

Artículo de investigación

Cómo citar: R. Rivera, S. Tauma, V. Muñoz. "Uso de semillas del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) para remover turbidez del agua residual doméstica". *Inventum*, vol. 17, n.º 32, pp. 50-56, enero-junio 2022. doi: 10.26620/uniminuto.inventum.17.32.2022.50-56

Editorial: Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO.

ISSN: 1909-2520
eISSN: 2590-8219

Fecha de recibido: 1 de febrero de 2022
Fecha de aprobado: 1 de marzo de 2022
Fecha de publicación: 15 de marzo de 2022

Conflicto de intereses: los autores han declarado que no existen intereses en competencia.

Uso de semillas del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) para remover turbidez del agua residual doméstica

Use of common bean (*Phaseolus vulgaris*) seeds to remove turbidity from domestic wastewater

Uso de sementes de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) para remoção de turbidez de águas residuais domésticas

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). Se utilizó un equipo prueba de jarras con 4 vasos de 1 L de capacidad cada uno. Los parámetros analizados de 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, 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 esperan valores bajos de turbidez.

Asimismo, se encontraron porcentajes de eliminación de la turbidez del ARD más bajos con las dosis de 500 mg/L, 1000 mg/L y 1500 mg/L de coagulante de frijol, con valores 55,13%, 57,69% y 55,13%, respectivamente, sin que hubiera diferencia significativa entre las tres dosis; 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. Al utilizar el coagulante proteico de frijol común para la eliminación de la turbidez de ARD, se encontró 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.

Cotrina Rivera R.

Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Jr. Los Mártires, 218, Morales, San Martín, Perú
e-mail: reyesrivera@upeu.edu.pe
ORCID: 0000-0002-8725-1739

Sheyka M. Flores T.

Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Jr. Los Mártires, 218, Morales, San Martín, Perú
e-mail: sheykaflores@upeu.edu.pe
ORCID: 0000-0002-9957-5423

Victor H. Muñoz D.

Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Jr. Los Mártires, 218, Morales, San Martín, Perú
e-mail: victor.munoz@upeu.edu.pe
ORCID: 0000-0002- 9693-8591



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, 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.

Resumo

A pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de avaliar a eficiência de sementes de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) na eliminação de turbidez em águas residuais domésticas (ARD) como tecnologia de descontaminação de águas residuais. Para isso, foi selecionado um delineamento experimental (4 tratamentos e 3 repetições). Da mesma forma, foi utilizado um equipamento de jar test com 4 copos de 1 L de capacidade cada. Os parâmetros de ARD analisados foram pH e turbidez. Os resultados mostram que com as doses de 500 mg/L, 1000 mg/L e 1500 mg/L de coagulante de feijão, os valores de pH foram 6,00, respectivamente; 5,93 e 6,12; enquanto que com a dose de 100 mg/L de sulfato de alumínio, o pH foi de 6,23. Os baixos valores de pH encontrados com o coagulante natural estão relacionados a baixos valores de turbidez, pois há uma correlação positiva, ou seja, quando o valor de pH é menor, são esperados baixos valores de turbidez.

Da mesma forma, encontramos menores percentuais de eliminação da turbidez de ARD com as doses de 500 mg/L, 1000 mg/L e 1500 mg/L de coagulante de feijão, respectivamente com valores de 55,13%, 57,69% e 55,13%; não havendo diferença significativa entre as três doses anteriores; enquanto a porcentagem de remoção de turbidez foi maior com a dose de 100 mg/L de sulfato de alumínio (79,06%); sendo este último 21,37% superior ao coagulante natural, ao utilizar o coagulante protéico de feijão para a remoção de turbidez da ARD, encontrando uma eficiência de remoção de turbidez de 72%. Conclui-se que o uso de coagulante de sementes de feijão é uma alternativa acessível para remover a turbidez de águas residuais domésticas.

Palavras-chave: coagulantes, Polímeros naturais, sólidos em suspensão.

I. INTRODUCCIÓN

La turbidez, una de las características físicas que está presente en mayor proporción en las aguas residuales domésticas, es causada por materia suspendida como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, compuestos orgánicos coloreados solubles, plancton y otros organismos microscópicos [1]. Esta característica es utilizada frecuentemente como un indicador de la calidad de las aguas residuales, en lugar de una métrica absoluta como los sólidos en suspensión. Por otro lado, la turbidez y los sólidos suspendidos se correlacionan de manera positiva, es decir, a mayor turbidez, mayor cantidad de sólidos suspendidos [2]. Asimismo, la turbidez y el pH de las aguas residuales se relacionan positiva y débilmente ($r: 0,12$); es decir, al aumentar el pH, la turbidez aumenta ligeramente [1].

El proceso de coagulación-floculación se utiliza con el propósito de eliminar la turbidez, remover el color, eliminar bacterias y remover aquellas sustancias que producen sabor y olor del agua, las cuales provienen de partículas en suspensión y material coloidal [3]. Muchos floculantes y coagulantes se utilizan ampliamente en los procesos convencionales de tratamiento de agua. Estos materiales se pueden clasificar en coagulantes inorgánicos (por ejemplo, sales de aluminio y hierro) y polímeros orgánicos sintéticos (por ejemplo, poliacrilamida) [4].

Los coagulantes naturales se han ido conociendo, debido a que, por sus diversos beneficios, resuelven los problemas relacionados con el uso de coagulantes químicos [5]. Estos bio-coagulantes no solo clarifican el agua, sino que 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 [6].

En el departamento de San Martín (Perú), entre 2018 y 2019, hubo un incremento de la generación de agua residual 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 [7]; 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 sus aguas residuales se depositan en canales abiertos, en pozos sin tratamiento o, en algunos casos, en 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.

II. DESARROLLO

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).

A. Población y muestra

Una parte de las aguas residuales domésticas, provenientes de las viviendas del centro poblado Santa Lucía, Morales, fue recolectada por cada familia, que la almacenó durante 5 días en diversos recipientes de 1 litro. Luego, estas aguas fueron colectadas para juntarlas en un recipiente de 30 litros, y se almacenaron en el Laboratorio de la Universidad Peruana Unión durante un día, a una temperatura de 25°C . Cabe mencionar que este volumen de agua residual doméstica no es representativo 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.

B. Métodos de muestreo

Se consideraron 3 corridas de la prueba de jarras. Este sistema está conformado por cuatro vasos con capacidad de 1 L. Asimismo, se emplearon 3 réplicas para el ensayo, para 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 utilizó una mezcla rápida de 150 rpm por 1 minuto, y una mezcla lenta se de 30 rpm por 10 minutos, mientras que la sedimentación tuvo una duración de 20 minutos [8].

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

C. Diseño experimental

De acuerdo con el alcance del estudio, la investigación fue de tipo explicativo. Estos estudios se caracterizan porque buscan explicar la causa de un fenómeno [9]; en este caso, 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, el cual se caracteriza porque el investigador manipula deliberadamente las variables dependientes con la finalidad de medir su efecto en la variable dependiente [9].

Las dosis de coagulante de las semillas de frijol común que se utilizaron fueron de 500, 1000 y 1500 mg/L [10]. Por otro lado, se consideraron tres tratamientos y un control (sulfato de aluminio de 100 mg/L), con tres réplicas cada uno, haciendo un total de doce unidades experimentales.

D. Análisis estadístico

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

III. RESULTADOS

A. 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.

B. 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 valor *p* de 0,002; es decir, una 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, sin 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 que el 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 esperan valores bajos de turbidez.

FV	SC	GL	MC	F	Valor <i>p</i>
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 1. pH del ARD después de la aplicación de coagulantes.

Fuente: Elaboración propia.

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
Valor <i>p</i>			0,578	1,000	1,000

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

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se desarrolló el análisis de varianza para la turbidez del agua residual después de la aplicación de coagulantes, se encontró un valor *p* de 0,000; es decir, una 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, sin diferencia significativa entre estas tres dosis (ver tabla 4).

FV	SC	GL	MC	F	Valor p
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 3. Turbidez del ARD después de la aplicación de coagulantes.

Fuente: Elaboración propia.

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

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

Fuente: Elaboración propia.

C. Porcentaje de eliminación de turbidez del ARD

Del análisis de varianza para el porcentaje de eliminación de la turbidez del ARD, se encontró un valor *p* de 0,000, es decir, una 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, sin 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).

FV	SC	GL	MC	F	Valor p
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 5. Porcentaje de eliminación de turbidez del ARD.

Fuente: Elaboración propia.

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
Valor p			0,884	1,000

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

Fuente: Elaboración propia.

D. 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).

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

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

Fuente: Elaboración propia.

IV. 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 y 5,93, sin 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) que el 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. Por otro lado, el frijol común es una fuente de ácido fólico y taninos, los cuales tienen carácter ácido y tienden a disminuir el pH [11]. 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 [12].

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, con valores de 350, 330 y 350 UNT, respectivamente, sin existiendo diferencia significativa entre estas tres dosis. Es decir, con cualquiera de las tres dosis se obtuvieron 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 [13].

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, que arrojaron valores de 55,13%, 57,69% y 55,13%, respectivamente, sin que se hallara 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.

En cambio, el uso del coagulante natural permite reducir estas contingencias. Si bien al utilizar las semillas de frijol común como coagulante del agua residual se obtuvieron eficiencias de remoción superiores al 55%, estas eficiencias podrían aumentarse al aplicar el coagulante proteico, obtenido mediante precipitación con sulfato de amonio. Para el coagulante proteico de frijol común para la eliminación de la turbidez del ARD se encontró una eficiencia de remoción de turbidez de 72%, valor 22 veces superior al valor encontrado al utilizar el extracto crudo [14]. Las proteínas de las semillas de frijol, como coagulantes, atrapan las partículas del agua residual mediante el proceso de adsorción [15].

V. CONCLUSIONES

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 de 6 y 5,93, sin 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, con valores de 350, 330 y 350 UNT, respectivamente, sin que hubiera diferencia significativa entre estas tres dosis; es decir, con cualquiera de las tres dosis se obtuvieron valores similares de turbidez del agua residual.

Por otra parte, con las dosis de 500 mg/L, 1000 mg/L y 1500 mg/L de coagulante de frijol, el porcentaje de eliminación fue más bajo, con valores de 55,13%, 57,69% y 55,13% respectivamente, sin diferencia significativa entre las tres dosis; mientras que el porcentaje de eliminación de la turbidez fue mayor con la dosis de 100 mg/L de sulfato de aluminio (79,06%). Esta última fue mayor en un 21,37% que con el coagulante natural [14] al utilizar el coagulante proteico de frijol común para la eliminación de la turbidez del ARD, encontrándose una eficiencia de remoción de turbidez de 72%. Se concluye, por tanto, que el uso del coagulante de las semillas de frijol es una alternativa accesible para remover la turbidez del agua residual doméstica.

AGRADECIMIENTOS

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

REFERENCIAS

- [1] Kumar, H. "Influence of wastewater pH on turbidity", *Int. J. Environ Res. Dev.*, vol. 4, n.º 2, pp. 2249-3131, 2014.
- [2] D. Mullins, E. Jones, M. Glavin, D. Coburn, L. Hannon y E. Clifford, "A novel image processing-based system for turbidity measurement in domestic and industrial wastewater", *Water Sci. Technol.*, vol. 77, n.º 5, pp. 1469-1482, 2018, doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2018.030>

- [3] A. Pardede, M. A. Budihardjo y A. Purwono, "The removal of turbidity and tss of the domestic wastewater by coagulation-flocculation process involving oyster mushroom as biocoagulant", *E3S Web of Conferences*, n.º 31, 2018, doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183105007>
- [4] B. Ramavandi, "Treatment of water turbidity and bacteria by using a coagulant extracted from *Plantago ovata*", *Water Resour. Ind.*, vol. 6, n.º 1, pp. 36-50, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2014.07.001>
- [5] A. H. Amran, N. S. Zaidi, K. Muda y L. W. Loan, "Effectiveness of natural coagulant in coagulation process: a review", *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, n.º 3, pp. 34-37, 2018, doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.9.15269>
- [6] S. Y. Choy, K. M. N. Prasad, T. Y. Wu y R. N. Ramanan, "A review on common vegetables and legumes as promising plant-based natural coagulants in water clarification", *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 12, n.º 1, pp. 367-390, 2015, doi: <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0446-2>
- [7] Instituto Nacional de Estadística e Informática. *Perú: Anuario de estadísticas ambientales, 2020*. [En línea]. Disponible: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1760/libro.pdf
- [8] C. Rojas, N. Rincón, A. Díaz, G. Colina, E. Behling, E. Chacín y N. Fernández, "Evaluación de una unidad de flotación con aire disuelto para el tratamiento de aguas aceitosas", *Rev. Tecn. Fac. Ing. Univ. Zulia*, vol. 31, n.º 1, pp. 50-57, 2008.
- [9] R. Hernández, C. Fernández y P. Baptista, *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill, 2017.
- [10] W. Hidalgo y P. Cayao, "Eficiencia de la Moringa Oleifera para el tratamiento de agua residual doméstica con fines de recuperación y aprovechamiento en el riego de vegetales", trabajo de grado, Fac. Ing. Arq., Univ. Peru. Unión, Tarapoto, Perú, 2019.
- [11] L. Rodríguez y X. Fernández, (2003). "Los frijoles (*Phaseolus Vulgaris*): su aporte a la dieta del costarricense", *Acta Méd. Costarric.*, vol. 45, n.º 3, pp. 120-125, 2003.
- [12] A. H. Amran, N. S. Zaidi, A. Syafiuddin, L. Z. Zhan, M. B. Bahrodin, M. A. Mehmood y R. Boopathy, "Potential of carica papaya seed-derived biocoagulant to remove turbidity from polluted water assessed through experimental and modeling-based study", *Appl. Sci.* (Switzerland), vol. 11, n.º 12, art. 5715, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/app11125715>
- [13] W. Ang y A. Mohammad, "State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment", *J. Clean. Prod.*, vol. 262, n.º 20, 2020, art. 121267, doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>
- [14] M. Antov, M. Sciban y N. Petrović, "Proteins from common bean (*Phaseolus vulgaris*) seed as a natural coagulant for potential application in water turbidity removal", *Bioresour. Technol.*, vol. 101, n.º 7, pp. 2167-2172, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.020>
- [15] G. Kumyarahavan y S. Shanthakumar, "Efficacy of Moringa oleifera and *Phaseolus vulgaris* (common bean) as coagulants for the removal of Congo red dye from aqueous solution", *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 6, n.º 6, 1672-1677, 2015.