

<https://doi.org/10.61236/renpys.v3i2.651>

Publicación Semestral. Vol. 3, No. 2, julio-diciembre 2024, Ecuador (p. 44-56). Edición continua

Evaluación de la capacidad coagulante de las semillas de *Linum usitatissimum*, *Salvia hispánica* y *Moringa oleifera* como coadyuvantes para el tratamiento de agua

Rebeca Abigail Poveda Ocaña^{1*}

¹Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industria, Ambato, Tungurahua, Ecuador.

*Dirección para correspondencia: rpoveda3662@uta.edu.ec

Fecha de Recepción: 09-05-2024

Fecha de Aceptación: 25-07-2024

Fecha de Publicación: 30-07-2024

Resumen

Actualmente, en numerosos países, la obtención de agua potable representa una considerable dificultad, lo que constituye un problema de relevancia mundial. Esto se debe a que los procesos de potabilización tradicionalmente emplean métodos convencionales que utilizan coagulantes químicos, tales como el policloruro de aluminio y el sulfato de aluminio. Estos coagulantes generan subproductos conocidos como lodos residuales, los cuales contienen altos niveles de metales pesados, como el aluminio, que pueden ocasionar alteraciones en los organismos vivos y el medio ambiente. Debido a esta problemática, es fundamental la búsqueda de tratamientos ecológicos y accesibles que mejoren la calidad del agua tratada. En este contexto, se desarrolló la presente investigación con el objetivo de obtener coagulantes orgánicos y evaluarlos como posibles coadyuvantes de los compuestos químicos utilizados en el tratamiento del agua para consumo humano. El estudio se llevó a cabo mediante técnicas de obtención de biomasa vegetal y su posterior purificación, las cuales fueron caracterizadas mediante Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR). Posteriormente, se evaluó la capacidad coagulante mediante la prueba de jarras y la medición de los principales parámetros en el agua tratada con la combinación químico-orgánica. La *Moringa oleifera* se destacó como el extracto más prometedor, ya que, al sustituir el 37.5% del coagulante químico, se lograron valores de turbidez que cumplen con la norma NTE INEN 1108:2011. Esta investigación demuestra el potencial de los coagulantes orgánicos como una alternativa viable y sostenible en el proceso de tratamiento del agua potable.

Palabras claves: Agua, biomasa, coadyuvante, coagulación, pruebas.

Evaluation of the coagulating capacity of *Linum usitatissimum*, *Salvia hispánica* and *Moringa oleifera* seeds as coadjuvants for water treatment

Abstract

Currently, in many countries, obtaining drinking water is a considerable challenge, which is a problem of global relevance. This is because purification processes traditionally employ conventional methods that use chemical coagulants, such as polyaluminum chloride and aluminum sulfate. These coagulants generate byproducts known as sewage sludge, which contain high levels of heavy metals, such as aluminum, which can cause alterations in living organisms and the environment. Due to this problem, it is essential to search for ecological and accessible treatments that improve the quality of the treated water. In this context, the present research was developed with the aim of obtaining organic coagulants and evaluating them as possible adjuvants of the chemical compounds used in the treatment of water for human consumption. The study was carried out using techniques to obtain plant biomass and its subsequent purification, which were characterized by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Subsequently, coagulant capacity was evaluated by testing pitchers and measuring the main parameters

IDs Orcid:

Rebeca Abigail Poveda Ocaña: <http://orcid.org/0009-0000-2768-5677>

Artículo científico: Evaluación de la capacidad coagulante de las semillas de *linum usitatissimum*, *Salvia hispánica* y *Moringa oleifera* como coadyuvantes para el tratamiento de agua.

Publicación Semestral. Vol. 3, No. 2, julio-diciembre 2024, Ecuador (p. 44-56)

in the water treated with the chemical-organic combination. Moringa oleifera stood out as the most promising extract, since, by replacing 37.5% of the chemical coagulant, turbidity values were achieved that comply with the NTE INEN 1108:2011 standard. This research demonstrates the potential of organic coagulants as a viable and sustainable alternative in the drinking water treatment process.

Keywords: Water, biomass ,Adjuvant, coagulation, tests.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento más esencial para la vida, sin embargo, esta no está disponible para toda la población, es decir, existe una escasez de agua para consumo especialmente en los países en vías de desarrollo (Canaza & Mamani, 2020). En el 2015 la Organización Mundial de la Salud (OMS) señaló que sólo el 71% de la población tiene acceso a la dotación de agua potable, que puede ser utilizada para: el consumo humano, fabricación de alimentos, actividades domésticas, recreativas, etc.

El agua para consumo debe cumplir los parámetros que se detalla en las normas INEN 1108:2011, ya que la calidad de la misma tiene un efecto directo sobre la salud de la población que la consume (Pérez & Torres, 2019); sin embargo, esta puede modificarse por la presencia de contaminantes como: microorganismos infecciosos, productos orgánicos, químicos, los cuales se derivan principalmente de las actividades antropogénicas (Bravo et al., 2016; Organización Mundial de la Salud, 2023). Y debido a la presencia de estos agentes contaminantes, el agua proveniente de fuentes naturales generalmente debe pasar por varios procesos en donde se utilizar productos químicos tradicionales, para estar óptima para el consumo humano (Choque et al., 2018).

El agua proveniente de fuentes naturales en su composición contiene partículas en suspensión y coloidales, las cuales son las que dan la turbidez y el color a los cuerpos de agua, y en algunos casos puede alterar la calidad de esta, por lo que es necesario un tratamiento para la eliminación de dichos parámetros (Cabrera et al., 2022; Méndez et al., 2022). En el proceso de potabilización del agua se lleva a cabo la operación denominada coagulación -floculación en donde se utiliza compuestos de origen químico, que en la mayoría de los casos generan productos derivados (lodos) con elevados niveles de toxicidad por la presencia de metales como el aluminio, menor porcentaje de degradación y de un elevado valor para su adquisición (Trujillo et al., 2014).

La coagulación y floculación son dos procesos que se dan de manera simultánea, la coagulación por su parte desestabiliza el material coloidal que se encuentra en el agua, mientras que, en la floculación dichas partículas coloidales forman flóculos, los cuales ayudan a reducir la turbidez y el color en las muestras de agua tratada (Carrillo & Zavala, 2023). Entre los coagulantes convencionales utilizados para este proceso se puede

mencionar al sulfato de aluminio (alumbre) y policloruro de aluminio (PAC), los mismos que presentan gran efectividad para reducción de la turbidez, sin embargo, son de alto valor económico y en varios casos de un impacto ambiental negativo (Moreira & Moreira, 2022). Tales como: aparición de metales pesados, generación de grandes cantidades de lodos residuales, alteración del pH, incremento de la concentración de sales en los cuerpos de agua, entre otros (Ariza & Gutiérrez, 2020; Carrasquero et al., 2019).

Por estos aspectos negativos anteriormente citados, los científicos se encuentran en la búsqueda de nuevas y eficientes alternativas que brinden similares posibilidades de los tratamientos convencionales de mejorar la calidad del agua con el uso de compuestos basados en productos naturales, que no produzcan ningún tipo de toxicidad (Organización Mundial de la Salud, 2019). Como, por ejemplo, en varios países asiáticos y africanos últimamente ya se ha iniciado la utilización de polímeros orgánicos como auxiliares a los compuestos químicos usados en la etapa de coagulación especialmente en cuerpos de agua con altos índices de contaminación y turbidez. Estos productos novedosos presentan una efectividad análoga o mayor a los coagulantes tradicionales, por sus características biodegradables (Ramírez & Jaramillo, 2016).

De acuerdo con las recientes investigaciones, en la naturaleza se puede encontrar algunos polímeros y/o polisacáridos de origen animal y vegetal o en algunos casos sus respectivos residuos, los cuales presentan propiedades floculantes naturales, como, por ejemplo: almidón, moringa, linaza, maíz, naranja, entre otros (Choque et al., 2018). Dichos extractos pueden ser utilizados principalmente para la remoción de la turbidez durante el tratamiento de agua. Otro tipo de extracto, como el mucílago de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) puede ser utilizado en procesos para el tratamiento inicial de las aguas residuales especialmente de la industria minera por su capacidad para reducir el porcentaje de acidez en dichas aguas (Reyes, 2020).

En el caso de coagulantes provenientes de animales se puede mencionar como pionero al quitosano obtenido del caparazón de los crustáceos, el colágeno también presenta propiedades coagulantes, debido a las proteínas presentes en su estructura (Moreno et al., 2020). Adicionalmente, existe un sinnúmero de investigaciones del uso de moringa (*Moringa Oleifera*)

como coagulante en el tratamiento de agua, especialmente de las semillas por su alto contenido de aminoácidos, los cuales contienen carga positiva y negativa, que van a interactuar con las partículas coloidales para la formación de floc (Vera & Zambrano, 2019).

La mayoría de la biomasa es extraída de varias partes de la planta, tales como: semillas, tallo, hojas, entre otras. Las cuales contienen principalmente moléculas de gran tamaño con características de coaguladores (Carpio, 2019; Jaramillo, 2020). Dichos productos orgánicos son usados como sustituyente total o proporcional de los coagulantes comúnmente utilizados o como colaboradores del proceso de coagulación y floculación, con la finalidad de obtener una reducción de la turbidez del agua, llegando en algunos casos a disminuir la cantidad de microorganismos patógenos que se puede encontrar presentes en el agua que no ha sido sometida a ningún tipo de tratamiento (Cuadros, 2020; Guzmán et al., 2013). Ya que según los recientes estudios se ha analizado que estos productos orgánicos presentan resultados positivos para el tratamiento agua, logrando una reducción de la turbidez, el color y agentes patógenos, que se pueden encontrar presentes en el agua (Ramírez & Jaramillo, 2016).

Entre los principales beneficios que presentan dichos extractos son: fácil acceso, menor costo que los convencionales, generan mejor cantidad de lodos residuales contaminados, lo que conlleva a la reducción de los riesgos para los seres vivos, mayor capacidad para biodegradarse, poca o nula toxicidad (Benjumea, 2019; Feria et al., 2020).

Es importante mencionar que, los coagulantes orgánicos provenientes de moringa tienen mayor efectividad en aguas con altos niveles de turbidez y color, debido a las cargas positivas y negativas presentes en dichos extractos (Chuquicajas & Julca, 2021).

Las cuales interactúan con las partículas en suspensión presentes en el agua. También, en algunos casos presenta propiedades desinfectantes, porque pueden disminuir la carga de microorganismos patógenos presente en el agua, lo que le confiere características especiales para ser usada como la principal alternativa de coagulante orgánico (Cedillo et al., 2024).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la capacidad coagulante de las semillas de *Linum usitatissimum*, *Salvia hispánica* y *Moringa oleifera* como coadyuvantes en el tratamiento de agua a través del método de jarras y análisis de los parámetros físicos-químicos.

Artículo científico: Evaluación de la capacidad coagulante de las semillas de *linum usitatissimum*, *Salvia hispánica* y *Moringa oleifera* como coadyuvantes para el tratamiento de agua.

Publicación Semestral. Vol. 3, No. 2, julio-diciembre 2024, Ecuador (p. 44-56)

2. METODOLOGÍA

2.1 Muestras

2.1.1 Agua

Las muestras se tomaron directamente del agua que llega a la zona de captación de la planta de tratamiento “Santa Marianita”, que abastece a 5 parroquias aledañas a la planta en la ciudad de Ambato de la provincia de Tungurahua- Ecuador. Para la toma de muestra se utilizó un recipiente de 6 litros, que fueron llenados con agua (6 litros) sin tratamiento para posteriormente ser utilizada en la prueba de jarras.

2.1.2 Biomasa Vegetal

Las biomásas vegetales fueron obtenidas del centro de venta de especies en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua.

- Linaza (*Linum usitatissimum*)
- Chía (*Salvia hispánica*)
- Moringa (*Moringa oleifera*)

2.2 Obtención de los coagulantes naturales

Para el proceso de extracción se utilizaron las semillas cada vegetal, posteriormente se realizaron pruebas preliminares para determinar la cantidad a emplear y se determinó la utilización de 100g de cada biomasa basado en el porcentaje de rendimiento.

2.2.1 Moringa oleífera

La metodología que se utilizó fue la propuesta por Acevedo (2019) con algunas modificaciones:

Se procedió al secado de las semillas con la utilización de un calentador a 60° C, para eliminar su cáscara de una forma más rápida. Para cálculos de rendimiento la semilla descascarada se pesó utilizando una balanza analítica. Posterior a este proceso se llevó a cabo la trituración de las semillas utilizando una trituradora, seguido del uso de un mortero hasta conseguir una muestra homogénea, la misma que se sometió a un proceso de tamizado para eliminar las porciones de semillas de mayor tamaño. Para la extracción se añadió 10% del producto obtenido en agua y se calentó la mezcla por 10 minutos. Finalmente, la torta obtenida fue sometida a un proceso de prensado con la finalidad de eliminar su parte aceitosa. El procedimiento se repitió el número de veces necesario para eliminar la mayor cantidad de aceite de la torta. Finalmente se dejó secar la torta obtenida en un recipiente de vidrio durante 24 horas a temperatura ambiente (menor a 30°C y 65% de humedad relativa).

2.2.2 Linaza (*Linum usitatissimum*)

La metodología utilizada para la extracción del agente coagulante fue la utilizada por Villa et al., (2020):

Se limpió y lavó las semillas con la finalidad de eliminar impurezas y residuos. Luego los 100g de semillas pesadas fueron sometidas a un proceso de molienda con la ayuda de un mortero con la finalidad de tener una muestra de menor tamaño.

La muestra se colocó en un recipiente con agua a una temperatura de 95°C durante 20 minutos en una proporción de 1:20 (peso/volumen) para la obtención del mucílago. El mucílago se separó de la semilla a través de un proceso de decantación con el uso de un embudo. El producto obtenido fue almacenado en un vaso de precipitación hasta su utilización.

2.2.3 Salvia hispánica

Para la extracción se realizó el mismo proceso anteriormente descrito (Villa et al., 2020), finalizando con una filtración utilizando un filtro número 100. El producto obtenido fue almacenado en un vaso de precipitación hasta su utilización.

2.3 Cálculo del porcentaje del rendimiento

Se determinó el porcentaje de rendimiento utilizando la siguiente fórmula, detallada a continuación (Dávila, 2022):

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{\text{Peso del producto obtenido (g)}}{\text{Peso de la materia prima (g)}} * 100 \quad (1)$$

2.4 Caracterización molecular por Espectroscopía infrarrojo Transformada de Fourier (FTIR) con

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) detallado a continuación:

- Equipo: espectrómetro FTIR
- Marca: Perkin Elmer, 2021
- Dispositivo: Reflexión total atenuada (ATR)
- Serie: 117621
- Procedencia: Laboratorio LACONAL de la Universidad Técnica de Ambato

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, misma que se describe en el apartado de resultados.

2.5 Evaluación de su capacidad coagulante

2.5.1 Prueba de Jarras

Se llenó 6 vasos de precipitación con 1 litro de la muestra de agua en cada uno, luego se inició el equipo para que se lleve a cabo la simulación de los procesos de coagulación y floculación.; empezando con una mezcla rápida que duro 1 minuto a una velocidad de 100 revoluciones por minuto, seguido de una mezcla lenta por 15 minutos a una velocidad de 40 revoluciones por minuto. Una vez terminado el proceso se apagó el equipo y se inició la etapa de sedimentación en donde se dejó la muestra de agua en reposo durante 15 minutos (Jácome, 2024).

En base al valor inicial de turbidez, se determinó la concentración y dosificación del coagulante que se añadió al inicio de la mezcla rápida.

2.5.2 Análisis de los parámetros físicos del agua

Posterior al proceso de sedimentación, se procedió al análisis de los parámetros más representativos en las muestras de agua, descritos a continuación (Noriega, 2022):

- **Conductividad eléctrica:** Se midió directamente en la muestra de agua contenida en el vaso de precipitación de 1000 ml con el uso del conductímetro.
- **pH** Se midió directamente en la muestra de agua contenida en el vaso de precipitación de 1000 ml con el uso del pHmetro.
- **Turbidez:** Se utilizó el turbidímetro para la lectura de los valores, para lo cual se transfirió 10 ml de la muestra al frasco analizador con la ayuda de una micropipeta. Es importante detallar que la muestra de agua se tomó de la mitad del vaso de precipitación aproximadamente con la finalidad de evitar el movimiento del floc que se formó durante este proceso.

2.5.3 Determinación del porcentaje de remoción

Se utilizó la siguiente ecuación para el cálculo de porcentaje de remoción (Choque et al., 2018):

$$\% \text{ Remoción} = \frac{T_i - T_f}{T_i} * 100 \quad (2)$$

donde:

T_i= Turbidez inicial

T_f= Turbidez final

2.5.4 Prueba de coadyuvante del policloruro de aluminio

Para las pruebas de los extractos naturales como coadyuvantes se realizó una sustitución de 5ppm en los 6 tratamiento de la prueba de jarras, detallados a continuación.

Tabla 1. Combinaciones utilizadas en la prueba de sustitución.

Nº	Dosis coagulante	Dosis
Tratamiento químico (ppm)	Extracto (ppm)	
T1	0	40
T2	5	35
T3	15	25
T4	25	15
T5	35	5
T6	40	0

2.6 Diseño Experimental

La información obtenida de la presente investigación se evaluó con el uso de cuadros y gráficos comparativos. El análisis estadístico se realizó a través de un diseño factorial A x B con 3 repeticiones y el análisis de varianza para 2 factores con una sola muestra por grupo, detallado a continuación:

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

Tabla 2. Porcentaje del rendimiento del proceso de extracción.

Biomasa	Producto obtenido	% Rendimiento	Precio (usd)/ 100g
Semilla Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	Torta	73.1	1.50
Chía (<i>Salvia hispanica</i>)	Mucílago	77.7	0.45
Linaza (<i>Linum usitatissimum</i>)	Mucílago	85.9	0.55

3.1. Parámetros físicos y químicos de los extractos obtenidos

En la *Tabla 3*, se detalló los resultados obtenidos de la medición de los parámetros fisicoquímicos analizados en los coagulantes orgánicos, posterior al proceso de extracción. Los resultado de los parámetros conductividad eléctrica y pH evaluados en los extractos obtenidos se analizó que en los 3 casos presentaron un valor neutro (7.1 a 7.4) por lo que el agua a tratar no será afectada por el pH, en relación a la conductividad el extracto proveniente de la muestra de moringa, presenta un valor elevado (102.00 $\mu\text{s}/\text{cm}$); es decir, este producto contiene gran cantidad de partículas conductoras de electricidad, debido a que, presenta mayor cantidad de compuestos proteicos, los cuales trabajan como polielectrolitos catiónicos (Jaramillo, 2020). A diferencia de los coagulantes químicos, que debido a, la presencia de sales en su composición

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la *Tabla 2* se detalló los resultados del proceso de extracción de los coagulantes de origen natural en relación con el producto (aparición), rendimiento y costo. Como resultado de la obtención de los floculantes/coagulantes orgánicos, se obtuvo dos productos similares en aspecto y textura en el caso de los mucílagos, y una torta (libre de aceite) en el caso de las semillas de la *Moringa oleifera* (Villa et al., 2020).

El coagulante proveniente de la linaza presentó resultados más promisorios porque se obtuvo un rendimiento del 85.9%, seguido de la chía con el 77.7%. Finalmente, la Moringa con un 73.1% de rendimiento. Estos resultados tienen relación directa con el tipo de muestra y el proceso de extracción, especialmente la Moringa, ya que el residuo proveniente de la cáscara afecta a la cantidad final del producto. En relación con el valor económico, la moringa presentó un mayor costo de extracción (Arciniega, et al., 2023).

produce una disminución en el pH de la muestra de agua tratada (Arciniega et al., 2023).

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos promedios de coagulantes/floculantes naturales.

Muestra	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	pH
Chía	14.00	7.40
Linaza	46.00	7.60
Moringa	102.00	7.10

3.2 Caracterización de los grupos funcionales en los extractos naturales a través de Espectroscopía FTIR

Los resultados obtenidos de la caracterización molecular de los coagulantes orgánicos se detallan a continuación:

Artículo científico: Evaluación de la capacidad coagulante de las semillas de *linum usitatissimum*, *Salvia hispanica* y *Moringa oleifera* como coadyuvantes para el tratamiento de agua.

Espectro de linaza: La banda más representativa es de 3330.29 cm^{-1} , la misma que pertenece al grupo O-H, que está directamente relacionado a los grupos de los azúcares, así como de los compuestos fenólicos.

Por otra parte, la segunda banda identificada fue la del grupo N-H de la proteína (1633.08 cm^{-1}) así como del grupo C=O correspondiente al grupo carboxilo (Garnica et al., 2021) y al enlace C=O que está relacionado con un grupo carboxilo (Andrade, 2023).

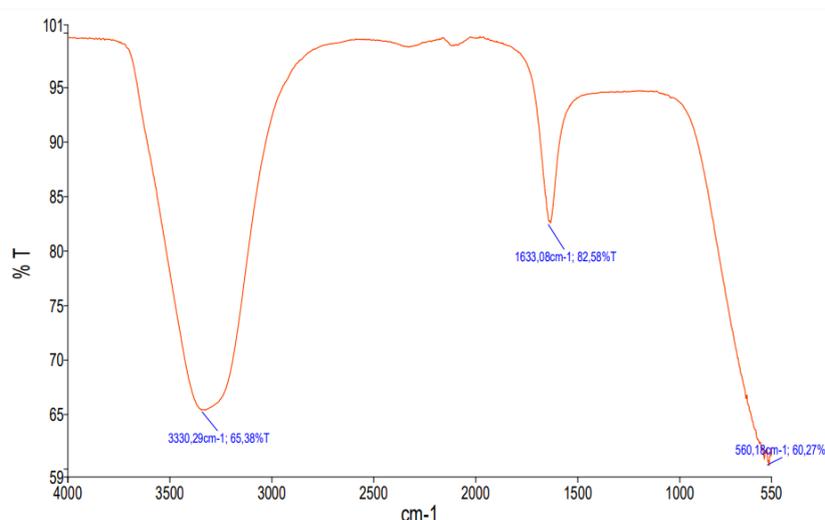


Figura 1. Espectro Linaza.

Espectro de Chía: Las bandas a 3339.89 cm^{-1} pertenecen al O-H de los compuestos como el alcohol y el ácido carboxílico (Treviño, 2016), mientras que las bandas a 1633.12 cm^{-1} se puede deferencia al grupo

carboxílico, la cual se encuentra presente en muestras de mucilagos (Rodríguez et al., 2014). Es decir, según otras investigaciones chía contiene enlaces éster a 1742 cm^{-1} y grupo carboxílico de los ácidos grasos (Di Marco et al., 2020).

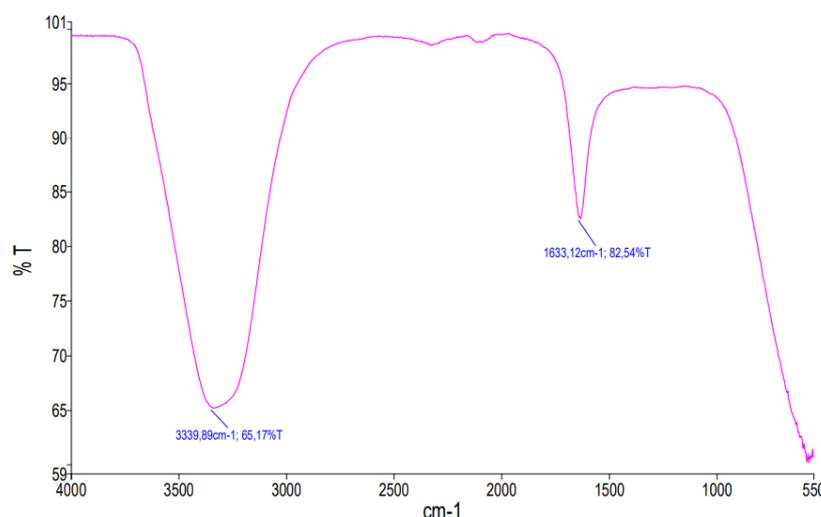


Figura 2. Espectro Chía.

Espectro de Moringa: Las bandas más representativas son las del grupo aminas (N-H) a 3301.85 cm^{-1} , debido a su alto contenido de proteína y grasa en su estructura (López, 2018). Por otra parte, entre 1744.57 cm^{-1} y 1643.45 cm^{-1} se presenta el grupo C=O alifático

(Cardoso et al., 2018). Es decir, entre los principales grupos funcionales que se puede analizar en moringa con: alcoholes, alcanos, alquenos, éteres, ésteres, ácidos carboxílicos, entre otros (Khalid et al., 2023).

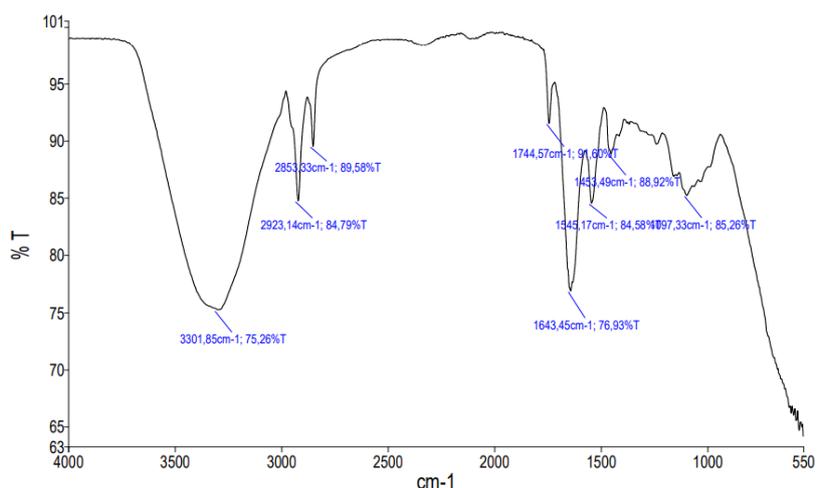


Figura 3. Espectro Moringa.

3.3 Prueba de Jarras:

Los resultados del análisis cuantitativo (parámetros del agua) y cualitativo (evaluación de la formación del floc), se describen a continuación:

3.3.1 Parámetros cuantitativos

Turbidez (NTU): En la Tabla 4 se detalla los resultados obtenidos de la medición de la turbidez (NTU) de las muestras de agua que contenían a los coagulantes orgánicos obtenidos luego del método de jarras. Los extractos de linaza y moringa reportaron valores menores a los límites permitidos para el agua que puede ser usada para el consumo (5NTU) según lo detalla la norma NTE INEN 1108:2011 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011);

es decir, estos son los coagulantes orgánicos más prometedores para ser usados el proceso de coagulación-floculación durante el tratamiento de agua, ya que la turbidez es el principal parámetro que se ha utilizado para evaluar la eficiencia y efectividad de un coagulante (Romero et al., 2007).

Además, los compuestos proteicos presentes en el mucílago, hacen que los coagulantes obtenidos de la chía y linaza presenten una similitud en relación a su comportamiento y funcionamiento en las muestras de agua, ya que, estos mucílagos pueden aumentar en nivel de viscosidad de la solución en la que están trabajando, así como la capacidad para atrapar las partículas responsables de la turbidez por la formación del conjunto puente-partícula que se da al momento de la interacción (Mendoza et al., 2021).

Tabla 4. Valor de Turbidez (NTU).

N° Tratamiento	Dosis (ppm)	Coagulantes			
		Policloruro	Chía	Linaza	Moringa
T1	20	6.34	7.30	7.21	7.10
T2	25	5.67	6.25	6.80	6.87
T3	30	4.33	6.15	6.45	5.30
T4	35	3.85	6.00	5.95	5.02
T5	40	2.79	5.80	5.15	4.67
T6	45	1.78	5.50	4.90	4.10

Moringa por su parte presenta características similares a los coagulantes químicos especialmente del policloruro de aluminio (Sandoval & Laines, 2013), debido a que, este extracto en su composición presenta grupos de aminoácidos,

las cuales son capaces de interactuar con las partículas coloidales que comúnmente se encuentran en las muestras de agua y son las responsables de la formación el floc (Caldera et al., 2007).

Artículo científico: Evaluación de la capacidad coagulante de las semillas de *linum usitatissimum*, *Salvia hispánica* y *Moringa oleifera* como coadyuvantes para el tratamiento de agua.

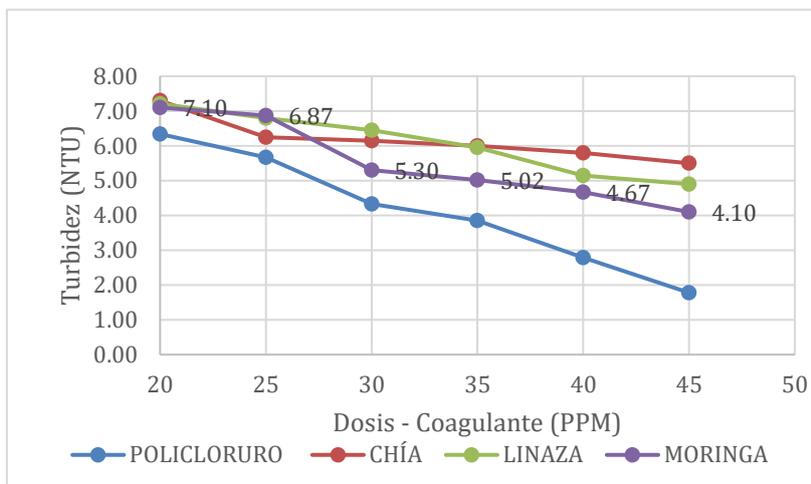


Figura 4. Turbidez de los coagulantes orgánicos.

- pH:** En la Tabla 5 se detalló los valores de pH de los distintos coagulantes naturales extraídos varía desde 7.9 a 6.5 es decir, se encuentra en el valor óptimo.

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 (Caldera et al., 2007). Casos similares ocurren con los otros coagulantes. Es decir, el pH no represento mayor influencia para la determinación de la eficacia de los coagulantes utilizados.

Tabla 5. Resultados de conductividad eléctrica.

N.º Tratamiento (ppm)	Dosis	Chía	Linaza	Moringa
T1	20	7.30	7.50	7.20
T2	25	7.25	7.50	7.20
T3	30	7.15	7.48	7.28
T4	35	7.05	7.40	7.26
T5	40	7.00	7.35	7.15
T6	45	7.00	7.4	7.20

- Conductividad Eléctrica (CE):** En la Tabla 6 se detalló los valores de la conductividad eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$) del resultado de la prueba de jarras presentando como resultado una relación directamente proporcional, es decir, a mayor cantidad de coagulante mayor medida de conductividad.

En relación con el efecto en la coagulación se puede determinar que al aumentar la conductividad eléctrica existe mayor cantidad de

partículas que pueden reaccionar en el agua y mejorar el proceso de coagulación (Jaramillo, 2020).

Tabla 6. Conductividad eléctrica en las muestras de agua.

Nº Tratamiento	Dosis (ppm)	Chía	Linaza	Moringa
T1	20	50.55	70.50	130.10
T2	25	53.50	74.25	138.50
T3	30	55.50	78.90	140.05
T4	35	60.10	85.01	143.15
T5	40	63.98	90.50	146.30
T6	45	65.50	100.02	150.00

3.3.2 Parámetro Cualitativo

La evaluación de la calidad de floc, que es un parámetro cuantitativo que se midió posterior al proceso de sedimentación y se valoró con la utilización del Índice de Willcomb, teniendo como resultado que, los coagulantes orgánicos en su mayoría alcanzaron valores entre 2 y 6, esto significa que, si se produce la formación de floc.

Sin embargo, este presente un floc de tamaño pequeño, apariencia dispersa y que su proceso de sedimentación es lento.

Al realizar una comparación con el floc resultante del uso de policloruro de aluminio, el cual presenta un valor generalmente de 8; es decir, que se puede observar a simple vista y sedimenta rápidamente. En relación con la calificación de la calidad de floc, moringa y linaza son los extractos que presentan mejor calidad de formación.

Tabla 7. Resultado de Índice de Willcomb.

Muestra	Concentración (ppm)					
	20	25	30	35	40	45
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

3.4 Determinación del porcentaje de remoción

Como resultado final del cálculo de porcentaje de remoción se obtuvo a moringa como la opción más prometedora ya que presentó un 45.41%, de manera especial en los cuerpos de agua fluviales y con altos

niveles de turbidez (Moreno et al., 2023). En relación a los otros dos coagulantes (chía y linaza) los cuales presentaron valores entre el 25% y 35%.

Se debe mencionar que estos productos al ser de origen orgánico si efectividad aumenta cuando se trabajó con agua turbias, es decir con altos niveles de turbidez.

3.5 Evaluación de sustitución del policloruro de aluminio

Con los resultados obtenidos de la primera parte en la *Tabla 8* se detalla las dosis utilizadas del coagulante iniciando por una sustitución total del coagulante químico, posteriormente esta concentración fue aumentando a medida que disminuía la dosificación del coagulante orgánico para terminar la eficacia en el proceso de sustitución, donde se obtuvo los porcentajes de sustitución.

Tabla 8. Combinaciones utilizadas para la prueba de sustitución.

Nº Tratamiento	Dosis coagulante (ppm)	Porcentaje (%)	Dosis extracto (ppm)	Porcentaje (%)
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 presenta los mejores resultados, ya que a una sustitución del coagulante químico en un 37.50%, ya se obtuvieron valores de turbidez que se encontraba dentro del límite permitido según la normativa vigente según la norma NTE INEN 1108:2011. 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 especialmente aluminio

(Moreira & Moreira, 2022). De los resultados del porcentaje de remoción de la turbidez la combinación 5 presentó el mejor resultado (mayor al 50%), sin embargo, la cantidad de producto orgánico utilizado es inferior, debido a que, cuando se trabaja con aguas poco turbias, estos compuestos orgánicos no tienen mayor cantidad de partículas en suspensión para que se puedan adherir y en algunos casos el producto natural puede pasar a ser parte de la materia orgánica que se encuentra presente en el agua a tratar.

Tabla 9. Resultado de turbidez empleando la combinación coagulante orgánico y químico.

Nº Tratamiento	Combinación químico-orgánico ppm	Turbidez (NTU)		
		Moringa	Chía	Linaza
T1	0-40	4.50	5.70	4.60
T2	5-35	6.15	6.40	6.75
T3	15-25	5.50	5.90	5.85
T4	25-15	4.90	5.48	5.05
T5	35-5	2.97	3.15	2.52
T6	40-0	1.70	1.51	1.55

Artículo científico: Evaluación de la capacidad coagulante de las semillas de *linum usitatissimum*, *Salvia hispánica* y *Moringa oleifera* como coadyuvantes para el tratamiento de agua.

3.5.1 Evaluación de la calidad de floculo

En la valoración de la calidad del floculo, los resultados varían entre 6 y 8, es decir, presentan una calificación de desde claro a bueno, de manera especial en los tratamientos donde se realizó una dosificación mayor de policloruro de aluminio.

3.6 Análisis estadístico

En el análisis estadístico presentó como resultado lo descrito en la Tabla 11, de acuerdo con el análisis de varianza presentó diferencias explicativas en las combinaciones de los dos tipos de coagulantes, es decir, estas mezclas si tienen influencia en el resultado final de la turbidez. Al analizar los tipos de extractos no presentan diferencias significativas entre los coagulantes orgánicos, es decir, todos tienen un

comportamiento similar en sus distintas concentraciones.

Tabla 10. Índice de Willcomb de muestras de agua utilizando combinación de coagulantes.

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

Tabla 11. Resultado del Análisis de Varianza.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamiento	51.0041	5	10.2008	97.5326	3.7466E-08	3.3258
Extractos	0.5293	2	0.2646	2.5307	0.1290	4.1028
Error	1.0458	10	0.1045	-	-	-
Total	52.5794	17	-	-	-	-

4 CONCLUSIÓN

La utilización de coagulantes naturales como coadyuvantes en el tratamiento de agua ha mostrado resultados prometedores. La sustitución parcial del 37.5% del policloruro de aluminio por coagulantes naturales redujo la turbidez a 4.9 NTU, cumpliendo con la normativa NTE INEN 1108:2011 y produciendo lodos residuales más biodegradables debido a la menor concentración de aluminio. Esta investigación destacó que la linaza es el coagulante más eficiente y económico, mientras que la Moringa oleífera, aunque efectiva, resulta ser más costosa. Los coagulantes orgánicos presentaron un pH neutro (7.1 a 7.4), beneficiando el tratamiento al no alterar significativamente el pH del agua. Además, el extracto de Moringa oleífera mostró alta conductividad eléctrica (102.00 $\mu\text{s}/\text{cm}$) debido a sus compuestos proteicos que actúan como polielectrolitos catiónicos. A diferencia de los coagulantes químicos, los naturales no disminuyen el pH del agua y mejoran la conductividad sin efectos adversos. Las combinaciones de coagulantes naturales y químicos lograron reducir la turbidez significativamente, con una remoción superior al 50%. Sin embargo, su uso es limitado en aguas con baja turbidez debido a la menor cantidad de partículas en suspensión. En general, los extractos orgánicos

demonstraron un comportamiento similar en diversas concentraciones, resaltando su potencial como solución sostenible y eficiente. Estos hallazgos sugieren que los coagulantes naturales representan una alternativa viable y ecológica frente a los métodos tradicionales, mejorando la calidad del agua tratada y reduciendo el impacto ambiental.

5 REFERENCIAS

- Acevedo, E. (2019). *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*. [Título de pregrado, Universidad de Santander] UDES. <https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/fc541a03-2e69-4d47-a83b-91f55c3e118a>
- Andrade, C. (2023). *Evaluación de la extracción de aceite de semilla de linaza (Linum Usitatissimum L.) utilizando como pretratamiento la técnica de explosión de vapor*. [Título de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana] Dspace.

- <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24818>
- <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3334>
- Arciniega, M., Ávila, J., & Hernández, P. (2023). Remoción de sólidos totales en agua mediante coagulantes naturales: Semillas de Linaza, Chía y Zaragatona. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, 12(1), 115-129. <https://camjol.info/index.php/PAYDS/article/view/17420>
- Ariza, M., & Gutiérrez, L. (2020). Revisión bibliográfica del uso de coagulantes naturales como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Ingeciencia*, 5, 95-108. https://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/3190
- Benjumea, C. Toro, M. Luna, V. (2019). Evaluación de la eficiencia de extractos naturales en el proceso de coagulación floculación de aguas crudas, con fines de potabilización. *Revista Bionatura* 6(2):1770-1777. <https://www.revistabionatura.com/2021.06.02.17.html>
- Bravo, C., Bello, À., & López, Y. (2016). Contaminación de agua cruda de río y potabilizada de consumo doméstico en Manta - Ecuador. *Ciencias técnicas y aplicadas*, 2(3), 171-186. <https://doi.org/https://doi.org/10.23857/dc.v2i3.128>
- Cabrera, A., Galvis, A., & Rico, A. (2022). *Determinación de la eficiencia de los coagulantes orgánicos en el tratamiento de aguas residuales*. https://www.researchgate.net/publication/365822378_Determinacion_de_la_eficiencia_de_los_coagulantes_organicos_en_el_tratamiento_de_aguas_residuales
- Caldera, Y., Mendoza, I., Briceño, L., García, J., & Fuentes, L. (2007). Eficiencia de las semillas de Moringa Oleifera como coagulante alternativo en la potabilización del agua. *Boletín Del Centro De Investigaciones Biológicas*, 41(2), 244-254. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/76/0>
- Canaza, G., & Mamani, Y. (2020). *Revisión del uso de coagulantes naturales para remoción de turbidez del agua*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión] UPEU.
- Carpio, B. (2019). *Evaluación del Uso de Semillas de Mangifera Indica L (Mango) Como Coagulante Natural Para El Tratamiento de Aguas Residuales de La Ptar Munives de VES*. [Título de pregrado, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur] untels. <https://repositorio.untels.edu.pe/xmlui/handle/123456789/187>
- Carrasquero, S., González, Y., Colina, G., & Díaz, A. (2019). Eficiencia del quitosano como coagulante en el postratamiento de efluentes de una planta de sacrificio de cerdos. *Orinoquia*, 23(2), 36-46. <https://doi.org/10.22579/20112629.567>
- Carrillo-Cedillo, E. G., & Zavala-Flores, E. (2023). Comparación de floculantes en el tratamiento de agua residual doméstica. *Pàdi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 11(Especial), 116-120. <https://doi.org/10.29057/icbi.v11iEspecial.10348>
- Cedillo, J., Ponce, A., González, V., Vega, M., Zayas, T., & Soriano, G. (2024). Utilización de Moringa Oleifera como un coagulante-floculante natural para la descontaminación de agua. *RDICUAP*, 10(28), 224-235. <https://doi.org/10.32399/icuap.rdic.2448-5829.2024.10.28.1279>
- Choque, D., Choque, Y., Solano, A., & Ramos, B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas. *Tecnología Química*, 38(2), 298-309. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_artext&pid=S2224-61852018000200008
- Chuquicajas, J., & Julca, A. (2021). *Coagulantes naturales como alternativa en la remoción de la turbiedad para el tratamiento de aguas superficiales*. [Título de pregrado, Universidad Cesar Vallejo] UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60614>
- Cuadros, L. (2020). *Evaluación de la remoción de la turbidez del agua del Río Fucha por medio del fruto de la planta Arbustiva Cactus (Opuntia ficus indica) como coagulante natural*. [Título de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia] UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34251>

Artículo científico: Evaluación de la capacidad coagulante de las semillas de *linum usitatissimum*, *Salvia hispánica* y *Moringa oleifera* como coadyuvantes para el tratamiento de agua.

Publicación Semestral. Vol. 3, No. 2, julio-diciembre 2024, Ecuador (p. 44-56)

- Dávila, Y. (2022). *Estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales del mucilago de la cáscara de pitahaya*. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México] UAEMEX. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/136915>
- Di Marco, A., Ixtaina, V. Y., & Tomás, M. C. (2020, del 20 al 22 de noviembre). Microencapsulación de ácidos grasos esenciales del aceite de chía mediante complejación por inclusión [Congreso]. In *XXI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos y XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos-CyTAL@-ALACCTA 2019*, Buenos Aires, Argentina. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/121646>
- Feria, J., Altamiranda, J., & Soto, C. (2020). Uso de semillas de Tamarindus indica como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. *Revista Espacios*, 41(38). <https://www.revistaespacios.com/a20v41n38/a20v41n38p17.pdf>
- Garnica, M., Coria, V., Tranquilino, E., Dasgupta, N., Villacaña, M., Agarwal, V., & Martínez, H. (2021). Ecological Method for the Synthesis, Characterization and Antimicrobial Effect of Silver Nanoparticles Produced and Stabilized with a Mixture of Mucilage/Proteins Extracted from Flaxseed. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 10, 3406-3415. <https://doi.org/10.1007/s10904-021-01968-5>
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253-262. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/881>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 108:2011*. <https://eurofins-agro.com.ec/assets/norma-inen-108-agua-potable.pdf>
- Jácome, E. (2024). *Optimización del proceso de potabilización en la planta de agua potable y saneamiento de "Chinchiloma"*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional] EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25585>
- Jaramillo, C. (2020). *Revisión bibliográfica de la eficiencia de biocoagulantes respecto a los coagulantes sintéticos empleados en el tratamiento de aguas residuales*. [Título de pregrado, Universidad de las Américas] Dspace. <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/12363>
- Khalid, S., Arshad, M., Mahmood, S., Siddique, F., Roobad, U., Nawaz, M., & Lorenzo, José. (2023). Extraction and Quantification of Moringa oleifera Leaf Powder Extracts by HPLC and FTIR. *Food Analytical Methods*, 16(4), 787-797. https://www.researchgate.net/publication/369144819_Extraction_and_Quantification_of_Moringa_oleifera_Leaf_Powder_Extracts_by_HPLC_and_FTIR
- López, M. (2018). *Evaluación de las semillas de Moringa oleifera para la remoción de fluoruros en agua de consumo humano*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional] EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19656?mode=full>
- Méndez, N., Rodríguez, Y., & Rodríguez, D. (2022). Análisis del plátano y banano (Musa paradisiaca L.) como coagulante para el tratamiento de afluentes. *Información tecnológica*, 33(6). https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642022000600125
- Mendoza, I., Lugo, M., & López, P. (2021). Eficiencia de la linaza como coagulante en la clarificación del agua. *MAYA Administración y turismo*, 3(2), 47-65. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8623618>
- Moreira, Ja., & Moreira, C. (2022). Aplicación de coagulantes naturales obtenidos de las semillas de habas (Vicia faba) y durazno (Prunus persica) en la potabilización del agua. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 9(1). https://revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn/article/view/2618
- Moreno, G., Perdomo, I., & Mercado, I. (2020). Evaluación de la eficiencia de los residuos de plantas de sacrificio como coagulante natural. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 8(2). <https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/inovacioning/article/view/3615>

- Noriega, M. (2022). *Determinación de la dosificación óptima de coagulante para el mejoramiento de la calidad del agua potable en la empresa EMCODAZZI E.S.P.* [Tesis de pregrado, Universidad de Pamplona] Unipamplona. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/5505>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2023, 13 de septiembre). *Agua para consumo humano* <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Pérez, W., & Torres, W. (2019). *Optimización de parámetros en la purificación del agua a base de biopolímeros orgánicos de goma de tara (Caesalpinia Spinosa) y moringa (Moringa Oleifera)* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión] Sunedu. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2817404>
- Ramírez, H., & Jaramillo, J. (2016). Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153. https://www.researchgate.net/publication/303795669_Agentes_Naturales_como_Alternativa_para_el_Tratamiento_del_Agua
- Reyes, E. (2020). *Aplicación de polímeros naturales en el tratamiento de aguas ácidas de minas.* [Título de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión] UNJFSC. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/4399>
- Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H. E., Chávez-Moreno, C. K., Macías-Rodríguez, L. I., Zavala-Mendoza, E., Garnica-Romo, M. G., & Chacón-García, L. (2014). Extraction and characterization of mucilage from wild species of O puntia. *Journal of Food Process Engineering*, 37(3), 285-292. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12084>
- Romero, C., Solórzano, R., Abreu, O., Brizuela, L., & Pérez, Z. (2007). Síntesis de un polímero inorgánico de aluminio y su uso para clarificación de agua. *Revista Ingeniería UC*, 14(3), 16-23. <https://www.redalyc.org/pdf/707/70711260003.pdf>
- Sandoval, M., & Laines, J. (2013). Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas. *Ingeniería*, 17(2), 93-101. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46730913001.pdf>
- Treviño, M. (2016). *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.* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma De Nuevo León] UANL. <http://eprints.uanl.mx/13699/>
- Trujillo, D., Duque, L., Arcila, S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista Ión*, 27(1), 60-63. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2014000100003
- Vera, K., & Zambrano, M. (2019). *Evaluación del polvo de moringa (M. Oleifera) para remoción de sólidos suspendidos totales en agua residual del camal municipal de Calceta.* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López] ESPAM. <https://biblioteca.espam.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=11295>
- Villa, D., Osorio, M., & Villacis, N. (2020). Extracción, propiedades y beneficios de los mucílagos. *Dominio de las Ciencias*, 6(2), 503-524. <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1181>

Artículo científico: Evaluación de la capacidad coagulante de las semillas de *linum usitatissimum*, *Salvia hispánica* y *Moringa oleifera* como coadyuvantes para el tratamiento de agua.

Publicación Semestral. Vol. 3, No. 2, julio-diciembre 2024, Ecuador (p. 44-56)