

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



*Una Institución Adventista*

**Eficiencia de las Semillas de Frijol Común (*Phaseolus Vulgaris*)  
para la remoción de turbidez de las aguas residuales  
domésticas.**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autores:**

Reyes Rivera Cotrina

Sheyka Malayma Flores Tauma

**Asesor:**

Dr. Victor Hugo Muñoz Delgado

Tarapoto, diciembre 2022

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Yo, Dr. Víctor Hugo Muñoz Delgado, 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 las semillas de frijol común (Phaseolus Vulgaris) para la remoción de turbidez de las aguas residuales domésticas”** constituye la memoria que presentan los Bachilleres Reyes Rivera Cotrina y Sheyka Malayma Flores Tauma para obtener el título de Profesional de Ingenieros Ambientales, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Morales a los 06 días del mes de diciembre del año 2022



---

Dr. Victor Hugo Muñoz Delgado

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En San Martín, Tarapoto, Morales, a 06 día(s) del mes de diciembre del año 2022, 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): Mtra. Betsabeth Teresa Padilla Macedo, el (la) secretario(a): Mtro. Carmelino Almaster Villegas y los demás miembros: Mtro. Erick Jose Quispe Mamani y el (la) asesor(a) Dr. Victor Hugo Muñoz Delgado

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Eficiencia de las semillas del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) para la remoción de turbidez de las aguas residuales domésticas"

del(los) bachiller(es): a) Reyes Rivera Cotrina

b) Sheyka Malyma Flores Tauma

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): Reyes Rivera Cotrina

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	19	A	Excelente	Excelencia

Bachiller -(b): Sheyka Malyma Flores Tauma

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	19	A	Excelente	Excelencia


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)

## Resumen

La investigación se desarrolló con la finalidad de evaluar la eficiencia de las semillas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) para la eliminación de la turbidez de aguas residuales domésticas (ARD) como una tecnología de descontaminación de aguas residuales. Para ello se seleccionó un diseño experimental (4 tratamientos y 3 repeticiones). Asimismo, se utilizó un equipo prueba de jarras con 4 vasos de 1 L de capacidad cada uno. Los parámetros analizados del ARD fueron el pH y la turbidez. Los resultados muestran que con las dosis de 500 mg/L, 1000 mg/L y 1500 mg/L de coagulante de frijol los valores de pH fueron respectivamente 6,00; 5,93 y 6,12; mientras que con la dosis de 100 mg/L de sulfato de aluminio el pH fue 6,23. Los valores de pH bajos encontrados con el coagulante natural se relacionan con los valores bajos de turbidez, ya que existe una correlación positiva, es decir cuando el valor del pH es menor, se espera valores bajos de turbidez. Asimismo, encontramos porcentajes de eliminación de la turbidez del ARD más baja con las dosis de 500 mg/L, 1000 mg/L y 1500 mg/L de coagulante de frijol, respectivamente con valores 55.13%, 57.69% y 55.13%; no existiendo diferencia significativa entre las tres dosis anteriores; mientras que el porcentaje de eliminación de la turbidez fue mayor con la dosis de 100 mg/L de sulfato de aluminio (79.06%); siendo esta última mayor en 21.37% que con el coagulante natural, obteniendo resultados similares a Antov et al., (2009), al utilizar el coagulante proteico de frijol común para la eliminación de la turbidez del ARD, encontrando una eficiencia de remoción de turbidez de 72%. Se concluye que, el uso del coagulante de las semillas de frijol es una alternativa accesible para remover la turbidez del agua residual doméstica.

**Palabras clave:** Coagulantes, Polímeros naturales, Sólidos suspendidos

## **Abstract**

The research was developed with the purpose of evaluating the efficiency of common bean seeds (*Phaseolus vulgaris*) for the elimination of turbidity in domestic wastewater (ARD) as a wastewater decontamination technology. For this, an experimental design (4 treatments and 3 repetitions) was selected. Likewise, a jar test equipment with 4 glasses of 1 L capacity each was used. The ARD parameters analyzed were pH and turbidity. The results show that with the doses of 500 mg/L, 1000 mg/L and 1500 mg/L of bean coagulant, the pH values were 6.00, respectively; 5.93 and 6.12; while with the dose of 100 mg/L of aluminum sulfate, the pH was 6.23. The low pH values found with the natural coagulant are related to low turbidity values, since there is a positive correlation, that is, when the pH value is lower, low turbidity values are expected. Likewise, we found lower percentages of ARD turbidity elimination with the doses of 500 mg/L, 1000 mg/L and 1500 mg/L of bean coagulant, respectively with values of 55.13%, 57.69% and 55.13%; there being no significant difference between the three previous doses; while the percentage of turbidity removal was higher with the dose of 100 mg/L of aluminum sulfate (79.06%); the latter being higher by 21.37% than with the natural coagulant, obtaining similar results to Antov et al., (2009), when using the common bean protein coagulant for the removal of turbidity from the ARD, finding a turbidity removal efficiency of 72%. It is concluded that the use of bean seed coagulant is an accessible alternative to remove turbidity from domestic wastewater.

**Keywords:** Coagulants, Natural polymers, Suspended solids

## **INTRODUCCIÓN**

La turbidez es una parte de las características físicas de las aguas residuales que está presente en mayor proporción en las aguas residuales domésticas; la cual es causada por materia suspendida como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, compuestos orgánicos coloreados solubles, plancton y otros organismos microscópicos (Kumar, 2014).

La turbidez es utilizada frecuentemente como un indicador de la calidad de las aguas residuales, en lugar de una métrica absoluta como los sólidos en suspensión; de otro lado, la turbidez y los sólidos suspendidos se correlacionan de manera positiva, es decir a mayor turbidez, mayor cantidad de sólidos suspendidos (Mullins et al., 2018; Jaya, 2017); asimismo, la turbidez y el pH de las aguas residuales, se relacionan de positiva y débilmente ( $r: 0.12$ ); es decir al aumentar el pH, la turbidez aumenta ligeramente (Kumar, 2014).

Asimismo, el proceso de coagulación-floculación, se utiliza con el propósito de eliminar la turbidez, remoción del color, eliminación de bacterias y remoción de sustancias que producen sabor y olor del agua, la cual proviene de partículas en suspensión y material coloidal (Pardede, Budihardjo, and Purwono, 2018). Muchos floculantes y coagulantes se utilizan ampliamente en los procesos de tratamiento de agua convencionales. Estos materiales se pueden clasificar en coagulantes inorgánicos (por ejemplo, sales de aluminio y hierro) y polímeros orgánicos sintéticos (por ejemplo, poliacrilamida) (Ramavandi, 2014).

Los coagulantes naturales están volviéndose conocidos, debido a sus diversos beneficios, ya que resuelven los problemas relacionados con el uso de coagulantes químicos (Amran, Zaidi, Muda, and Loan, 2018). Estos bio-coagulantes no solo clarifican el agua, sino también presentan propiedades antimicrobianas y en algunos casos, remueven metales. El mecanismo que utilizan estos coagulantes es la neutralización de cargas. Asimismo, se ha demostrado que, el porcentaje de remoción está asociado al pH y a la dosis del coagulante natural (Choy, Prasad, Wu, and Ramanan, 2015).

En el departamento de San Martín hubo un incremento de la generación de agua residual entre los años 2018 y 2019 del 1.3% ( $133 \times 10^3 \text{ m}^3$ ), lo cual representa una gran cantidad de agua residual que no está siendo tratada y vertida a los cuerpos hídricos (INEI, 2020); asimismo, el centro poblado Santa Lucía, en el distrito de Morales, San Martín; no es ajeno a esta realidad. La población de Santa Lucía, no cuenta con sistema de alcantarillado, y depositan sus aguas residuales en canales abiertos, en pozos sin tratamiento, o en algunos casos a un tanque séptico.

Por ello, se analizó la eficiencia de las semillas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) para la remoción de la turbidez de ARD como una tecnología de descontaminación de aguas residuales.

## **METODOLOGÍA**

El experimento se desarrolló en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión, el cual se encuentra ubicado en el distrito de Morales, provincia de San Martín y departamento del mismo nombre; con coordenadas UTM 18 S, 345714 (E) y 9284308 (N).

### *Población y muestra*

Una parte de las aguas residuales domésticas, provenientes de las viviendas del CC.PP. Santa Lucía, Morales, fueron recolectadas por cada familia, quienes la almacenaron durante 5 días en diversos recipientes de 1 litro, luego fueron colectadas para juntarlas en un recipiente de 30 litros. Estas aguas estuvieron almacenadas en el Laboratorio de la Universidad Peruana Unión durante 1 día a la temperatura de 25°C. Cabe mencionar que este volumen de agua residual doméstica, no es representativa del universo de agua residual generada en el centro poblado, sino que corresponde a un volumen conveniente para que se aproxime a representar las características conjuntas de las aguas residuales domésticas sin presencia de aguas con contenido fecal.

Para colectar las aguas residuales domésticas de las viviendas, se consideró un nuevo método, el cual consiste en recolectar el agua residual en cada vivienda de manera independiente, debido a la dispersión de viviendas y a la falta de sistema de alcantarillado.

### *Métodos de muestreo*

Se consideró 3 corridas de la prueba de jarras, este sistema está conformado por cuatro vasos con capacidad de 1 litro. Asimismo, se consideró 3 réplicas para el ensayo; haciendo un total de 12 L. Por otro lado, se utilizó el tipo de muestreo aleatorio simple y la toma de muestra del agua residual fue de tipo simple.

Para el ensayo de prueba de jarras, se consideró una mezcla rápida de 150 RPM por 1 minuto, para la mezcla lenta se consideró 30 RPM por 10 minutos, mientras que la sedimentación tuvo una duración de 20 minutos (Rojas et al., 2008).

Los parámetros que se midieron fueron el pH, la turbidez y el índice de Willcomb, siendo este último parámetro el que permite caracterizar los flóculos, según su tamaño; es decir a mayor valor de este Índice, se tendrá un mayor flóculo, permitiendo de este modo una sedimentación más rápida. Estos parámetros se analizaron siguiendo la metodología descrita por la Asociación Americana de Salud Pública (APHA, por sus siglas en inglés).

### *Diseño experimental*

De acuerdo al alcance del estudio, la investigación es de tipo explicativa, estos estudios se caracterizan porque buscan explicar la causa de un fenómeno (Hernandez, Fernandez, and Baptista, 2017). Busca explicar la eficiencia del coagulante obtenido de las semillas del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) para eliminar el porcentaje de turbidez del agua residual.

Para desarrollar el estudio se seleccionó un diseño experimental, este diseño se caracteriza porque el investigador manipula deliberadamente las variables dependientes con la finalidad de medir su efecto en la variable dependiente (Hernandez et al., 2017).

Las dosis de coagulante de las semillas de frijol común que se utilizaron fueron 500, 1000 y 1500 mg/L (Hidalgo and Cayao, 2019). Por otro lado, se consideró tres tratamientos y un control (sulfato

de aluminio de 100 mg/L), con tres réplicas cada uno, haciendo un total de doce unidades experimentales.

#### *Análisis estadístico*

Para analizar los datos se utilizó procedimientos de estadística descriptiva como media, desviación estándar y frecuencias porcentuales. Asimismo, como prueba de hipótesis, se utilizó el análisis de varianza, con finalidad de encontrar diferencia estadística, para ello se utilizó un 95% de confianza. Los datos se analizaron en el programa SPSS 24 y la aplicación Excel.

## **RESULTADOS**

### *Caracterización del ARD sin tratar*

Se analizó el pH y la turbidez del agua residual doméstica del agua sin tratar, obteniéndose un pH de 5,75 y una turbidez de 780 UNT.

### *Caracterización del ARD después de la aplicación de coagulantes*

Al realizar el análisis de varianza del pH del agua residual después de la aplicación de coagulantes, se encontró un p-valor de 0,002; es decir existe diferencia significativa entre las dosis de coagulantes (ver tabla 1). Luego se aplicó la prueba Tukey a fin de conocer las diferencias de pH del agua residual, según las dosis de coagulante. Se encontró un valor de pH más bajo del agua residual doméstica con las dosis de 1000 mg/L y 1500 mg/L de coagulante de frijol; no existiendo diferencia significativa entre ambas dosis. Con la dosis de 500 mg/L de coagulante de frijol, el pH fue ligeramente superior al anterior; mientras que con la dosis de 100 mg/L de sulfato de aluminio el pH fue mayor al encontrado con las dosis anteriores (ver tabla 2). Los valores de pH bajos encontrados con el coagulante natural se relacionan con los valores bajos de turbidez, ya que existe una correlación positiva, es decir cuando el valor del pH es menor, se espera valores bajos de turbidez.

Tabla 1. pH del ARD después de la aplicación de coagulantes

FV	SC	GL	MC	F	p-valor
Entre las dosis	0,156	3	0,052	13,539	0,002
Dentro de las dosis	0,031	8	0,004		
Total	0,187	11			

Tabla 2. Prueba Tukey del pH del ARD después de la aplicación de coagulantes

Dosis (mg/L)	Coagulante	N	Grupos		
			1	2	3
1500	Frijol	3	5,93		
1000	Frijol	3	6,00		
500	Frijol	3		6,12	
100	Sulfato de aluminio	3			6,23
p-valor			0,578	1,000	1,000

Asimismo, se desarrolló el análisis de varianza para la turbidez del agua residual después de la aplicación de coagulantes, se encontró un p-valor de 0,000; es decir existe diferencia significativa entre las dosis de coagulantes (ver tabla 3). Luego se aplicó la prueba Tukey a fin de conocer las diferencias de turbidez del agua residual, según las dosis de coagulante. Se encontró una turbidez más baja del agua residual doméstica con la dosis de 100 mg/L de sulfato de aluminio; mientras que la turbidez fue mayor con las dosis de 500 mg/L, 1000 mg/L y 1500 mg/L de coagulante de frijol; no existiendo diferencia significativa entre estas tres dosis (ver tabla 4).

Tabla 3. Turbidez del ARD después de la aplicación de coagulantes

FV	SC	GL	MC	F	p-valor
Entre las dosis	73700,00	3	24566,67	21,68	0,000
Dentro de las dosis	9066,67	8	1133,33		
Total	82766,67	11			

Tabla 4. Prueba Tukey de la turbidez del ARD después de la aplicación de coagulantes

Dosis (mg/L)	Coagulante	N	Grupos	
			1	2
100	Sulfato de aluminio	3	163,33	
1000	Frijol	3		330,00
500	Frijol	3		350,00
1500	Frijol	3		350,00
p-valor			1,000	0,883

#### *Porcentaje de eliminación de turbidez del ARD*

Del análisis de varianza para el porcentaje de eliminación de la turbidez del ARD se encontró un p-valor de 0,000; es decir existe diferencia significativa entre las dosis de coagulantes (ver tabla 5). Luego se aplicó la prueba Tukey para determinar las diferencias en cuanto al porcentaje de eliminación de turbidez del agua residual, según las dosis de coagulante. Se obtuvo un porcentaje de eliminación más bajo con las dosis de 500 mg/L, 1000 mg/L y 1500 mg/L de coagulante de frijol; no existiendo diferencia significativa entre estas tres dosis; mientras que el porcentaje de eliminación de turbidez fue mayor con la dosis de 100 mg/L de sulfato de aluminio (ver tabla 6).

Tabla 5. Porcentaje de eliminación de turbidez del ARD

FV	SC	GL	MC	F	p-valor
Entre las dosis	1211,31	3	403,77	21,67	0,000
Dentro de las dosis	149,05	8	18,63		
Total	1360,36	11			

Tabla 6. Prueba Tukey del porcentaje de eliminación de turbidez del ARD

Dosis (mg/L)	Coagulante	N	Grupos	
			1	2
1500	Frijol	3	55,13	
500	Frijol	3	55,13	
1000	Frijol	3	57,69	
100	Sulfato de aluminio	3		79,06
p-valor			0,884	1,000

#### *Índice de Willcomb*

Con la dosis de 100 mg/L de sulfato de aluminio se encontró un valor del índice de Willcomb de 8, es decir se formó un buen flóculo, el cual se depositó en forma rápida, pero no completamente; mientras que con las dosis de 500 mg/L, 1000 mg/L y 1500 mg/L de coagulante de frijol se obtuvo un valor del índice de Willcomb de 6, es decir se formó un flóculo claro de tamaño considerablemente grande, pero se precipitó con lentitud (ver tabla 7).



Tabla 7. Índice de Willcomb del agua residual después de la aplicación de coagulantes

Coagulante	Dosis (mg/L)	Índice de Willcomb	Descripción
Sulfato de aluminio	100	8	Buen flóculo, el cual se deposita rápidamente, pero no completamente.
Frejol	500		
Frejol	1000	6	Flóculo claro de tamaño considerablemente grande, pero precipita con lentitud.
Frejol	1500		

## DISCUSIÓN

Al aplicar coagulante natural obtenido del frijol común al agua residual doméstica, se encontró un valor de pH más bajo del ARD con las dosis de 1000 mg/L y 1500 mg/L de coagulante de frijol siendo los valores respectivamente 6,00 y 5,93; no existiendo diferencia significativa del pH entre ambas dosis; mientras que con la dosis de 500 mg/L de coagulante de frijol, el pH fue ligeramente superior a los anteriores (6,12); en cambio con la dosis de 100 mg/L de sulfato de aluminio el pH fue mayor (6,23) al encontrado con las dosis anteriores. Después de la aplicación de las sustancias coagulantes, con la dosis de 1500 mg/L del coagulante natural, el pH fue menor (5,93); esto se debe a la presencia de ácidos gálico y clorogénico en el frijol común (Reynoso et al., 2007); por otro lado, Rodríguez and Fernández (2003) mencionan que el frijol común es una fuente de ácido fólico y taninos, los cuales tienen carácter ácido y tienden a disminuir el pH. Amran et al. (2021) sostienen que los valores de pH entre 4 y 7 durante el proceso de coagulación con polímeros naturales, favorecen la remoción de la turbidez de las aguas residuales.

Con respecto a la turbidez, se encontró un valor más bajo con la dosis de 100 mg/L de sulfato de aluminio (163.33 UNT); mientras que la turbidez fue mayor con las dosis de 500 mg/L, 1000 mg/L y 1500 mg/L de coagulante de frijol, respectivamente con valores de 350, 330 y 350 UNT; no existiendo diferencia significativa entre estas tres dosis. Es decir, con cualquiera de las tres dosis se obtuvo valores similares de turbidez del agua residual; por ello, se podría utilizar la dosis de 500 mg/L para remover la turbidez, ya que, se estaría utilizando una menor cantidad de coagulante natural y, por ende, un menor costo de los insumos y del transporte de los mismos. La presencia de cargas eléctricas positivas en los coagulantes orgánicos en el coagulante de frijol común, permitió la neutralización de las cargas negativas de los coloides, reduciéndose de este modo el potencial Z, hasta un nivel que permita la formación de coágulos (Ang and Mohammad, 2020).

Por otro lado, se obtuvo un porcentaje de eliminación de la turbidez del ARD más baja con las dosis de 500 mg/L, 1000 mg/L y 1500 mg/L de coagulante de frijol, respectivamente con valores 55.13%, 57.69% y 55.13%; no existiendo diferencia significativa entre las tres dosis anteriores; mientras que el porcentaje de eliminación de la turbidez fue mayor con la dosis de 100 mg/L de sulfato de aluminio (79.06%). Aunque, la eficiencia de remoción de la turbidez fue mayor con el coagulante químico, su uso implica contaminación ambiental durante el proceso de producción y aumento del consumo de materiales y del costo de transporte; por ello, el uso del coagulante natural permite reducir estas contingencias al momento de elegir el coagulante. Si bien, al utilizar las semillas de frijol común como coagulante del agua residual, se obtuvo eficiencias de remoción superiores al 55%; estas eficiencias podrían aumentar al aplicar el coagulante proteico, obtenido mediante precipitación con sulfato de amonio. Antov, Sciban, and Petrović (2009) utilizaron el coagulante proteico de frijol común para la eliminación de la turbidez del ARD, encontrando una eficiencia de remoción de turbidez de 72%, este valor fue 22 veces superior al valor encontrado al

utilizar el extracto crudo. Asimismo, Vijayaraghavan and Shanthakumar (2015), mencionan que las proteínas de las semillas de frijol como coagulante atrapan las partículas del agua residual mediante el proceso de adsorción.

### **CONCLUSIÓN**

Se encontró un valor de pH más bajo del agua residual doméstica con las dosis de 1000 mg/L y 1500 mg/L de coagulante de frijol siendo los valores respectivamente 6,00 y 5,93; no existiendo diferencia significativa del pH entre ambas dosis; mientras que con la dosis de 500 mg/L de coagulante de frijol, el pH fue ligeramente superior a los anteriores (6,12); en cambio con la dosis de 100 mg/L de sulfato de aluminio el pH fue mayor (6,23) al encontrado con las dosis anteriores. Asimismo, se obtuvo un valor más bajo de turbidez del agua residual con la dosis de 100 mg/L de sulfato de aluminio (163.33 UNT); mientras que la turbidez fue mayor con las dosis de 500 mg/L, 1000 mg/L y 1500 mg/L de coagulante de frijol, respectivamente con valores de 350, 330 y 350 UNT; no existiendo diferencia significativa entre estas tres dosis; es decir, con cualquiera de las tres dosis se obtuvo valores similares de turbidez del agua residual. Encontramos un porcentaje de eliminación de la turbidez del ARD más baja con las dosis de 500 mg/L, 1000 mg/L y 1500 mg/L de coagulante de frijol, respectivamente con valores 55.13%, 57.69% y 55.13%; no existiendo diferencia significativa entre las tres dosis anteriores; mientras que el porcentaje de eliminación de la turbidez fue mayor con la dosis de 100 mg/L de sulfato de aluminio (79.06%); siendo esta última mayor en 21.37% que con el coagulante natural, obteniendo resultados similares con Antov et al., (2009), al utilizar el coagulante proteico de frijol común para la eliminación de la turbidez del ARD, encontrando una eficiencia de remoción de turbidez de 72%. Se concluye que, el uso del coagulante de las semillas de frijol es una alternativa accesible para remover la turbidez del agua residual doméstica.

### **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestro asesor, el Dr. Víctor Hugo Muñoz Delgado, por el acompañamiento durante el desarrollo del presente estudio.

## REFERENCIAS

- Amran, A. H., Zaidi, N. S., Muda, K., and Loan, L. W. (2018). Effectiveness of natural coagulant in coagulation process: A review. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 7(3), 34–37. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.9.15269>
- Amran, A. H., Zaidi, N. S., Syafiuddin, A., Zhan, L. Z., Bahrodin, M. B., Mehmood, M. A., and Boopathy, R. (2021). Potential of carica papaya seed-derived bio-coagulant to remove turbidity from polluted water assessed through experimental and modeling-based study. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/app11125715>
- Ang, W., and Mohammad, A. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 262(20). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>
- Antov, M., Sciban, M., and Petrović, N. (2009). Proteins from common bean (*Phaseolus vulgaris*) seed as a natural coagulant for potential application in water turbidity removal. *Bioresource Technology*, 101(7), 2167–72. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.020>
- Choy, S. Y., Prasad, K. M. N., Wu, T. Y., and Ramanan, R. N. (2015). A review on common vegetables and legumes as promising plant-based natural coagulants in water clarification. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(1), 367–390. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0446-2>
- Hernandez, R., Fernandez, C., and Baptista, P. (2017). *Metodologia de la investigacion*.
- Hidalgo, W., and Cayao, P. (2019). *Eficiencia de la Moringa Oleifera para el tratamiento de agua residual doméstica con fines de recuperación y aprovechamiento en el riego de vegetales*. Universidad Peruana Unión.
- INEI. (2020). Anuario de estadísticas ambientales. Retrieved from [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1760/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1760/libro.pdf)
- Kumar, H. (2014). Influence of Wastewater PH on Turbidity. *International Journal of Environmental Research and Development*, 4(2), 2249–3131. Retrieved from <http://www.ripublication.com/ijerd.htm>
- Mullins, D., Jones, E., Glavin, M., Coburn, D., Hannon, L., and Clifford, E. (2018). A novel image processing-based system for turbidity measurement in domestic and industrial wastewater. *Water Science and Technology*, 77(5), 1469–1482. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.030>
- Pardede, A., Budihardjo, M. A., and Purwono, A. (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. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183105007>
- Ramavandi, B. (2014). Treatment of water turbidity and bacteria by using a coagulant extracted from *Plantago ovata*. *Water Resources and Industry*, 6(1), 36–50. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2014.07.001>
- Rodríguez, L., and Fernández, X. (2003). Los frijoles (*Phaseolus Vulgaris*): su aporte a la dieta del costarricense. *Acta Méd. Costarric*, 45(3). Retrieved from [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0001-60022003000300007](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-60022003000300007)
- Rojas, C., Rincón, N., Díaz, A., Colina, G., Behling, E., Chacín, E., and Fernández, N. (2008). Evaluación de una unidad de flotación con aire disuelto para el tratamiento de aguas aceitosas. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia*, 31(1), 50–57. Retrieved from [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0254-07702008000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702008000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Vijayaraghavan, G., and Shanthakumar, S. (2015). Efficacy of *Moringa oleifera* and *Phaseolus vulgaris* (common bean) as coagulants for the removal of Congo red dye from aqueous solution. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(6), 1672–1677.