



# Efecto del polvo de semilla de *Moringa oleífera* sobre la turbidez de las aguas residuales en Cajamarca, Perú

Effect of *Moringa oleifera* seed powder on the turbidity of wastewater in Cajamarca, Peru

Vera-Zelada, Persi<sup>1\*</sup>

Martínez-Sovero, Gustavo<sup>1</sup>

Vera-Zelada, Luis Alberto<sup>2</sup>

Minchán-Sapo, Judith Rossmery<sup>3</sup>

Pastor-Collan, Dixon Brit<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Jaén, Jaén, Perú

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú

<sup>3</sup>Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca, Perú

Recibido: 10 Mar. 2023 | Aceptado: 13 May. 2023 | Publicado: 10 Jul. 2023

Autor de correspondencia\*: [persi.vera@unj.edu.pe](mailto:persi.vera@unj.edu.pe)

Como citar este artículo: Vera-Zelada, P., Martínez-Sovero, G., Vera-Zelada, L. A., Minchán-Sap, J. R. & Pastor-Collan, D. B. (2023). Efecto del polvo de semilla de *Moringa oleifera* sobre la turbidez de las aguas residuales en Cajamarca, Perú. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2 (2), e510. <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i2.e510>

## RESUMEN

Los procesos de tratamiento utilizados en las principales ciudades de Perú no son lo suficientemente eficientes para eliminar las aguas residuales. El objetivo fue evaluar el efecto del polvo de semilla de *Moringa oleifera* sobre la turbidez de las aguas residuales de los pozos de oxidación del distrito de Cajamarca, 2020. En la prueba se recolectaron siete muestras de agua residual en vasos de precipitados de 500 mL, uno de los cuales sirvió como control para medir los parámetros considerados (turbidez, conductividad, temperatura y pH). Luego, se mezclaron dosis de coagulante (0,5; 0,8; 1 g) en tres muestras de agua residual durante un período de 10 minutos a 150 y 200 RPM. Los diferentes pesos de la *Moringa oleifera* influyen en la turbidez del agua residual de manera inversa. Los datos no manifiestan diferencia significativa entre la turbidez y las revoluciones ( $p > 0,67$ ) indicando que los valores son similares o que no existe diferencia. Los diferentes pesos de la *Moringa* influyen en la turbidez del agua residual, la revolución o velocidad de agitación óptima es el de 200 RPM, el peso óptimo es el de 0,8 g. La *Moringa* disminuye el pH y aumenta la conductividad y la temperatura.

**Palabras clave:** agua residual; coagulante; floculante

## ABSTRACT

The treatment processes used in the main cities of Peru are not efficient enough to eliminate wastewater. The objective was to evaluate the effect of *Moringa oleifera* seed powder on the turbidity of wastewater from oxidation wells in the district of Cajamarca, 2020. In the test, seven wastewater samples were collected in 500 mL beakers, one of which served as a control to measure the parameters considered (turbidity, conductivity, temperature and pH). Then, doses of coagulant (0.5; 0.8; 1 g) were mixed in three wastewater samples for a period of 10 minutes at 150 and 200 RPM. The different weights of *Moringa oleifera* influence the turbidity of the wastewater inversely. The data show no significant difference between turbidity and RPM ( $p > 0.67$ ) indicating that the values are similar or no difference. The different weights of the *Moringa* influence the turbidity of the wastewater, the optimum revolution or agitation speed is 200 RPM, the optimum weight is 0.8 g. *Moringa* decreases pH and increases conductivity and temperature.

**Keywords:** waste water; flocculant; coagulant



## 1. INTRODUCCIÓN

Más del 80 % de las aguas residuales son producidas por actividades humanas y causan más de 50 enfermedades y muertes infantiles en todo el mundo (Lin et al., 2022). El grupo de virus de aguas residuales comprende 41 familias virales, incluidas especies de virus patógenos de *Caliciviridae*, *Adenoviridae*, *Astroviridae*, *Picornaviridae*, *Polyomaviridae*, *Papillomaviridae* y *Hepaciviridae* (Fernandez-Cassi et al., 2018).

La calidad del agua dulce en entornos rurales y urbanos se ve afectada por procesos naturales e influencias humanas. Debido a esto, el agua es cada vez más escasa a medida que aumenta la actividad humana en el mundo (Khatri & Tyagi, 2015). Las aguas con potencial de potabilización son afectadas por la actividad humana. La principal fuente de contaminación son las aguas residuales, que se descargan en grandes cantidades al sistema de suministro de agua potable. Las fuentes secundarias de contaminación son la descarga de productos químicos tóxicos de las aguas residuales industriales, plaguicidas y fertilizantes de origen agrícola a los cuerpos de agua (Daud et al., 2017).

Los micro contaminantes, incluidos los productos farmacéuticos, están presentes en diversos elementos, como el suelo, las aguas superficiales y subterráneas, el agua potable y las aguas residuales tratadas de las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales (Khan et al., 2019). El rápido crecimiento de la economía y la población mundial ejerce una presión significativa sobre el suministro de agua. Esto a menudo da como resultado una mala calidad del agua debido al aumento de las cargas de alcantarillado doméstico, desechos industriales y escorrentía agrícola (Korshin et al., 2018).

La turbidez es un indicador útil del total de sólidos suspendidos, especies de *E. coli* y *Enterococcus*. La mayor amenaza para la salud pública de la contaminación microbiana ocurre durante los eventos de escorrentía de tormentas (Huey & Meyer, 2010). La turbidez es uno de los parámetros clave de la calidad del agua en el control ambiental, el tratamiento del agua o las operaciones de procesos industriales (Tomperi et al., 2022).

El tratamiento de aguas residuales es una forma importante de reciclar recursos para hacer frente al uso de recursos naturales en las ciudades modernas (Wang et al., 2021). Los métodos convencionales de tratamiento de efluentes eliminan la contaminación de manera efectiva con el tiempo. Una vez tratado, el efluente puede liberarse al medio ambiente sin mayor contaminación (Obotey Ezugbe & Rathilal, 2020).

Los procesos de tratamiento utilizados en las principales ciudades de Perú no son lo suficientemente eficientes para eliminar las drogas de las aguas residuales (Nieto-Juárez et al., 2021). En Perú, industrias como las curtiembres tienen problemas ambientales porque descargan aguas residuales, pero existen tecnologías que pueden ser prometedoras para enfrentarlos (Zapana et al., 2020).

La implementación de sistemas descentralizados en Perú de tratamiento de aguas residuales, como biodigestores, fosas sépticas y lagunas de tratamiento, ofrece a las comunidades rurales o remotas la oportunidad de ser autosuficientes y evitar conexiones de infraestructura en áreas urbanas remotas (Smyrilli et al., 2018). La reutilización de aguas residuales tratadas es posible una vez que se desarrollen métodos para tratarlas mejor. Esto permitiría que el agua se utilice en los hogares, las industrias y la agricultura (Obotey Ezugbe & Rathilal, 2020).

Existen varias tecnologías de tratamiento de aguas residuales, como la adsorción, que es la técnica más utilizada para eliminar metales pesados de las aguas residuales debido a su diseño flexible, operación y rentabilidad (Chai et al., 2021). Los filtros funcionan con el agua potable para eliminar los contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Mejorar el estado biológico de las aguas residuales es un enfoque cada vez más común en muchos países desarrollados y en desarrollo, especialmente donde se aplican reducciones de nitrógeno y fósforo en las

aguas residuales (Mohsenpour et al., 2021). Los tratamientos biológicos más utilizados incluyen la sedimentación (decantadores primarios y secundarios), la descomposición biológica (incluyendo piscinas aeróbicas, anóxicas, anaeróbicas o similares), seguidas de procesos de desinfección como la cloración, la radiación ultravioleta o el ozono (Adelodun et al., 2021).

En Cajamarca, las aguas servidas se depositan en una laguna de oxidación, la cual actualmente no está en funcionamiento, por lo que las aguas servidas se descargan al río sin el tratamiento adecuado y algunas personas utilizan el agua para regar y dar de beber a animales, lo que representa un problema de salud pública. Cada vez se presta más atención a la aplicación de coagulantes químicos en el tratamiento de aguas residuales. Los inconvenientes asociados con los efectos a largo plazo sobre la salud humana y el medio ambiente se están convirtiendo en una preocupación debido a la producción de lodos no biodegradables (Bahrodin et al., 2021).

Estos precipitantes tienen la capacidad de cambiar las propiedades fisicoquímicas del agua tratada (Nath et al., 2021). Los coagulantes de origen vegetal tienen las ventajas de biodegradabilidad, economía, no toxicidad, bajo volumen de lodo y bajo costo de tratamiento, y tienen aplicaciones potenciales como sustitutos adecuados de los coagulantes químicos; se está estudiando el tratamiento de aguas residuales industriales (Owodunni & Ismail, 2021)

Los polímeros naturales se utilizan como coagulantes en el tratamiento de aguas residuales (Nath et al., 2021), como agente coagulante debido a su novedad, eficiencia, bajo costo y propiedades ecológicas como alternativa para el tratamiento de aguas residuales lácteas (Muniz et al., 2020). Estos precipitantes tienen un alto potencial de coagulación, son amigables con el medio ambiente y biodegradables, y además no afectan negativamente la salud humana ni provocan cambios en las propiedades fisicoquímicas del agua tratada (Nath et al., 2021).

*Moringa oleífera* como polímero natural asequible y respetuoso con el medio ambiente tiene un gran potencial para ser utilizado como acondicionador para el acondicionamiento y deshidratación de lodos (Tat et al., 2010).

La semilla de *Moringa oleífera* contiene proteínas solubles en agua con carga positiva que actúan como un coagulante eficaz y excelente para el tratamiento de agua y aguas residuales (Al Azharia Jahn, 1988). El objetivo fue evaluar el efecto del polvo de semilla de *Moringa oleífera* sobre la turbidez de las aguas residuales de los pozos de oxidación del distrito de Cajamarca, 2020.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio experimental, utilizando tres concentraciones (0,5; 0,8; 1 g/L) de coagulante natural, con dos repeticiones de cada concentración mediante prueba en tanque. Se utilizó coagulante en polvo obtenido a partir de semillas de *Moringa* (206,8 g) y aguas residuales de tanques de oxidación de Cajamarca, Perú.

Para obtener un polvo firme, se eliminó la cáscara de 1 kg de semillas de *Moringa oleífera*, luego se secó al sol durante 24 horas, luego se molió en una licuadora y se tamizó tres veces hasta que la harina esté lo más fina posible. Posterior, la extracción del aceite del polvo se extrae disolviendo en etanol (95 % de etanol), y se agregó 50 g de polvo de *M. oleífera* a 200 mL de etanol.

La solución se agitó en la prueba de jarras a 300 RPM durante 2 minutos, por lo tanto, la solución resultante se filtró al vacío (este proceso se repitió 3 veces) para obtener una torta, que posteriormente se secó en estufa a 100°C durante 12 horas. Se molió para obtener un polvo homogéneo.

Se realizó una prueba y dos réplicas, las cuales se describirán a continuación:

En la prueba se recolectaron siete muestras de agua residual en vasos de precipitados de 500 mL, uno de los cuales sirvió como control para medir los parámetros considerados (turbidez, conductividad, temperatura y pH).

Luego, se mezclaron dosis de coagulante (0,5; 0,8; 1 g) en tres muestras de agua residual durante un período de 10 minutos a 150 RPM, se dejó reposar por 30 minutos y finalmente se midieron los parámetros antes mencionados. Se realizó el mismo procedimiento para las tres muestras restantes, excepto que la velocidad de agitación fue de 200 RPM.

Para la evaluación del efecto del polvo de semilla de la *Moringa oleífera* sobre la turbidez se usó las pruebas estadísticas de PEARSON y ANOVA con un nivel de significancia de 95%. Los datos fueron analizados mediante la prueba de Fisher y Tukey en el programa estadístico Minitab 19.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados son presentados en la Tabla 1, evalúan la dosis, velocidad de agitación y efecto de la *Moringa oleífera* en los demás factores (temperatura, conductividad, pH y temperatura).

**Tabla 1.**

*Variables estudiadas de las muestras de M. Oleífera*

Código	Peso (g)	Revolución (RPM)	CE (uS/cm)	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
MT1-001	0	0	1193	7,31	15,1	217,00
MT1-002	0,5	200	1209	7,22	15,3	52,40
MT1-003	0,8	200	1219	7,15	15,4	46,60
MT1-004	1	200	1213	7,17	15,4	47,40
MT1-005	0,5	150	1211	7,15	16,4	59,10
MT1-006	0,8	150	1212	7,06	16,4	54,20
MT1-007	1	150	1220	7,09	16,2	56,90
MT2-001	0	0	1199	7,17	15,6	223,00
MT2-002	0,5	200	1208	7,21	15,4	45,90
MT2-003	0,8	200	1213	7,19	15,4	39,10
MT2-004	1	200	1221	7,14	15,5	42,30
MT2-005	0,5	150	1207	7,13	16,7	72,70
MT2-006	0,8	150	1218	7,12	16,8	43,20
MT2-007	1	150	1222	7,11	17,3	52,10
MT3-001	0	0	1196	7,16	15,9	204,00
MT3-002	0,5	200	1211	7,14	16,2	90,70
MT3-003	0,8	200	1218	7,10	16,1	56,60
MT3-004	1	200	1221	7,12	16,4	60,00
MT3-005	0,5	150	1209	7,13	16,8	67,00
MT3-006	0,8	150	1216	7,13	16,9	46,30
MT3-007	1	150	1219	7,11	17,1	52,70

El coeficiente de correlación de Pearson global es de -0,852, lo que significa que la correlación de las variables es del 85,2 %, lo que indica que la correlación o relación mutua es alta y significativa. Asimismo, el signo (-) indica que la relación es inversa, es decir, cuanto más aumenta la variable Y, menos disminuye la variable X, y viceversa. Por lo tanto, diferentes pesos de *Moringa* afectan la turbidez de las aguas residuales de manera opuesta.

### 3.1. Correlación de la revolución (RPM) y la turbidez

El coeficiente de correlación general de Pearson es  $-0,923$ . La relación entre el número de revoluciones y la turbidez del agua residual es del 92,30%, relativamente alta. El signo (-) indica una relación inversa, similar al caso anterior.

Los datos analizados son factores de ponderación para 150 RPM y diferentes valores (0; 0,5; 0,8 y 1). Los valores en diferentes pesos son significativamente diferentes, es decir, los valores son diferentes. *Moringa* afecta significativamente la turbidez del agua. Las estadísticas muestran que diferentes pesos de *M. oleifera* afectarán la turbidez del agua residual, y esta diferencia es significativa.

Los datos no mostraron una diferencia significativa entre la turbidez y las revoluciones ( $p = 0,67$ ), lo que indica una diferencia similar o nula en los valores. Esto significa que la turbidez configurada a 150 y 200 RPM produce el mismo valor. Pero hay una diferencia muy obvia, es decir, 200 rpm es más rápido que 150 rpm, es decir, para un proceso, 200 rpm es mejor que 150 rpm.

### 3.2. Evaluación del pH, conductividad y temperatura vs los pesos de la *Moringa*

Como notamos en la Figura 1, los diferentes pesos de la *Moringa* han afectado el pH, en este caso disminuyéndolo, es decir, de 7,21 a 7,12. En el caso de la conductividad y la temperatura (Figura 2 y 3); el peso de la *Moringa* ha incrementado sus valores iniciales, es decir, que la *Moringa* aporta sales y algún tipo de reacción que produce calor.

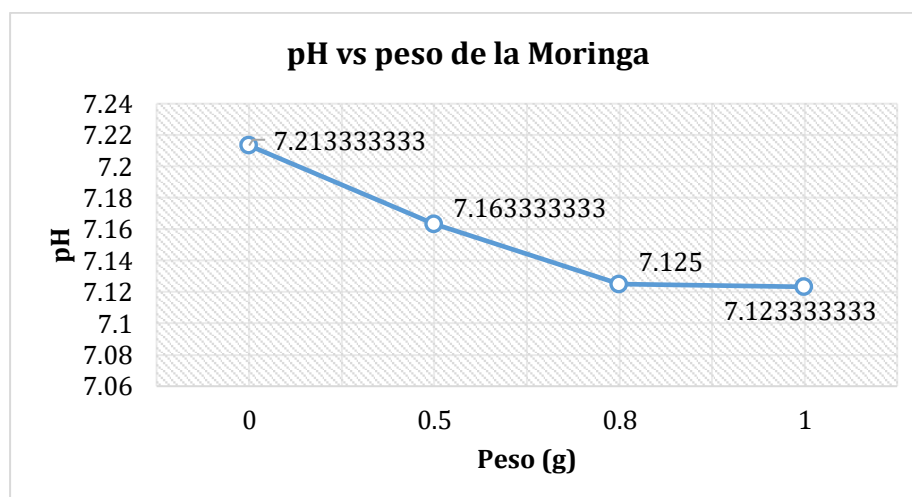


Figura 1. Efecto del peso de la *Moringa oleifera* vs el pH

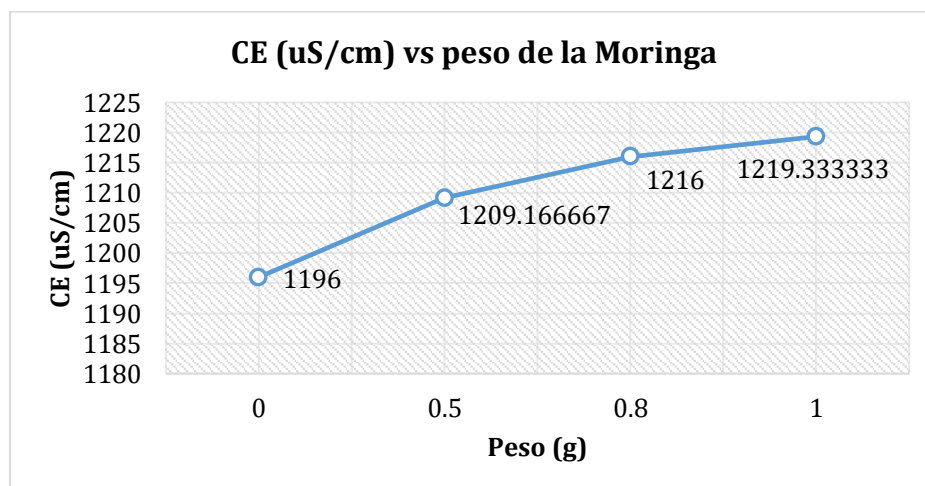


Figura 2. Efecto del peso de la *Moringa oleifera* vs la conductividad

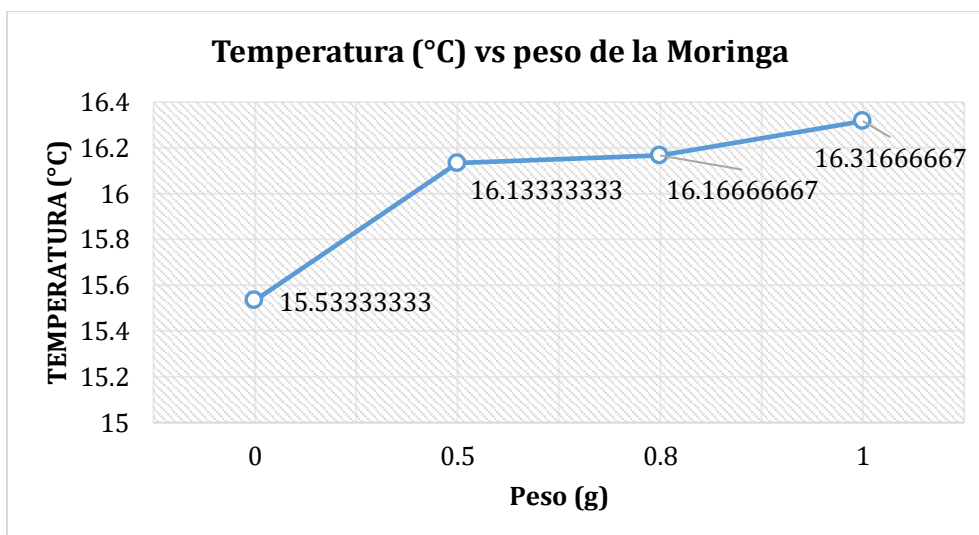


Figura 3. Efecto del peso de la *Moringa oleifera* vs la temperatura

### 3.3. Disminución de turbidez (%) aplicando polvo de *Moringa Oleífera*

Tabla 2.

Disminución de turbidez (%) luego de aplicado el tratamiento

Peso (g)	Revolución (RPM)	TURBIDEZ (NTU)	TURBIDEZ - Disminución %
0	0	214,67	0
0,5	200	63,00	70,65
0,8		47,43	77,90
1		49,90	76,75
0		214,67	0,00
0,5	150	66,27	69,13
0,8		47,90	77,69
1		53,90	74,89

En la Figura 4 se resume que, el peso de polvo de *Moringa oleifera* de 0,8 g es el que más disminuye la turbidez del agua residual en un 77,90 % y 77,69 % a una velocidad de agitación de 200 RPM y 150 RPM respectivamente. Siendo el óptimo el de 200 RPM con una reducción de turbidez al 77,90 %.

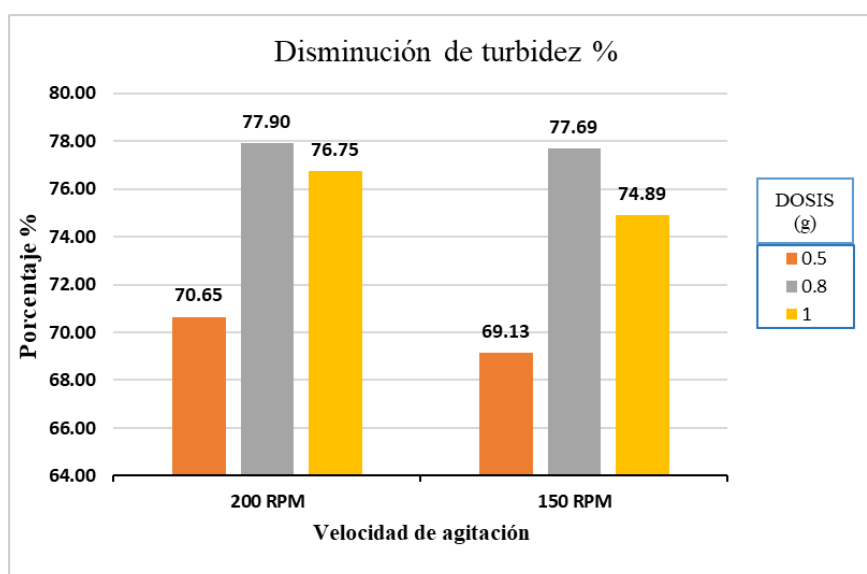


Figura 4. Resultados de remoción de turbidez luego de aplicado el tratamiento



#### 4. DISCUSIÓN

En los resultados obtenidos en el tratamiento de aguas residuales con polvo de *Moringa* se determinó la dosificación óptima de coagulante y la velocidad de agitación para evaluar el efecto de los coagulantes naturales sobre la turbidez. Esta variable es similar a otro estudio en el que se da énfasis en la velocidad de agitación para obtener mejores resultados (Alsbaiee et al., 2016).

En cuanto a las dosis óptimas de polvo de *Moringa oleifera* determinando que la dosis más efectiva es de 0,8 g para las velocidades de agitación de 200 y 150 RPM ya que disminuyó la turbidez. En otro estudio se obtuvieron en las condiciones óptimas de velocidad de mezcla a 100 RPM, duración de la mezcla de 1 min y dosificación de *Moringa oleifera* de 4695 mg/L (Tomanguillo Chumbe, 2018). En la utilización de coagulantes naturales la dosis y el pH de *G. ulmifolia* fueron significativos ( $p \leq 0,05$ ) para la eliminación de contaminantes de las aguas residuales de una lechería (Muniz et al., 2020). Se pueden tratar de aguas residuales domésticas por coagulación, floculación, sedimentación y filtración rápida de partículas utilizando extracto de agua de semilla de *Moringa oleifera* (Vega Andrade et al., 2021).

Históricamente, la *Moringa* se ha utilizado como coagulante natural para tratar aguas residuales contaminadas y todavía se usa en la actualidad (Villaseñor-Basulto et al., 2018). El árbol *Moringa oleifera* es originario de Indonesia y sus semillas se utilizan ampliamente para el tratamiento de aguas residuales (Suhartini et al., 2013). Las semillas son la parte más usada como coagulante natural para tratar agua de baja turbidez mediante filtración directa (Ribeiro et al., 2019)

Se ha observado que algunos floculantes de plantas tradicionales, como los que se encuentran en las semillas de *Moringa*, actúan como coagulantes primarios y se han recomendado para el tratamiento de agua doméstica en áreas rurales (Al Azharia Jahn, 1988). *Moringa* en polvo de semillas fue más eficaz que extracto acuoso de semillas y su combinación para disminuir la conductividad eléctrica y mantener el pH de las aguas residuales tratadas o no tratadas. No obstante, el uso de *Moringa oleifera* polvo de semillas o su extracto acuoso de semillas puede ser un coagulante alternativo y económico para el tratamiento de aguas residuales (Basra et al., 2014).

En cuanto al pH, los diferentes pesos de la *Moringa* han afectado ocasionando una disminución de 7,21 a 7,12. En otro estudio el valor de pH se redujo de 9,6 a 7,5 para los tratamientos (Adeniran et al., 2017). Una dosis alta de *M. oleifera* puede no ser cinéticamente factible para la reacción de captura de contaminantes y, por lo tanto, la velocidad de reacción se estabilizó (Adelodun et al., 2020).

En otro estudio usando coagulantes naturales como *Hibiscus esculentus L*, *Detarium microcarpum*, *Xanthosoma* y *Crassostrea Virginicase* la mejor remoción de turbidez se observó a pH 2-4, dosis de 100-200 mg/L y tiempo de fraguado de 30 min, con eficiencias de remoción de 60-92,6% datos similares a los encontrados en este estudio.

Un factor importante es la etapa de filtración lenta sin suspensión de coagulante mostró una eficiencia de eliminación de turbidez del 90% y un color aparente del 89% (Franco et al., 2012). Este factor unido con los factores de coagulación de la semilla de *Moringa* hace que el efecto de eliminación de turbidez sea más eficiente. También para mejorar el proceso de filtrado se recomienda colocar un filtro de arena (Beltrán-Heredia & Sánchez-Martín, 2009).

Las limitaciones del estudio están dadas por que no se identificaron otras partes de la planta que podrían cumplir con la función de floculación, además de que no se realizaron las características agronómicas de la planta, pudiendo esto tener variaciones en la capacidad de filtración de la planta. Se debió también realizar más ensayos en base a las revoluciones a las cuales fueron sometidos los tratamientos.

En próximos estudios sería interesante estudiar la cinética química del uso de coagulantes naturales como en el caso de estudio con *M. oleifera*, surge la necesidad de llevar nuevos estudios con diferentes tipos de

efluentes para generar métodos estandarizados de tratamiento de aguas en distintas industrias y de desechos urbanos.

## CONCLUSIONES

Los diferentes pesos de la *Moringa* influyen en la turbidez del agua residual, la revolución o velocidad de agitación óptima es el de 200 RPM, el peso óptimo es el de 0,8 g. La *Moringa* disminuye el pH y aumenta la conductividad y la temperatura.

## FINANCIAMIENTO

Ninguno

## CONFLICTO DE INTERESES

El presente artículo no presenta conflicto de intereses.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Vera-Zelada, P., Vera-Zelada, L. A., Minchán-Sapo, J. R., Pastor-Collantes, D. B. y Martínez-Sovero, G.: Conceptualización e ideas, Análisis formal, Investigación, Metodología, Validación, Redacción borrador y Redacción final.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adelodun, B., Ogunshina, M. S., Ajibade, F. O., Abdulkadir, T. S., Bakare, H. O., & Choi, K. S. (2020). Kinetic and Prediction Modeling Studies of Organic Pollutants Removal from Municipal Wastewater using *Moringa oleifera* Biomass as a Coagulant. *Water*, 12(7), 2052. <https://doi.org/10.3390/w12072052>
- Adelodun, B., Tihamiyu, A. O., Ajibade, F. O., Odey, G., Ibrahim, R. G., Goala, M., Bakare, H. O., Ajibade, T. F., Adeniran, J. A., Adeniran, K. A., & Choi, K. S. (2021). Presence, detection, and persistence of SARS-CoV-2 in wastewater and the sustainable remedial measures. In *Environmental and Health Management of Novel Coronavirus Disease (COVID-19)* (pp. 91–114). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85780-2.00014-7>
- Adeniran, K. A., Akpenpuun, T. D., Akinyemi, B. A., & Wasiu, R. A. (2017). Effectiveness of *Moringa oleifera* seed as a coagulant in domestic wastewater treatment. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 9(3), 323–328. <https://doi.org/10.1080/20421338.2017.1327475>
- Al Azharia Jahn, S. (1988). Using *Moringa* Seeds as Coagulants in Developing Countries. *Journal - American Water Works Association*, 80(6), 43–50. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1988.tb03052.x>
- Alsbaiee, A., Smith, B. J., Xiao, L., Ling, Y., Helbling, D. E., & Dichtel, W. R. (2016). Rapid removal of organic micropollutants from water by a porous  $\beta$ -cyclodextrin polymer. *Nature*, 529(7585), 190–194. <https://doi.org/10.1038/nature16185>
- Bahrodin, M. B., Zaidi, N. S., Hussein, N., Sillanpää, M., Prasetyo, D. D., & Syafiuddin, A. (2021). Recent Advances on Coagulation-Based Treatment of Wastewater: Transition from Chemical to Natural Coagulant. *Current Pollution Reports*, 7(3), 379–391. <https://doi.org/10.1007/s40726-021-00191-7>
- Basra, S. M. A., Iqbal, Z., Khalil-ur-Rehman, Hafeez-Ur-Rehman, & Ejaz, M. F. (2014). Time Course Changes in pH, Electrical Conductivity and Heavy Metals (Pb, Cr) of Wastewater Using *Moringa oleifera* Lam.



- Seed and Alum, a Comparative Evaluation. *Journal of Applied Research and Technology*, 12(3), 560–567. [https://doi.org/10.1016/S1665-6423\(14\)71635-9](https://doi.org/10.1016/S1665-6423(14)71635-9)
- Beltrán-Heredia, J., & Sánchez-Martín, J. (2009). Improvement of water treatment pilot plant with *Moringa oleifera* extract as flocculant agent. *Environmental Technology*, 30(6), 525–534. <https://doi.org/10.1080/09593330902831176>
- Chai, W. S., Cheun, J. Y., Kumar, P. S., Mubashir, M., Majeed, Z., Banat, F., Ho, S.-H., & Show, P. L. (2021). A review on conventional and novel materials towards heavy metal adsorption in wastewater treatment application. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126589. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126589>
- Daud, M. K., Nafees, M., Ali, S., Rizwan, M., Bajwa, R. A., Shakoor, M. B., Arshad, M. U., Chatha, S. A. S., Deeba, F., Murad, W., Malook, I., & Zhu, S. J. (2017). Drinking Water Quality Status and Contamination in Pakistan. *BioMed Research International*, 2017, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2017/7908183>
- Fernandez-Cassi, X., Timoneda, N., Martínez-Puchol, S., Rusiñol, M., Rodríguez-Manzano, J., Figuerola, N., Bofill-Mas, S., Abril, J. F., & Girones, R. (2018). Metagenomics for the study of viruses in urban sewage as a tool for public health surveillance. *Science of The Total Environment*, 618, 870–880. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.249>
- Franco, M., Silva, G. K. e., & Paterniani, J. E. S. (2012). Water treatment by multistage filtration system with natural coagulant from *Moringa oleifera* seeds. *Engenharia Agrícola*, 32(5), 989–997. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000500018>
- Huey, G. M., & Meyer, M. L. (2010). Turbidity as an Indicator of Water Quality in Diverse Watersheds of the Upper Pecos River Basin. *Water*, 2(2), 273–284. <https://doi.org/10.3390/w2020273>
- Khan, N. A., Ahmed, S., Vambol, S., Vambol, V., & Farooqi, I. H. (2019). Field hospital wastewater treatment scenario. *Ecological Questions*, 30(3), 57. <https://doi.org/10.12775/EQ.2019.022>
- Khatri, N., & Tyagi, S. (2015). Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Frontiers in Life Science*, 8(1), 23–39. <https://doi.org/10.1080/21553769.2014.933716>
- Korshin, G. V., Sgroi, M., & Ratnaweera, H. (2018). Spectroscopic surrogates for real time monitoring of water quality in wastewater treatment and water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.11.003>
- Lin, L., Yang, H., & Xu, X. (2022). Effects of Water Pollution on Human Health and Disease Heterogeneity: A Review. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246>
- Mohsenpour, S. F., Hennige, S., Willoughby, N., Adeloje, A., & Gutierrez, T. (2021). Integrating micro-algae into wastewater treatment: A review. *Science of The Total Environment*, 752, 142168. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142168>
- Muniz, G. L., Silva, T. C. F. da, & Borges, A. C. (2020). Assessment and optimization of the use of a novel natural coagulant (*Guazuma ulmifolia*) for dairy wastewater treatment. *Science of The Total Environment*, 744, 140864. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140864>
- Nath, A., Mishra, A., & Pande, P. P. (2021). A review natural polymeric coagulants in wastewater treatment. *Materials Today: Proceedings*, 46, 6113–6117. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.551>
- Nieto-Juárez, J. I., Torres-Palma, R. A., Botero-Coy, A. M., & Hernández, F. (2021). Pharmaceuticals and environmental risk assessment in municipal wastewater treatment plants and rivers from Peru.

- Environment International, 155, 106674. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106674>
- Obotey Ezugbe, E., & Rathilal, S. (2020). Membrane Technologies in Wastewater Treatment: A Review. *Membranes*, 10(5), 89. <https://doi.org/10.3390/membranes10050089>
- Owodunni, A. A., & Ismail, S. (2021). Revolutionary technique for sustainable plant-based green coagulants in industrial wastewater treatment—A review. *Journal of Water Process Engineering*, 42, 102096. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102096>
- Ribeiro, J. V. M., Andrade, P. V., & Reis, A. G. dos. (2019). Moringa oleifera seed as a natural coagulant to treat low-turbidity water by in-line filtration. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 14(6), 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2442>
- Smyrilli, C., Selvakumaran, S., Alderson, M., Pizarro, A., Almendrades, D., Harris, B., & Bustamante, A. (2018). Sustainable decentralised wastewater treatment schemes in the context of Lobitos, Peru. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 13(1), 8–16. <https://doi.org/10.1680/jenes.17.00023>
- Suhartini, S., Hidayat, N., & Rosaliana, E. (2013). Influence of powdered Moringa oleifera seeds and natural filter media on the characteristics of tapioca starch wastewater. *International Journal Of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2(1), 12. <https://doi.org/10.1186/2251-7715-2-12>
- Tat, W. K., Idris, A., Noor, M. J. M. M., Mohamed, T. A., Ghazali, A. H., & Muyibi, S. A. (2010). Optimization study on sewage sludge conditioning using Moringa oleifera seeds. *Desalination and Water Treatment*, 16(1–3), 402–410. <https://doi.org/10.5004/dwt.2010.1271>
- Tomanguillo Chumbe, M. del P. (2018). Derecho a la verdad como una norma imperativa Internacional y al Responsabilidad de los estados frente a este derecho [Universidad Nacional de Trujillo Derecho a la verdad como una norma imperativa Internacional y al Responsabilidad de los]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11604>
- Tomperi, J., Isokangas, A., Tuuttila, T., & Paavola, M. (2022). Functionality of turbidity measurement under changing water quality and environmental conditions. *Environmental Technology*, 43(7), 1093–1101. <https://doi.org/10.1080/09593330.2020.1815860>
- Vega Andrade, P., Palanca, C. F., de Oliveira, M. A. C., Ito, C. Y. K., & dos Reis, A. G. (2021). Use of Moringa oleifera seed as a natural coagulant in domestic wastewater tertiary treatment: Physicochemical, cytotoxicity and bacterial load evaluation. *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101859. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101859>
- Villaseñor-Basulto, D. L., Astudillo-Sánchez, P. D., del Real-Olvera, J., & Bandala, E. R. (2018). Wastewater treatment using Moringa oleifera Lam seeds: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 23, 151–164. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.03.017>
- Wang, D., Ha, M., & Qiao, J. (2021). Data-Driven Iterative Adaptive Critic Control Toward an Urban Wastewater Treatment Plant. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 68(8), 7362–7369. <https://doi.org/10.1109/TIE.2020.3001840>
- Zapana, J. S. P., Arán, D. S., Bocardo, E. F., & Harguinteguy, C. A. (2020). Treatment of tannery wastewater in a pilot scale hybrid constructed wetland system in Arequipa, Peru. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(11), 4419–4430. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02797-8>