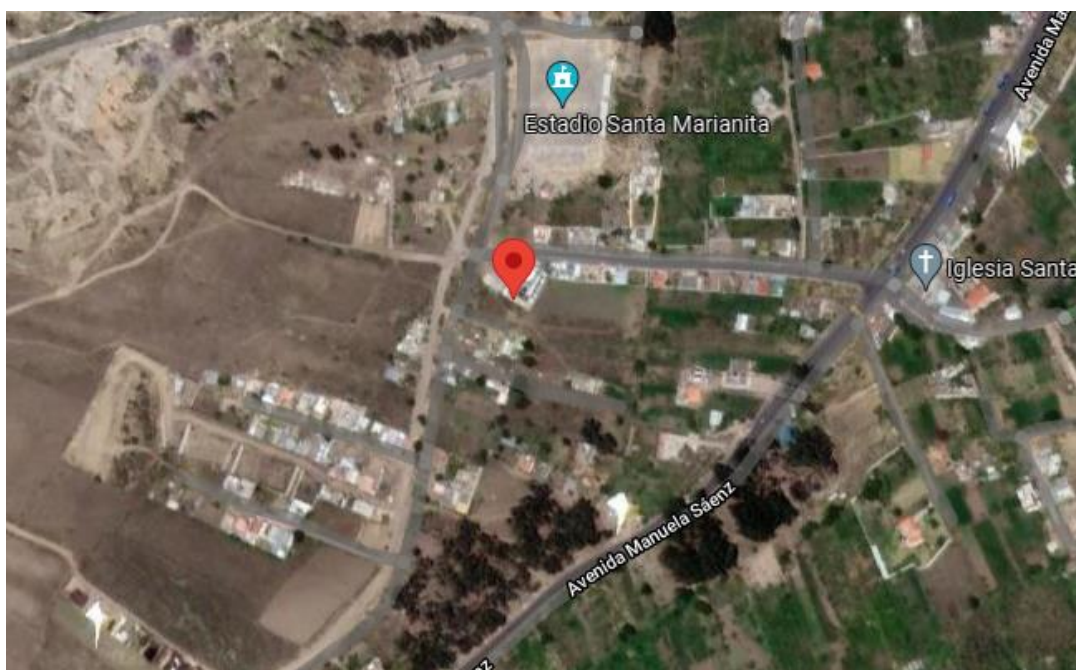


Figura 6: Ubicación de la planta de tratamiento "Santa Marianita"

3.2. Equipos y materiales:

A continuación, se describen los equipos, materiales y reactivos que se utilizó en cada una de las fases de la presente investigación.

FASE 1

3.2.1 Equipos y materiales utilizados en el proceso de extracción:

Durante el proceso de obtención de los extractos naturales a partir de la biomasa animal y vegetal se utilizó:

Tabla 4: Equipos y materiales utilizados en la extracción del coagulante: Moringa

MATERIALES	EQUIPOS	REACTIVOS
	Estufa de laboratorio.	
Vasos de precipitación de 250, 500 y 1000ml.	Prensa extractora de aceite.	
Mortero de cerámica.	Plancha de calentamiento con agitación	Agua destilada.
Tamiz	Balanza analítica.	
Agitador magnético	Licuada industrial.	
	Termómetro	
	Cronómetro	

Tabla 5: Equipos y materiales utilizados en la extracción del coagulante: Chía y Linaza

MATERIALES	EQUIPOS	REACTIVOS
Vasos de precipitación de 100, 250,500 y 1000ml.	Plancha de calentamiento con agitación	Agua destilada
Mortero de cerámica.	Balanza analítica	
Embudo	Cronómetro	
Malla de filtro N° 100	Termómetro	
Recipiente de acero inoxidable		
Agitador magnético		

Tabla 6: Equipos y materiales utilizados en la extracción del coagulante: Quitosano

MATERIALES	EQUIPOS	REACTIVOS
Vasos de precipitación de 100, 250,500 y 1000ml	Plancha de calentamiento con agitación.	Agua destilada
	Estufa	HCl 0.6N
Agitador magnético	Balanza analítica	NaOH al 1%
	Cronómetro	NOH al 50%
	Termómetro	

Tabla 7: Equipos y materiales utilizados en la extracción del coagulante: Palo Santo

MATERIALES	EQUIPOS	REACTIVOS
Vaso de precipitación	Balanza analítica	Agua
Molino	Agitador	destilada
Tamiz	magnético	Na ₂ SO ₃ al
	Filtrado al vacío	2%
	Horno	

FASE 2

3.2.2 Caracterización Molecular:

Equipos:

- Espectrómetro FTIR.
- Marca: Perkin Elmer, 2021
- Dispositivo: Reflexión total atenuada (ATR)
- Serie: 117621

FASE 3

3.2.3 Equipos y materiales utilizados en la prueba de jarras y análisis de parámetros fisicoquímicos del agua:

Durante la prueba de jarras y análisis de los parámetros en el agua se utilizó:

Tabla 8: Equipos y materiales utilizados en la prueba de Jarras

MATERIALES	EQUIPOS	REACTIVOS
Vaso de precipitación de 1l	Equipo para la prueba de Jarras	Muestras de Agua
Jeringas plásticas de 10ml		Policloruro de aluminio 1%

Tabla 9: Parámetros fisicoquímicos del agua

MATERIALES	EQUIPOS	REACTIVOS
Vaso de precipitación de 250,500,1000ml	Conductímetro	Muestra de agua/extracto
Tubos de medición (10ml)	Medidor de pH	Agua
	Turbidímetro	destilada
	Micropipeta	

3.3. Tipo de investigación:

La metodología que se desarrolló en el presente trabajo de investigación tiene un enfoque cualitativo-cuantitativo y experimental, debido a que, se investigó y obtuvo los tipos de extractos de origen naturales con mejores características de flocculantes/coagulantes como coadyuvantes del policloruro de aluminio y se evaluó su potencial a través de pruebas de jarras (cuantitativo y cualitativo) y parámetros fisicoquímicos de calidad de agua (cuantitativo).

3.4. Prueba de Hipótesis:

3.4.1 Hipótesis Nula:

Los coagulantes/floculantes orgánicos obtenidos a partir de extractos naturales no tienen potencial como coadyuvantes del policloruro de aluminio en el proceso de tratamiento de agua

3.4.2 Hipótesis alternativa:

Los coagulantes/floculantes orgánicos obtenidos a partir de extractos naturales tienen potencial como coadyuvantes del policloruro de aluminio en el proceso de tratamiento de agua.

3.5. Población o muestra:

3.5.1 Muestra de los extractos orgánicos:

Para que un producto orgánico sea considerado como coagulantes/floculantes naturales, se debe tomar en cuenta los requerimientos necesarios, detallados a continuación [22] [23] [20]:

- Tener propiedades como coagulante, floculante y en algunos casos desinfectante
- Bajo costo
- Productos biodegradables, no tóxicos
- De fácil adquisición y extracción
- Reducción de lodos residuales
- No modificar las características del agua en la que se va a emplear.

De las características anteriormente mencionadas y tomando de referencia las especies vegetales y residuos animales comunes en nuestro país, en la presente investigación se trabajó con 4 extractos vegetales y 1 animal, detallados a continuación:

Biomasa vegetal:

- Palo Santo (taninos)
- Linaza (*Linum usitatissimum*)
- Chía (*Salvia hispanica*)
- Moringa (*Moringa oleifera*)

Biomasa animal:

- Quitosano (camarón)

Muestras de agua:

Las muestras de agua se obtuvieron de la planta de tratamiento de agua “Santa Marianita”, que abastece a 5 parroquias: El Belén, Los Laureles, Huachi Grande, Santa Marianita y La Magdalena de la ciudad de Ambato-Ecuador.

3.6 Recolección de información:

Las metodologías utilizadas para las distintas fases de la presente investigación se detallan a continuación:

3.6.1 Obtención de extractos naturales:

EXTRACCIÓN DEL COAGULANTE DE MORINGA

La metodología utilizada para la extracción del agente coagulante fue la propuesta por Acevedo [41], con algunas modificaciones:

Las semillas se secaron en una estufa a 60° C durante 24 horas para facilitar la remoción de la cáscara. Posteriormente, se removió la cáscara y se pesó en una balanza analítica. Luego, se trituró la semilla con una licuadora industrial y un mortero de cerámica con la finalidad de obtener una muestra uniforme. Finalmente, se tamizó las semillas trituradas para obtener una partícula fina homogénea. Para el proceso de extracción, se agregó el 10% del volumen en agua y calentó lentamente sobre una plancha de calentamiento durante 10 – 14 minutos. Se dejó enfriar hasta temperatura ambiente. Posteriormente, se filtró a través de una tela a un recipiente limpio. El sólido se sometió a un prensado para retirar el aceite. El procedimiento se repitió para eliminar la mayor cantidad de aceite de la pasta (torta). Se dejó secar la torta a temperatura ambiente.

Producto final: Polvo seco.

EXTRACCIÓN DEL COAGULANTE DE CHÍA Y LINAZA

La metodología utilizada para la extracción del agente coagulante fue [42] :

Las semillas de linaza se limpiaron y lavaron para eliminar cualquier tipo de impureza. Posteriormente, se pesó 100 g de las semillas en una balanza analítica. Se molieron las semillas en un mortero de cerámica para reducir el tamaño y se colocó en un recipiente de acero inoxidable. Para la extracción del mucílago el producto fue sometido a un proceso de calentamiento a 95°C durante 20 minutos en una relación 1:20 (semilla/agua). El proceso de separación del mucílago se llevó a cabo por decantación con un embudo. El producto obtenido fue almacenado en un vaso de precipitación hasta su utilización. Para la extracción del mucílago de chía, se efectuó el mismo procedimiento, y posterior al proceso de separación y se realizó una filtración con una malla de filtro N°100.

Producto final: mucílago de chía y linaza.

EXTRACCIÓN DEL COAGULANTE DE QUITOSANO

La metodología utilizada para la extracción del agente coagulante fue [43]:

Los exoesqueletos de camarón fueron lavados en agua con la finalidad de eliminar la mayor parte de los restos orgánicos y fueron secados en una estufa a 60°C. Posteriormente, se pesó 100 g de exoesqueletos secos, se cortaron y pulverizaron y se colocaron en un vaso de precipitación con agitador magnético y se añadió HCl 0.6N en una relación 1:1 (exoesqueleto/ácido) para la remoción del carbonato de calcio (desmineralización) a una temperatura ajustada de 30°C por 3 horas. Para el proceso de desproteínización a la muestra se añadió una solución de NaOH al 1% en relación 1:6 a 28°C por 24 horas con agitación. Finalmente, la desacetilación se llevó a cabo con la adición de NaOH al 50% a la quitina obtenida en relación 1:4, durante 2 horas a 60°C y luego 2 horas a 100°C.

Producto final: Polvo fino blanquecino

EXTRACCIÓN DEL COAGULANTE DE TANINOS

La metodología utilizada para la extracción del agente coagulante fue[44]:

Se trituró 100 g de la materia prima con la ayuda de un molino para disminuir el tamaño de la muestra. Posteriormente se colocó el triturado en un matraz Erlenmeyer y agregó sulfito de sodio al 2% y se agitó la mezcla a 70°C por 45 minutos y se filtró a través de la técnica de filtrado al vacío. Para obtener mayor cantidad de muestra se volvió a realizar una segunda y tercera extracción del residuo a las mismas condiciones. El producto final se secó a 70°C en un horno durante 30 minutos.

Producto final: Polvo de color café

3.6.2 Caracterización molecular:

ESPECTROSCOPIA INFRARROJA

Las muestras fueron colocadas sin ningún tipo de tratamiento previo sobre el lente del dispositivo y se analizó el porcentaje (%) de transmitancia en un intervalo entre 4000 cm^{-1} y 550 cm^{-1} en un espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier con dispositivo de reflexión total atenuada (ATR). Posteriormente, se identificaron las bandas relacionadas con los grupos funcionales característicos de cada extracto en el espectro según el valor de frecuencia correspondiente y se compararon con la literatura.

3.6.3 Prueba de Jarras:

Se requirió 6 vasos de precipitación y 6 litros de muestra de agua sin tratamiento (cruda). Se colocó un litro de muestra en cada recipiente que se encontraba en el equipo. Posteriormente, se programó en el equipo de jarras; primero la mezcla rápida, seguida de una mezcla lenta y finalmente se dejó reposar la muestra. Las condiciones de cada fase fueron:

Coagulación/Floculación:

Mezcla rápida: 1 minuto a 100 rpm

Mezcla lenta: 15 minutos a 40 rpm

Sedimentación:

Reposo de la mezcla: 15 minutos a 0 rpm

Finalmente, posterior a la sedimentación se extrajo 10 ml de cada muestra con ayuda de una micropipeta y se analizó los parámetros más representativos, detallados a continuación:

- **Parámetro: Conductividad eléctrica**

Se tomó 100 ml muestra del agua en un vaso de precipitación y se midió el valor con la utilización de un conductímetro.

- **Parámetro: pH**

Se tomó 100 ml muestra del agua en un vaso de precipitación y se midió el valor con la utilización de un medidor de pH.

- **Parámetro: Turbidez**

Se tomó 10 ml de la muestra de agua y se colocó la muestra en los tubos de análisis. Se leyó el valor de cada muestra en el turbidímetro.

3.7 Procesamiento de la información y análisis estadístico:

La información obtenida de la presente investigación se evaluó con el uso de cuadros comparativos, gráficos y barras, dispersión. El análisis estadístico se realizó a través de un diseño factorial A x B, análisis de varianza [45][46]. Con la finalidad de realizar una evaluación de las variables[47]: tipos de coagulantes utilizados, concentraciones y combinaciones posibles.

3.8 Variables respuesta o resultados alcanzados:

FASE 1

En esta fase se obtuvo coagulantes/floculantes naturales con potencial en el tratamiento de agua, para determinar su efectividad, se utilizó el método de jarras y se evaluó los parámetros detallados a continuación:

Tabla 10: Parámetros evaluados para el tratamiento de agua

<i>Tratamiento</i>	<i>Parámetros evaluados</i>
<i>Chía</i>	Turbidez
<i>Linaza</i>	pH
<i>Moringa</i>	Conductividad eléctrica (C.E)

Quitosano

Taninos

FASE 2

Para la caracterización molecular de cada floculante/coagulante obtenido, se realizó a través la técnica de Espectroscopía infrarroja con Transformada de Fourier, debido a que, presente las mejores características para la evaluación de este tipo de extractos obtenidos.

FASE 3

En esta fase se determinó la relación específica (% de sustitución) del floculante orgánico y el policloruro de a través de gráficos comparativos de los resultados de la prueba de jarras y análisis de turbidez (NTU) y un análisis de varianza de dos factores.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Identificación de biomasa:

Los coagulantes/floculantes naturales extraídos y utilizados en la presente investigación fueron:

1. Quitosano
2. Taninos de palo santo
3. Mucílago de linaza
4. Mucílago de chía
5. Moringa

4.2 Obtención de floculantes/coagulantes naturales:

En el proceso de extracción de los floculantes/coagulantes de origen natural, se obtuvo dos productos en estado semisólido (gel) correspondiente al mucílago de la chía y la linaza, los mismos que presentaron características similares en relación a apariencia y textura.

En el caso de la moringa, los taninos del palo santo y quitosano se obtuvo en estado sólido, debido a la naturaleza de las materias primas y el tipo de proceso de obtención (*ver tabla 11*).

Tabla 11: Resultado del proceso de extracción de floculantes/coagulantes naturales

BIOMASA	MATERIA PRIMA	COAGULANTE OBTENIDO
CHÍA		
LINAZA		
MORINGA		
QUITOSANO		
PALO SANTO		

En relación al rendimiento durante la extracción se obtuvo: linaza con un 85.9%, debido a que, durante el proceso de extracción presentó mayor facilidad de separación de la semilla con relación a la chía con el 77.7%. En el caso de la moringa el residuo obtenido de la remoción de la cáscara aportó en la disminución del producto final (79,1%) luego del proceso de extracción, de manera similar ocurrió con el quitosano (68,0%).

En relación al valor económico, la moringa presentó un mayor costo de extracción, debido al precio de su materia prima, lo contrario que sucedió con el palo santo que es el más económico y en los 100g utilizados en esta investigación de palo santo se obtiene una mayor proporción de componentes extraíbles que en la moringa (*ver tabla 12*).

Tabla 12: Porcentaje del rendimiento durante el proceso de extracción

<i>Muestra</i>	<i>Rendimiento (%)</i>	<i>Precio/ 100g (USD)</i>
<i>Chía</i>	77,7	0,45
<i>Linaza</i>	85,9	0,55
<i>Moringa</i>	73,1	1,50
<i>Palo Santo</i>	79,3	0,35
<i>Quitosano</i>	68,0	0,60

4.3 Parámetros físicos y químicos de los extractos obtenidos:

De los parámetros fisicoquímicos analizados en los coagulantes naturales obtenidos; presentan resultados similares, es decir, sus valores de pH fluctúan 6.70 a 8.20 es decir entre neutro y ligeramente básico. En relación a la conductividad eléctrica los taninos son los que presentan mayor cantidad de partículas con capacidades de conducir electricidad en soluciones (*ver tabla 13*). Y según el análisis de varianza si se presentan diferencias significativas entre los extractos, es decir, si existe una variación de pH y conductividad eléctrica.

4.4 Identificación de los compuestos coagulantes por Espectroscopía FTIR

A continuación, se detalla los resultados obtenidos de la caracterización molecular de los coagulantes/floculantes orgánicos.

4.4.1 Espectro de quitosano:

Las bandas del espectro del quitosano representan a los grupos funcionales más predominantes, por ejemplo, entre $3331.02 - 2917.06 \text{ cm}^{-1}$ representa al grupo funcional O-H del alcohol y del ácido carboxílico. Así como entre 1644.97 cm^{-1} y 1315.72 cm^{-1} pertenece a los grupos amidas (C-N) [31], debido a la desacetilación a la que fue sometida la quitina durante el proceso de obtención del quitosano (ver figura 7).

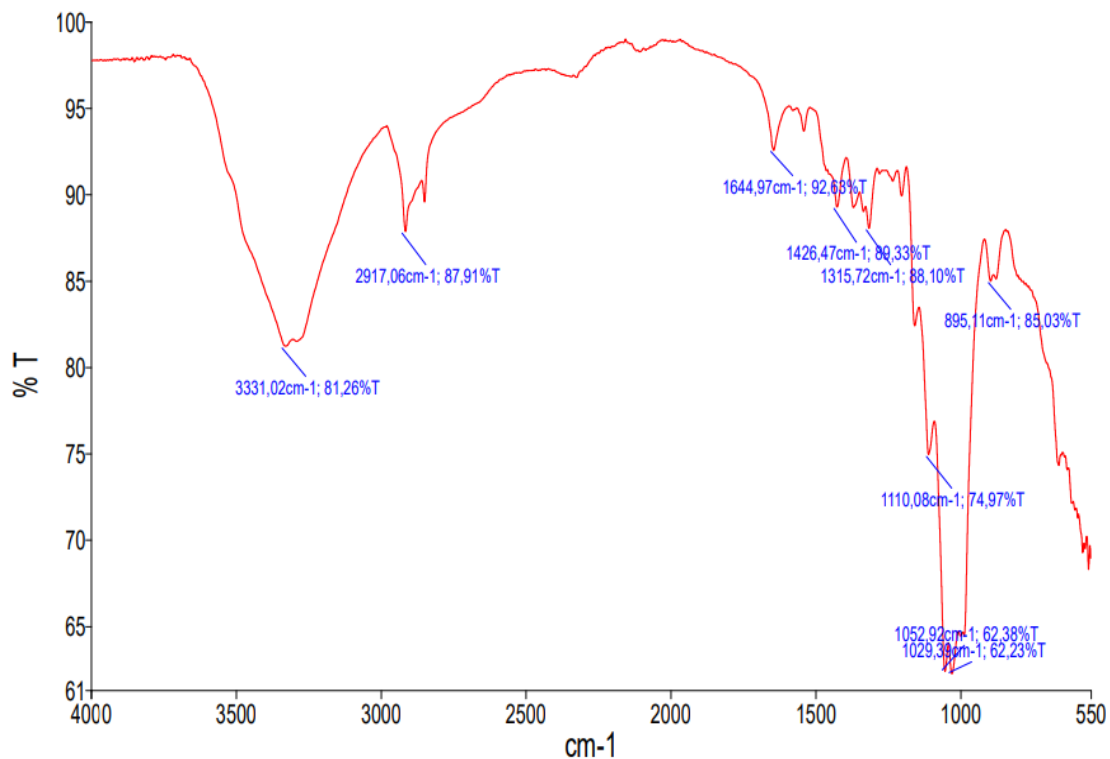


Figura 7: Espectro FTIR del quitosano

4.4.2 Espectro de linaza:

En el espectro FTIR la banda de 3330.29 cm^{-1} pertenece al grupo O-H que está relacionado a los azúcares o compuestos fenólicos. La banda 1633.08 cm^{-1} está relacionada al grupo N-H de la proteína y al grupo C=O que está relacionado con un grupo carboxilo [48]. (ver figura 8).

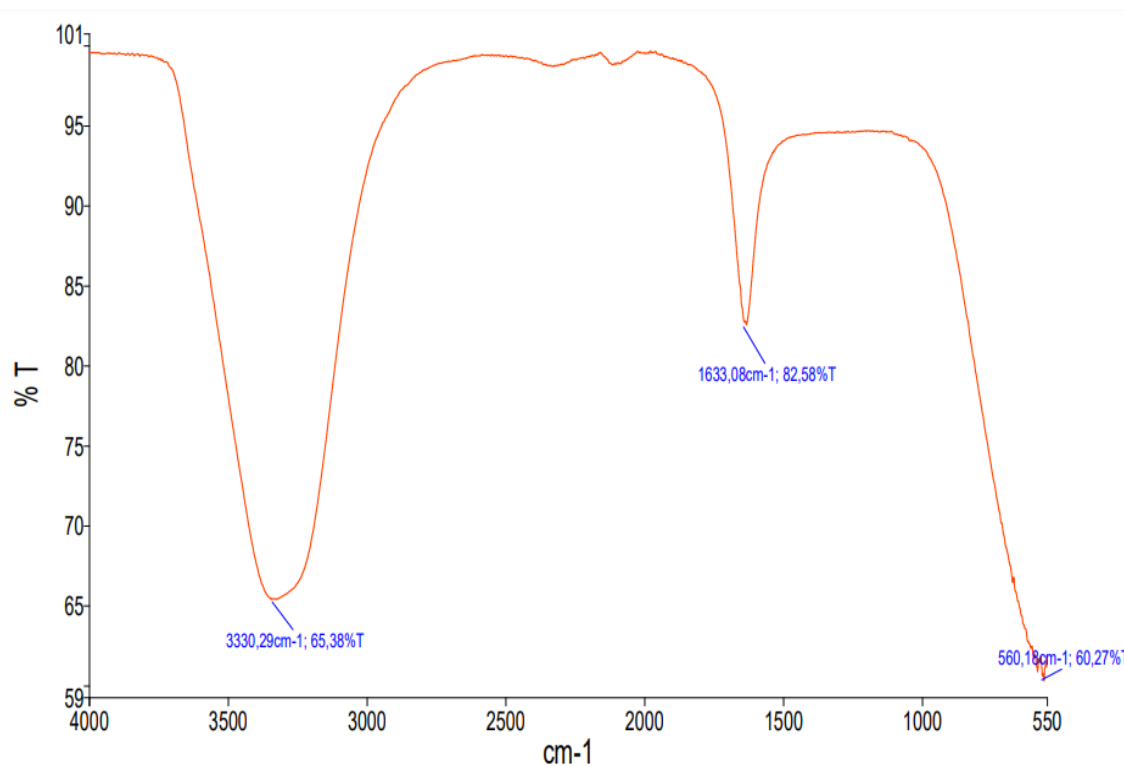


Figura 8: Espectro FTIR de la Linaza

4.4.3 Espectro de Chía

Las bandas de FTIR a 3339.89 cm^{-1} pertenece a los grupos O-H del alcohol y ácido carboxílico [49], la banda de 1633.12 cm^{-1} corresponde a las sales del grupo carboxílico, característica específica de los mucílagos [50]. (ver figura 9).

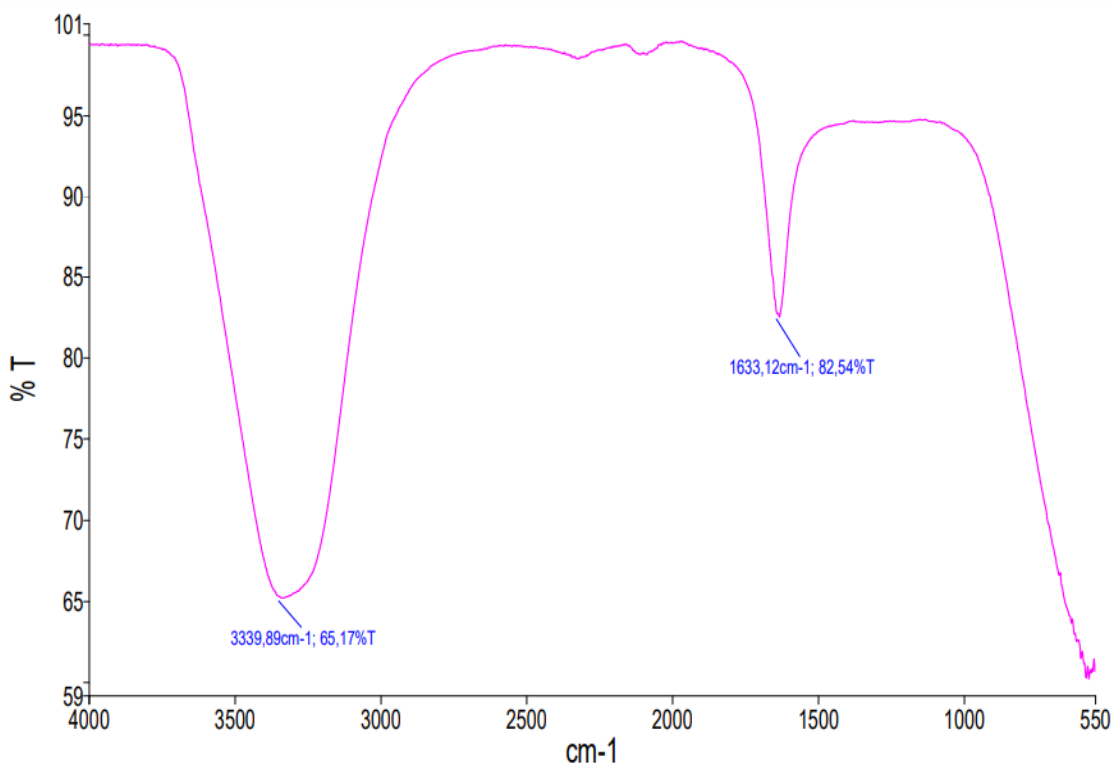


Figura 9: Espectro FTIR de la Chía

4.4.4 Espectro de Moringa

Las bandas del espectro FTIR representa los principales grupos funcionales correspondiente a las semillas de moringa, tales como: grupo aminos (N-H) a 3301.85cm^{-1} , y al enlace O-H del alcohol, por su composición proteica y oleaginoso[51]. La banda entre 1744.57cm^{-1} y 1643.45cm^{-1} pertenece al grupo C=O alifático [52]. (ver figura 10).

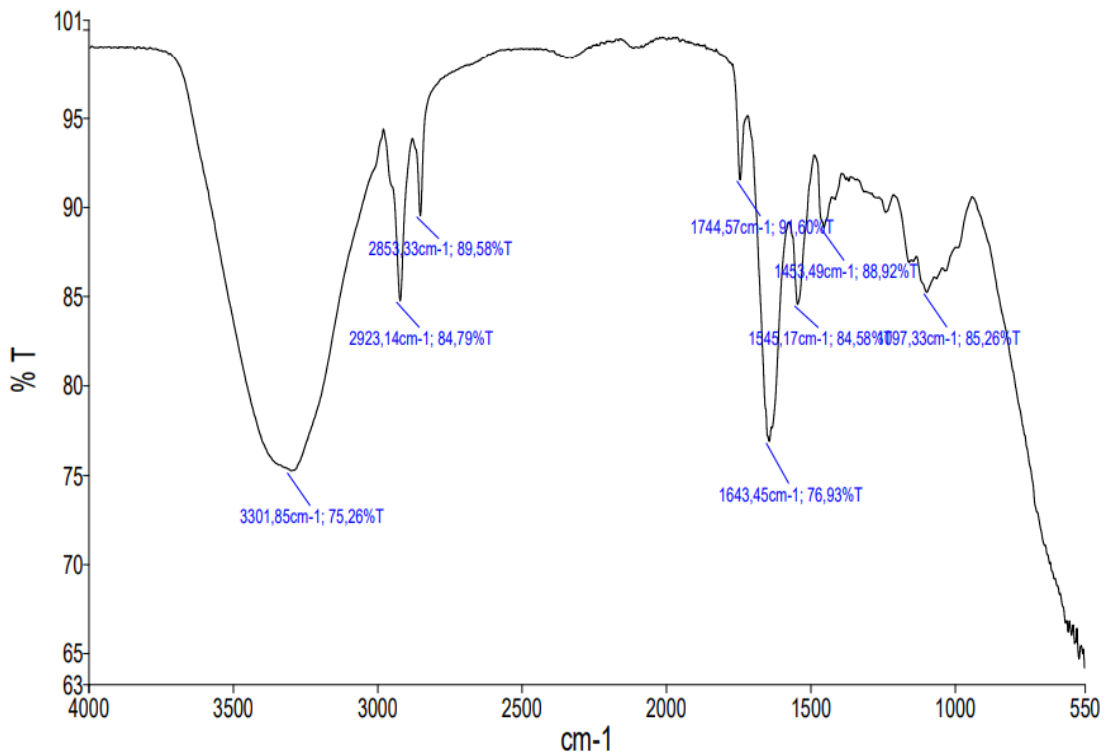


Figura 10: Espectro FTIR de la Moringa

4.4.5 Espectro de Palo Santo

Las bandas del espectro a 3340.96 cm⁻¹ pertenece al grupo O-H de los compuestos fenólicos; 1031.99 cm⁻¹ corresponde al estiramiento del grupo C-O, características específicas de este tipo de metabolito[53][54] (Ver figura 11).

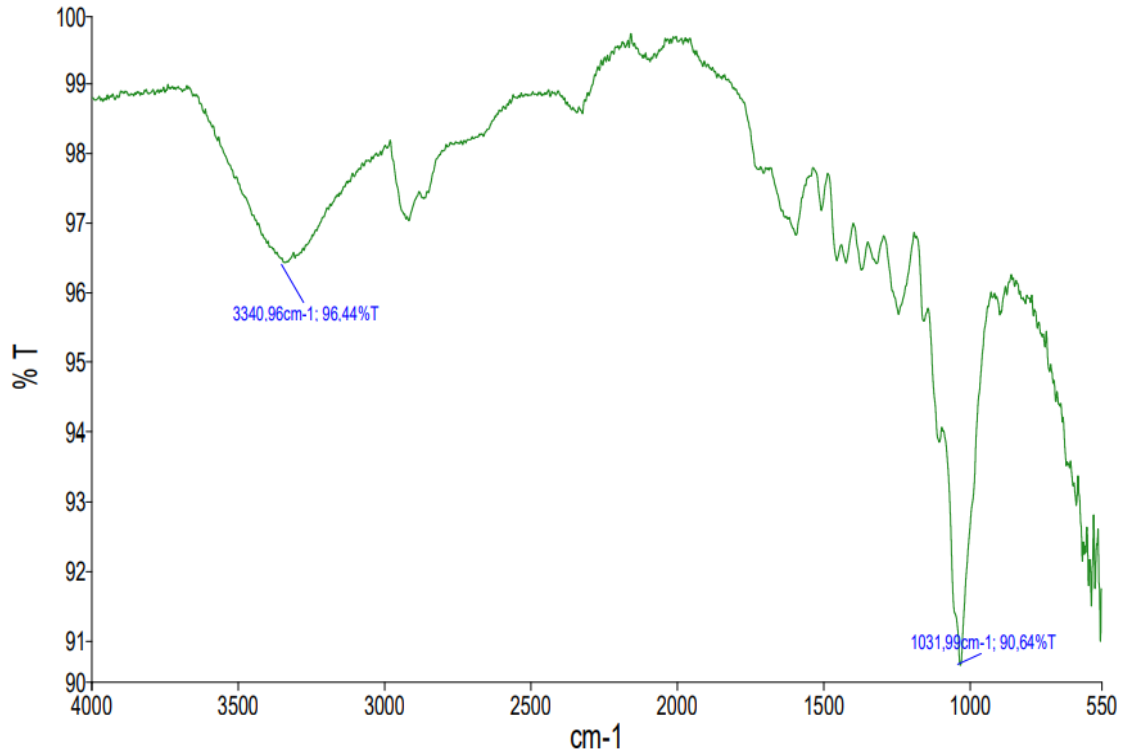


Figura 11: Espectro FTIR del taninos del palo santo

4.5 Prueba de Jarras:

Posterior a la prueba de jarras se realizó un análisis cuantitativo (parámetros fisicoquímicos) y cualitativa (índice de Willcomb) de los resultados obtenidos, detallados a continuación:

4.5.1 Análisis cuantitativos:

Para la interpretación y el análisis de las diferencias significativas en las gráficas se asignó una letra a cada variable, detalladas a continuación:

Tabla 14: Asignación de variables

Variable	Letra Asignación
Tipo de coagulante	
Policloruro de Aluminio	U
Chía	V
Linaza	W
Moringa	X
Taninos	Y
Quitosano	Z
Concentración	
20ppm	A
25ppm	B
30ppm	C
35ppm	D
40ppm	E
45ppm	F

Parámetro: Turbidez (NTU)

Dos de los coagulantes extraídos de fuentes naturales en dosis comprendidas entre 40 – 45 ppm presentaron resultados inferiores a los límites máximos permisibles del agua para consumo humano según la norma NTE INEN 1108:2011 (5 NTU) [9], es decir, linaza y moringa son promisorias en relación a la reducción de la turbidez, que es el parámetro más importante para determinar la eficacia de un coagulante durante el tratamiento de agua [17].

Adicionalmente, se debe mencionar que las proteínas del mucílago de la chía y linaza presentan un comportamiento y características similares en relación a la acción como coagulante, debido a que, los mucílagos de estos extractos incrementan la viscosidad de la solución y la capacidad de atrapar las partículas gracias al conjunto puente-partícula. [37].

La moringa tienen una acción similar en relación a la reducción de la turbidez del policloruro de aluminio, es decir, el coagulante obtenido de estas semillas es comparable con el resultado del uso de los compuestos químicos convencionales [15], debido a, la

presencia de aminoácidos en su estructura, mismas que interactúan con las partículas coloidales presentes en el agua para formar el floc [24].

El quitosano presenta una menor reducción de turbidez en relación al policloruro de aluminio, dado que, este extracto generalmente se usa para aguas con alta turbidez y alcalinidad. Sin embargo, el quitosano ayuda a incrementar la capacidad de los coagulantes convencionales, especialmente en agua residuales [33].

Los taninos presentan una capacidad menor de coagulación, debido a que, por la presencia de tipos de metabolitos los hidrolizados y condensados, sin embargo, solo el primer grupo presenta capacidad de coagulante. Adicional, este tipo de producto tiene capacidades desinfectantes, que pueden ser favorables para la eliminación de la carga microbiana [33]. (ver figura 12)

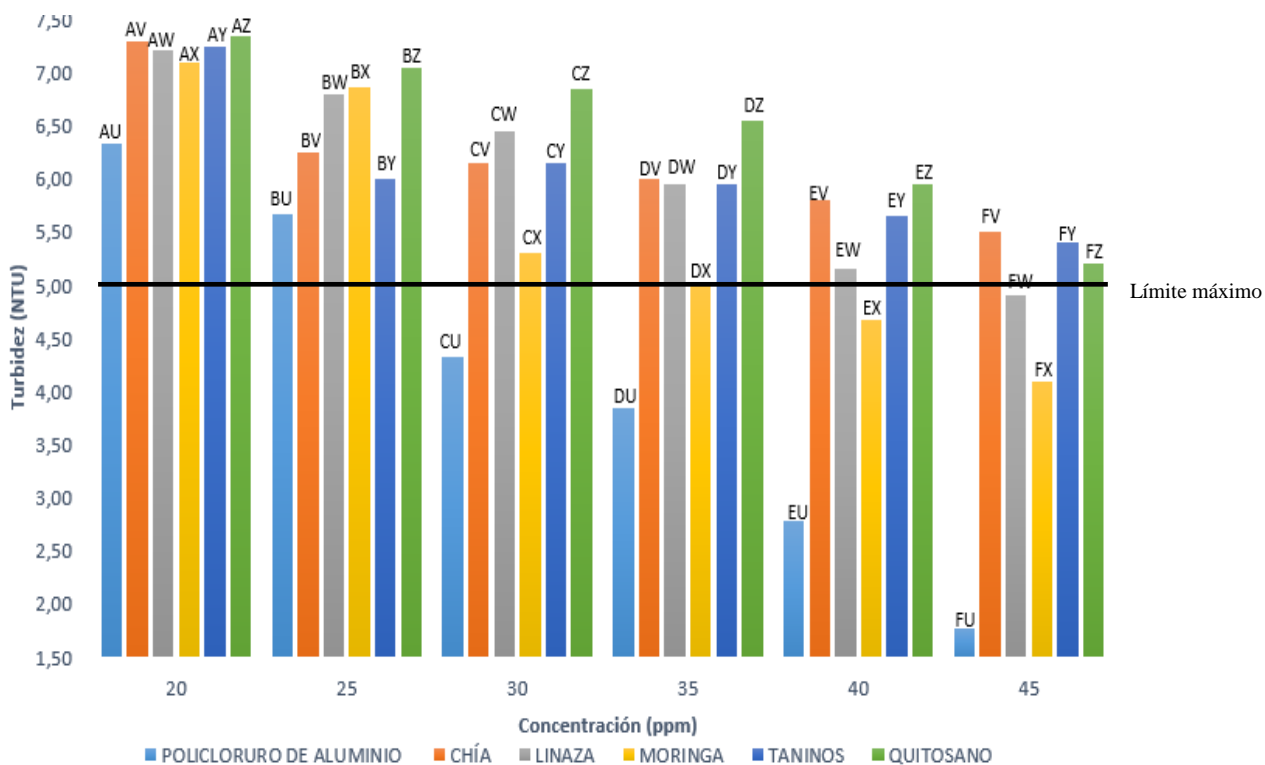


Figura 12: Turbidez del agua con el uso de diferentes coagulantes

Parámetro: pH

El pH de los distintos coagulantes naturales extraídos varía desde 7.9 a 6.5 es decir, se encuentra en el valor óptimo. Por ejemplo en el caso de la moringa, el pH se encuentra en el valor ligeramente básico, que es el óptimo, es decir entre 7.0 – 8.0 es el rango más recomendable para obtener una mayor eficacia del coagulante orgánico [24]. Casos similares ocurren con los otros coagulantes. Es decir, el pH no representa mayor influencia para la determinación de la eficacia de los coagulantes utilizados ni para determinar el porcentaje de reducción de la turbidez. (ver figura 13), sin embargo, según el análisis de varianza si existe una diferencia significativa entre los coagulantes y las concentraciones.

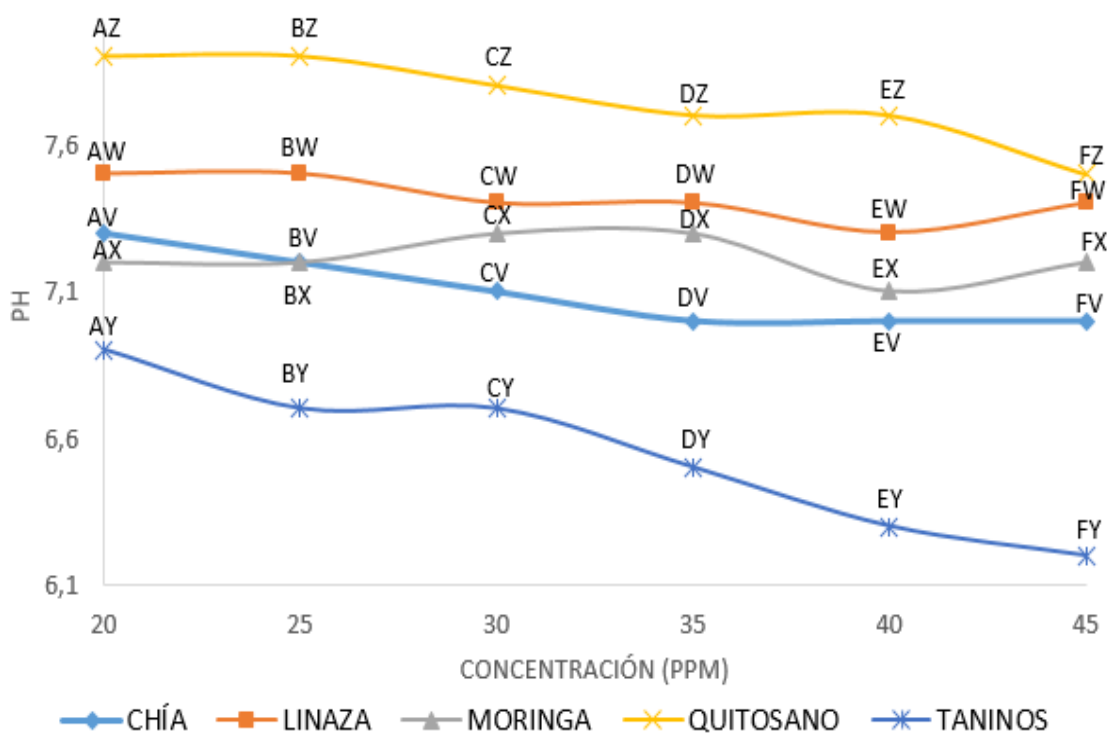


Figura 13: pH en el agua por floculante

Parámetro: Conductividad eléctrica (CE)

En los resultados de la conductividad eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$) se encontró que la misma aumenta a medida que se aumenta la concentración del floculante. En relación al efecto

en la coagulación se puede determinar que al aumentar la conductividad existe mayor cantidad de partículas que pueden reaccionar y mejorar el proceso de coagulación. (ver figura 14). En relación al análisis estadístico se determinó que, si existe diferencia significativa en los tipos de coagulantes, así como los extractos.

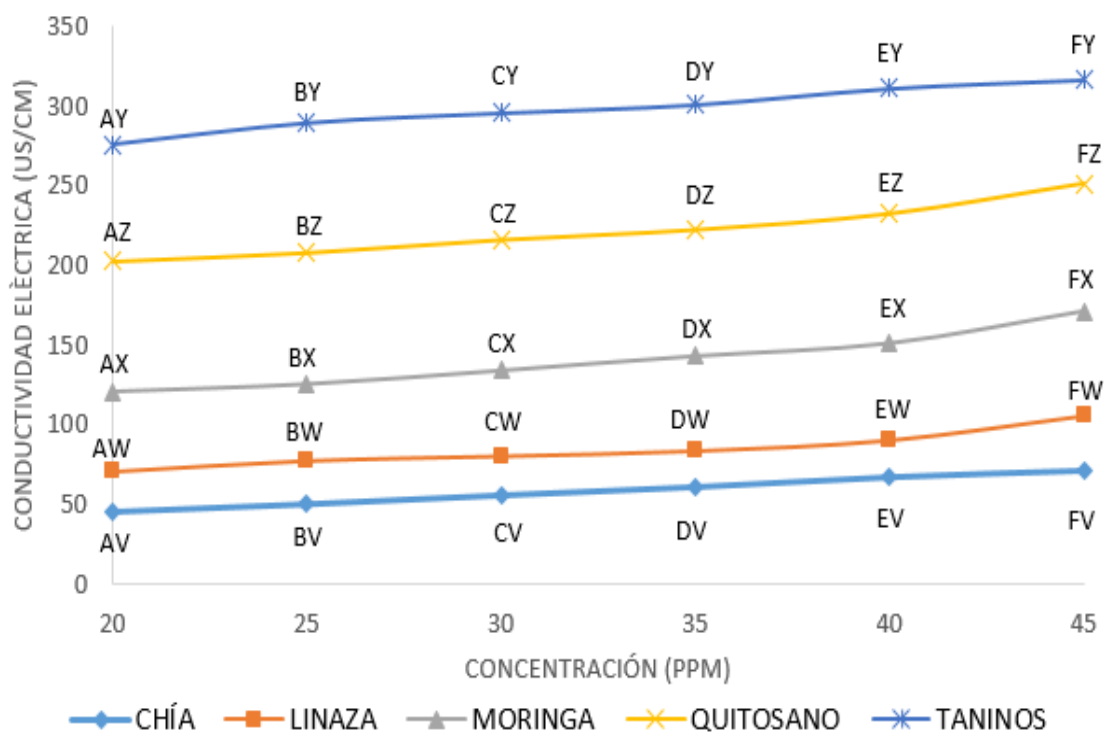


Figura 14: Conductividad eléctrica (us/cm) por floculante

4.5.2 Análisis Cualitativos:

Los resultados de la evaluación del parámetro cualitativo (Floc) para la mayoría de los extractos mostraron valores entre 02 y 06 de índice del Willcomb, es decir, se produce la formación de floc. Sin embargo, este es de tamaño pequeño, disperso y que sedimenta lentamente, en comparación al floc formado con el policloruro de aluminio que presenta un buen floc y que se sedimenta rápidamente, valorado según el índice de Willcomb [13].(ver tabla 15)

Tabla 15: Resultado de Índice de Willcomb

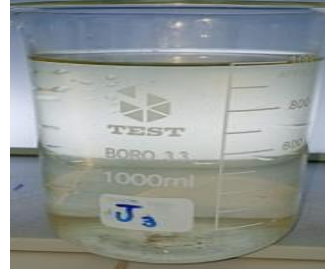
Muestra	Concentración					
	20ppm	25ppm	30ppm	35ppm	40ppm	45ppm
Policloruro de aluminio	2	6	8	8	8	8
Chía	2	2	2	2	2	2
Linaza	2	2	2	4	4	4
Moringa	4	4	4	4	6	6
Quitosano	2	2	2	2	2	2
Taninos	2	2	2	2	2	2

En relación a la calificación de la calidad de floc, moringa y linaza son los extractos que presentan mejor calidad de formación como se puede analizar en la tabla 16, debido a que, presenta un floc que se puede ver a simple vista, pero que sedimenta lentamente.

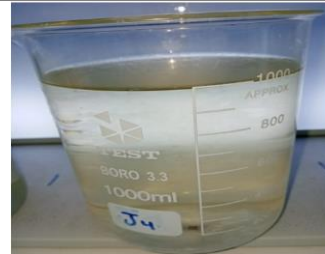
Tabla 16: Formación del floc de los coagulantes naturales a 40ppm

Muestra	Figura
Moringa	

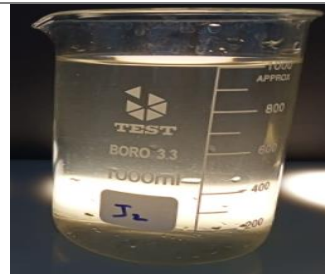
Chía



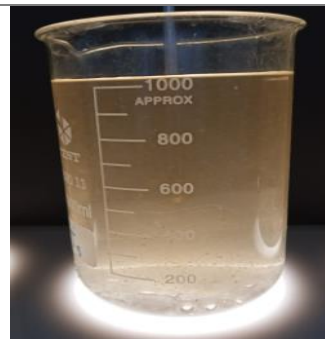
Linaza



Quitosano



Taninos



4.5.4 Determinación del porcentaje de remoción:

Ecuación para el cálculo de porcentaje de remoción [3]:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{T_i - T_f}{T_i} * 100$$

Donde:

Ti= Turbidez inicial

Tf= Turbidez final

En el porcentaje de reducción de la turbidez, la moringa presenta mejores resultados con el 45,41% y el que presenta un menor valor es la chíá con un 26,76%. Se debe mencionar que estos productos presentan mejores resultados si se evalúan en aguas con turbidez alta (ver figura 15).

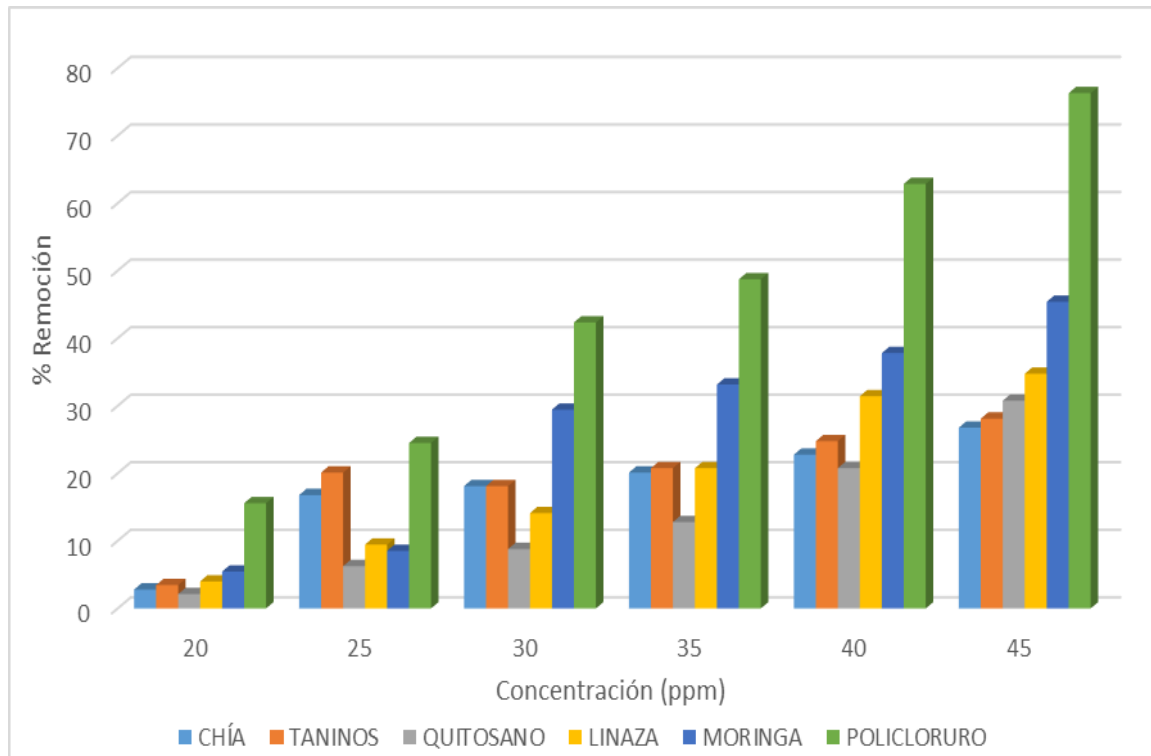


Figura 15: Porcentaje de reducción de la turbidez por floculante

4.6 Prueba de coadyuvante del policloruro de aluminio:

Con los datos obtenidos en la primera fase se estimó la concentración del coagulante orgánico y químico para determinar la eficacia en el proceso de sustitución, detallados a continuación:

Tabla 17: Combinaciones utilizadas para la prueba de sustitución

N° Tratamiento	Dosis	Porcentaje	Dosis	Porcentaje
	coagulante (ppm)	(%)	Extracto (ppm)	(%)
T1	0	0	40	100
T2	5	12,5	35	87,5
T3	15	37,5	25	62,5
T4	25	62,5	15	37,5
T5	35	87,5	5	12,5
T6	40	100	0	0

En el tratamiento 4 se presentan los mejores resultados en relación a la sustitución del coagulante, ya que, a una sustitución del 37,5%, se obtienen valores de turbidez que cumplen los límites permitidos. Al realizar la proyección de lo que sucedería a gran escala se produce una disminución en los lodos residuales que en algunos casos pueden ser tóxicos para el ambiente y las personas por su contenido de metales pesados. (ver tabla 18).

Tabla 18: Turbidez (NTU) empleando la combinación del policloruro de aluminio con coagulantes naturales.

N° Tratamiento	TURBIDEZ (NTU)				
	MORINGA	CHIA	LINAZA	TANINOS	QUITOSANO
T1	4,50	5,70	4,60	5,30	5,45
T2	6,15	6,40	6,75	7,10	6,85
T3	5,50	5,90	5,85	6,69	6,15
T4	4,90	5,48	5,05	5,45	5,58
T5	2,97	3,15	2,52	2,48	3,40
T6	1,70	1,51	1,55	1,67	1,46

En relación al porcentaje de remoción el tratamiento 5 presenta un resultado superior al 50%, sin embargo, la cantidad utilizada del coagulante orgánico es mínimo, debido a que, como se trataba de muestras de agua con baja turbidez, estos coagulantes al no encontrar la suficiente cantidad para adherirse, permanecen disueltos y el coagulante natural pasa a formar parte del material orgánico en el agua (*ver figura 16*).

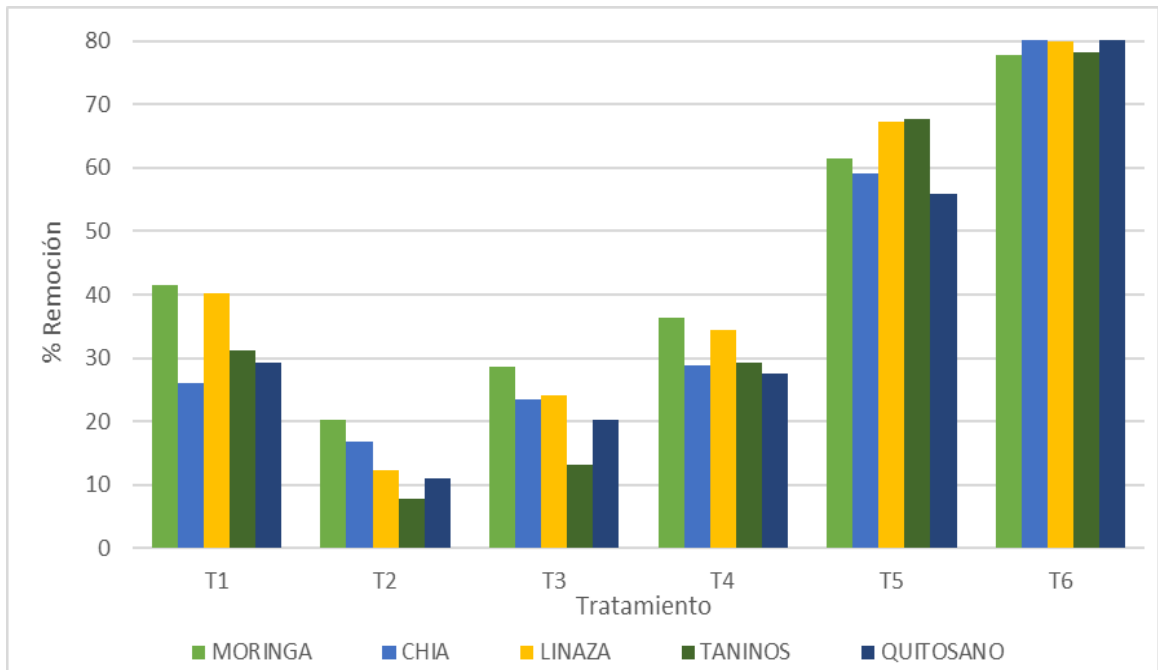


Figura 16: Análisis del porcentaje de reducción de la turbidez de las combinaciones entre los coagulantes naturales y policloruro de aluminio

En relación a la calificación de la evaluación del floc, se puede determinar que con la combinación orgánico – químico se forma un floc de mejor calidad, especialmente en los extractos donde el policloruro de aluminio se encuentra presente en mayor cantidad, debido a que, se requiere de mayor cantidad e turbidez para que se incremente el efecto de los coagulantes naturales. (*ver tabla 19*).

Tabla 19: Índice de Willcomb de muestras de agua utilizando combinación de coagulantes.

Muestra	Coagulante				
	Moringa	Chía	Linaza	Taninos	Quitosano
T1	6	4	6	4	4
T2	4	2	4	2	2
T3	6	6	6	4	6
T4	8	6	8	6	6
T5	8	8	8	8	8
T6	8	8	8	8	8

4.7 Análisis estadístico:

Se trabajó con el análisis de varianza de dos factores, detallado a continuación:

- Factor 1: Tratamientos (Combinaciones)
- Factor 2: Tipo de coagulantes orgánico
- Respuesta: Turbidez (NTU)

Tabla 20: Análisis estadístico del diseño experimental

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tratamiento	190,03454	5	38,006908	1756,32662	4,6925E-36	2,53355455
Coagulantes	2,88816	4	0,72204	33,3659889	1,1957E-10	2,68962757
Interacción	4,26816	20	0,213408	9,86173752	2,5761E-08	1,93165348
Dentro del grupo	0,6492	30	0,02164			
Total	197,84006	59				

4.8 Verificación de la hipótesis:

Posterior al análisis de varianza se obtuvo como resultado que, si existe diferencias significativas en las combinaciones de los coagulantes naturales con los convencionales (policloruro de aluminio), es decir, esta interacción influye en el resultado del valor de la turbidez.

Con la prueba de Tukey se determinó que todos los coagulantes a sus distintas concentraciones presentan interacciones y diferencias significativas en relación al valor de la turbidez.

Comprobando con el análisis anterior que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa, es decir, los coagulantes/floculantes orgánicos obtenidos a partir de extractos naturales si tienen potencial como coadyuvantes del policloruro de aluminio en el proceso de tratamiento de agua.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

5.1. Conclusiones:

- Existe gran cantidad de biomasa disponible en la naturaleza con propiedades coagulantes/floculantes según referencias bibliográficas, sin embargo, en la presente investigación sólo se trabajaron con 5 extractos, debido a que presentan características en común, por ejemplo: disponibilidad en el medio, costos de extracción, nivel de toxicidad, biodegradabilidad, sub utilización de los lodos residuales, etc.
- Los extractos naturales derivados de las diferentes biomásas se obtuvieron a partir de procesos como: maceración, prensado, filtración, decantación, entre otros, los mismos que se utilizaron con la finalidad de no manipular demasiado a la muestra o someterla a procesos invasivos, para evitar que se pierda algunos de los principios activos que serán utilizados en el proceso de coagulación.
- La temperatura es un factor predominante en el proceso de extracción, por ejemplo, se puede dar la desnaturalización de las proteínas presentes en la moringa, si esta es sometida a altas temperaturas.
- La mayoría de los extractos presentan lípidos en su estructura, los mismos que fueron eliminados, para obtener un mejor resultado en relación a la reducción de la turbidez.
- Se identificó por FTIR que los principales grupos funcionales que se encuentran presenten en los extractos naturales son de naturaleza proteica (amidas), es decir, la mayoría de estas biomásas presentan en su estructura proteínas catiónicas que son las responsables de las propiedades coagulantes de los mismos.
- La efectividad de los compuestos obtenidos como agentes coagulantes se determinó a través del método de jarras en muestras de agua para consumo humano de la ciudad de Ambato, en donde se obtuvo como resultado que la moringa presenta mejores resultados en relación a la remoción de la turbidez.

- Se puede realizar una sustitución parcial de los coagulantes utilizados convencional como el aluminio con la finalidad de obtener un lodo residual biodegradable, sin embargo, al tratarse de un agua para consumo humano, es importante la presencia de un coagulante químico para llegar a los valores permitidos según la normativa vigente.
- En la presente investigación se obtuvieron resultados favorables en el proceso de sustitución en el T4 con un valor del 37,5% en el coagulante de moringa que se analizaron con la prueba de jarras y el índice de Willcomb.

5.2 Recomendaciones:

- Analizar los lodos obtenidos con el uso de los coagulantes orgánicos para determinar su biodegradabilidad.
- Analizar los resultados más relevantes con el uso de aguas residuales industriales para determinar su factibilidad de su sustitución parcial o total.
- Estudiar los extractos como coagulantes en los procesos de biofloculación.

5.3 Bibliografía:

- [1] C. D. Bravo Moreira, Í. P. Bello Moreira, and Y. M. López Zambrano, “Contaminación de agua cruda de río y potabilizada de consumo doméstico en Manta - Ecuador,” *Ciencias técnicas y Apl.*, vol. 2, no. 3, pp. 171–186, 2016.
- [2] Organización Mundial de la Salud, “Agua,” *Agua*, 2019.
- [3] B. S. Choque Quispe, David; Choque Quispe, Yudith; Solano Reynoso, Aydeé M; Ramos Pacheco, “Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas,” *Tecnol. Química*, vol. 38, no. 2, 2018.
- [4] N. C. Chulluncuy Camacho, “Tratamiento de agua para consumo humano,” *Rev. Ulima-Ingeniería Ind.*, vol. 29, pp. 153–170, 2011,
- [5] M. Vargas Camareno and L. Romero Esquivel, “Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica,” *Tecnol. en Marcha*, vol. 19, no. 4, pp. 37–41, 2006.
- [6] M. A. Bravo Gallardo, “Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales,” Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá, 2017.
- [7] L. Guzmán, Á. Villabona, C. Tejada, and R. García, “Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión,” *Rev. UDCA Actual. Divulg. Científica*, vol. 16, no. 1, pp. 253–262, 2013.
- [8] O. G. Gomez Duarte, “Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública,” *Rev. la Fac. Med.*, vol. 66, 2018.
- [9] I. E. de Normalización, “NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 108:2011,” 2011. .
- [10] T. U. de L. S. del M. del Ambiente, “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes : RECURSO,” *LIBRO VI ANEXO 1, ECUADOR*, 2018.
- [11] M. V. Hernández, Héctor Ricardo; Camas, Jorge Luis; Alejandro Medina,

- Santiago; Mandain Pérez, Patricio; Le Lann, “Fault Diagnosis by LAMDA methodology Applied to Drinking Water Plant,” *Lat. Am. Trans.*, vol. 12, 2014.
- [12] S. Group, “Planta de tratamiento de agua,” 2022. <https://spenagroup.com/tag/planta-de-tratamiento-de-agua/>.
- [13] N. Eugenia, S. Ruiz, Y. Carvajal Escobar, and J. C. Escobar, “A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators,” 2007.
- [14] Y. Lorenzo-Acosta, “Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación,” *ICIDCA Sobre los Deriv. la Caña Azúcar*, vol. 40, no. 2, pp. 10–17, 2006.
- [15] J. R. Sandoval Arreola, María Martha; Laines Canepa, “Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas,” *Ingeniería*, vol. 17, no. 2, pp. 93–101, 2013.
- [16] L. F. Duarte, Damileth Dearmas; Ramírez Hernández, “Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia,” *Rev. Investig. Agrar. y Ambient.*, vol. 6, no. 2, pp. 183–196, 2015.
- [17] Z. Romero, Carlos; Solórzano, Rafael; Abreu, Omar; Brizuea, Luis; Pérez, “Síntesis de un polímero inorgánico de aluminio y su uso para clarificación de agua,” *Rev. Ing. UC*, vol. 14, no. 3, pp. 16–23, 2007.
- [18] J. Rodríguez Zamora, “Parámetros físicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre,” *Rev. Pensam. Actual*, vol. 9, no. 12–13, pp. 125–134, 2009.
- [19] J. Sigler, Adam; Bauder, “Alcalinidad, pH, y sólidos disueltos totales,” *Well Educ. Educ. en el Agua Pozo*, vol. 20, pp. 2012–11, 2017, [Online]. Available: http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS 2012-

11-15-SP.pdf.

- [20] O. F. Trujillo, Daniela; Duque, Luisa Fernanda; Arcila, Sebastián; Rincón, Alejandro; Pacheco, Sebastián; Herrera, “Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano,” *Rev. ión*, vol. 27, no. 1, pp. 60–63, 2014.
- [21] H. Ramírez Arcila and J. Jaramillo Peralta, “Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua,” *Rev. Fac. Ciencias Básicas*, vol. 11, no. 2, p. 136, Jan. 2016, doi: 10.18359/rfcb.1303.
- [22] L. Banchón, Carlos; Baquerizo, Ricardo; Muñoz, Diego; Zambrano, “Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales,” *Enfoque UTE*, vol. 7, no. 4, pp. 111–126, 2016.
- [23] J. D. Giraldo, “Propiedades, obtención, caracterización y aplicaciones del quitosano,” 2015, doi: 10.13140/RG.2.1.3350.9287.
- [24] L. Caldera, Yaxcelys; Mendoza, Iván; Briceño, Ligi; García, Juan y Fuent, “Eficiencia de las semillas de moringa oleifera como coagulante alternativo en la potabilización del agua,” *BOLETÍN DEL Cent. Investig. BIOLÓGICAS*, vol. 41, no. 2, pp. 244–254, 2007.
- [25] E. Núñez Ponce, “Validación de la efectividad de la semilla de Moringa oleifera como coagulante natural del agua, destinada al consumo humano, Morocelí, Honduras,” 2007.
- [26] K. T. M. I. U. H. Mahmood, “Moringa oleifera: a natural gift-A review,” *J. Pharm. Sci. Res.*, vol. 2, no. 11, pp. 775–781, 2010.
- [27] J. J. López García, ““Moringa oleifera Lam.: Biología, Botánica, Propiedades Nutricionales y Medicinales,” Universidad de Sevilla, 2016.
- [28] A. Márquez Lara, Consolador; Suárez Londoño, “El uso de taninos condensados como alternativa nutricional y sanitaria en rumiantes,” *Rev. Med. Vet. (Bogota)*, no. 16, 2008.

- [29] R. Rodríguez, “Uso de la técnica de producción de gas in vitro en la valoración nutritiva de *Leucaena leucocephala*, *Albizia lebbekoides*, *Acacia cornigera* y *Enterolobium cyclocarpum*,” Universidad de Zaragoza, 2004.
- [30] A. Olivas Aguirre, Francisco Javier; Wall Medrano, Abraham; González Aguilar, Gustavo; López Díaz, Jose Alberto; Álvarez Pariilla, Emilio; De la Rosa, Laura; Ramos Jomenez, “Taninos hidrolizables; bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud,” *Nutr. Hosp.*, vol. 31, no. 1, pp. 55–66, 2015.
- [31] J. I. Blanquicet Macea, Richar; Flóres De Hoyos, Carlos; González Montes, Yina; Meza Fuentes, Edgardo; Rodríguez Ruiz, “Síntesis y propiedades de filmes basados en quitosano/lactosuero,” *Polímeros*, vol. 25, no. 1, 2015, doi: 10.1590/0104-1428.1558.
- [32] C. Lárez Velásquez, “Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro,” *Av. en Química*, vol. 1, no. 2, pp. 15–21, 2006.
- [33] E. Mármol, Zulay; Páez, Gisela, Rincón, Maricela; Araujo, Karelen; Aiello, Cateryna; Chandler, Cintia; Guitierrez, “Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones,” *Rev. Tecnocientífica URU*, no. 1, pp. 53–58, 2011.
- [34] M. Ivana Capitani, “Caracterización y funcionalidad de subproductos de chía (*Salvia Hispanica* L.) aplicación en tecnología de alimentos,” Universidad Nacional De La Plata, 2013.
- [35] M. Xingú López, Andrés; González huerta, Andrés; De la Cruz Torres, Eulogio; Sangerman-Jarquín, Dora ma; Orozco de Rosas, Guillermo; Rubí Arriaga, “Chía (*Salvia hispanica* L.) situación actual y tendencias futuras,” *Rev. Mex. ciencias agrícolas*, vol. 8, no. 7, 2017.
- [36] M. Salgado Cruz, Mmça de la Paz; Calderón Domínguez, Georgina; Chanona Pérez, Jorge; Farrera Rebollo, Reynold R, Méndez Méndez, Juan V; Díaz Ramírez, “Caracterización de la liberación de mucílago de semillas de chía (*Salvia hispanica* L.). Un estudio microestructural y de análisis de imágenes,” *Cultiv. y Prod. Ind.*, vol. 51, pp. 453–462, 2013,

- [37] P. Mendoza, Iván; Lugo Marehilen; López, “Eficiencia de la linaza como coagulante en la clarificación del agua,” *MAYA Adm. y Tur.*, vol. 3, no. 2, pp. 47–65, 2021.
- [38] O. A. M. E. Fiegueroa, Fernando; Muñoz, “La linaza como fuente de compuestos bioactivos para la elaboración de alimentos,” *Agro Sur*, vol. 36, no. 2, 2008.
- [39] A. Rodríguez, Wilson; García, Paola; Fajardo, “Aplicaciones de técnicas espectroscópicas para el análisis de suelos,” *Rev. Fac. Ciencias Básicas*, vol. 12, no. 2, pp. 228–251, 2016.
- [40] P. M. Mondragón Cortez, “Análisis de los espectros de infrarrojo,” in *Principios y aplicaciones de la espectroscopia de infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas*, 2020, pp. 66–82.
- [41] E. de J. Acevedo Picón, “Uso de semillas de moringa (moringa oleífera) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de río negro, río de oro y quebrada Floridablanca, Santander.,” Universidad de Santander, 2019.
- [42] D. N. Villa Uvidia, M. Á. Osorio Rivera, and N. Y. Villacis Venegas, “Extracción, propiedades y beneficios de los mucílagos,” *Ciencias técnicas y Apl.*, vol. 6, no. 2, pp. 503–524, 2020, doi: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i2.1181>.
- [43] C. R. Nieto Orellana and V. P. Orellana Ulloa, “Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante,” Universidad Politécnica Salesiana, 2011.
- [44] M. J. Aranguren Mendoza, “Cuantificación de Taninos.” .
- [45] D. Montgomery, *Diseño y análisis de experimentos*. 2004.
- [46] Departamento de estadística, Análisis matemático y optimización, “Diseño y Análisis de Experimentos en el SPSS 1,” 2021.
- [47] J. Dagnino S, “Análisis de Varianza,” *Rev. Chil. Anest.*, vol. 43, pp. 306–310, 2014.
- [48] H. E. Garnica Romo, Ma.Guadalupe; Coria Caballero, Vanessa; Tranquilino



- Rodríguez, Einice; Dasgupta Schubert, Nabanita; Villacaña Méndez, Maricela; Agarwal, Vivechana; Martínez Flores, “Ecological Method for the Synthesis, Characterization and Antimicrobial Effect of Silver Nanoparticles Produced and Stabilized with a Mixture of Mucilage/Proteins Extracted from Flaxseed,” *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.*, vol. 10, pp. 3406–3415, 2021.
- [49] M. Z. Treviño Garza, “Evaluación y comparación de recubrimientos comestibles a base de mucílagos, quitosán y pululano en la calidad y vida de anaquel de la piña fresca cortada,” Universidad Autónoma De Nuevo León, 2016.
- [50] L. Rodriguez Gonzalez, Sarahi; Martinez Flores, Hecor; Chavez Moreno, Carla; Macias Rodriguez, Lourdes; Zavala Mendoza, Eder; Romo, Garnica; Chacon García, “Extraction and characterization of mucilage from wild species of Opuntia,” *J. Food Process Eng.*, vol. 37, pp. 285–292, 2014, doi: 10.1111/jfpe.12084.
- [51] M. J. López Córdova, “Evaluación de las semillas de Moringa oleifera para la remoción de fluoruros en agua de consumo humano,” Escuela Politécnica Nacional, 2018.
- [52] C. A. Cardoso Costa, Erica; Espirito Santos Barbosa, Cintya D`Angeles; Leite García, Helenica; Borges García, “Pó das Sementes de Moringa oleiferacom o Adsorvente de Poluentes Metálicos,” *Sci. PLENA*, vol. 9, no. 10, 2013.
- [53] W. A. ARISMENDI ESPINOSA, “Evaluación y comparación de la capacidad floculante de taninos modificados (quebracho, acacia, castaño) y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales,” Pontificia Universidad Javeriana, 2016.
- [54] R. M. Aguilar Lòpez, Jorge; Jaén Jiménez, Jean Carlo; Vargas Abarca, Ana Sofía; Jiménez Bonilla, Pablo; Vega Guzmán, Ilena; Herrera Núñez, Jacqueline; Borbón Alpízar, Henry; Soto Fallas, “Extracción y evaluación de taninos condensados a partir de la corteza de once especies maderables de Costa Rica,” *Tecnol. en Marcha*, vol. 24, no. 4, pp. 15–22, 2012.

5.4. ANEXOS:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO 0000589

Certificado No: 21- 129						R01-7.8.03
Solicitud N°: 21-129						Pág.:1 de 1
Fecha recepción: 16 de diciembre de 2021			Fecha de ejecución de ensayos: 23 de diciembre de 2021			
Información del cliente:						
Empresa:		C.I./RUC: 1803593662				
Representante: REBECA ABIGAIL POVEDA OCAÑA		Tlf: 0983316220				
Dirección: Av. Los chasquis y río cutuchi		Email: aby.poveda@gmail.com				
Ciudad: Ambato						
Descripción de las muestras:						
Producto: Extractos Vegetales		Peso / Volumen:		100 g		
Marca comercial: n/a		Tipo de envase:		envase plástico		
Lote: n/a		No de muestras:		ocho		
F. Elb.: n/a		F. Exp.: n/a				
Conservación: Ambiente: X		Refrigeración: Congelación:		Almac. en Lab:		15 días
Cierres seguridad: Ninguno:		Intactos: X		Rotos:		Muestreo por el cliente: 15 de diciembre de 2021
RESULTADOS OBTENIDOS						
Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados/Técnica	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Extracto Animal	12921295	Quitosano	Análisis Espectrofotometro Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)	Espectrofotometro Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)		Ver Anexo
Extracto Vegetal Linaza	12921296	Linaza	Análisis Espectrofotometro Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)	Espectrofotometro Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)		Ver Anexo
Extracto Vegetal Palo Santo Extracto	12921297	Palo Santo Extracto	Análisis Espectrofotometro Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)	Espectrofotometro Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)		Ver Anexo
Extracto Vegetal Chia	12921298	Chia	Análisis Espectrofotometro Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)	Espectrofotometro Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)		Ver Anexo
Extracto Vegetal Moringa líquida	12921299	Moringa Líquida	Análisis Espectrofotometro Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)	Espectrofotometro Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)		Ver Anexo
Extracto Vegetal Moringa	12921300	Moringa Extracto	Análisis Espectrofotometro Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)	Espectrofotometro Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)		Ver Anexo
Conds. Ambientales: n/a						
Nota: Se anexa 8 hojas						
				 Ing. Gladys Risueño Directora de Calidad		
Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si						
Fecha de emisión del certificado: 23 de diciembre de 2021						PP

Nota: La muestra fue suministrada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra en las condiciones recibidas. El Laboratorio se responsabiliza exclusivamente de los resultados emitidos en base a la muestra entregada por el cliente.

El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento negociable. Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

"La información que se está enviando es confidencial, exclusivamente para su destinatario, y no puede ser vinculante. Si usted no es el destinatario de esta información recomendamos eliminarla inmediatamente. La distribución o copia del mismo está prohibida y será sancionada según el proceso legal pertinente".



Dir.: Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi. Av. Los chasquis y Río Payamino
 Edificio Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología / Ambato - Ecuador

(593) 32400987 ext. 5517; 5518 <http://laconal.uta.edu.ec> laconal@uta.edu.ec

3697

Ambato, 18 de mayo de 2021

Señor
Ingeniero
Ricardo López
Gerente
EP-Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato



De mi consideración

Yo Ingeniera Rebeca Abigail Poveda Ocaña con C.I 1803593662 egresada de la Maestría en Química mención Química-Física de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato me dirijo a Ud., con un cordial saludo y deseándole éxitos en sus funciones; para solicitarle autorice a quien corresponda el uso de los laboratorios de análisis de agua para poder realizar los ensayos (método de jarras) y pruebas físico químicas para el desarrollo de mi tesis de posgrado con el tema de "OBTENCIÓN DE COAGULANTES ORGÁNICOS A PARTIR DE EXTRACTOS NATURALES COMO COADYUVANTES DEL POLICLORURO DE ALUMINIO EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA".

Cabe mencionar que la fase experimental de mi tesis de grado la desarrolle en los laboratorios de su prestigiosa institución.

Finalmente, es importante recalcar que mi persona en calidad de maestrante correré con todos los gastos de los reactivos y productos para el desarrollo de mi tesis.

Agradezco de antemano el apoyo que brindara al desarrollo de la investigación y me suscribo.

Atentamente,

Ing. Abigail Poveda
C.I. 1803593662
Maestrante

cel. 0983316220

correo: aby.poveda@gmail.com

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
SISTEMAS DE SANEAMIENTO
DE AMBATO
AUTORIZADO
18/ mayo 2021



Figura 17: Equipo de la prueba de Jarras

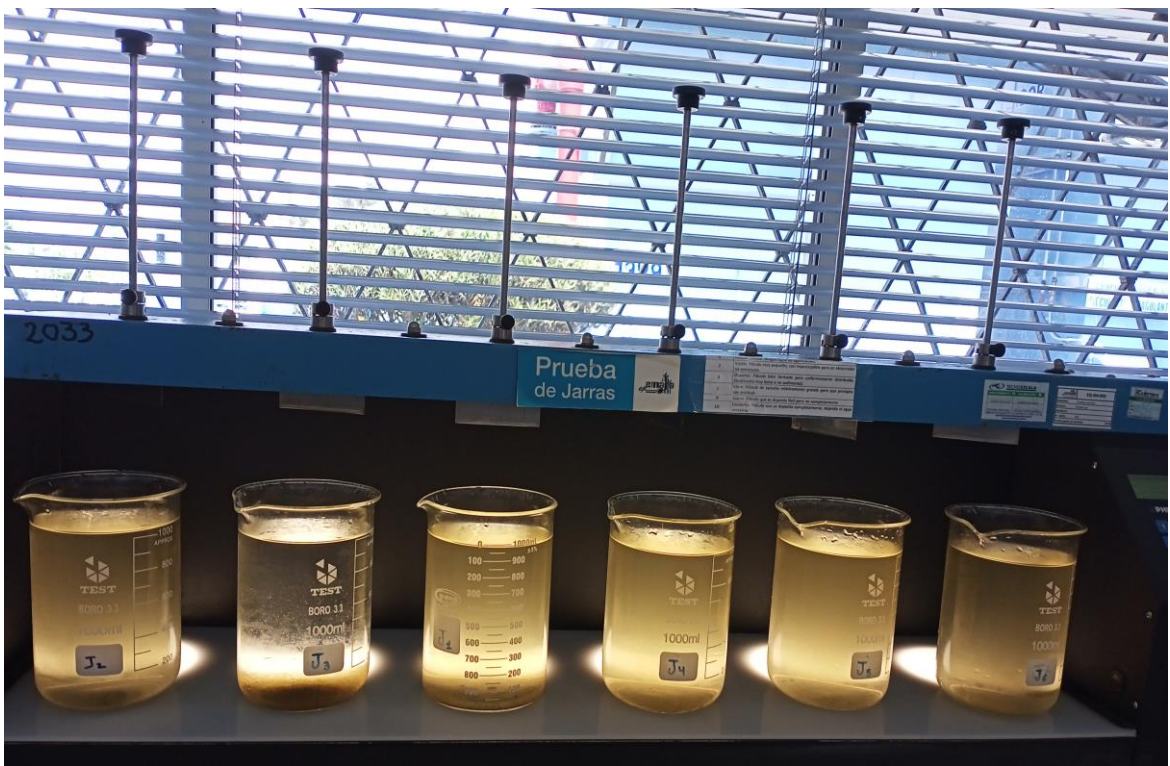


Figura 18: Índice de Willcomb del de la combinación de coagulantes

Tabla 21: Resultado turbidez (NTU) del método de jarras

Dosis (ppm)	COAGULANTES					
	POLICLORURO DE ALUMINIO	CHÍA	LINAZA	MORINGA	QUITOSANO	TANINOS
20	6,34	7,30	7,21	7,10	7,35	7,25
25	5,67	6,25	6,80	6,87	7,04	6,00
30	4,33	6,15	6,45	5,30	6,85	6,15
35	3,85	6,00	5,95	5,02	6,55	5,95
40	2,79	5,80	5,15	4,67	5,95	5,65
45	1,78	5,50	4,90	4,10	5,20	5,40

Tabla 22: Resultado del pH de la prueba de jarras

Dosis (ppm)	CHÍA	LINAZA	MORINGA	QUITOSANO	TANINOS
20	7,3	7,5	7,2	7,9	6,9
25	7,2	7,5	7,2	7,9	6,7
30	7,1	7,4	7,3	7,8	6,7
35	7,0	7,4	7,3	7,7	6,5
40	7,0	7,3	7,1	7,7	6,3
45	7,0	7,4	7,2	7,5	6,2

Tabla 23: Resultado de la conductividad eléctrica ($\mu\text{s/cm}$) de la prueba de jarras

Dosis (ppm)	CHÍA	LINAZA	MORINGA	QUITOSANO	TANINOS
20	45,5	70,6	120,6	202,5	275,6
25	50,2	77,4	125,2	207,8	289,0
30	55,6	80,3	133,7	215,8	295,1
35	60,7	83,6	142,7	222,0	300,3
40	66,7	90,3	150,7	231,9	310,5
45	70,7	105,7	170,8	250,5	315,9

Tabla 24: Resultado del porcentaje de reducción de la turbidez con coagulantes orgánicos.

COAGULANTES						
Dosis (ppm)	POLICLORURO DE ALUMINIO	CHÍA	LINAZA	MORINGA	QUITOSANO	TANINOS
20	15,58	2,80	3,99	5,46	2,13	3,46
25	24,50	16,78	9,45	8,52	6,26	20,11
30	42,34	18,11	14,11	29,43	8,79	18,11
35	48,74	20,11	20,77	33,16	12,78	20,77
40	62,85	22,77	31,42	37,82	20,77	24,77
45	76,30	26,76	34,75	45,41	30,76	28,10

Figura 19: Resultados de la turbidez de las combinaciones del coagulante.

