



# Efecto de coagulantes naturales de *Opuntia ficus-indica* y *Moringa oleifera* en la reducción de turbidez en aguas superficiales

## Effect of Natural Coagulants from *Opuntia ficus-indica* and *Moringa oleifera* on Turbidity Reduction in Surface Waters

Cuentas-Quiza, Flor<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

**Recibido:** 29 Nov. 2025 | **Aceptado:** 10 Ene. 2025 | **Publicado:** 20 Ene. 2026

**Autor de correspondencia\*:** [fcuentasq@unjb.edu.pe](mailto:fcuentasq@unjb.edu.pe)

**Como citar este artículo:** Cuentas-Quiza, F. (2026). Efecto de coagulantes naturales de *Opuntia ficus-indica* y *Moringa oleifera* en la reducción de turbidez en aguas superficiales, 5(1), e1294. <https://doi.org/10.51252/reacae.v5i1.e1294>

### RESUMEN

En la actualidad, la disponibilidad de agua de calidad se reconoció como un requisito esencial para la salud y el bienestar humano; sin embargo, en diversas localidades del sur del Perú se observó que el recurso hídrico presentaba niveles elevados de turbidez, lo que afectó su aceptabilidad y dificultó su tratamiento debido al limitado acceso a coagulantes químicos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) y la semilla de *Moringa oleifera* como coagulantes naturales para reducir la turbidez del agua del río Caplina, Tacna. Se emplearon un turbidímetro TurbiQuant 1100 T y el método de prueba de jarras para aplicar concentraciones variables de ambos biocoagulantes de manera individual y combinada. Los resultados mostraron una reducción significativa de la turbidez en todos los tratamientos, destacando que *Moringa oleifera* presentó la mayor eficiencia a dosis bajas, mientras que *Opuntia ficus-indica* mostró un comportamiento más efectivo a concentraciones mayores. En conclusión, los coagulantes naturales evaluados demostraron ser alternativas sostenibles y de bajo costo para la clarificación de aguas superficiales, aportando evidencia científica sobre su potencial aplicación en regiones con recursos limitados.

**Palabras clave:** biocoagulantes; calidad del agua; clarificación del agua; tratamiento de agua; turbidez

### ABSTRACT

Currently, the availability of high-quality water was recognized as an essential requirement for human health and well-being; however, in several localities in southern Peru, water resources exhibited elevated turbidity levels, which affected their acceptability and hindered treatment due to limited access to chemical coagulants. The objective of this study was to evaluate the effect of cactus pads of *Opuntia ficus-indica* and seeds of *Moringa oleifera* as natural coagulants to reduce the turbidity of water from the Caplina River, Tacna. A TurbiQuant 1100 T turbidimeter and a jar-test method were used to apply variable concentrations of both biocoagulants individually and in combination. The results showed a significant reduction in turbidity across all treatments, with *Moringa oleifera* demonstrating the highest efficiency at low doses, whereas *Opuntia ficus-indica* exhibited better performance at higher concentrations. In conclusion, the natural coagulants evaluated proved to be sustainable and low-cost alternatives for the clarification of surface waters, providing scientific evidence of their potential applicability in regions with limited resources.

**Keywords:** biocoagulants; water quality; water clarification; water treatment; turbidity



## 1. INTRODUCCIÓN

En el Perú, el acceso a agua potable de calidad continúa siendo un desafío ambiental, sanitario y social, especialmente en zonas rurales y periurbanas donde la infraestructura de tratamiento resulta insuficiente para garantizar estándares adecuados de potabilización (Jacobo Salinas et al., 2023). La disponibilidad de agua segura se reconoce como un requisito esencial para la salud humana, pero en diversas zonas del sur del país persisten problemas asociados a niveles elevados de turbidez, lo que afecta su aceptabilidad y dificulta los procesos de tratamiento (Rahmadyanti et al., 2020; Solomon et al., 2020).

La turbidez es uno de los principales indicadores de contaminación física en el agua, asociada a la presencia de partículas suspendidas, arcillas, coloides y materia orgánica que afectan directamente los procesos de desinfección y potabilización (Shoukat et al., 2023). De acuerdo con el Ministerio del Ambiente, más del 30 % de fuentes superficiales del sur del país presentan niveles de turbidez superiores a los valores recomendados para el tratamiento convencional (Gutierrez Arroyo & Villanueva Kong, 2023; Otálora et al., 2022).

El proceso tradicional de clarificación del agua se basa en las etapas de coagulación, floculación, sedimentación y desinfección, utilizando coagulantes químicos como el sulfato de aluminio o el policloruro de aluminio (Olabanji et al., 2021). Si bien estos compuestos han demostrado eficacia, investigaciones recientes señalan riesgos asociados al incremento de aluminio residual y su posible relación con enfermedades neurodegenerativas, además de impactos ambientales derivados del manejo de lodos y de su dependencia del mercado internacional para su adquisición (Vegas Tamayo et al., 2023).

Como respuesta a estas limitaciones, la literatura científica ha incrementado su interés en el desarrollo de tecnologías alternativas basadas en biocoagulantes de origen vegetal, reconocidos por su biodegradabilidad, disponibilidad local y bajo costo operacional (Uzzi & Ramrattan, 2022). Estos compuestos representan alternativas sostenibles capaces de reducir la dependencia de insumos químicos importados y de disminuir los residuos asociados al tratamiento convencional del agua (Márquez Figueroa et al., 2023; Jordan et al., 2022).

Entre los más estudiados destacan la semilla de *Moringa oleifera* y la penca de *Opuntia ficus-indica*, plantas ampliamente distribuidas en regiones semiáridas como Tacna. Ambos coagulantes naturales contienen proteínas catiónicas y polisacáridos capaces de neutralizar partículas coloidales mediante mecanismos de adsorción, puenteo y agregación (Rasheed et al., 2023; Valdez Rosales et al., 2023; Abidi et al., 2022).

Los estudios recientes sobre *Moringa oleifera* señalan que sus proteínas solubles pueden reducir entre 90% y 99% de la turbidez en aguas superficiales incluso a bajas concentraciones, además de disminuir la carga microbiológica sin generar efectos tóxicos (Oré Cierro et al., 2024). Por su parte, el mucílago de *Opuntia ficus-indica*, compuesto por galacturonanos y arabinogalactanos, ha demostrado ser un biopolímero eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas, con reducciones de turbidez de hasta 95% bajo condiciones controladas (Díaz Pilco & Estrada Cardenas, 2024; León Manchi, 2025).

A pesar de estos avances, persiste un vacío científico en el contexto peruano, dado que la mayoría de estudios se han realizado en condiciones de laboratorio foráneo o en tipos de agua con características distintas a las del sur del país (Jacobo Salinas et al., 2023). Particularmente, el río Caplina presenta variabilidad estacional marcada, elevada presencia de sólidos en suspensión y una composición influenciada por actividades agrícolas, mineras y urbanas, por lo que es necesario validar la eficacia real de los biocoagulantes bajo estas condiciones locales específicas. Asimismo, no existen estudios recientes que comparen simultáneamente la acción coagulante de *Moringa* y *Opuntia* en esta cuenca, lo cual representa una oportunidad científica relevante.

En este contexto, el propósito de la presente investigación fue evaluar el efecto de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) y la semilla de moringa (*Moringa oleifera*) como coagulantes naturales para reducir la turbidez del agua del río Caplina, Tacna. El estudio buscó generar evidencia local actualizada que permita valorar su potencial como alternativas sostenibles frente a los coagulantes químicos tradicionales, así como aportar al desarrollo de tecnologías de tratamiento accesibles para comunidades con infraestructura limitada.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el distrito de Pachía, provincia de Tacna, región Tacna, Perú, teniendo como punto de muestreo principal el río Caplina, cuyas coordenadas UTM fueron 19K 381149 8025182. El área de estudio se caracterizó por presentar una alta variabilidad en la calidad del agua debido a actividades agrícolas y domésticas.



**Figura 1.** Mapa de ubicación del río Caplina

El tipo de investigación fue cuantitativa, con un enfoque experimental y de nivel explicativo. Se analizó el comportamiento de la variable turbidez del agua antes y después de aplicar los tratamientos con coagulantes naturales. El diseño experimental consistió en la manipulación deliberada de las variables independientes penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) y semilla de moringa (*Moringa oleifera*), observando sus efectos sobre la variable dependiente (turbidez).

La población de estudio estuvo conformada por las aguas del río Caplina, mientras que la muestra fue no probabilística, seleccionada a conveniencia en el tramo medio del río. Se recolectaron muestras de agua en recipientes esterilizados de 2,5 litro, las cuales se trasladaron al laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann para su análisis.

Las variables estudiadas fueron:

- **Variable independiente:** coagulantes naturales (penca de tuna y semilla de moringa).
- **Variable dependiente:** turbidez del agua (NTU).

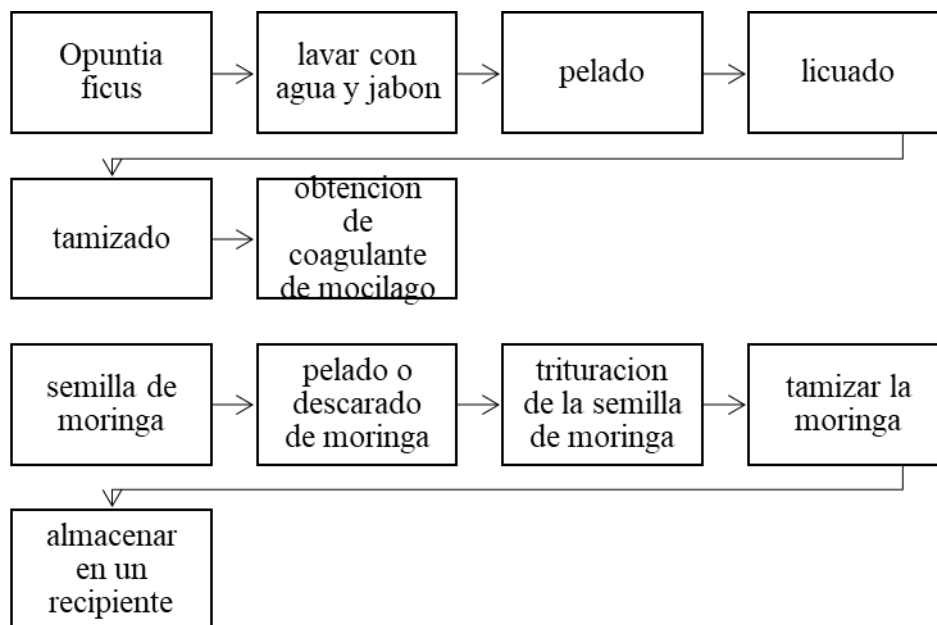
**Tabla 1.**

*Tratamiento y repeticiones para el desarrollo de la investigación*

Tratamiento	Repetición		
	R1 (tuna)	R2 (moringa)	R3 (tuna y Moringa)
T1	1,5 g/L	1,5 g/L	0,75g/L 0,75g/L
T2	1,0 g/L	1,0 g/L	0,5g/L 0,5g/L
T3	0,5 g/L	0,5 g/L	0,25g/L 0,25g/L

## Procedimiento experimental

La investigación se llevó a cabo en varias etapas experimentales. Cada una de ellas fue fundamental para el desarrollo del estudio.



**Figura 2.** *Flujograma de etapas del desarrollo de la experimentación*

El procedimiento experimental se efectuó mediante la técnica “Prueba de Jarras”, que permitió evaluar la dosis óptima de los coagulantes naturales. Las mediciones de turbidez se realizaron utilizando un turbidímetro TurbiQuant 1100 T antes y después del tratamiento. Cada muestra fue agitada a 100 rpm durante 1 minuto y luego a 30 rpm durante 15 minutos, permitiendo posteriormente la sedimentación por 30 minutos.

Los datos obtenidos fueron organizados en hojas de cálculo y procesados mediante análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas entre tratamientos, empleando el software IBM SPSS Statistics versión 25.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis realizados sobre las muestras de agua del río Caplina tratadas con penca de tuna y semilla de moringa permitieron determinar el efecto de distintas concentraciones de coagulantes naturales sobre la reducción de la turbidez. Los resultados se organizaron de acuerdo con los tratamientos establecidos en el diseño experimental, evaluándose concentraciones de 0,5 g/L, 1,0 g/L y 1,5 g/L para cada coagulante y su mezcla.

Antes del tratamiento, el agua presentó una turbidez inicial de 80,68 NTU, valor que se empleó como referencia para estimar el porcentaje de remoción.

En la Tabla 2 se muestra el comportamiento físico-químico de las muestras tratadas con la dosis de 0,5 g/L de coagulantes naturales.

**Tabla 2.***Análisis físico-químico del agua tratada con coagulantes naturales (penca de tuna y moringa) a 0,5 g/L*

Muestra	Concentración (g/L)	Coagulante	pH	Turbidez (NTU)	Remoción (%)
M1	0	Ninguno	4,22	80,68	0
M2	0,5	Tuna	4	16,79	79,19
M3	0,5	Moringa	5,72	4,02	95,02
M4	0,5	Tuna + Moringa	4,8	8,26	89,76

Los resultados mostraron que la moringa alcanzó la mayor eficiencia a una concentración de 0,5 g/L, logrando una reducción del 95,02 % de la turbidez. La mezcla de penca de tuna y moringa produjo una remoción intermedia (89,76 %), mientras que la penca de tuna sola redujo la turbidez en 79,19 %. Estos valores evidenciaron que incluso a dosis bajas, los coagulantes naturales ejercieron un efecto significativo en la clarificación del agua.

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos al aplicar una concentración de 1,0 g/L de coagulante natural. La muestra inicial (M1) mostró una turbidez de 80,68 NTU, utilizada como referencia para calcular la eficiencia de remoción. La aplicación de 1,0 g/L de penca de tuna (M5) redujo la turbidez a 36,18 NTU, mientras que la misma dosis de moringa (M6) obtuvo un valor de 4,47 NTU. Asimismo, la mezcla de ambos coagulantes aplicada a la muestra M7 produjo una turbidez final de 18,07 NTU.

**Tabla 3.***Análisis físico-químico del agua tratada con coagulantes naturales (penca de tuna y moringa) a 1,0 g/L*

Muestra	Concentración (g/L)	Coagulante	pH	Turbidez (NTU)	Remoción (%)
M1	0	Ninguno	4,22	80,68	0
M5	1	Tuna	4	36,18	55,16
M6	1	Moringa	5	4,47	94,46
M7	1	Tuna + Moringa	4,6	18,07	77,61

Los resultados mostraron nuevamente que la moringa fue el coagulante más eficiente, alcanzando una remoción del 94,46 %, incluso en una concentración mayor, mientras que la penca de tuna redujo la turbidez en poco más de la mitad respecto a la muestra inicial.

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos al aplicar una concentración de 1,5 g/L de los coagulantes naturales evaluados. La muestra inicial (M1) registró una turbidez de 80,68 NTU. Al aplicar penca de tuna a 1,5 g/L (M8), la turbidez se redujo a 50,47 NTU. La misma concentración de moringa (M9) generó una turbidez de 7,56 NTU, mientras que el tratamiento combinado aplicado a la muestra M10 produjo un valor de 27,17 NTU.

**Tabla 4.***Análisis físico-químico del agua utilizando coagulantes naturales (Penca de tuna y Moringa) a una concentración 1,5g/l.*

Muestra	Concentración (g/L)	Coagulante	pH	Turbidez (NTU)	Remoción (%)
M1	0	Ninguno	4,22	80,68	0
M8	1,5	Tuna	4	50,47	37,44
M9	1,5	Moringa	4,5	7,56	90,63
M10	1,5	Tuna + Moringa	4,7	27,17	66,31

Los resultados confirmaron la tendencia observada en los tratamientos anteriores: la moringa mantuvo la mayor eficiencia como coagulante natural, logrando una remoción del 90,63 % aun cuando se incrementó la dosis a 1,5 g/L. La mezcla de penca de tuna y moringa mostró un rendimiento intermedio (66,31 %), mientras que la penca de tuna sola presentó la menor capacidad de remoción, reduciendo apenas el 37,44 % de la turbidez inicial.

En la Tabla 5 se presentan los valores de significancia (p) obtenidos mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para los coagulantes evaluados. Los valores obtenidos fueron  $p = 0,833$  para Tuna,  $p = 0,223$  para Moringa y  $p = 0,959$  para el tratamiento combinado. Dado que todos los valores son mayores a 0,05, se concluyó que los datos cumplen con el supuesto de normalidad. En consecuencia, fue adecuado proceder con el análisis inferencial mediante ANOVA.

**Tabla 5.**

*Prueba de normalidad de los coagulantes (penca de tuna y semillas de moringa) en el río Caplina*

Coagulantes		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Remoción_Turbidez	Tuna	0,207	3		0,992	3	0,833
	Moringa	0,343	3		0,844	3	0,223
	Tuna y Moringa	0,178	3		1,000	3	0,959

En la Tabla 6 se presentan los resultados de la prueba ANOVA de un factor aplicada para comparar la efectividad de los coagulantes naturales (penca de tuna, moringa y la combinación de ambos) en la remoción de turbidez del agua del río Caplina. El valor de significancia obtenido fue  $p = 0,051$ , ligeramente superior al umbral convencional de 0,05.

Por tanto, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, aunque el valor se aproxima al límite de significancia, lo cual sugiere una tendencia que podría volverse significativa con un mayor número de repeticiones o una muestra más amplia. Aun así, los resultados descriptivos permiten identificar patrones de eficiencia entre los coagulantes, que se discuten en la siguiente sección.

**Tabla 6.**

*Efectividad de los coagulantes naturales (Penca de Tuna y Moringa) del río caplina*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1281,502	2	640,751	5,073	0,051
Dentro de grupos	757,812	6	126,302		x
Total	2039,314	8			

Los resultados de la investigación demostraron que tanto la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como la semilla de moringa (*Moringa oleifera*) fueron eficaces para reducir la turbidez del agua del río Caplina, lo que aporta nuevo conocimiento al uso de coagulantes naturales en fuentes fluviales peruanas. En particular, la moringa mostró un alto desempeño incluso a concentraciones bajas un hallazgo que coincide con estudios previos que destacan su capacidad para remover turbidez de manera eficiente (Oré Cierro et al., 2024). Por su parte, la reducción observada con la tuna apoya investigaciones que han caracterizado el mucílago de *Opuntia ficus-indica* como un biocoagulante efectivo, cuya estructura polimérica permite mecanismos de adsorción y puenteo para atrapar partículas (Otálora, et al., 2022).

Además, el uso de estos coagulantes naturales representa una alternativa sostenible frente a los químicos convencionales. Por ejemplo, el estudio de (Mariano Ribeiro et al., 2019) encontró que la moringa pretratada removi6 hasta el 87-97 % de turbidez en condiciones controladas cuando se usaron dosis entre 0,5 y 0,74 g/L, lo que respalda la viabilidad de este tipo de tratamientos para agua de consumo.

No obstante, es necesario considerar las diferencias observadas entre concentraciones: a 1,5 g/L, la remoción con tuna no fue tan eficiente como a dosis más bajas, probablemente debido a la viscosidad



incrementada del extracto, lo que podría reducir la eficiencia de floculación. Este efecto ha sido observado en otros estudios donde el sobreuso de biopolímeros naturales lleva a una menor formación de flóculos estables.

En términos operativos, la prueba de jarras utilizada en este estudio demostró ser útil para determinar las dosis más efectivas, pero su escala es limitada. Sería pertinente, en futuras investigaciones, probar estos coagulantes en un sistema piloto a escala real con flujo continuo, para evaluar su comportamiento bajo condiciones dinámicas.

Finalmente, los resultados aquí presentados avanza el conocimiento local sobre el potencial de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas del Perú, validando que especies endémicas o adaptadas al clima árido (como la tuna) pueden tener un rol importante en tecnologías limpias de tratamiento hídrico. Esto contribuye no solo a la sostenibilidad ambiental, sino también al acceso a tecnologías de bajo costo y ambientalmente responsables para comunidades locales con infraestructura limitada.

## CONCLUSIONES

Los resultados demostraron que los coagulantes naturales elaborados a partir de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) y semilla de moringa (*Moringa oleifera*) fueron eficaces para reducir la turbidez del agua del río Caplina, evidenciando su potencial como alternativas sostenibles y de bajo costo para el tratamiento de aguas superficiales. La moringa mostró la mayor eficiencia a bajas concentraciones, mientras que la penca de tuna presentó un mejor desempeño a dosis más altas; la combinación de ambos obtuvo una efectividad intermedia. Estos hallazgos destacan la importancia de seleccionar adecuadamente la concentración y el tipo de coagulante según las características del agua. Se recomienda realizar estudios en sistemas piloto y evaluar su comportamiento en diferentes condiciones fisicoquímicas, con el fin de validar su aplicabilidad en comunidades con recursos limitados. En conjunto, los resultados respaldan el uso de estos biocoagulantes como alternativas complementarias o sustitutas de los coagulantes químicos convencionales.

## FINANCIAMIENTO

No recibió patrocinio para llevar a cabo este estudio-artículo.

## CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara que no existe conflicto de intereses en relación al trabajo publicado.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, supervisión, validación, visualización, redacción - borrador original y redacción - revisión y edición: Cuentas-Quiza, F.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abidi, F., Marzougui, N., Guesmi, F., Khelil, M. N., Filali, H., Hachicha, M., & Sleimi, N. (2022). Treatment of contaminated well water with coagulants of different *Opuntia ficus-indica* L. populations. *Journal of Oasis Agriculture and Sustainable Development*, 4(2), 22–30.

<https://doi.org/10.56027/joasd.spiss042022>

Cañari Porras, A. S., & Leon Lopez, K. N. (2022). *Reducción de turbidez mediante los coagulantes naturales*

(*Moringa Oleifera*) y (*Opuntia Ficus-Indica*) en aguas superficiales de la quebrada Huaycoloro, 2022.

- Díaz Pilco, G., & Estrada Cardenas, F. (2024). Efecto de la semilla de *Moringa Oleifera* en polvo como coagulante Natural para la remoción de la turbidez del agua del Río Caplina, Perú. *Rev Soc Quím Perú*, 90(1). <https://doi.org/10.37761/rsqp.v90i01.463>
- Gutierrez Arroyo, M. E., & Villanueva Kong, T. (2023). *Coagulante-floculante de nopal y moringa oleifera y su efecto en la clarificación de aguas del río Chiquito, Huamachuco 2023*.
- Jacobo Salinas, P. A., Muguerza Salazar, N. Y., & Velasquez Marín, M. (2023). Importance of the natural coagulant *Opuntia Ficus-Indica* for the removal of turbidity in water, in the period from 2012 to 2022: A review of the scientific literature. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2023-July*. <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.528>
- Jordan, J. H., Easson, M. W., Cheng, H. N., & Condon, B. D. (2022). Application of Lignin-Containing Cellulose Nanofibers and Cottonseed Protein Isolate for Improved Performance of Paper. *Polymers*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/polym14112154>
- León Manchi, O. (2025). Eficiencia de *Opuntia ficus indica* y *Vicia faba* como coagulantes naturales en la remoción de la turbiedad de las aguas residuales del río Chumbao. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6(2). <https://doi.org/10.56712/latam.v6i2.3872>
- Mariano Ribeiro, J. V., Vega Andrade, P., & Goncalves Dos Reis, A. (2019). *Moringa oleifera* seed as a natural coagulant to treat low-turbidity water by in-line filtration. *Revista Ambiente y Agua - an Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 9(3), 445–458. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Márquez Figueroa, I. F., Leigue Fernández, M. A., & Angulo Reyes, M. R. (2023). Evaluación de la eficiencia como coagulante-floculante del mucílago obtenido a partir de la tuna (*Opuntia ficus-indica*). *Revista: P2 - Contribución a La Gestión Integrada Del Agua*. <https://doi.org/10.61547/3445>
- Olabanji, T. O., Ojo, O. M., Williams, C. G., & Adewuyi, A. S. (2021). Assessment of *Moringa oleifera* Seeds as a Natural Coagulant in Treating Low Turbid Water. *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, 6(4). <https://doi.org/10.46792/fuoyej.v6i4.702>
- Oré Cierito, L. E., Evangelista Medina, E. M., Arostegui Poma, J. M., Loarte Aliaga, W. C., Oré Cierito, J. D., & Quispe Trinidad, M. Á. (2024). Efecto de coagulantes y floculantes en la remoción de turbidez de aguas de ríos contaminadas. *Agroindustrial Science*, 13(3), 127–134. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2023.03.02>
- Otálora, M. C., Wilches Torres, A., Lara, C. R., Castaño Gómez, J. A., & Cifuentes, G. R. (2022). *Evaluation of Turbidity and Color Removal in Water Treatment: A Comparative Study between Opuntia ficus-indica Fruit Peel Mucilage and FeCl<sub>3</sub>*. *Polymers*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/polym15010217>
- Otálora, M. C., Wilches-Torres, A., Lara, C. R., Cifuentes, G. R., & Gómez Castaño, J. A. (2022). Use of *Opuntia ficus-indica* Fruit Peel as a Novel Source of Mucilage with Coagulant Physicochemical/Molecular Characteristics. *Polymers*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/polym14183832>
- Rahmadyanti, E., Wiyono, A., & Aritonang, N. (2020). Combination of phytocoagulant *Moringa Oleifera* seeds and constructed wetland for coffee processing wastewater treatment. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(1), 728–745.
- Rasheed, F. A., Alkaradaghi, K., & Al-Ansari, N. (2023). The Potential of *Moringa oleifera* Seed in Water Coagulation-Flocculation Technique to Reduce Water Turbidity. *Water, Air, and Soil Pollution*, 234(4). <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06238-3>



- Shoukat, R., Cappai, M., Giorgio, P., & Pilia, L. (2023). An Updated Review: *Opuntia ficus indica* (OFI) Chemistry and Its Diverse Applications. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 13). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/app13137724>
- Solomon, J. R., Aminu, N. M., & Wilfred-Ekprikpo, P. C. (2020). Comparative Study on the Coagulating Potentials of Alum and Moringa Oleifera in Raw Water Treatment. *Official Publication of Direct Research Journal of Agriculture and Food Science*, 8(12), 433–443. <https://doi.org/10.26765/DRJAFS17352046>
- Uzzi, M., & Ramrattan, M. (2022). Extractant Nature on the Performance of Moringa oleifera as a Natural Coagulant for Surface Water Treatment. *Article in International Journal of Agriculture and Forestry*, 2022(3), 65–70. <https://doi.org/10.5923/j.ijaf.20221203.01>
- Valdez Rosales, S. D., León Cueva, W. P., San Martín Torres, D. M., & León Cueva, R. V. (2023). Obtención de un coagulante natural a partir de la hoja de *Opuntia ficus indica* (tuna) para el tratamiento de aguas residuales. *ConcienciaDigital*, 6(1.3), 39–51. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i1.3.2509>
- Vegas Tamayo, J. A., Muñoz Leyva, M. A., & Velásquez Marin, M. (2023). Use of Moringa oleifera as a natural coagulant for turbidity removal in surface waters: A 10-year review. a review of the scientific literatura. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2023-July*. <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.575>