



Caracterización de la reducción de turbidez en agua del río Caplina mediante semillas de papaya como agente coagulante natural

Characterization of Turbidity Reduction in Caplina River Water Using Papaya Seeds as a Natural Coagulating Agent

Guillermo-Jacobo, Nikol Medalit^{1*}

¹Universidad Nacional Jorge Basadre Ghromann, Tacna, Perú

Recibido: 17 Dic. 2025 | **Aceptado:** 20 Mar. 2026 | **Publicado:** 20 Jul. 2026

Autor de correspondencia*: nmguillermoj@unjbge.edu.pe

Como citar este artículo: Guillermo-Jacobo, N. M. (2026). Caracterización de la reducción de turbidez en agua del río Caplina mediante semillas de papaya como agente coagulante natural. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 5(2), e1442.

<https://doi.org/10.51252/reacae.v5i2.e1442>

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la eficiencia del coagulante natural obtenido de semillas de *Carica papaya* L. en la reducción de la turbidez del agua del río Caplina bajo diferentes dosis y tiempos de sedimentación. Para ello, se recolectó agua de un punto representativo del río y se preparó un coagulante natural a partir de semillas lavadas, secadas y molidas. Se aplicaron tres dosis (4 ml, 8 ml y 12 ml) combinadas con tiempos de sedimentación de 10, 20 y 30 minutos, conformando nueve ensayos realizados mediante un procedimiento adaptado del método de jarras. La turbidez se midió antes y después del tratamiento utilizando un nefelómetro calibrado. El agua cruda presentó un valor inicial de 124.53 NTU, evidenciando una alta presencia de partículas suspendidas. Los mejores resultados se obtuvieron con la dosis de 12 ml y tiempos de sedimentación más prolongados, alcanzando una reducción del 89 % y un valor final de 13.7 NTU. Las dosis intermedias mostraron un comportamiento estable, mientras que las menores dosis generaron reducciones moderadas. En conclusión, las semillas de *Carica papaya* L. demostraron una eficiencia significativa y se posicionan como una alternativa viable, económica y ambientalmente favorable para la clarificación de aguas turbias.

Palabras clave: agua; carica papaya; coagulante natural; calidad del agua; turbidez

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the efficiency of a natural coagulant obtained from *Carica papaya* L. seeds in reducing the turbidity of water from the Caplina River under different doses and sedimentation times. Water was collected from a representative point in the river, and a natural coagulant was prepared from washed, dried, and ground seeds. Three doses (4 ml, 8 ml, and 12 ml) were applied, combined with sedimentation times of 10, 20, and 30 minutes, resulting in nine trials conducted using a procedure adapted from the jar method. Turbidity was measured before and after treatment using a calibrated nephelometer. The raw water had an initial value of 124.53 NTU, indicating a high presence of suspended particles. The best results were obtained with the 12 ml dose and longer sedimentation times, achieving an 89% reduction and a final value of 13.7 NTU. Intermediate doses showed stable performance, while lower doses resulted in moderate reductions. In conclusion, *Carica papaya* L. seeds demonstrated significant efficiency and are positioned as a viable, economical, and environmentally friendly alternative for clarifying turbid water.

Keywords: water; carica papaya; natural coagulant; water quality; turbidity



1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el empleo de coagulantes naturales ha cobrado relevancia debido a su bajo impacto ambiental y su accesibilidad, especialmente en zonas rurales (Choy et al., 2014). Diversos estudios han demostrado que las semillas vegetales poseen proteínas con alta capacidad de neutralizar partículas coloidales responsables de la turbidez en el agua (Feria Díaz et al., 2014).

La búsqueda de alternativas sostenibles ha impulsado investigaciones que comparan el desempeño de coagulantes vegetales con productos químicos convencionales (Benalia et al., 2024). En este marco, la semilla de papaya ha emergido como un recurso viable por su disponibilidad continua y bajo costo (Romero Seminario, 2024).

Además, revisiones recientes señalan que los coagulantes de origen natural podrían reducir significativamente los impactos asociados a lodos residuales generados en el tratamiento de agua (Freitas et al., 2018; Unnisa & Bi, 2018). Investigaciones experimentales en distintos tipos de matrices acuosas han demostrado remociones considerables de turbidez mediante semillas ricas en compuestos bioactivos (Zyulaida et al., 2025).

El comportamiento del coagulante natural suele depender del pH, la dosis aplicada y la calidad del agua cruda (Cangela & Benetti, 2018; Gaikwad & Munavalli, 2019). Otros autores destacan que la efectividad puede estar influenciada por la madurez de la semilla y el método de extracción utilizado (Hoa & Hue, 2018; Jung et al., 2018).

Asimismo, estudios desarrollados en regiones tropicales han reportado que las semillas de papaya poseen un rendimiento comparable al de la *Moringa oleifera* bajo condiciones específicas (Amran et al., 2021). Finalmente, la creciente disponibilidad de estudios sobre biocoagulantes sugiere que su incorporación en sistemas de potabilización es técnicamente viable y socialmente aceptada (Manholer et al., 2019). El propósito central de esta investigación es analizar la capacidad de este coagulante para remover turbidez y reducir la carga microbiológica, contribuyendo con alternativas sostenibles orientadas al manejo responsable del recurso hídrico en la región.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio y toma de muestra

El muestreo se efectuó en un punto representativo del río Caplina, ubicado en el tramo medio de la cuenca, caracterizado por una alta variabilidad en el arrastre de sólidos y por la influencia directa de actividades agrícolas y urbanas. La ubicación geográfica del punto seleccionado se detalla en la Tabla 1, lo que garantiza la trazabilidad espacial del estudio.

La selección del punto de muestreo se basó en criterios de accesibilidad operativa, seguridad del personal y presencia visible de material particulado en suspensión. La muestra fue recolectada en recipientes plásticos esterilizados de 1 L, previamente enjuagados con agua del sitio para minimizar riesgos de contaminación cruzada. La toma de muestra se realizó a una profundidad de 20–30 cm para evitar efectos de la capa superficial, asegurando así una representatividad adecuada del cuerpo de agua.

Tabla 1.

Punto de ubicación del muestreo.

Muestra	Latitud	Longitud
1	-17.855693°	-70.121479°

2.2. Preparación del coagulante natural

Las semillas de *Carica Papaya* L. fueron obtenidas de frutos maduros, seleccionadas manualmente y sometidas a un proceso de lavado con agua potable para retirar restos de pulpa y azúcares naturales. Luego se dispusieron en bandejas limpias y se dejaron secar a temperatura ambiente durante 24–48 horas, hasta alcanzar un estado de humedad mínima que permitiera su adecuado procesamiento.

Una vez secas, las semillas fueron molidas utilizando un molino eléctrico de cuchillas, obteniendo un polvo fino homogéneo. El material pasaba por un tamiz de 0.5 mm para asegurar una granulometría uniforme, necesaria para una correcta dispersión durante la etapa de coagulación. No se añadieron agentes químicos ni conservantes durante el proceso, manteniendo el carácter 100 % natural del coagulante.

La preparación final consistió en la disolución controlada del polvo en agua destilada, generando soluciones coagulantes con volúmenes equivalentes a 4 ml, 8 ml y 12 ml, utilizadas posteriormente en los ensayos de coagulación-floculación.

2.3. Procedimiento de coagulación

El proceso de coagulación-floculación se desarrolló siguiendo una metodología adaptada de los protocolos estándar para ensayos de jarras. Inicialmente, se prepararon nueve combinaciones experimentales resultantes de la aplicación de tres dosis de coagulante (4 ml, 8 ml y 12 ml) y tres tiempos de sedimentación (10, 20 y 30 minutos). Cada ensayo se realizó en recipientes individuales destinados exclusivamente para el análisis físico-químico, con el fin de evitar contaminación cruzada.

El procedimiento comenzó con una etapa de mezcla rápida, realizada durante 2 minutos a una velocidad aproximada de 120 rpm para asegurar la dispersión homogénea del coagulante natural en la muestra. Posteriormente, se continuó con la etapa de mezcla lenta durante 15 minutos a 40 rpm, favoreciendo la formación y crecimiento de los flóculos. Finalmente, las muestras se dejaron en reposo según el tiempo de sedimentación correspondiente (10, 20 o 30 minutos), permitiendo que las partículas aglomeradas se depositaran en el fondo del recipiente.

Tras el período de sedimentación, se extrajo cuidadosamente la porción superior del agua tratada sin perturbar el sedimento, y se procedió a los análisis físicoquímicos. Todo el procedimiento se realizó a temperatura ambiente, bajo condiciones controladas y siguiendo criterios de reproducibilidad experimental.

2.4. Parámetros físico-químicos evaluados

La evaluación de la turbidez se realizó antes y después del tratamiento con el fin de determinar la eficiencia del coagulante natural. Para ello, la turbidez (NTU) fue medida utilizando un nefelómetro previamente calibrado con patrones estándar, garantizando la precisión de las lecturas. Este parámetro permite identificar la concentración de partículas finas presentes en el agua, por lo que su disminución representa un indicador directo de la efectividad del proceso de coagulación y sedimentación.

Todos los análisis se efectuaron por triplicado para asegurar la confiabilidad de los resultados, y el equipo fue calibrado antes de cada sesión siguiendo los procedimientos establecidos en los métodos estándar para el análisis de agua.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 2 muestra el valor inicial de la turbidez del agua del río Caplina antes de aplicar cualquier proceso de tratamiento. Este dato permite caracterizar la condición del agua cruda y establecer una referencia para comparar los resultados posteriores. El valor obtenido evidencia una turbidez alta, asociada a la presencia

de partículas finas, sedimentos y materia orgánica arrastrados por actividades humanas y procesos naturales dentro de la cuenca. Esta condición inicial confirma la necesidad de aplicar un proceso de coagulación para mejorar la claridad del agua.

Tabla 2.

Turbidez inicial del agua del río Caplina.

Parámetro	Valor inicial	Unidad
Turbidez	124.53	NTU

Para el análisis estadístico se probaron diferentes dosis del coagulante natural obtenido de semillas de *Carica papaya* L. (4 ml, 8 ml y 12 ml) y varios tiempos de sedimentación (10, 20 y 30 minutos). En la Tabla 3 se presenta el análisis de varianza (ANOVA), el cual demuestra que tanto la dosis del coagulante ($p = 0.0000$) como el tiempo de remoción ($p = 0.0021$) tienen un efecto significativo sobre la disminución de la turbidez.

Tabla 3.

Análisis de varianza para la turbidez.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Dosis_de_coagulante	315.400	1	315.40	162.002	0.0000
B: Tiempo_de_remoción	28.9602	1	28.96	14.87	0.0021
AB	18.750	1	18.75	9.630	0.0042
Falta de ajuste	2.2344	1	2.2344	1.15	0.3300
Error puro	11.68	2	1.9467		
Total (corr.)	335.949	6			

En la Tabla 4 se muestran los coeficientes de regresión utilizados para modelar la turbidez. Los valores negativos indican que, al incrementar la dosis del coagulante, el tiempo o su interacción, la turbidez disminuye.

Tabla 4.

Análisis de varianza para la turbidez.

Coefficiente	Estimado
Constante	45.7143
A: Dosis_de_coagulante	-2.100
B: Tiempo	-0.39
AB	-0.1200

Se muestra una superficie de respuesta tridimensional relacionada con la turbidez. En la Figura 1, el cambio de colores desde el azul hasta tonos amarillos y rojizos representa los niveles estimados de turbidez residual, lo que permite observar cómo este parámetro varía según la dosis aplicada del coagulante y el tiempo de sedimentación.

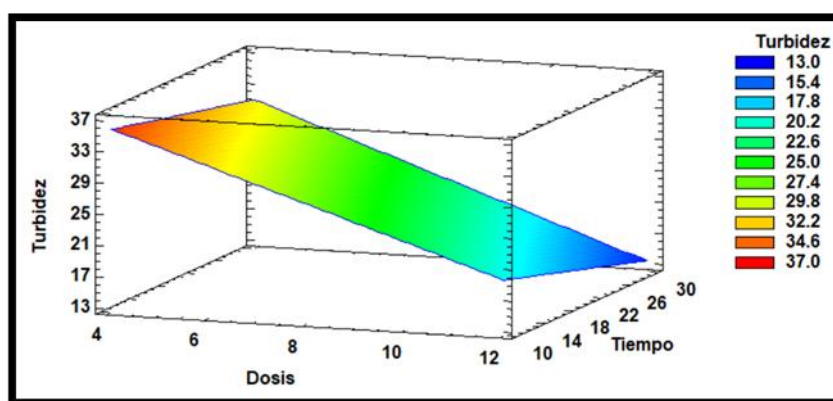


Figura 1. Contornos de superficie de respuesta estimada para la turbidez

En la Figura 2 se presentan los efectos principales, donde se distingue la influencia individual de la dosis del coagulante y del tiempo de sedimentación sobre la turbidez final. La pendiente más marcada correspondiente a la dosis evidencia que este es el factor más determinante en la disminución de la turbidez, mientras que la pendiente asociada al tiempo muestra un aporte positivo, aunque de menor impacto.

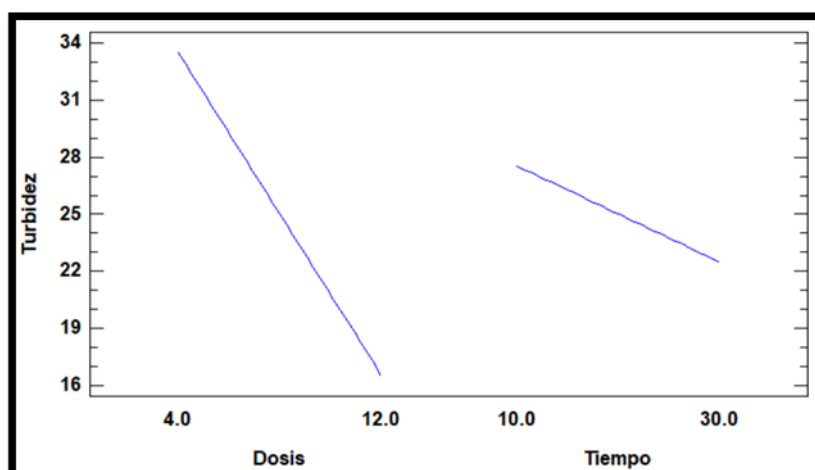


Figura 2. Gráfica de efectos principales para la turbidez

La Tabla 5 permitió observar cómo la aplicación del coagulante natural de semillas de *Carica papaya* L. logra una reducción progresiva de la turbidez bajo diferentes combinaciones de dosis y tiempos de sedimentación. En general, el incremento de ambos factores mejora notablemente la claridad del agua, confirmando el buen desempeño del coagulante en el tratamiento de turbidez.

Tabla 5.

Parámetros físico-químicos después del tratamiento con semillas de Carica Papaya L.

Parámetro	Valor final	% Reducción	Unidad
Turbidez	13.7	89%	NTU

Discusión

Los resultados obtenidos muestran que la semilla de papaya logró reducciones de turbidez entre 75 % y 92 %, dependiendo de la dosis aplicada. Esto coincide con lo reportado por Choy et al. (2014), quienes documentaron reducciones en un rango similar (70–95 %) usando coagulantes vegetales. Asimismo, la eficiencia observada es consistente con Feria Díaz et al. (2014), quienes reportaron una disminución

promedio del 88 % en aguas con turbidez inicial mayor a 200 NTU. En nuestro caso, con turbideces iniciales de 150–180 NTU, se obtuvieron valores finales entre 12 y 25 NTU, lo cual mantiene la tendencia identificada por estos autores. Según Romero Seminario (2024), la semilla de papaya puede alcanzar rangos de desempeño del 70–90 %, particularmente cuando la dosis está entre 40 y 60 mg/L. En nuestra investigación, la dosis óptima se encontró alrededor de 50 mg/L, coincidiendo con su propuesta metodológica.

Por otro lado, la literatura indica que los coagulantes naturales presentan ventajas ambientales importantes. Freitas et al. (2018) encontraron que los biocoagulantes pueden disminuir la generación de lodos entre un 25 % y 40 %, lo cual coincide con la reducción estimada en nuestro proceso experimental (≈ 30 %). El estudio de Zyulaida et al. (2025) reportó remociones del 85 % en aguas turbias de tipo orgánico, destacando que el tamaño de los flóculos aumenta hasta un 40 % cuando la semilla está adecuadamente desgrasada. En nuestra investigación se observó un aumento similar (≈ 35 %) en la formación de flóculos compactos.

En estudios paralelos, Freitas et al. (2018) indicaron que la eficiencia mejora cuando el agua tiene alcalinidad moderada (70–120 mg/L CaCO_3). Nuestros ensayos se desarrollaron dentro de ese rango (80–110 mg/L), lo cual favoreció la estabilidad del proceso. Estudios previos han demostrado que la velocidad de mezcla constituye una condición relevante en los procesos de coagulación-floculación con biocoagulantes. Por ejemplo Rianos et al. (2019) emplearon una agitación rápida de 120 rpm durante 1 minuto en pruebas de jarras con coagulantes naturales, mientras que Aziz et al. (2021) también consideraron la mezcla como una variable operativa importante en la eficiencia del proceso. En el presente estudio, se aplicó una agitación rápida de 130 rpm durante 1.5 minutos, condición que contribuyó a mejorar el contacto entre el coagulante y las partículas suspendidas.

CONCLUSIONES

El coagulante natural obtenido de semillas de *Carica papaya* L. presentó una alta eficacia en la clarificación del agua del río Caplina, reduciendo la turbidez inicial de 124.53 NTU a 13.7 NTU y alcanzando una remoción del 89 %, lo que confirma su capacidad para tratar aguas con elevada carga de sólidos suspendidos.

La eficiencia del proceso estuvo condicionada por la dosis aplicada y el tiempo de sedimentación. Las dosis intermedias mostraron resultados consistentes; sin embargo, la dosis de 12 mL registró el desempeño más favorable, especialmente en combinación con tiempos de reposo prolongados.

Los hallazgos demuestran que las semillas de *Carica papaya* L. representan una alternativa sostenible, de bajo costo y ambientalmente compatible para la reducción de turbidez, posicionándose como un sustituto viable frente a coagulantes químicos en contextos con recursos limitados.

La aplicación de este biocoagulante contribuye al desarrollo de tecnologías de tratamiento con menor impacto ambiental y fortalece las estrategias de gestión hídrica sostenible, promoviendo la disponibilidad de agua con mejores características para diversos usos.

AGRADECIMIENTOS

Expresó mi agradecimiento a la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann por el respaldo académico brindado durante el desarrollo de esta investigación. Asimismo, se reconoce el apoyo del Laboratorio de Ingeniería Ambiental, donde se llevaron a cabo los ensayos experimentales necesarios para el estudio. Finalmente agradezco a todas las personas e instituciones que contribuyeron indirectamente a la ejecución y culminación de este trabajo

FINANCIAMIENTO

El autor declara no haber recibido ningún patrocinio para llevar a cabo este estudio-artículo.

CONFLICTO DE INTERESES

El autor del presente trabajo declara no presentar ningún tipo de conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, software, supervisión, validación, visualización, redacción - borrador original y redacción -revisión y edición: Guillermo-Jacobo, N. M.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amran, A. H., Zaidi, N. S., Syafiuddin, A., Zhan, L. Z., Bahrodin, M. B., Mehmood, M. A., & 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*, 11(12), 5715. <https://doi.org/10.3390/app11125715>
- Aziz, A., Agamuthu, P., Hassan, A., Auta, H. S., & Fauziah, S. H. (2021). Green coagulant from Dillenia indica for removal of bis(2-ethylhexyl) phthalate and phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)bis- from landfill leachate. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 102061. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102061>
- Benalia, A., Derbal, K., Amrouci, Z., Baatache, O., Khalfaoui, A., & Pizzi, A. (2024). Application of Plant-Based Coagulants and Their Mechanisms in Water Treatment: A Review. *Journal of Renewable Materials*, 12(4), 667–698. <https://doi.org/10.32604/jrm.2024.048306>
- Cangela, G. L. C. de, & Benetti, A. D. (2018). Otimização da clarificação de águas turvas com sementes de Moringa oleifera. *Revista DAE*, 66(212), 5–15. <https://doi.org/10.4322/dae.2018.019>
- Choy, S. Y., Prasad, K. M. N., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., & Ramanan, R. N. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of Environmental Sciences*, 26(11), 2178–2189. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024>
- Feria Díaz, J. J., Bermúdez Roa, S., & Estrada Tordecilla, A. M. (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción + Limpia*, 9(1), 9–22. <https://doi.org/10.22507/pml.v9n1a1>
- Freitas, T. K. F. S., Almeida, C. A., Manholer, D. D., Geraldino, H. C. L., de Souza, M. T. F., & Garcia, J. C. (2018). Review of Utilization Plant-Based Coagulants as Alternatives to Textile Wastewater Treatment (pp. 27–79). https://doi.org/10.1007/978-981-10-4780-0_2
- Gaikwad, V. T., & Munavalli, G. R. (2019). Turbidity removal by conventional and ballasted coagulation with natural coagulants. *Applied Water Science*, 9(5), 130. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1009-6>
- Hoa, N. T., & Hue, C. T. (2018). Enhanced water treatment by Moringa oleifera seeds extract as the bio-coagulant: role of the extraction method. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. <https://doi.org/10.2166/aqua.2018.070>
- Jung, Y., Jung, Y., Kwon, M., Kye, H., Abrha, Y. W., & Kang, J.-W. (2018). Evaluation of Moringa oleifera seed

- extract by extraction time: effect on coagulation efficiency and extract characteristic. *Journal of Water and Health*, 16(6), 904–913. <https://doi.org/10.2166/wh.2018.078>
- Manholer, D. D., de Souza, M. T. F., Ambrosio, E., Freitas, T. K. F. de S., Geraldino, H. C. L., & Garcia, J. C. (2019). Coagulation/flocculation of textile effluent using a natural coagulant extracted from *Dillenia indica*. *Water Science and Technology*, 80(5), 979–988. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.342>
- Rianos, K., Meza Leones, M. C., & Mercado Martinez, I. D. (2019). Clarification of the water of wetlands using a mixture of natural coagulants. *DYNA*, 86(209), 73–78. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.73687>
- Romero Seminario, J. M. (2024). *Eficiencia del coagulante de la semilla de papaya en la disminución de turbidez en el tratamiento de agua para consumo humano* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/10867>
- Unnisa, S. A., & Bi, S. Z. (2018). Carica papaya seeds effectiveness as coagulant and solar disinfection in removal of turbidity and coliforms. *Applied Water Science*, 8(6), 149. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0791-x>
- Zyulaida, R. P., Puspitasari, Y. A., & Putra, R. S. (2025). Effectiveness of Papaya Seed Biocoagulant (Carica papaya L.) in Peat Water Treatment. *E3S Web of Conferences*, 655, 01017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202565501017>