

Artículo

Evaluación de la eficiencia de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas grises provenientes del lavado doméstico

Azalia Guadalupe Cortés-Luna¹, Héctor Flores-Breceda^{1*}, Juan Antonio Vidales-Contreras¹, Julia Mariana Marquez-Reyes¹, Anahí del Carmen Esquivias-Fierro¹, Celestino Gómez-García¹

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, Av. Francisco Villa S/N, col. Ex Hacienda el Canadá, C.P 66050. Gral. Escobedo, Nuevo León.

* Correspondencia: hector.floresbrc@uanl.edu.mx

Resumen: El agua está considerada como un recurso necesario para las actividades industriales y domésticas, su importancia radica en que no es fácil su renovación, por esta razón, el tratamiento del agua residual es fundamental. Por lo que, en esta investigación a través de la metodología de prueba de jarras se buscará definir la eficiencia de los coagulantes naturales, tomando como referencia el coagulante químico sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas grises provenientes del lavado doméstico. Los resultados refieren dosis óptima de 100 mgL⁻¹ para el coagulante a partir de *Opuntia ficus-indica* y de 50 mgL⁻¹ para el coagulante de semillas de Moringa. Los resultados obtenidos del análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey expusieron la diferencia significativa de los coagulantes químicos y naturales, sin embargo, también determinaron que no existe diferencia significativa entre las dosis y tipo de agua grises (agua detergente-agua suavizante) empleadas.

Palabras clave: Mucilago de nopal; Semilla de moringa; Turbidez.

1. Introducción

En los últimos años, México ha enfrentado una crisis hídrica que ha afectado a todas las entidades del país, como consecuencia de fenómenos climáticos extraordinarios y la falta de estrategias eficaces de mitigación del cambio climático (Martínez-Austria et al., 2019). Esta situación provocó que, en el estado de Nuevo León, se registraran niveles críticamente bajos en sus tres principales presas y en la recarga de los mantos freáticos, afectando de manera severa tanto las actividades industriales como las domésticas. De ahí surge la importancia de fomentar el ahorro de agua potable y el reúso de aguas residuales (Hernández et al., 2023).

En este contexto, el agua se consolida como uno de los recursos más valiosos para la agricultura, la industria y el uso doméstico. Sin embargo, su utilización genera aguas residuales con características diversas que, al no ser adecuadamente tratadas, impactan negativamente el medio ambiente (Gil-Mora et al., 2022). Para su reúso, estas aguas requieren generalmente de procesos de postratamiento que eliminen los contaminantes presentes. Entre los métodos convencionales se encuentran la coagulación, la oxidación o reducción química, la filtración y el uso de tecnologías de membrana (Precious et al., 2021).

La coagulación es un proceso destinado a desestabilizar las partículas coloidales presentes en el agua, promoviendo la aglomeración de contaminantes en partículas de mayor tamaño (Kurniawan et al., 2022; Guzmán et al., 2013). Los coagulantes más comúnmente empleados son aquellos que generan cargas positivas, facilitando su interacción con las partículas suspendidas (Espinosa et al., 2016). Entre estos se encuentran sales de hierro, aluminio, cal hidratada, carbonato de magnesio y polímeros sintéticos (Moran, 2018). No obstante, el uso de dichos coagulantes puede tener consecuencias negativas tanto para la salud humana como para el medio ambiente, entre ellas, la afectación del desarrollo vegetal, del sistema radicular e incluso la inhibición de la germinación de semillas al emplearse estas aguas para riego (Ismail et al., 2020). Además, se ha demostrado que el uso excesivo de coagulantes a base de aluminio puede alterar la calidad del agua y disminuir su pH (Kurniawan et al., 2020).

Recientemente, se ha promovido el uso de biocoagulantes o coagulantes naturales, los cuales están compuestos principalmente por extractos de plantas, microorganismos (bacterias, algas y hongos) o productos animales. Estos representan una alternativa sostenible frente a los coagulantes químicos tradicionales, al ser considerados más amigables con el ambiente y menos perjudiciales para la salud humana (Lambis, 2015).

Entre las ventajas de los coagulantes naturales destacan la reducción en la generación de lodos, la posibilidad de emplear los subproductos como biofertilizantes, la disminución de costos, el bajo incremento en la carga iónica del agua

tratada y su aplicabilidad en zonas rurales (Guzmán et al., 2013). No obstante, también presentan algunas limitaciones, como la necesidad de procesos de extracción específicos, la variabilidad en su rendimiento según las características del agua y la obligatoriedad de pruebas de laboratorio para su estandarización (Kurniawan et al., 2020).

Caldera et al. (2011) utilizaron sulfato de aluminio como coagulante, determinando la dosis óptima mediante pruebas de jarras. El proceso consistió en una mezcla rápida de 1 minuto a 100 rpm, seguida de una mezcla lenta de 20 minutos a 30 rpm y una fase de sedimentación de 30 minutos. La temperatura promedio de las muestras fue de 25 °C, obteniéndose una remoción de turbidez entre el 83 % y el 96 %, con una dosis óptima de 400 mg/L.

Por su parte, Coy Gomboa et al. (2023) evaluaron la viabilidad de coagulantes orgánicos para la remoción de turbidez, destacándose el almidón de yuca, el mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y la semilla de moringa. Esta última mostró una eficiencia del 99.09 % a una concentración de 0.2 mg/L, mientras que el mucílago de nopal logró remociones de entre el 95 % y el 99.09 %.

Asimismo, Jaco et al. (2022) evaluaron la eficiencia del mucílago de nopal como coagulante en el tratamiento de aguas grises, encontrando una dosis óptima de 1.625 g/L, la cual logró una remoción de turbidez del 88.19 %, demostrando su potencial como coagulante natural.

Por lo anterior, se plantea que el uso de coagulantes naturales puede incorporarse de forma eficiente en el tratamiento de aguas grises directamente en el hogar, con accesibilidad para toda la población. En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia del mucílago de nopal y de la semilla de moringa en el tratamiento de aguas grises generadas por el lavado de ropa, una de las actividades domésticas con mayor consumo de agua.

2. Materiales y Métodos

Las muestras de aguas grises se recolectaron en un domicilio particular ubicado en el municipio de Apodaca, Nuevo León (Figura 1), utilizando botellas plásticas estériles de 1 L. Posteriormente, fueron trasladadas al Laboratorio de Biotecnología Microbiana de la Facultad de Agronomía, Campus Ciencias Agropecuarias.

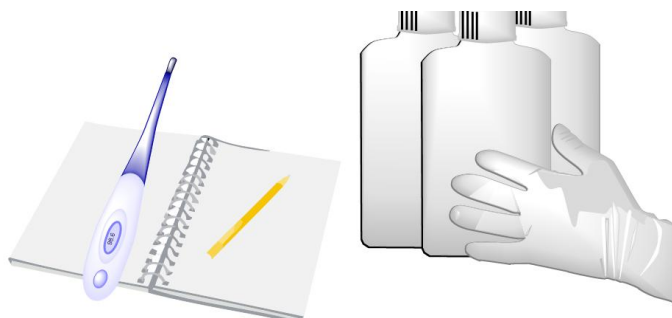


Figura 1.-Toma de muestra de aguas grises provenientes del lavado doméstico.

Determinación de turbidez

La turbidez se midió utilizando un turbidímetro HANNA HI-93703, siguiendo el procedimiento descrito por *Medidor portátil de turbidez compatible con ISO* (s.f.). La calibración se realizó con soluciones estándar (HI-93703-0, HI-93703-10, HI-93703-500), conforme al protocolo del fabricante. Las muestras fueron homogenizadas, colocadas en viales libres de burbujas y analizadas en aproximadamente 25 s por lectura.

Medición de pH

El pH se determinó con un potenciómetro Thermo Scientific Orion 4 Star, calibrado previamente con soluciones tampón de pH 4, 7 y 10. Las lecturas se realizaron directamente en las muestras, tras el enjuague y secado del electrodo.

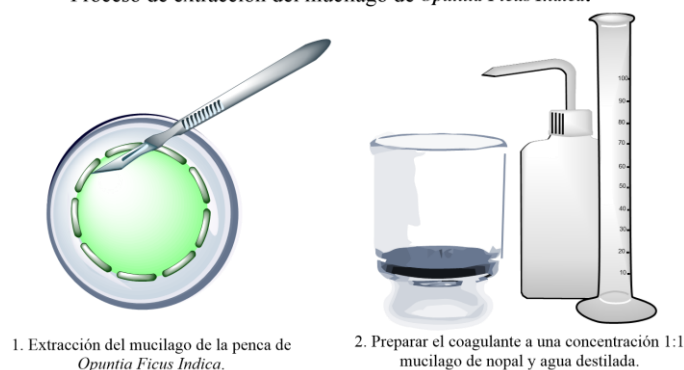
Ensayo de coagulación

La eficiencia de los coagulantes se evaluó mediante la prueba de jarras (Balda, 2021), empleando 250 mL de agua gris por tratamiento. Se ensayaron dosis de 50, 100 y 150 mg/L de coagulante. La mezcla rápida se efectuó durante 1 min a 100 rpm, seguida de una fase de sedimentación estática de 30 min.

Preparación de coagulantes naturales

Mucílago de *Opuntia ficus-indica*

Las pencas fueron lavadas, desinfectadas y despespínadas mediante cortes laterales. Posteriormente, se extrajo el mucílago mediante cortes paralelos, y se licuó con agua destilada en proporción adecuada. La solución se utilizó en un plazo no mayor a 24 h (Figura 2).

Proceso de extracción del mucilago de *Opuntia Ficus Indica*.Figura 2.-Proceso de extracción del mucilago de *Opuntia Ficus Indica*.**Semilla de *Moringa ofelia*.**

Se pesaron 53.12 g de semillas y se secaron a 40 °C durante 12 h en estufa. Luego, se trituraron hasta obtener un polvo fino (Figura 3), utilizado como coagulante en el tratamiento de aguas grises.

Proceso de preparación: Semilla de *Moringa Ofelia*.Figura 3.-Proceso de preparación: Semilla de *Moringa oleífera* para su uso como coagulante.**Cálculo de la eficiencia en remoción de turbidez.**

La eficiencia de remoción se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Cn = \frac{Ci - Cf}{Ci} * 100$$

Ec. 1

donde Ci es la turbidez inicial y Cf la turbidez final (NTU).

Análisis de datos.

El análisis de datos se realizó con el software Minitab, aplicando ANOVA unifactorial y prueba de comparación múltiple de medias ($p < 0.05$), a fin de identificar diferencias significativas entre tratamientos.

3. Resultados

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) con el objetivo de identificar diferencias significativas entre los tipos de coagulante, las dosis aplicadas y el tipo de agua evaluada. Se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) únicamente entre los tratamientos con coagulantes, mientras que la dosis y el tipo de agua (agua con detergente vs. agua con suavizante) no mostraron efectos significativos sobre la eficiencia del tratamiento (Tabla 1).

Tabla 1 Análisis de varianza de los coagulantes evaluados.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Coagulante	17035.6	2	8517.82	51.92	0.000
Dosis	66.9	2	33.43	0.20	0.818
Tipo de Agua	303	1	302.99	1.85	0.199
Error	1968.6	12	164.05		
Total	19374.1	17			

Posteriormente, se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias mediante el método de Tukey para identificar diferencias entre los coagulantes evaluados. El sulfato de aluminio presentó una eficiencia significativamente superior respecto a los coagulantes naturales (mucílago de nopal y semilla de moringa), los cuales no mostraron diferencias estadísticas entre sí (Tabla 2).

Tabla 2 Comparación de medias de los tipos de coagulantes por el método de Tukey.

Coagulante	Media	Grupo
Sulfato de aluminio	68.54	A
Mucilago de nopal	4.08	B
Semilla de moringa	2.50	B

La **Tabla 3** muestra la disminución del pH posterior al tratamiento. En el caso del coagulante químico sulfato de aluminio, se observó una reducción del pH con respecto a los valores iniciales de 7.35 para el agua con detergente y 7.46 para el agua con suavizante, alcanzando valores mínimos de 6.39 y 6.34, respectivamente, a la dosis más alta evaluada (150 mg/L). En contraste, el uso de coagulantes naturales no produjo alteraciones significativas en el pH, manteniéndose en un rango cercano a 8 para el agua con detergente y a 7 para el agua con suavizante.

Tabla 3 pH de las muestras evaluadas postratamiento.

Coagulantes	Dosis (mgL ⁻¹)	Agua con detergente.	Agua con suavizante.
Sulfato de aluminio.	50	6.74	7.02
	100	6.91	6.52
	150	6.39	6.34
Mucilago de nopal.	50	8.86	7.64
	100	8.92	7.68
	150	8.90	7.66
Semilla de moringa.	50	8.84	7.56
	100	8.84	7.62
	150	8.88	7.65

Los coagulantes naturales mostraron una menor eficiencia en la remoción de turbidez. La Tabla 4 presenta los resultados obtenidos para cada coagulante y dosis, considerando turbideces iniciales de 159 FTU para el agua con detergente (proveniente del primer ciclo de lavado) y de 14.2 FTU para el agua con suavizante (correspondiente al segundo ciclo de lavado).

Tabla 4 Eficiencia de la remoción de la turbidez de las muestras evaluadas (%).

Coagulantes	Dosis (mgL ⁻¹)	Agua con detergente.	Agua con suavizante.
Sulfato de aluminio.	50	55.24%	87.05%
	100	47.10%	86.87%
	150	49.85%	85.13%
Mucilago de nopal.	50	5.66%	0%*
	100	18.87%	0%*
	150	0%*	0%*
Semilla de moringa.	50	11.74%	3.26%
	100	0%*	0%*
	150	0%*	0%*

Unidad de medida FTU. . * Muestras que aumentaron su turbidez inicial después de pasado el tiempo de sedimentación.

La Figura 4 muestra la eficiencia en la remoción de turbidez del coagulante natural mucílago de nopal en comparación con el coagulante químico sulfato de aluminio.

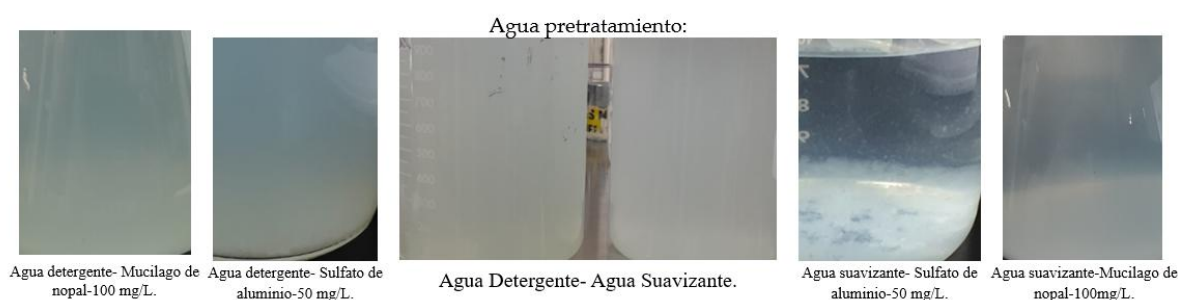


Figura 4.-Efecto de los coagulantes en el tratamiento de aguas residuales: Dosis óptima de los coagulantes con mayor eficiencia.

4. Discusión

La eficiencia de un coagulante se relaciona directamente con su capacidad para inducir la formación de flóculos (Capitillo et al., 2023). En la presente investigación, se observó que los coagulantes naturales, mucílago de *Opuntia ficus-indica* y semilla de *Moringa oleifera*, poseen una capacidad apreciable de floculación, lo que respalda su potencial para ser utilizados en el tratamiento de aguas residuales. A diferencia de los coagulantes químicos, su aplicación no generó alteraciones significativas en las propiedades fisicoquímicas del agua tratada.

Este comportamiento coincide con lo reportado por Ismail et al. (2020), quienes describen la disminución del pH asociada al uso de coagulantes a base de aluminio. En concordancia, en este estudio se registraron reducciones considerables del pH tras el tratamiento con sulfato de aluminio (Tabla 3), mientras que los coagulantes naturales mantuvieron el pH dentro de rangos estables. Dado que el pH es un parámetro crítico en la coagulación, su control es esencial, ya que influye en la especiación de los coagulantes y en la estabilidad de los flóculos. En general, el rango óptimo de pH para la coagulación se encuentra entre 5.0 y 8.0, siendo más específico de 6.5 a 8.0 para sales de aluminio.

En cuanto a la dosificación, Guzmán et al. (2013) señalan que los requerimientos de dosis están sujetos a múltiples variables, entre ellas la concentración del coagulante y la turbidez inicial del agua. En este estudio, las muestras presentaron turbideces iniciales de 159 FTU (agua con detergente) y 14.2 FTU (agua con suavizante). Para la semilla de moringa, se identificó una dosis óptima de 50 mg/L, que resultó en una eficiencia de remoción del 11.74 % y 3.26 %, respectivamente. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Coy Gomoboa et al. (2023), quienes reportaron una eficiencia del 99.09 % a una dosis de solo 0.2 mg/L, lo que sugiere que la efectividad de este coagulante puede depender fuertemente del tipo de agua, método de extracción o condiciones experimentales.

Asimismo, Manrique (2019) reportó eficiencias de remoción de turbidez de hasta 74.14 % para mucílago de nopal a una dosis de 60 mg/L. En el presente estudio, este coagulante mostró su mayor eficiencia a una dosis de 100 mg/L en una preparación 1:1 (Figura 4), aunque con rendimientos considerablemente inferiores a los descritos en la literatura. Estas diferencias podrían atribuirse a factores como la calidad del mucílago, su preparación o la baja turbidez inicial del agua con suavizante.

Por su parte, el coagulante químico sulfato de aluminio, empleado como control positivo, alcanzó eficiencias máximas de remoción del 55.24 % para el agua con detergente y del 87.05 % para el agua con suavizante. En ambos casos, se consideró que la dosis óptima fue de 50 mg/L, en función del equilibrio entre remoción efectiva y estabilidad del pH.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten concluir que la eficiencia de los coagulantes naturales está influenciada por diversos factores, entre los que destacan el tipo de agua tratada, la turbidez inicial de la muestra, la concentración del extracto y la dosis aplicada durante el proceso de coagulación-floculación. En este sentido, la evaluación de dosis entre 50 y 150 mg/L, empleando preparaciones al 50 %, permitió identificar dosis óptimas de 100 mg/L para el mucílago de *Opuntia ficus-indica* y de 50 mg/L para la semilla de *Moringa oleifera*. Sin embargo, es importante señalar que a concentraciones más elevadas se observaron incrementos en la turbidez postratamiento, lo que evidencia la necesidad de ajustar cuidadosamente la dosificación para evitar efectos contraproducentes. Por otro lado, los coagulantes naturales demostraron ser más compatibles con la calidad fisicoquímica del agua, ya que no provocaron alteraciones significativas en parámetros como el pH. En contraste, el coagulante químico sulfato de aluminio generó una reducción considerable en el pH de las muestras tratadas, lo cual podría limitar su aplicación en contextos donde se requiere preservar la estabilidad de este parámetro. Considerando lo anterior, se recomienda la implementación del mucílago de nopal para el tratamiento de aguas grises con detergente, debido a su mayor rendimiento en ese tipo de muestra. De manera complementaria, la semilla de moringa podría representar una alternativa más adecuada para el tratamiento de aguas con suavizante, ya que mostró niveles aceptables de remoción aun cuando se utilizaron dosis bajas.

6. Agradecimientos

Se agradece a los responsables de los laboratorios de la Facultad de Agronomía de la UANL, en particular a los de Biotecnología Microbiana y Remediación Ambiental, por todas las facilidades brindadas para la realización de esta investigación.

7. Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses relacionado con la realización y publicación de este estudio.

Referencias

1. APHA/AWWA/WPCF. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21^a ed. American Public Health Association, Washington, D.C., EE.UU.
2. Balda, R. (2021). *Guía de laboratorio: test de jarras*. Universidad de La Salle.
3. Caldera, J., Oñate, J., Rodríguez, M., y Gutiérrez, D. (2011). Eficiencia del sulfato de aluminio durante el tratamiento de aguas residuales de una industria avícola. Centro de Investigación del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad de Zulia.
4. Coy Gomoboa, J., y Martínez Ballén, C. (2023). Coagulantes orgánicos, una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas en áreas rurales. *Ingeniería Ambiental y de Saneamiento*, Instituto Universitario de la Paz.
5. Gil-Mora, J.E., Boza, Á.H.F., Ramos, K.J.O., y Oviedo, N.A.V. (2022). Determinación de la pérdida de la calidad de un río urbano en Cusco: Caso Saphy. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), pp. 3722–3748.
6. Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., y García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), pp. 241–250.
7. Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., y García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Ciencias Exactas y Naturales*, (2), pp. 1–7.
8. Hernández, H.V., Blanco, Y.C., y Díaz, J.A.J. (s.f.). Capítulo 10. Retos que enfrenta la gestión del agua en Nuevo León, México. En: *Libro colectivo de divulgación científica*, Organización Internacional. pp. 233.

9. Ismail, M.R., Abdullah, S.R.S., Idris, M., Kurniawan, S.B., Halmi, M.I.E., Sbani, N., y Hasan, H.A. (2020). Applying rhizobacteria consortium for the enhancement of *Scirpus grossus* growth and phytoaccumulation of Fe and Al in pilot constructed wetlands. *Environmental Management*, 267, 110640.
10. Jaco, L., Gómez, S., Loroña, M., Zamora, R., y Human, J. (2022). Eficiencia de *Opuntia ficus-indica* como coagulante para el tratamiento de aguas grises y su aplicación en un sistema piloto. Universidad Politécnica de Valencia.
11. Kurniawan, S.B., Abdullah, S.R.S., Imron, M.F., Said, N.S.M., Ismail, N.I., Hasan, H.A., y Purwanti, I.F. (2020). Challenges and opportunities of biocoagulant/bioflocculant application for drinking water and wastewater treatment and its potential for sludge recovery. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), pp. 1–14.
12. Kurniawan, S.B., Imron, M.F., Chik, C.M.I., Owodunni, A.A., Ahmad, A., Alnawajha, M.M., y Hasan, H.A. (2022). Which compound in biocoagulants/bioflocculants contributes most to coagulation and flocculation processes? *Science of The Total Environment*, 806, 150523.
13. Manrique, J. (2019). *Análisis comparativo de la disminución de sólidos suspendidos utilizando Opuntia ficus-indica y cloruro férrico en las aguas del río Lurín*. Tesis de licenciatura. Universidad Tecnológica de Lima Sur.
14. Martínez-Austria, P.F., Díaz-Delgado, C., y Moeller-Chávez, G. (2019). Seguridad hídrica en México: diagnóstico general y desafíos principales. *Ingeniería del Agua*, 23(2), pp. 107–121.
15. Medidor portátil de turbidez compatible con ISO. (s.f.). HANNA Instruments. [Consultado el 16 de enero de 2025]. Disponible en: <https://hannainst.com.mx/medidor-port%C3%A1til-de-turbidez-con-registro-hi93703>
16. Moran, S. (2018). *An Applied Guide to Water and Effluent Treatment Plant Design*. Elsevier.
- Precious, N., Rathilal, S., y Kweinor, T. (2021). Coagulation treatment of wastewater: Kinetics and natural coagulant evaluation. *Molecules*, 26(18), 5563.

Descargo de responsabilidad/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son responsabilidad exclusiva de los autores y colaboradores individuales y no de SAV y/o el/lo editor/es declinan toda responsabilidad por daños personales o materiales derivados de ideas, métodos, instrucciones o productos a los que se haga referencia en el contenido.

Cita: Cortés-Luna, A. G. (2025) «Evaluación de la eficiencia de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas grises provenientes del lavado doméstico», *Scientia Agricolis Vita*, 2(1), pp. 34–40. doi: 10.29105/agricolis.v2i1.25.

Editor Académico: Nombre Apellido

Recibido: fecha

Revisado: fecha

Aceptado: fecha

Publicado: 31 de enero de 2025



Copyright: © 2025 por los autores. Presentado para su posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).