

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Eficiencia de semillas de *Quararibea cordata* para eliminar
turbidez del agua residual doméstica**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Deciderio Campos Ramírez

Asesor:

Mtro. Carmelino Almestar Villegas

Tarapoto, febrero de 2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo (Carmelino Almestar Villegas), docente de la Facultad de Ingeniería y arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **Eficiencia de semillas de Quararibea cordata para eliminar turbidez del agua residual doméstica** del autor Deciderio Campos Ramírez tiene un índice de similitud de 19% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Tarapoto, a los 18 días del mes de febrero del año 2025



Carmelino Almestar Villegas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En San Martín, Tarapoto, Morales, a 13 día(s) del mes de Febrero del año 2025 siendo las 09:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mg. Betsabeth Teresa Padilla Macedo el (la) secretario(a): Mtro. Andres Erick Gonzales Lopez y los demás miembros: Mtra. Ericka Nayda Derales Dominguez y Dr. Victor Hugo Muñoz Delgado y el (la) asesor(a) Mtro. Carmelino Almaraz Villegas

..... con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Eficiencia de semillas de Guararibeá cordata para eliminar turbidez del agua residual doméstica.

..... del(los) bachiller(es): a) Decaderio Campos Ramirez

b)

c)

..... conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller-(a): Decaderio Campos Ramirez

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>APROBADO</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>BUENO</u>	<u>MUY BUENO</u>

Bachiller -(b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller -(c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a

Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Bachiller (a)

Bachiller (b)

Bachiller (c)

INDICE

Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
Materiales y métodos	8
Diseño Metodológico	8
Diseño muestral	8
Población	9
Muestra	9
Procedimiento	9
<i>Tabla 1.</i>	10
Obtención del coagulante	10
Recolección	11
Pesado	11
Lavado	11
Secado	11
Pesado	11
Molienda	11
Tamizado	11
Coagulante	11
Determinación de la eficiencia del tratamiento	11
Resultados	12
Características de las aguas residuales	12
Tabla 2. Turbidez (UNT) del agua residual después del tratamiento.....	12
Tabla 3. índice de Willcomb del agua residual después del tratamiento	13
Análisis de varianza de turbidez	13
Tabla 4. Anova de la turbidez.....	13
Tabla 5. Prueba Tukey del porcentaje de eliminación de ARD	13
Discusión	14
Conclusión	15
Agradecimientos	16
Referencias	16

Eficiencia de semillas de *Quararibea cordata* para eliminar turbidez del agua residual doméstica

Resumen

El estudio se centró en determinar la eficacia del polvo de semillas de zapote (*Quararibea cordata*) para reducir la turbidez de las aguas residuales domésticas. El grado de coagulación fue de 500, 1000 y 1500 mg/L con un aumento rápido de 100 rpm en un minuto, y un aumento lento de 30 rpm en 10 minutos y un tiempo de estabilización de 10 minutos. El volumen de cada vaso fue de 1 litro. Se observó un pH más bajo de 7.46 en el caso del coagulante de sulfato de aluminio (10 mg/L) debido a la naturaleza ácida del coagulante. El floculante orgánico de los gránulos de zapote tuvo un pH ligeramente más bajo que el del agua sin tratar. Los resultados mostraron que el sulfato de aluminio (10 mg/L) fue más efectivo para reducir la turbidez, con un valor de 61.33. Esto se debe al rango de pH óptimo de 4.5 y 9.0, del sulfato de aluminio que elimina eficazmente la turbidez. Sin embargo, la turbidez de la solución aumenta con cada dosificación de coagulantes orgánicos, ya que los gránulos de zapote incluyen partículas orgánicas que sirven como coagulantes. Se descubrió que el valor p para la dosis de coagulante natural era 0.000; esto indica que los tratamientos son distintos entre sí. Los coagulantes naturales presentes en el polvo de semilla de zapote proporcionan una alternativa sostenible para eliminar sólidos suspendidos de efluentes domésticos.

Palabras clave: Coagulantes naturales, sólidos suspendidos, turbidez.

Abstract

The study focused on determining the efficacy of zapote seed dust (*Quararibea Cordata*) to reduce the turbidity of domestic wastewater. The degree of coagulation was 500, 1000 and 1500 mg/l with a rapid increase of 100 rpm in a minute, and a slow increase of 30 rpm in 10 minutes and a stabilization time of 10 minutes. The volume of each glass was 1 liter. A pH lower than 7.46 was observed in the case of aluminum sulfate coagulant (10 mg/l) due to the acidic nature of the coagulant. The organic flocculant of the Zapote granules had a slightly lower pH than that of without treating water. The results showed that aluminum sulfate (10 mg/l) was more effective to reduce turbidity, with a value of 61.33. This is due to the optimal pH range of 4.5 and 9.0, of aluminum sulfate that effectively eliminates turbidity. However, the turbidity of the solution increases with each dosage of organic coagulants, since Zapote granules include organic particles that serve as coagulants. It was discovered that the P value for the natural coagulant dose was 0.000; This indicates that treatments are different from each other. Natural coagulants present in the zapote seed dust provide a sustainable alternative to eliminate suspended solids from domestic effluents.

Keywords: Natural coagulants, suspended solids, Turbidity.

Introducción

La principal preocupación de los gestores públicos y de la ciencia se centra en la degradación ambiental, especialmente la contaminación ambiental debido a los peligros derivados de efluentes generados en el hogar. Actualmente, la calidad del agua es un gran problema, y estas aguas, que no han sido tratadas, ofrecen serias preocupaciones al respecto (ONU, 2021).

La mayoría de los países industrializados son capaces de purificar alrededor del 70% del agua que circula por sus ciudades y otras regiones metropolitanas. Las tasas de tratamiento de aguas residuales en los países con ingresos bajos disminuyeron al 28%, mientras que en los países de ingresos medianos altos dichas tasas disminuyeron al 38%. Dado que sólo el 8% de las aguas residuales se tratan ambientalmente, el problema es mucho peor en los países de bajos ingresos. (Guy, 2017), Por lo tanto, sin tratamiento, entre el 80 y el 90% de los efluentes se descargan a ríos o lagunas (Hernández et al., 2015).

Para la mayoría de los municipios, el manejo de los efluentes es un desafío, principalmente debido a una infraestructura inadecuada de tratamiento de agua. Esta situación crea un problema ambiental que tiene un impacto significativo en los cuerpos de agua, provocando la degradación de la vida acuática (Rodríguez, 2017).

A nivel nacional, la cantidad de agua potable sin tratar disminuyó un 38.7% respecto a 2008 (INEI, 2017). Estas aguas exhiben elevados niveles de turbidez, microorganismos patógenos, minerales y materia orgánica (Osorio-Rivera et al, 2021).

La turbidez, es un indicador indirecto de la cantidad de partículas suspendidas. La turbidez es causada por una combinación de factores, entre ellos materiales en suspensión, organismos y partículas del suelo, como limo, arena, arcilla y plancton (Marín & Arriojas, 2020). Es un indicador de salud muy importante ya que da una idea aproximada de la cantidad de sustancias suspendidas, orgánicas e inorgánicas, y pueden actuar como una alerta de la presencia de contaminación (Martínez et al., 2019).

Además, para eliminar la turbidez, el color y los sólidos suspendidos en los efluentes, se necesita someterlas a una serie de etapas convencionales. En este proceso, las fases de coagulación y floculación resultan ser cruciales y eficaces (Pardede et al., 2018). El proceso de coagulación implica la inestabilidad química de los átomos coloidales al

neutralizar las fuerzas que mantienen su separación mediante la introducción de agentes químicos coagulantes (Huamán et al., 2020).

Utilizar coagulantes sintéticos tiene algunas desventajas cuando se utilizan en el proceso de coagulación. Estas desventajas incluyen efectos secundarios como estreñimiento y trastornos digestivos. Además, se encontró una asociación con el Alzheimer, en la que se observaron niveles medios de aluminio acumulado en el cerebro (Cañari & Leon, 2022).

Los coagulantes de origen natural están adquiriendo reconocimiento gracias a sus diversos beneficios, ya que abordan las preocupaciones vinculadas al empleo de coagulantes químicos (Hariz et al., 2018).

Los problemas con la reducción de contaminantes de los efluentes en la localidad de Calzada han llevado a los investigadores a buscar coagulantes verdes elaborados a partir de ingredientes naturales. El objetivo es identificar alternativas que no sólo sean sostenibles sino que también funcionen mejor que los coagulantes sintéticos. Este estudio se enfoca en evaluar la capacidad de las semillas de zapote (*Quararibea cordata*) para reducir la turbidez de los efluentes domésticos de la ciudad de Calzada.

Materiales y métodos

Diseño Metodológico

Este estudio se basa en el diseño experimental, el cual se caracteriza porque las mediciones tienen un mayor grado de control y se manipula intencionalmente una variable para conocer su efecto en la variable dependiente. Ese es el enfoque, según (Hernández & Fernández, 2014) permite analizar la relación causa-efecto entre las variables de estudio.

El estudio tiene una perspectiva descriptiva, utilizando métodos científicos, enfocándose en observar y describir la efectividad del sistema. El propósito de este método es evaluar la relación entre dos o más conceptos. En la investigación cuantitativa, el objetivo es recopilar conocimientos básicos y seleccionar un modelo apropiado que facilite la comprensión de la realidad. Este logro se logra a través del análisis de datos que toma en cuenta conceptos y variables relacionadas con el tema de investigación (Hernández & Fernandez, 2014).

Diseño muestral

El ensayo se llevó a cabo en el laboratorio de la Universidad Peruana Unión – Sede Tarapoto, ubicada en el distrito de Morales, provincia y departamento de San Martín, Perú. La muestra estuvo conformada por

12 litros de efluentes de un sistema de lagunaje en la localidad de Calzada. La muestra se tomó de acuerdo al protocolo nacional de muestreo, mediante una muestra compuesta.

Población

Se consideró la población el volumen total del agua residual doméstica que es vertido a la Quebrada Trancayacu - distrito de Calzada, San Martín.

Muestra

Para el procedimiento de tratamiento, se usó 12 litros de agua residual doméstica que se descarga en la Quebrada Trancayacu, la cual desemboca en la Quebrada Sapoyacu, ésta desemboca en la Quebrada Galdín dicha microcuenca llega a la Quebrada Tangumí, finalmente llega a la cuenca del Río Mayo. Esto se basó en el diseño de test de jarras, que constó de cuatro recipientes, cada uno con una capacidad de 1 litro. Es relevante mencionar que, para cada réplica se utilizaron 4 litros, y se realizó un total de 3 réplicas.

El diseño experimental es de un solo factor: dosis de coagulante de semilla de zapote, con cuatro niveles: 10 mg/L de Sulfato de aluminio, 500 mg/L de coagulante de semillas de zapote, 1000 mg/L y 1500 mg/L. Para cada nivel se consideró tres repeticiones. Para seleccionar las dosis se basó en la investigación de Saavedra et al., (2023).

Procedimiento

En el lugar de estudio, se recogió una muestra del agua no tratada del efluente que se descarga en la Quebrada Trancayacu, ubicada en las coordenadas este 271160 y norte 9331683. La toma de muestras se realizó siguiendo las directrices del DS N°273-2013-VIVIENDA.

Posteriormente, se realizaron análisis de la muestra en el laboratorio de la Universidad Peruana Unión - Tarapoto - Morales. Se aplicó un diseño experimental que incluyó un pre-test (análisis previo al tratamiento) y un post-test (análisis después del tratamiento).

El proceso de coagulación tuvo dos pasos: un aumento rápido a 100 RPM durante un minuto, una mezcla gradual a 30 RPM durante diez minutos y luego una fase de sedimentación de diez minutos (Huamán & Jaimes, 2019). Se utilizaron dos tipos de coagulantes: el coagulante natural (2% de concentración) y el sulfato de aluminio (1% de concentración).

Se emplearon tres dosis de coagulante de semillas de zapote (500, 1000 y 1500 mg/L) y una dosis de sulfato de aluminio (10 mg/L) (Niето, 2019). Se realizaron cuatro tratamientos, cada uno con tres

repeticiones (Ver tabla 1), las repeticiones se hicieron el mismo día 09 de agosto de 2024.

Tabla 1.

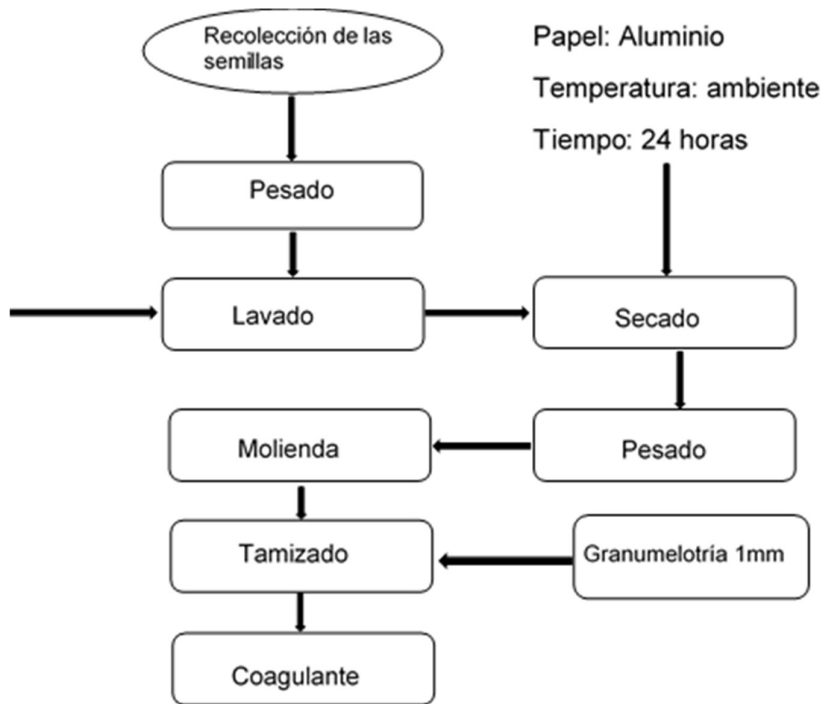
Tratamiento del diseño experimental

N°	Tratamiento		Dosis (mg/l)	Repetición		
	Código	Descripción		1	2	3
1	T0	Sulfato de Aluminio	10	R1 -T0	R2 -T0	R3 -T0
2	T1	Coagulante de semilla de zapote	500	R1-T1	R2-T1	R3-T1
3	T2		1000	R1-T2	R2-T2	R3-T2
4	T3		1500	R1-T3	R2-T3	R3-T3

Fuente: Elaboración propia

Obtención del coagulante

Figura1. Proceso de obtención del coagulante de la semilla de zapote.



Fuente: Proceso para la elaboración de coagulante. Adaptado de (Moreira & Moreira, 2022).

a) Recolección

Se llevó a cabo la recolección de aproximadamente 50 semillas para su procesamiento.

b) Pesado

Posteriormente, se realizó el pesado de las 50 semillas de zapote donde se obtuvo un peso total de 467gr, un paso crucial para cuantificar la cantidad de material disponible.

c) Lavado

Se realizó una limpieza meticulosa las semillas recolectadas para eliminar de manera efectiva cualquier residuo o partícula presente en la superficie.

d) Secado

Posteriormente, se procedió a secar las semillas a temperatura ambiente en papel aluminio y durante un período de 3 días, haciendo un total de 24 horas para su secado.

e) Pesado

Después de las 24 horas de secado, se retiró el embrión de la corteza se realizó nuevamente el pesado final y se obtuvo un peso de 233 g.

f) Molienda

Después haber realizado el respectivo pesado, se llevó a cabo el proceso de molienda de la semilla del zapote.

g) Tamizado

La muestra triturada pasó por un proceso de tamizado con una malla de 1 mm para garantizar la uniformidad en el tamaño de las partículas.

h) Coagulante

Finalmente, luego de haber tamizado el coagulante se almacenó cuidadosamente en una bolsa Ziploc, garantizando su preservación y evitar su contaminación.

Determinación de la eficiencia del tratamiento

Al finalizar el procedimiento, se determinó la eficiencia de la semilla de zapote en la reducción de la turbidez en las aguas residuales domésticas utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{Nivel de turbidez inicial} - \text{Nivel de turbidez final}}{\text{Nivel de turbidez inicial}} * 100$$

Resultados

Características de las aguas residuales

Antes del tratamiento, el agua residual que salía de la laguna de estabilización presentaba un pH de 7.82 y una turbidez de 112 UNT.

En la Tabla 1, se muestra el pH del agua residual después del tratamiento, se observa un menor valor promedio de este parámetro con el coagulante sulfato de aluminio (10 mg/L) con un valor de 7.46; esto se debe a que este coagulante tiene un carácter ácido. Por otra parte, con respecto al coagulante orgánico de semillas de zapote el pH se redujo ligeramente comparado con el pH del agua sin tratamiento (7.82); la explicación se fundamenta en la presencia de ácidos orgánicos en las semillas de zapote.

Tabla 1. pH del agua residual después del tratamiento

Tratamiento/control	Dosis (mg/L)	Coagulante	Réplica			Media	S
			1	2	3		
T0	10	Sulfato de aluminio	7.37	7.46	7.56	7.46	0.10
T1	500	Coagulante de semillas de zapote	7.51	7.64	7.61	7.59	0.07
T2	1000		7.66	7.66	7.65	7.66	0.01
T3	1500		7.72	7.71	7.75	7.73	0.02

La Tabla 2 muestra los hallazgos de la turbidez del agua residual después del tratamiento. Se observa que el sulfato de aluminio (10 mg/L) logró una reducción significativa de la turbidez, alcanzando un valor promedio de 61.33. Este resultado se debe a la eficacia del sulfato de aluminio en la eliminación de la turbidez en un rango de pH entre 4.5 y 9.0. Por otro lado, el coagulante orgánico de semillas de zapote no logró reducir la turbidez, de hecho, se observó un aumento de la turbidez en todas las dosis. Esto se explica por la presencia de sólidos orgánicos en las semillas de zapote, que dificultan la sedimentación y la eliminación de la turbidez.

Tabla 2. Turbidez (UNT) del agua residual después del tratamiento

Tratamiento/control	Dosis (mg/L)	Coagulante	Réplica			Media	S
			1	2	3		
T0	10	Sulfato de aluminio	57	58	69	61.33	6.66
T1	500		236	192	267	231.67	37.69

T2	1000	Coagulante de semillas de zapote	337	346	563	415.33	127.96
T3	1500		517	512	499	509.33	9.29

En la Tabla 3, se muestra el índice de Willcomb del agua residual después del tratamiento, se observa un mayor valor promedio de este parámetro con el coagulante sulfato de aluminio (10 mg/L) con un valor de 7, es decir un buen flóculo que se sedimenta fácilmente. Por otra parte, con respecto al coagulante orgánico de semillas de zapote el índice de Willcomb fue más bajo con valores entre 3 y 4; es decir un flóculo disperso de tamaño relativamente grande que se sedimenta lentamente para todas las dosis; la explicación se debe a la presencia de sustancias orgánicas aglutinantes en las semillas de zapote.

Tabla 3. Índice de Willcomb del agua residual después del tratamiento

Tratamiento/contr ol	Dosis (mg/L)	Coagulante	Réplica			Media	S
			1	2	3		
T0	10	Sulfato de aluminio	8	6	6	7	1.2
T1	500	Coagulante de semillas de zapote	4	4	4	4	0.0
T2	1000		4	2	2	3	1.2
T3	1500		2	4	4	3	1.2

Análisis de varianza de turbidez

El análisis de varianza de la turbidez, realizado para las cuatro dosis de coagulante, mostró un p-valor de 0.000, lo que indica una diferencia significativa entre los tratamientos (ver Tabla 4). Para determinar los tratamientos que eran significativamente diferentes, se procedió a realizar la prueba Tukey.

Tabla 4. Anova de la turbidez

Fuente de variación	de	SC	GL	SCM	F	p-valor
Entre dosis		356026.25	3	118675.42	26.48	0.000
Dentro de las dosis		35850.667	8	4481.33		
Total		391876.92	11			

La prueba Tukey reveló dos grupos distintos en términos de la turbidez. El primer grupo incluyó las dosis de 10 mg/L de sulfato de aluminio y 500 mg/L de coagulante de semillas de zapote. El segundo grupo estuvo formado por las dosis de 1000 mg/L y 1500 mg/L de coagulante de semillas de zapote (ver Tabla 5).

Tabla 5. Prueba Tukey del porcentaje de eliminación de ARD

Dosis (mg/L)	Coagulante	N	Grupos	
			1	2
T0	Sulfato de Aluminio	3	61.33	
T1	Zapote	3	231.67	
T2	Zapote	3		415.33

T3	Zapote	3		509.33
p-valor			0.506	0.374

Discusión

El propósito del estudio fue evaluar la eficacia de coagulantes naturales procedentes de semillas de zapote (*Quararibea cordata*) para reducir la turbidez de las aguas residuales urbanas. Cuando se utilizó este coagulante para tratar aguas residuales domésticas, el pH del agua tratada con dosis de 500 mg/L y 1000 mg/L disminuyó ligeramente, con valores promedio de pH 7.59 y 1000 mg/L, respectivamente. No se encontraron diferencias significativas entre ambas dosis. Sin embargo, cuando la dosis se aumentó a 1500 mg/l, el pH aumentó ligeramente a 7.73. Mientras con el uso de sulfato de aluminio a una concentración de 10 mg/L redujo el pH (7.49).

El agua residual municipal que sale de la laguna de estabilización antes del tratamiento tuvo un pH de 7.82 y una turbidez de 112 UNT. De acuerdo con (Lucas & Van, 2021) las lagunas de estabilización por ser un proceso secundario, elimina un porcentaje de los sólidos suspendidos del agua residual, asimismo el pH ligeramente alcalino se debe a la presencia de sustancias básicas generados durante el proceso de tratamiento secundario mediante lagunas de estabilización.

La reducción del pH inducida por el coagulante natural se atribuye a la presencia de sólidos orgánicos en las semillas de zapote (Mahanna et al., 2024). Además, (Lainez, 2023) señala que el zapote contiene ácido fólico y taninos, compuestos de naturaleza ácida que contribuyen a la disminución del pH (Hariz et al., 2018).

En cuanto a la turbidez, el uso de 10 mg/L de sulfato de aluminio resultó en un valor más bajo (61.33 UNT), mientras que las dosis de 1500 mg/L, 1000 mg/L y 500 mg/L de coagulante de zapote presentaron turbideces significativamente mayores, con valores de 509.33; 415.33 y 231.69 UNT, respectivamente, sin diferencias significativas entre estas tres dosis. Esto sugiere que la mayor dosis de coagulante de zapote no produce una mejora en la reducción de la turbidez, sino más bien un incremento. Los coagulantes orgánicos del zapote tienen cargas eléctricas negativas, lo que dificultaba su neutralización de las cargas negativas de los coloides, lo que provocaba un aumento del potencial Z, lo que a su vez impedía la formación de coágulos eficaces (Mahanna et al., 2024).

Si bien el coagulante químico mostró una mayor eficiencia en la reducción de la turbidez, su uso presenta inconvenientes ambientales debido a la contaminación generada durante su producción, el consumo de materiales y los costos de transporte. Por otro lado, el coagulante natural de zapote, aunque ofrece ventajas ecológicas, no logró reducir

la turbidez de manera efectiva. Algunos han planteado la hipótesis de que la eficacia del tratamiento podría mejorarse añadiendo un coagulante proteico precipitado con sulfato de aluminio. Estudios realizados por (Antov et al., 2010) demostraron que el uso de coagulante proteico de semillas de zapote para la eliminación de la turbidez en aguas residuales domésticas resultó deficiente en la remoción de turbidez negativa, con un valor de -107.2%. De manera similar, (Guzmán et al., 2013) descubrieron que las proteínas de las semillas de zapote no funcionan bien como coagulante porque no pueden absorber y retener las partículas de aguas residuales.

Conclusión

El estudio realizado demostró que el uso de diferentes dosis de coagulante en polvo de semilla de zapote (*Quararibea cordata*) tenía efectos limitados para cambiar el pH y eliminar la turbidez en las aguas residuales domésticas. El valor promedio del pH del coagulante de zapote a concentraciones de 500 mg/L y 1000 mg/L fue de 7.59, respectivamente, sin diferencia significativa entre ambas dosis. Sin embargo, a 1500 mg/L el pH aumentó ligeramente a 7.73 y a 10 mg/L de sulfato de aluminio el pH disminuyó a 7.46. Esto indica un cambio mayor en las condiciones iniciales del agua. En cuanto a la turbidez, se registró un valor significativamente menor con 10 mg/L de sulfato de aluminio (61.33 UNT), en comparación con las dosis de coagulante de zapote (500, 1000 y 1500 mg/L), que resultaron en turbideces considerablemente más altas (231.67, 415.33 y 509.33 UNT respectivamente). Observaron que las proteínas en las aguas residuales no se vieron afectadas por ninguna de las tres dosis de coagulante de zapote, lo que sugiere que el tratamiento fue ineficaz para reducir la turbidez en las aguas residuales domésticas. El porcentaje de eliminación de turbidez fue más bajo con la dosis de 10 mg/L de sulfato de aluminio (45.24%), mientras que las dosis de coagulante de zapote de 500, 1000 y 1500 mg/L resultaron en un aumento de la turbidez, con porcentajes negativos de -106.85%, -270.83% y -354.76% respectivamente, sin diferencias significativas entre ellas. Esto indica que el coagulante natural no solo fue menos efectivo que el sulfato de aluminio, sino que también aumentó la turbidez del agua tratada en algunos casos. Según la investigación, aunque el polvo de semilla de chicozapote tiene beneficios ambientales, su eficacia para eliminar la turbidez en las aguas residuales domésticas es limitada. Por lo tanto, se recomienda realizar más investigaciones para explorar la combinación de coagulantes naturales y químicos para mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales, mantener la calidad del agua y promover la sostenibilidad ambiental. Este enfoque puede proporcionar soluciones

de tratamiento de agua más efectivas y sostenibles para comunidades con acceso limitado a tecnologías de tratamiento tradicionales.

Agradecimientos

Agradecemos de manera especial al Sr. Leónidas Domínguez por proveernos de las semillas de Zapote para la elaboración del coagulante natural.

Referencias

- Antov, M. G., Šćiban, M. B., & Petrović, N. J. (2010). Proteins from common bean (*Phaseolus vulgaris*) seed as a natural coagulant for potential application in water turbidity removal. *Bioresource Technology*, 101(7), 2167-2172. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.020>
- Cañari, A. S., & Leon, K. N. (2022). Reducción de turbidez mediante los coagulantes naturales (*moringa oleifera*) y (*opuntia ficus-indica*) en aguas superficiales de la quebrada Huaycoloro, 2022. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33816>
- Guy, R. (2017). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>
- Guzmán, L., Villabona, Á., Universidad de Cartagena, Tejada, C., Universidad de Cartagena, Universidad de Cartagena, García, R., & Servicio Nacional de Aprendizaje. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.881>
- Hariz, A., Syamimi, N., Muda, K., & Wai, L. (2018). Effectiveness of Natural Coagulant in Coagulation Process: A Review. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.9), 34. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.9.15269>
- Hernández, F., Lamizana, B., Mateo, J., & Qadir, M. (2015). Economic valuation of wastewater: The cost of action and the cost of no action. United Nations Environment Programme. <https://collections.unu.edu/view/UNU:5698>
- Hernández, R., & Fernandez, C. F. (2014). Metodología de la investigación (P. Baptista, Ed.; Sexta edición). McGraw-Hill Education. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista->

Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf

- Huamán, C., & Jaimes, H. J. (2019). Metodología de superficie de respuesta en la eficiencia de remoción de turbidez de agua empleando almidón de pituca (*Colocassia esculenta*) como auxiliar de coagulación. <https://repositorio.upeu.edu.pe/items/9d9a5f63-b6e0-412c-b627-48ba4dc08a85>
- Huamán, H., Arauco, S. E., Rojas, R. W., & Rojas, J. F. (2020). Optimización de la cantidad de coagulantes para la producción de agua potable en zonas de la sierra del Perú. *UCV-SCIENTIA*, 12(1). <https://doi.org/10.18050/revucv-scientia.v12i1.920>
- INEI. (2017). Estadísticas ambientales. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1469/cap03.pdf
- Lainez, G. J. R. (2023). Preparación y evaluación del funcionamiento del almidón de Mamey zapote (*pouteria sapota*), como coagulante para la remoción de turbidez en agua cruda sintética. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/18805/1/Gabriela%20Jazm%C3%ADn%20Rub%C3%AD%20Lainez%20Gonz%C3%A1lez.pdf>
- Lucas, S. L., & Van, A. (2021). Transformation of waste stabilization ponds: Reengineering of an obsolete sewage treatment system. *Water*, 13(9), 1193. <https://doi.org/10.3390/w13091193>
- Mahanna, H., Fouad, M., Zedan, T., & Mossad, M. (2024). Effective turbid water treatment using natural eco-friendly coagulants derived from oat and onion seeds. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21(5), 4773-4787. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05326-5>
- Marín, T. D., & Arriojas, D. D. J. (2020). Remoción de turbidez de agua mediante filtración utilizando cáscara de coco (*Cocos nucífera*) a nivel de laboratorio. *Revista ION*. <https://doi.org/10.18273/revion.v33n2-2020008>
- Martínez, M. R., Mendoza, J. Y., Medrano, B. E., & Gómez, L. M. (2019). Evaluación de la turbidez como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal Evaluation of turbidity as a parameter indicator of treatment in a drinking water treatment plant. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7152687>
- Nieto, V. (2019). Evaluación de la actividad coagulante de la semilla de Zapote (*pauteria sapota*) en muestras de agua recolectadas en

la cuenca media del río Bogotá.
<https://repositorio.unbosque.edu.co/items/f5b43544-4d74-45b1-96bb-db157424f957>

ONU. (2021). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021 El valor del agua. United Nations.
<https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/07/375750spa.pdf>

Osorio-Rivera, M. A., Carrillo-Barahona, W. E., Negrete-Costales, J. H., Loor-Lalvay, X. A., & Riera-Guachichullca, E. J. (2012). La calidad de las aguas residuales domésticas. 06(03), 18.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926905>

Pardede, A., Arief Budihardjo, M., & Purwono. (2018). The Removal of Turbidity and TSS of the Domestic Wastewater by Coagulation-Flocculation Process Involving Oyster Mushroom as Biocoagulant. E3S Web of Conferences, 31, 05007.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183105007>

Rodríguez, H. (2017). Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>

Saavedra, C. L., Panduro, C., & Almestar, C. (2023). Almidón de *Artocarpus altilis* para tratar aguas residuales domésticas y propuesta de reúso.
<https://repositorio.upeu.edu.pe/items/e21beece-cf93-4fbc-aa10-d83821e68956>.