

Remoción de sólidos totales en agua mediante coagulantes naturales: Semillas de Linaza, Chía y Zaragatona

Removal of total solids in water using natural coagulants: Flaxseed, Chia, and Psyllium seeds

Marco Arturo Arciniega-Galaviz¹

Jeovan Alberto Ávila-Díaz²

Pedro Hernández-Sandoval³

DOI:

Fecha de recepción: 26-06-2023 Fecha de aceptación: 19-08-2023

Resumen

Los coagulantes naturales son empleados con éxito en el tratamiento de aguas, pueden sustituir a coagulantes químicos que generalmente son sales ácidas que modifican el potencial de hidrógeno del agua tratada y sus costos son elevados. Se evaluó la efectividad en la remoción de sólidos totales presentes en aguas crudas utilizando coagulantes naturales, elaborados a partir de semillas de Linaza (*Linum usitatissimum*), Chía (*Salvia hispánica*) y Zaragatona (*Plantago psillyum*); y compararlo con coagulantes químicos convencionales como el sulfato de aluminio. Se obtuvieron mucílagos de cada semilla y se emplearon cuatro diferentes concentraciones de cada una de ellas (25 mg, 50 mg, 75 mg y 100 mg) utilizadas en pruebas de jarras; y se emplearon dos diferentes tiempos de agitación (20 y 15 minutos). Con los resultados de turbidez inicial y final, el coagulante de semilla de chía - a una concentración de 75 mg y un tiempo de agitación de 15 minutos - tuvo el porcentaje más alto de 97.2% de remoción de sólidos suspendidos en agua; mientras que el coagulante químico fue de 93.6 % de remoción a una concentración 25 mg. La eficiencia de coagulantes naturales en la eliminación de sólidos totales en agua puede resultar tan eficientes como los químicos convencionales.

Palabras clave: Mucílago, Contaminación, Turbidez, Tratamiento del Agua, Coagulante

Abstract

Natural coagulants have been successfully employed in water treatment, offering an alternative to chemical coagulants that are typically acidic salts, altering the pH of treated water, and incurring high costs. The effectiveness in removing total solids from raw water using natural coagulants derived from Flaxseed (*Linum usitatissimum*), Chia (*Salvia hispánica*), and Psyllium (*Plantago psyllium*) seeds was evaluated and compared with conventional chemical coagulants such as aluminium sulphate. Mucilage was obtained from each seed, and four different concentrations of each (25 mg, 50 mg, 75 mg, and 100 mg) were used in jar tests, with two different agitation times (20 and 15 minutes).

Based on the results of initial and final turbidity, the chia seed coagulant at a concentration of 75 mg and an agitation time of 15 minutes exhibited the highest percentage of 97.2% removal of suspended solids in water, while the chemical coagulant achieved 93.6% removal at a concentration of 25 mg. The efficiency of natural coagulants in removing total solids from water can be as effective as conventional chemical coagulants.

Keywords: Mucilage, contamination, turbidity, water treatment, coagulant.

1. Doctor en Desarrollo Sustentable de Recursos Naturales, Profesor de Carrera de Tiempo Completo del programa Educativo de Ingeniería Ambiental Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Occidente. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8532-7130>. Email: marco.arciniega@uadeo.mx
2. Doctor en Sustentabilidad, Profesor de Carrera de Tiempo Completo Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Occidente Unidad Regional Los Mochis. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7692-4547>. Email: jeovan.avila@uadeo.mx
3. Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias, Profesor de Tiempo Completo (Cat-B), Departamento Académico de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad Autónoma de Occidente. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7005-4555>. Email: pedro.hernandez@uadeo.mx

1. Introducción

En el camino a la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible, el número 6 (Agua Limpia y Saneamiento) tiene dentro de sus metas aumentar la calidad de agua eliminando contaminantes de los afluentes industriales, además de que las aguas residuales reduzcan sus productos químicos y peligrosos al ser tratadas y reutilizadas (Naciones Unidas 2020), es por eso importante disminuir sustancias químicas para el tratamiento de las aguas crudas o residuales y cambiar a procesos en los cuales se empleen sustancias naturales como coagulantes elaborados de semillas y de bajo costo. Para lograr los objetivos de desarrollo sostenible debemos involucrarnos todos, desde lo social, político o cultural a través de la educación y un enfoque de gobernanza ambiental (Domínguez *et al*, 2023). El cambio climático afecta a los ecosistemas provocando cambios en la temperatura en algunas partes de la tierra provocando sequías, escasez del agua e inundaciones (Velázquez, 2021). Los estudiantes mexicanos consideran que el agua es indispensable para que se lleve a cabo la vida y están conscientes que cada vez es más difícil obtenerla por lo que no se satisfacen totalmente las necesidades humanas (Valbuena, 2022). Existen sustancias naturales que actualmente son manejadas como un residuo y son dispuestos en rellenos sanitarios de manera definitiva, algunas de estas sustancias pueden ser aprovechadas para dis-

minuir la presencia de contaminantes como sólidos que dan turbidez, materia orgánica o metales pesados o sólidos (Arciniega, 2023).

El sulfato de aluminio es un coagulante químico muy empleado en plantas potabilizadoras de agua, tienen un costo alto en el mercado y dañan de manera importante el potencial de hidrógeno del agua tratada, estudios han concluido que residuos de aluminio que permanece después del tratamiento, pudieran dañar la salud de la sociedad ya que cantidades elevadas del sulfato pudieran provocar Alzheimer (Choque, 2018).

Tarón *et al* (2017), evaluaron el uso de la semilla de la Lluvia de Oro (*Cassia fistula*) como coagulante natural para eliminar contaminantes en aguas residuales domiciliarias, se logró remover el 68.15% de turbidez por lo que se demuestra que eficiente y puede sustituir a coagulantes químicos.

Por otro lado, Sierra *et al* (2019) evaluaron la eficacia de la médula de banano como coagulante para eliminar sólidos presentes en agua y se comparó con el sulfato de aluminio. Los resultados demuestran que se elimina la turbidez inicial en un 67.57%. Así mismo, Cabrera *et al* (2017) probaron las propiedades coagulantes del bejuco (*Ipomea incarnata*) en la reducción de sólidos presentes en agua residual provenientes de las industrias, los resultados muestran que se reduce la turbidez en un 99.18 %. Además, Córdova (2019) con la tesis titulada “Appli-

cación de sulfato de aluminio y tuna (*Opuntia ficus-indica*) para la remoción de materia orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal municipal Tumán” con la finalidad de estudiar la aplicación de sulfato de aluminio y tuna (*Opuntia ficus-indica*) en la clarificación de aguas residuales. Se empleó la prueba de jarras dando como resultado la remoción de turbidez de 53.84% hasta 77%.

Por lo tanto, el objetivo general de la investigación fue evaluar por medio de pruebas de jarras la eficiencia de los coagulantes naturales elaborados a partir de semillas de la planta de lino (*L. usitatissimum*), semillas de chíá (*S. hispánica*) y semillas de zaragatona (*P. plantago*) en la remoción de sólidos totales presentes en aguas crudas.

Para separar los sólidos totales presentes en el agua se utiliza el proceso de tratamiento llamado coagulación y floculación. Los coagulantes químicos más usados son $Al_2(SO_4)_3$, $Fe_2(SO_4)_3$, $Fe(SO_4)$ y $FeCl_3$, sales ácidas que disminuyen el potencial de hidrógeno del agua (Cogollo, 2010). El proceso de coagulación-floculación sucede cuando los sólidos muy pequeños presentes en el agua se unen para formar pequeñas masas llamadas floculos. Este tratamiento se da para agua que tenga partículas tan pequeñas que tardan mucho tiempo en precipitar por efecto de la gravedad (Huerta, 2022).

Esta investigación se basa principalmente en el uso de coagulantes naturales para la remo-

ción de sólidos y para el tratamiento de aguas crudas. El empleo de materiales naturales puede sustituir a los coagulantes químicos, si esto llegara a tener resultados exitosos sería un cambio beneficioso para el medio ambiente. (Arias & Méndez, 2014)

La semilla de linaza como coagulante natural resulta ser muy beneficiosa para la remoción de sólidos totales en aguas ya que sus propiedades permiten la eliminación de materias existentes en el agua, esta semilla desprende mucílago en abundancia al ser mezclada con cierta cantidad de agua cumpliendo con el objetivo del porque su aplicación en este proyecto (Mendoza *et al*, 2021).

La chíá funciona como excelente coagulante por la cantidad excesiva de mucílago que producen mediante un proceso de agitación con agua, dicho mucílago es utilizado para remover la turbidez o sólidos totales en las aguas crudas como bien lo marca el objetivo del proyecto. El mucílago de la semilla de chíá cuenta con propiedades que le permiten retener agua y emulsificar. El contenido de mucílago en semillas es de 3.5% y la composición del mucílago es: humedad 9.37%, proteína 29%, fibra bruta 11.42%, aceite 3.83%, cenizas 10.27% y 56.24% de extracto libre de nitrógeno. (Xingú *et al*, 2017).

Las semillas de zaragatona se emplean como laxante por la glucosa y el mucílago (Fitoterapia, 2003). De acuerdo con Bravo (2017), polímero natural útil como floculante para eli-

minar contaminantes de aguas residuales industriales textiles y las que manejan las pieles de animales.

Existen estudios en los que se ha evaluado la efectividad de eliminación de sólidos presentes en agua empleado mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*), linaza (*Linum usitatissimum*), sábila (*Aloe vera*) y de acuerdo a Orifici *et al* (2016), la semilla de chía también produce mucílago y de igual manera la semilla de zaragatona (*Plantago afra*), (Villa *et al*, 2020).es.

Tabla 1

Variables para los experimentos

Coagulantes	Cantidad de coagulante	Tiempo de Coagulación-Floculación
$Al_2(SO_4)_3$	25 mg	- 5 minutos de coagulación-15 minutos de floculación
Linaza	50 mg	
Chía	75 mg	- 1 minutos de coagulación-20 minutos de floculación
Zaragatona	100 mg	

Se evaluaron tres semillas naturales (Linaza, Chía y Zaragatona) en la remoción de sólidos presentes en agua y se comparó con la cantidad removida por un coagulante químico convencional como es el Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$).

a. Obtención del mucílago de las semillas

Se compraron en un centro comercial las semillas de Linaza, Chía y Zaragatona, el sulfato de aluminio grado reactivo se obtuvo del laboratorio.

2. Materiales y Métodos

La investigación fue de tipo experimental la cual se desarrolló en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad Autónoma de Occidente unidad regional Los Mochis, con un enfoque cuantitativo en el cual se diseñaron experimentos con un arreglo factorial de 4x4x2 donde las variables fueron cuatro cantidades diferentes de cuatro distintos coagulantes y con dos diferentes tiempos de coagulación–floculación (tabla 1). En total se realizaron 32 experimentos.

- Para la preparación de los mucílago se pesaron diez gramos de cada una de las semillas colocándose en un vaso de precipitado de 250 ml y se le agregó 100 mililitros de agua destilada.
- Se calentó el agua con la semilla en una plancha termoagitadora por media hora a 60°C, se monitoreó la temperatura para mantenerla constante, la agitación se realizó a 200 revoluciones por minuto (rpm).

- Posteriormente, se dejó en reposo en refrigeración a 4°C por 24 horas para la formación del mucílago.
- Pasado ese tiempo, por decantación se separó el mucílago del agua evitando eliminar la mayor cantidad de agua.
- El mucílago recuperado se puso a secar en una estufa a 60°C por 24 horas para obtenerlo en estado sólido y finalmente se pulverizó. De esta manera quedó lista para las pruebas de jarras.

b. Prueba de jarras

Se tomó una muestra puntual de agua cruda de un canal que la conduce hacia la planta potabilizadora de la ciudad de Los Mochis. Se analizó la turbidez por medio de un turbidímetro portátil marca Hanna Instruments. La turbidez inicial de la muestra de agua fue de 15.33 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT).

En la prueba de jarras, para cada experimento, se tomaron 500 mililitros de la muestra de agua a la cual se le agregaron los miligramos de mucílago según correspondía. Se empleó una

plancha termoagitadora para la agitación durante las pruebas de jarras, se realizó una agitación rápida al inicio para el proceso de coagulación y posteriormente una agitación lenta para el proceso de floculación, se evaluaron dos distintos tiempos para este proceso. Después de los tiempos del proceso de coagulación y floculación, se tomó una muestra para determinar la turbidez final después del tratamiento. Se construyó una base de datos con los resultados obtenidos de turbidez y de los porcentajes de remoción para cada uno de los experimentos (Tabla 2). Con la base de datos se construyeron gráficas para observar el comportamiento de las distintas semillas naturales en la remoción de los sólidos presentes en el agua.

3. Resultados y Discusión

Los resultados de las mediciones de turbidez después de los experimentos y los porcentajes de remoción de acuerdo a la turbidez inicial y final en cada experimento son presentados en este apartado. Primeramente, se muestra la turbidez al emplear diferentes cantidades del coagulante químico de sulfato de aluminio (tabla 2).

Tabla 2

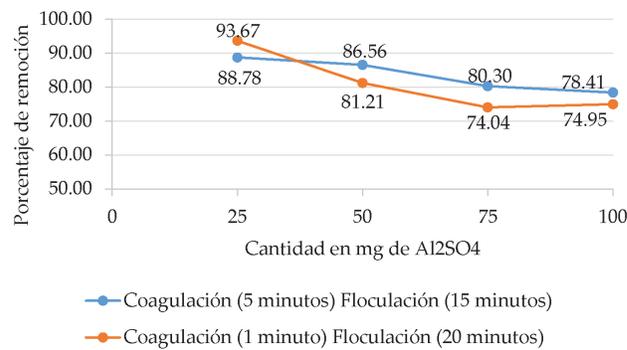
Resultados de turbidez a diferentes tiempos de coagulación-floculación y distintas cantidades de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$

Cantidad de $Al_2(SO_4)_3$	$Al_2(SO_4)_3$	
	Coagulación (5 min) – Floculación (15 min)	Coagulación (1 min) – Floculación 20 min)
25mg	1.72	0.97
50 mg	2.06	2.88
75 mg	3.02	3.98
100 mg	3.31	3.84

La turbidez inicial de cada una de las muestras de agua fue de 15.33 UNT, y al emplear el coagulante químico convencional de 25 miligramos de $Al_2(SO_4)_3$ y tiempos de coagulación de 1 minuto y 20 de floculación se obtuvieron 0.97 unidades nefelométricas de turbidez, siendo este tratamiento con el mayor porcentaje de remoción de 93.67% (figura 1). A mayor cantidad de sulfato de aluminio, la eliminación de turbidez es menor y en tres de los tratamientos el uso de un tiempo mayor de coagulación y menor de floculación la cantidad de turbidez fue mayor.

Figura 1

Porcentaje de remoción empleando distintas cantidades de sulfato de aluminio y diferentes tiempos de coagulación-floculación



De acuerdo con el análisis de varianza de un factor (tabla 3), se acepta la hipótesis nula, por lo que no influyen los tiempos del proceso de coagulación-floculación en los porcentajes de remoción empleando al sulfato de aluminio.

Tabla 3

Análisis de varianza – influencia del tiempo de coagulación-floculación

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	12.944	1	12.9441	0.2433	0.6393	5.9873
Dentro de los grupos	319.117	6	53.1862			
Total	332.061	7				

De la misma manera, de acuerdo con los resultados del análisis de varianza de un factor (tabla 4), se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, las distintas cantidades (25, 50, 75 y 100) en miligramos de sulfato de aluminio si influyen en los porcentajes de remoción de los sólidos totales.

Tabla 4*Análisis de varianza – influencia de la cantidad de sulfato de aluminio*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	280.2042	3	93.4014	7.2044	0.04327	6.5913
Dentro de los grupos	51.8576	4	12.9644			
Total	332.0618	7				

Al emplear el mucílago extraído de la semilla de linaza para la eliminación de la turbidez los resultados se muestran en la tabla 5, a diferentes cantidades de linaza y distintos tiempos de coagulación-floculación.

Tabla 5*Resultados de turbidez a diferentes tiempos de Coagulación-Floculación y distintas cantidades de linaza*

Cantidad de Linaza	Linaza	
	Coagulación (5 min) – Floculación (15 min)	Coagulación (1 min) – Floculación 20 min)
25 mg	4.22	4.15
50 mg	2.92	3.22
75 mg	2.85	1.71
100 mg	3.54	1.76

Con la semilla de linaza, la mayor cantidad de turbidez eliminada se presentó con las mayores concentraciones de este coagulante natural, principalmente cuando se empleó un tiempo de 1 minuto de coagulación y 20 minutos de floculación, el mayor porcentaje de remoción de 88.85 % (figura 2) para una cantidad de 75 miligramos de linaza. Al emplear tiempos de floculación mayores (20 minutos)

permite que los sólidos en el agua se unan entre ellos para formar flóculos o partículas más grandes que precipitan en menor tiempo.

De acuerdo con el análisis de varianza de un factor, para el caso de linaza, se acepta la hipótesis nula por lo tanto no influyen los tiempos del proceso de coagulación-floculación en los porcentajes de remoción de los sólidos totales en el agua (tabla 6).

Figura 2

Porcentaje de remoción empleando distintas cantidades de linaza y diferentes tiempos de coagulación-floculación

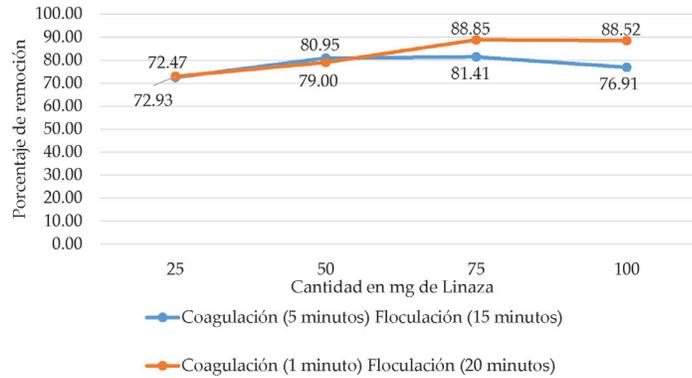


Tabla 6

Análisis de varianza – influencia del tiempo de proceso coagulación-floculación para linaza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	38.4884	1	38.4884	0.9939	0.3572	5.9873
Dentro de los grupos	232.3263	6	38.7210			
Total	270.8147	7				

Se acepta la hipótesis nula por lo tanto las distintas cantidades (25, 50, 75 y 100) en miligramos de linaza si influyen en los porcentajes de remoción de los sólidos totales presentes en el agua (tabla 7). Por lo tanto, al existir una mayor cantidad de mucílago (coagulante natural) propician la unión de partículas de suelo en floculos, los cuales precipitan de una manera más rápida, logrando la eliminación de sólidos que provocan la turbidez en el agua.

Al emplear el mucílago extraído de la semilla

de chíá para la eliminación de la turbidez los resultados se muestran en la tabla 4, a diferentes cantidades de chíá y distintos tiempos de coagulación-floculación (tabla 8).

Se puede observar que a mayores cantidades de chíá empleada los niveles de turbidez disminuyen teniendo un porcentaje de remoción del 98.66% (figura 3), el cual fue el mayor empleando una cantidad de 100 miligramos de mucílago de chíá y usando un tiempo de coagulación de 5 minutos y 15 minutos de flocu-

Tabla 7

Análisis de varianza – influencia de la cantidad de miligramos de linaza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	173.7354	3	57.9118	2.3861	0.2098	6.5913
Dentro de los grupos	97.0793	4	24.26			
Total	270.8147	7				

Tabla 8

Resultados de turbidez a diferentes tiempos de Coagulación-Floculación y distintas cantidades de Chía

Cantidad de Chía (mg)	Chía	
	Coagulación (5 min) – Floculación (15 min)	Coagulación (1 min) – Floculación 20 min)
25 mg	3.125	2.89
50 mg	1.44	2.01
75 mg	0.415	1.174
100 mg	0.205	0.267

lación. Al igual que el mucílago de linaza, el porcentaje de remoción de turbidez fue mayor al ser más grande la cantidad de mucílago empleado ya que el proceso de coagulación neutraliza los sólidos suspendidos cargados en el agua permitiendo con mayor facilidad la unión de las partículas para formar los flóculos.

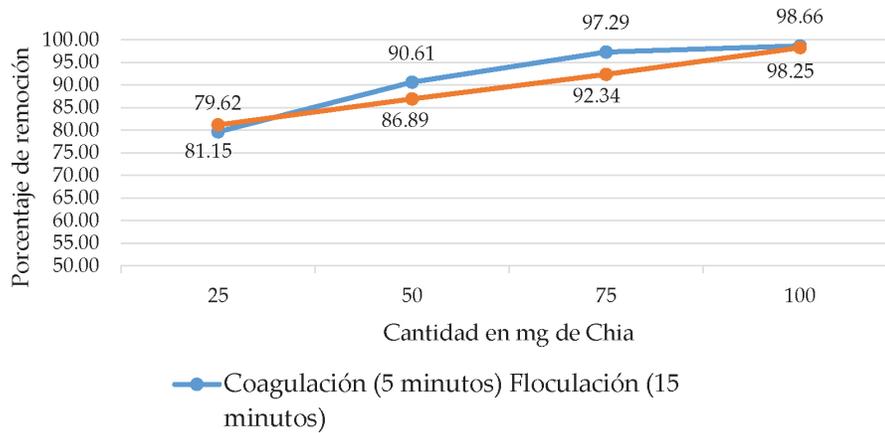
De acuerdo con el análisis de varianza de un factor, para el caso de chía, se acepta la hipótesis nula por lo tanto no influyen los tiempos del proceso de coagulación-floculación en los

porcentajes de remoción de los sólidos totales en el agua (tabla 9). Los resultados obtenidos fueron muy semejantes al momento de utilizar tiempos de coagulación (1 y 5 minutos) y floculación 15 y 20 minutos).

De la misma manera, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, las distintas cantidades (25, 50, 75 y 100) en miligramos de chía si influyen en los porcentajes de moción de los sólidos totales (tabla 10).

Figura 3

Porcentaje de remoción empleando distintas cantidades de chíá y diferentes tiempos de coagulación-floculación

**Tabla 9**

Análisis de varianza – influencia de los tiempos del proceso de coagulación-floculación para chíá

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	7.1079	1	7.1079	0.1098	0.7515	5.9873
Dentro de los grupos	388.1603	6	64.6933			
Total	395.2682	7				

Al emplear el mucílago extraído de la semilla de zaragatona para la eliminación de la turbidez los resultados se muestran en la tabla 5, a diferentes cantidades de zaragatona y distintos tiempos de coagulación-floculación (tabla 11).

La mayor cantidad de turbidez eliminada empleando el coagulante de zaragatona utilizando una cantidad de 50 miligramos, pasando de una turbidez inicial de 15.33 UNT a 1.89 UNT, esto representa el 87.67% (figura 4) de remoción de

sólidos totales presente en el agua.

De acuerdo con el análisis de varianza de un factor, para el caso de zaragatona, se acepta la hipótesis nula por lo tanto no influyen los tiempos del proceso de coagulación-floculación en los porcentajes de remoción de los sólidos totales en el agua (figura 12). Al igual que el mucílago de chíá, no se tuvieron diferencias significativas en los porcentajes de remoción de sólidos al utilizar diferentes tiempos en los procesos de coagulación –floculación.

Se acepta la hipótesis nula por lo tanto no influye la cantidad en miligramos de la zaragatona como coagulante en el porcentaje de remoción de los sólidos totales en el agua (tabla 13).

Tabla 10

Análisis de varianza – influencia de las distintas cantidades de chía

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	374.8424	3	124.9474	24.4685	0.0049	6.5913
Dentro de los grupos	20.4258	4	5.1064			
Total	395.2682	7				

Tabla 11

Resultados de turbidez a diferentes tiempos de Coagulación-Floculación y distintas cantidades de zaragatona

Cantidad de zaragatona (mg)	Zaragatona	
	Coagulación (5 min) – Floculación (15 min)	Coagulación (1 min) – Floculación 20 min)
25 mg	3.39	2.81
50 mg	3.74	1.89
75 mg	3.27	3.55
100 mg	4.02	2.42

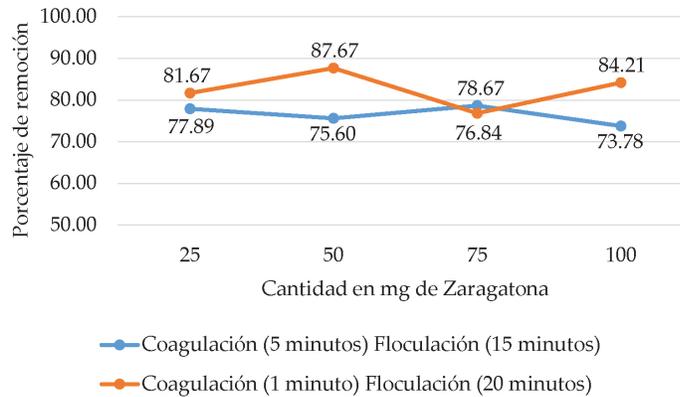
Al evaluar los tres coagulantes naturales y el químico, se comprueba que los naturales pueden disminuir la turbidez a niveles superiores que los convencionales como el sulfato de aluminio, en esta investigación el coagulante de chía eliminó hasta el 98.66% de turbidez siendo un poco más elevado que del sulfato de aluminio que fue de 93.67%. Los otros dos coagulantes

naturales también eliminaron la turbidez en una cantidad importante, la linaza en un 88.85% y la zaragatona en un 87.67%. Esto da pie a seguir investigando otras variables experimentales que mejoren los porcentajes de remoción de los sólidos totales presentes en agua.

En investigación realizada por Minaya y Roy (2018) al utilizar linaza como coagulante ob-

Figura 4

Porcentaje de remoción empleando distintas cantidades de zaragatona y diferentes tiempos de coagulación-floculación

**Tabla 12**

Análisis de varianza – influencia de los tiempos del proceso de coagulación-floculación para zaragatona

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	74.7976	1	74.7976	5.8148	0.0524	5.9871
Dentro de los grupos	77.1789	6	12.8631			
Total	151.9767	7				

tuvieron un nivel de remoción de turbidez de 97.3% en unas aguas residuales proveniente de una empresa avícola empleando una dosis de 5 g diluida en 100 ml de agua destilada. Vázquez (2019) en su investigación lograron remover la turbidez de un agua residual provenientes de un mercado en un porcentaje de 87.3% empleando una concentración de 0.5 gr/litro de linaza. Mendoza *et al* (2021), obtuvieron como resultado una remoción de sólidos al eliminar

la turbidez en un 99.3%, esto en un agua de red de distribución de una ciudad, para esto se utilizó una concentración de 30 mg/L de linaza. Arcos *et al* (2019), estudiaron a la chía como un coagulante natural al eliminar sólidos de un agua cruda, logró reducir la turbidez hasta en un 98.7% empleando una concentración de 20 ppm de chía. Se puede observar que los porcentajes de remoción por parte de los autores anteriormente citados son congruentes con

Tabla 13*Análisis de varianza – influencia de cantidad de zaragatona*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	15.8690	3	5.2896	0.1554	0.9209	6.5913
Dentro de los grupos	136.1076	4	34.0269			
Total	151.9766	7				

los obtenidos en esta investigación que fue de 97.2% empleando una cantidad de 25 miligramos de chía.

En esta investigación se evaluó cómo influía utilizar cantidades de coagulantes diferentes (25, 50, 75 y 100 miligramos) y dos distintos tiempos de coagulación (1 y 5 minutos) y de floculación (15 y 20 minutos), los resultados obtenidos no varían de manera significativa en la remoción de la turbidez, en los experimentos donde se varió la cantidad de chía y de sulfato de aluminio, si influyó el hecho de utilizar distintas cantidades de coagulante en los porcentajes de remoción.

4. Conclusiones

Los coagulantes naturales obtenidos de los mucílago de semillas como linaza, chía y zaragatona pueden eliminar sólidos totales de agua reduciendo la turbidez a un porcentaje igual o mayor a coagulantes químicos como el sulfato de aluminio. Los porcentajes de remoción obtenidos coinciden con los de otros autores,

aun cuando el agua tratada por los coagulantes naturales fuera residual de industrias, agua potable o agua cruda como fue en este caso. La remoción de turbidez es factible de realizarse en plantas de tratamiento de agua, ya que existen distintos coagulantes naturales disponibles, esto aminora los costos de operación.

Es importante continuar con tratamientos donde se puedan evaluar variables como pH, temperatura, velocidades de agitación y otros coagulantes naturales que sustituyan a químicos que pueden dejar residuos en las aguas tratadas o cambiar el pH en los cuerpos de agua donde son arrojadas.

5. Referencias

- Arciniega-Galaviz, M. (2023). Remoción de cobre en agua sintética utilizando pectina de cascara de naranja (*Citrus sinensis*). *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 3(1), 45–54. <https://doi.org/10.5154/r.rchsagt.2023.03.04>
- Arcos, S.; Jeddy, F.; Huaman, S. & Andre, J. (2019). *Evaluación de la concentración de la semilla de Cassia fistula como coagulante natural y el tiempo de agitación, en el tratamiento de aguas para la potabilización en la unidad minera poderosa – Huancavelica*. [tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú] Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú. <https://tinyurl.com/28utuh53>.
- Arias, D. & Méndez, E. (2014). Remoción de sólidos en aguas residuales de la industria de pescado. *Tecnología de ciencias del agua*. V (3), 115-123. <https://shorturl.at/kISX0>
- Bravo-Gallardo, M. (2017). 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. Facultad de Ciencias y Educación. Proyecto Curricular de Licenciatura en Química*. <https://shorturl.at/fgA14>
- Cabrera, N.; Hernández, A.; Simancas E.; Ayala, J. & Almanza, K. (2017). Coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* en el tratamiento de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. *Scientia et Technica*, 22(1), 109-112. <https://shorturl.at/fGKPY>
- Choque, D.; Choque, Y.; Solano, A. & Ramo, B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química* 38(2), 348-361. <https://shorturl.at/biqU5>
- Cogollo-Flores J. (2010). Water clarification using polymerized coagulants: aluminum hydroxychloride case. *Dyna*, 78(165), 18-27. <https://shorturl.at/qrFPY>
- Córdova, M. (2019). *Aplicación de sulfato de aluminio y tuna (Opuntia ficus-indica) para la remoción de materia orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal municipal Tumán 2018*. [tesis de licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://shorturl.at/tvzP1>
- Domínguez, D.; Martínez, M. & Alvarado, M. (2023). Implementación de estrategias para un desarrollo sustentable en México: una reflexión social, política y cultural. *Revista Investigium IRE: Ciencias Sociales y Humanas*, XIV (1), 63-72. doi: <https://doi.org/10.15658/INVESTIGIUMIRE.231401.06>
- Fitoterapia (2003). FN/2003/PAF/015 Zaragatona, semilla de. *Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios*. <https://shorturl.at/duFGT>
- Huerta-Calleja, K. (2022). Coagulante y Floculante en el Tratamiento de Agua. *Contyquim*. <https://shorturl.at/bdiBN>

- 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://shorturl.at/efGQU>.
- Minaya, L. & Roy, K. (2019). *Eficacia de los coagulantes *Linum usitatissimum* y *Salvia hispanica* en la remoción de sedimentos de las aguas residuales de la avícola San Fernando S. A. C. para el uso de riego categoría*. [tesis de licenciatura, Universidad Cesar Vallejo] Repositorio Universidad Cesar Vallejo. <https://tinyurl.com/27g2lxrh>.
- Naciones Unidas (2020). *17 objetivos para transformar nuestro mundo*. Consultado el 17 de julio de 2023. <https://shorturl.at/bjmX3>
- Orifici, S.; Capitani, M.; Tomás, M. & Nolasco, S. (2018). Optimization of mucilage extraction from chia seeds (*Salvia hispanica* L.) using response surface methodology. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(12), 4495-4500. <https://shorturl.at/uvABO>
- Sierra, A.; Navarro, A.; Mercado, I.; Flórez, A. & Jurado, M. (2019). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante. *Revista UIS Ingenierías*, 18 (4), 131-138. <https://shorturl.at/cqST6>
- Tarón, A.; Guzmán, L. & Barros, I. (2017). Evaluación de la *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. *Orinoquia*, 21, (1), 73-78. <https://shorturl.at/IACUY>
- Valbuena –Nuñez, C. (2022). La convivencia escolar y la calidad educativa en educación primaria. *Revista Electrónica en Educación y Pedagogía*, 6(10), 124-140. doi: <https://doi.org/10.15658/rev.electron.educ.pedagog21.11050908>
- Velázquez-Cigarroa, E. (2021). *Sociedad, permacultura y agricultura sustentable Hacia una educación y cultura ambiental*. Universidad Autónoma Chapingo 2021. Primera edición, mayo 2021. ISBN: 978-607-12-0596-4
- Vázquez-Silva, F. (2019). *Uso de tara (*Caesalpinia spinosa*) en comparación con linaza (*Linum usitatissimum*) como coagulantes para el tratamiento de efluentes provenientes de avícolas del mercado Puente Piedra*. [tesis de licenciatura, Universidad Cesar Vallejo] Repositorio Universidad Cesar Vallejo. <https://tinyurl.com/27g2lxrh>.
- Villa, D.; Osorio, M. & Villacis, N. (2020). Extracción, propiedades y beneficios de los mucílagos. *Ciencias técnicas y aplicadas*, 6(2), 503-524. <https://shorturl.at/ktFK4>.
- Xingú, A.; González, A.; de la Cruz, E.; Sangerman, D.; Orozco de Rosas, G. & Arriaga, M. (2017). Chía (*Salvia hispanica* L.), situación actual y tendencias futuras. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1619-163. <https://shorturl.at/fKWY0>