

EFFECTO DE LA SEMILLA DE LA *MORINGA OLEÍFERA* EN POLVO COMO COAGULANTE NATURAL PARA LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO CAPLINA, PERÚ

Gabi Diaz Pilco*^a Fiorella Estrada Cardenas

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de la *Moringa oleífera* como coagulante alternativo para el tratamiento primario de aguas en la remoción de turbidez. Se realizó la caracterización de los parámetros fisicoquímicos del agua de río, la semilla tuvo un tratamiento manual para su pulverización y aplicación, se trabajó bajo un diseño factorial 2x3 teniendo como variables la dosis del coagulante, concentración de Hidróxido de Sodio (NaOH) y tiempo de agitación. Los resultados mostraron que el efecto de la *Moringa Oleífera* tiene una eficiencia de hasta el 97,77 % para turbidez, así mismo con respecto a los demás parámetros, los valores se encuentran dentro de los Estándares de Calidad de Agua de producción de agua potable de la normativa peruana. Se concluye que es una alternativa amigable con el ambiente para el tratamiento de aguas asumiendo consideraciones futuras para el reaprovechamiento de los residuos que se pudiesen generar.

Palabras clave: Coagulante alternativo, *Moringa oleífera*, parámetros fisicoquímicos, turbidez.

EFFECT OF MORINGA OLEIFERA SEED POWDER AS A NATURAL COAGULANT FOR TURBIDITY REMOVAL IN CAPLINA RIVER WATER, PERU

ABSTRACT

The present research article aims to evaluate the effect of *Moringa oleifera* as an alternative coagulant for primary water treatment in reducing turbidity. The study included the characterization of the physicochemical parameters of river water. The seeds underwent manual treatment for pulverization and application, and experiments were conducted using a 2x3 factorial design, considering the coagulant dose, sodium hydroxide (NaOH) concentration, and agitation time as variables. The results demonstrated that *Moringa oleifera* achieved an efficiency of up to 97.77% in turbidity removal. Regarding other parameters, the values complied with the Peruvian Water Quality Standards for potable water production. It is concluded that this method is an environmentally friendly alternative for water treatment, with future considerations for repurposing the residues that may be generated.

^a Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Miraflores S/N, Tacna 23000, Perú. gdiarp@unjbgu.edu.pe

Key words: Alternative coagulant, *Moringa oleifera*, physicochemical parameters, turbidity.

INTRODUCCIÓN

La gestión del agua y el problema de calidad de las mismas; es tema de relevancia en todo el mundo, debido a que la accesibilidad a este recurso para consumo influye en la salud de la población receptora. La eficiencia de las plantas potabilizadoras se rige a una normativa vigente del estado en el que se encuentre operativo, asegurándose que se mantenga un estándar de calidad, siendo así, la turbidez uno de los parámetros principales y determinantes, dado que esta muestra el contenido de sustancias en estado coloidal, minerales o materia orgánica que son indicadores de contaminación (1).

Del tratamiento de potabilización se generan residuos, resultado del uso de insumos químicos, como el Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), Aluminato de Sodio ($NaAlO_2$), Sulfato Férrico ($Fe_2(SO_4)_3$), entre otros (2), estos se oxidan y como sub-producto, trazan una limitación para el aprovechamiento del residuo generado como el lodo de alumbre, que estimándose representan del 1 % al 3 % por m^3 de agua tratada, frente a una crecida poblacional la cantidad generada de este tipo de residuos va a seguir incrementándose y los costos que implican su eliminación influirán al total del tratamiento dado, puesto que a diferencia de los lodos obtenidos a partir del tratamiento de aguas residuales no tienen un valor nutricional ni calorífico por lo cual hay una limitación en su reutilización (3); además considerando los efectos negativos a la salud con respecto al aluminio residual en el agua potable, hay un potencial que aumenta el riesgo de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer; por lo mencionado; siendo la coagulación uno de los procesos principales del tratamiento de aguas, esta se enfrenta a cambios progresivos situacionales que la van haciendo ineficiente en su convencionalidad, por lo cual viene siendo materia de investigación para la búsqueda de nuevas alternativas, contemplando así a los coagulantes naturales e híbridos, del cual su accionar dependería de las propiedades de la materia orgánica natural, su tamaño, estado de carga e hidrofobicidad y en cuanto compete al tipo de coagulante su dosis y condición de mezcla influenciado por el pH, el potencial sobre los coagulantes naturales del tipo vegetal muestran ventaja como biodegradación, renovabilidad, cero toxicidad y una agradable relación de costos y eficacia (4).

La turbidez nos indica un cierto grado de contaminación en el agua, dado que está ligada de manera correlacional a los coliformes fecales y totales, así como el color aparente (1), para su tratamiento es que se lleva a cabo la coagulación, fundamentándose en la precipitación de partículas en el agua, bajo apoyo de un agente coagulante responsable de realizar la desestabilización de partículas coloidales con carga eléctrica; se han realizado estudios de aplicación en el cual la semilla de *Moringa oleifera* viene siendo una opción viable y eficaz en la remoción turbidez, sólidos totales, sólidos suspendidos y el color, algunos de los componentes hallados en la composición química de esta semilla, según Zumalacárregui & Ferrer (5), serían metabolitos como: taninos hidrolizables, alcaloides y flavonoides, así como saponinas, esteroides, fenoles, entre otros; su mecanismo se basa en la presencia de proteínas catiónicas solubles en agua, que propician a la neutralización de cargas, inversión y adsorción contra partículas impuras suspendidas y cargadas negativamente (6).

En esta investigación realizada se evaluó el efecto de la semilla de *Moringa Oleifera* en polvo para la remoción de turbidez del río Caplina, una de las cuencas principales de agua

de la región de Tacna. Se consideró la influencia del NaOH en el medio experimental, así mismo se analiza la influencia del coagulante en parámetros fisicoquímicos tales como pH, TDS y salinidad, relacionándolos a los Estándares de Calidad Ambientales para el agua en el marco normativo peruano.

PARTE EXPERIMENTAL

Toma de muestra de agua

El agua para llevar a cabo esta investigación se extrajo en cuatro botellas de poliestireno tereftalato (PET) de 2,5 L de capacidad de la bocatomía del río Caplina del departamento de Tacna – Perú (17°51'15.8"S 70°07'16.3"W), siguiendo la metodología de monitoreo de calidad de los recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Las muestras se llevaron al laboratorio de análisis de agua de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental (ESAM) de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG) para posteriormente medir los parámetros fisicoquímicos como la turbidez (NTU) mediante el uso del Turbiquant® 1100 IR MERCK.; el pH, TDS (mg/L) y la salinidad (%) fueron medidos con el multiparámetro marca Hach HQ40D, ello antes y posterior al tratamiento realizado.

Preparación del coagulante de semilla de Moringa oleífera

Las semillas de moringa fueron adquiridas de un mercado local (500 g), se aplicó la metodología de Avendaño & Castillo (7) para la obtención de las semillas en polvo, se seleccionaron e hizo el retiro manual de las cáscaras de la moringa aplicando fuerza en las yemas de los dedos de la mano, seguidamente se llevó a una licuadora, sin hacer uso de agua, hasta obtener aproximadamente un total 337g de polvo fino; el cual se dejó secar por un lapso de cinco días, para posteriormente ser llevado al laboratorio donde se utilizó papel adsorbente y un mortero para retirar el aceite natural excedente que contenía el polvo de la moringa.

Diseño de investigación

En la presente investigación se realizó una prueba de jarras. Para definir los tratamientos se optó por un diseño factorial 2^3 completo de dos niveles (máximo y mínimo) y tres factores (dosis de moringa, concentración de NaOH y tiempo de agitación), realizándose 8 corridas con 3 puntos centrales y 3 repeticiones, obteniéndose un total de 33 unidades experimentales. El diseño mencionado permite estimar la dosis óptima, mayor eficiencia y limitar la medida del uso de los factores en evaluación (8). M1,...,M11 representan las corridas brindadas por el programa y los puntos centrales de estas once corridas están representados por M9, M10 y M11; para los valores de dosificación de moringa y tiempo de agitación manual de los puntos centrales se tomó como referencia a Jurado et al., (9) y para la concentración de NaOH a Tirado et al., (8).

Tabla 1. Diseño factorial 2³ para el tratamiento de coagulación.

Factores	Valor mínimo	Puntos centrales	Valor máximo
Dosis de Moringa (mg)	97.5	104	110.5
Concentración de NaOH (M)	0.0025	0.0038	0.0050
Tiempo de agitación (min)	1	3	5

Para el análisis de resultados de influencia sobre la turbidez, pH, salinidad y TDS se realizó un ANOVA para determinar la significancia estadística de los factores experimentales, además se aplicó la fórmula que Garcia et al. (10) usó para determinar la eficiencia del coagulante en la remoción de la turbidez en porcentaje (%) como se muestra en la ecuación 1.

$$E_f \% = \frac{(\text{Valor inicial} - \text{Valor final}) \times 100\%}{(\text{Valor inicial})} \dots\dots\dots \text{Eq. (1)}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2, se muestran los valores de las condiciones iniciales de la medición de los parámetros fisicoquímicos de la muestra madre de agua del río Caplina a 26.4°C.

Tabla 2. Condiciones iniciales de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua del río Caplina.

Turbiedad (NTU)	pH	TDS (mg/L)	Salinidad (%)
90.656	4.45	653	0.65

Para el análisis estadístico se realizaron las mediciones post-tratamiento de los parámetros fisicoquímicos de turbiedad, pH, TDS y salinidad por muestra enumerada, triplicado y promediado a fin de realizar la comparación respectiva con la muestra inicial, tal como se expresa en la tabla 3, de ello se calculó una eficiencia de hasta el 97.77% de remoción de turbidez.

Del análisis de varianza ANOVA para los resultados mostrados en la tabla 3 considerando el análisis de los factores por individual y las interacciones entre ellos, se expresa una influencia significativa únicamente para la remoción de turbidez con un porcentaje de confiabilidad del 95 % (valor-p es menor a 0.05), en cuanto el resto de parámetros expresa influencia significativa únicamente de la concentración de NaOH aplicado. Este análisis demostró que el factor dosis de moringa tiene un valor-p de menor a 0.001, concentración de NaOH de 0.019 y tiempo de agitación de 0.03, la interacción de los tres tiene un valor 0.001 para la remoción de turbidez.

Tabla 3. Resultados de los parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento.

	Muestras	Parámetro			
		Turbiedad (NTU)	pH	TDS (mg/L)	Salinidad (%)
Antes	Mo	90.656	4.45	653	0.65
	M1	2.576	6.830	816.000	0.823
Después	M2	3.509	6.800	804.333	0.813
	M3	3.109	6.300	739.333	0.747
	M4	4.513	6.300	739.000	0.743
	M5	2.830	6.767	814.000	0.820
	M6	4.288	7.000	810.333	0.813
	M7	3.008	5.900	744.000	0.753
	M8	3.049	6.233	742.000	0.750
	M9	2.669	6.167	763.000	0.770
	M10	2.757	6.400	767.000	0.7666
	M11	2.018	6.467	759.333	0.730

En la figura 1 se muestra el gráfico de contorno donde se evidencia la influencia de la concentración del NaOH y la dosis de *Moringa Oleífera* para el resultado porcentual de remoción de turbidez de acuerdo a lo obtenido en la medición de parámetro fisicoquímicos de las unidades experimentales posterior al tratamiento. En eje de las ordenadas se encuentran los valores de concentración de NaOH en unidad de molaridad (M) teniendo valores de 0.0025 y 0.0050 M, mientras que en eje de las abscisas están los valores de dosis aplicadas del coagulante natural (mg), encontrándose entre los 98 y 110 mg. La colorimetría indica el grado de remoción de turbidez porcentual en una gradiente de color verde claro cuyos valores son menores al 95.5 % hasta el verde oscuro con porcentajes resultantes mayores al 97.5 %, siendo este un rango de eficiencia elevada, donde los factores como NaOH se encuentra alrededor de 0.0040 M y la dosis de moringa entre los 104 y 108 mg.

En la figura 2, figura 3 y figura 4 de los gráficos de radar se muestran los resultados de parámetros tales como pH, TDS y salinidad respectivamente para los tratamientos realizados con sus variaciones con respecto a la muestra de control (Mo). Los valores de pH de M1 a M11 muestran similitudes entre sí, no obstante, con respecto a Mo existe una tendencia de ácido a básico (4.45 – 7). Para los TDS no se demuestra efecto notable, la variación negativa con respecto a Mo va de 653 – 816 mg/L. La salinidad muestra una tendencia similar a los otros parámetros, con leves variaciones entre los tratamientos, con una variación de 0.65 – 0.823 que estadísticamente no demuestra significancia.

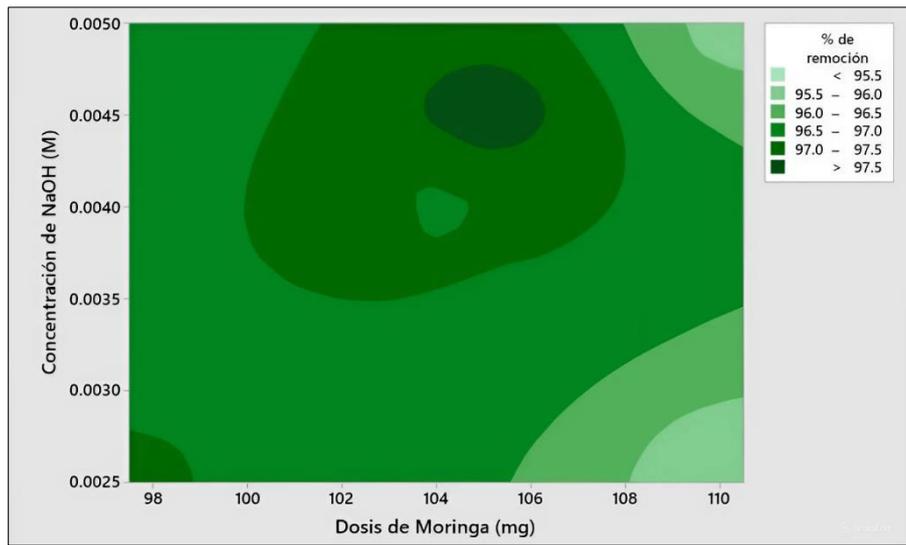


Figura 1. Gráfico de contorno de dosis de moringa vs concentración de NaOH.

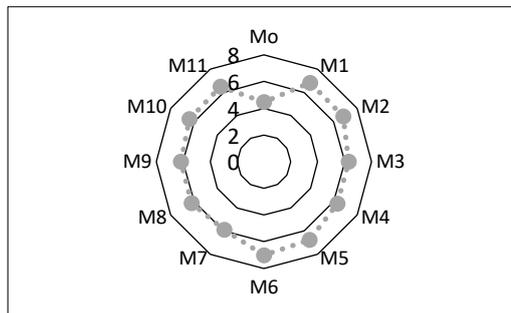


Figura 2. Gráficos de radar de pH posterior al tratamiento con respecto a la muestra de control.

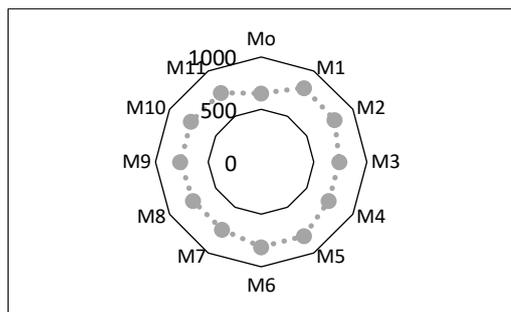


Figura 3. Gráficos de radar de TDS posterior al tratamiento con respecto a la muestra de control.

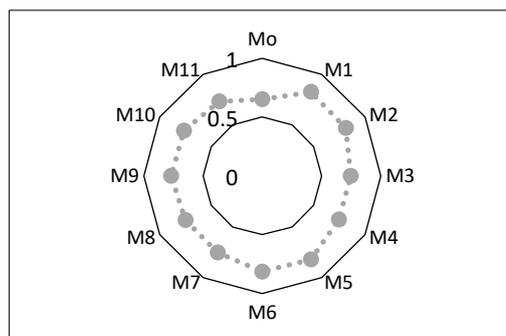


Figura 4. Gráficos de radar de salinidad posterior al tratamiento con respecto a la muestra de control

Con lo mostrado en la tabla 2 y tabla 3, el porcentaje de eficiencia de remoción de turbidez varía entre 95.02% - 97.77% a partir del uso de *Moringa Oleífera* como coagulante natural para el agua del río Caplina cuya dosis óptima fue de 105 mg/400 mL y pH regulado por NaOH, resultados similares los obtuvo Mejía et al. (11) quien trabajó con aguas residuales cuya eficiencia alcanzó hasta un 97.08% que por lo que atribuye se debería también al cloruro de sodio (NaCl) para la activación de las proteínas de la moringa y que esta al ser aplicada tiene mayor solubilidad con una dosis de 0.74 g/L, esta solución salina también fue usado y verificado en la comparación de resultados que obtuvo por Skaf et al. (12) aumentando su eficiencia.

De acuerdo a lo expuesto y de igual forma influyendo en los antecedentes reportados, la aplicación del NaOH se efectúa con la finalidad de realizar una corrección de pH, por lo mencionado por Castillo (13) estando en un rango de 6.5 – 8 ; osea mientras más alcalino sea el medio la eficiencia de remoción será más elevada, en lo que respecta en su investigación experimental ello no fue de realce pues las variaciones no tuvieron significancia, por tanto bajo la aplicación de semilla de Moringa oleífera no habría la necesidad de realizar ajustes de pH, así mismo Hadadi, Imessaoudene, Bollinger, Cheikh, et al. (14) trabajando con una solución sintética logrando una eficiencia del 98.5% con dosis de coagulante de 3.5 mL/200 mL, menciona que el pH interfiere en el proceso de eliminación de turbidez y que el rango donde se evidencia significancia para su experimento fue de 2 – 8, por encima de ello la eficiencia va disminuyendo puesto que, siendo el coagulante de origen vegetal, este tiende a la formación predominante de puentes de polímeros entre polisacárido, no obstante, al haber usado una solución salina como el cloruro de sodio (NaCl) 0.5 M se rechaza la dependencia al aplicarse la semilla de moringa como coagulante debido a la protonación del grupo funcional amino proteico en interacción con los coloides del medio acuoso y afirma mayor importancia al tamaño de partícula de coagulante y su dosificación, por lo contrario Cedillo et al. (15) de acuerdo a los estudios revisados considera que los sitios de unión en las proteínas de la Moringa oleífera se relacionan con cambios de pH por la competencia entre iones hidrógeno, protones hidratados e iones hidroxilo, mientras que en el caso de valores de pH bajos, la competencia es por iones hidratados e iones hidroxilo, esto último mencionado podría estar relacionado con los resultados de esta investigación presentando un pH de 6.167 - 7 en la rapidez de precipitación y la formación de una capa superficial en los recipientes de cada unidad experimental al aplicar el NaOH y la dosis de coagulante teniéndose como intervalos de mayor eficiencia de remoción de acuerdo a la figura 1 una concentración de NaOH entre 0.0025 - 0.0050 M y de dosificación variando de 98 – 110 mg; Mekonin & Ebba (16) en aguas residuales ácidas logrando una remoción de hasta 99.5% y en básicas con el 98 %, observó que hay mayor remoción de turbidez con pH cercano a 9 por la carga superficial negativa del coagulante mientras que con un pH cercano a 3 propicia a aumentar la concentración de iones hidrógeno que propiciaría a la neutralización del coagulante reduciendo las fuerzas de atracción con las partículas suspendidas del agua.

En cuanto la dosificación los datos usados en el diseño factorial fueron a partir de estudios previamente realizados por diversos investigadores demostrándose su veracidad en los porcentajes de remoción de turbiedad que es importante tomar en cuenta puesto que así como Licapa et al. (17) quien lo demostró que haciendo uso de la *Opuntia ficus-indica* con una eficacia del 84.1% aplicando 30 mg/L de coagulante más allá de ese valor puede llegar a desequilibrar el medio acuoso y saturarlo, interfiriendo en la formación de puentes de polímeros, por ende en la adhesión de partículas coloidales. Zea et al. (18) quien reporta que el tratamiento tuvo efecto en un 14.5%, mientras que la aplicación de moringa

representó un 22.9 indiferente si este tuviese grasa o no al presentar similitudes de comportamiento, no obstante menciona que para tanto la selección del coagulante y el tratamiento a aplicarse deben buscar una sinergia para optimizarse, así mismo declara que el tiempo de contacto no fue determinante a lo que experimentó, de acuerdo al análisis estadístico de esta investigación sí es un factor que influye, sin embargo se le atribuye mayor importancia a la dosificación de la *Moringa oleífera* y la concentración de NaOH, de acuerdo a Gandiwa et al. (19) el tiempo de agitación fomenta los choques entre partículas que tienen cargas neutralizadas que se aglomeran forman los flóculos para posteriormente precipitar con mayor rapidez.

De la tabla 3, como se muestra en la figura 2, los valores de pH son similares entre ellos al aplicarse la semilla de moringa en polvo teniendo una tendencia básica a diferencia de la muestra de control, de la figura 3 y figura 4 tanto para TDS y salinidad las variaciones son ligeras, es decir que el coagulante no tuvo efecto sobre ellas, sin embargo de acuerdo a lo investigado por Sandoval & Laines (20) pudo aumentar la carga orgánica.

En lo que respecta a su relación con los ECA establecido por el Ministerio del Ambiente (21) para aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, siendo el rango de pH para encontrarse entre las categoría de uso poblacional y recreación, para las sub-categorías A1 y A2 con tratamientos de desinfección y convencional respectivamente entre los rangos de 5.5 – 9, en la muestra de control como se muestra en la tabla 1 se encontraba en 4.45, los valores resultantes posterior al tratamiento, así mismo valores aceptables se tuvieron con los parámetros de TDS, salinidad y turbidez como objeto principal del presente trabajo de investigación con la aplicación de semilla de *Moringa oleífera*.

CONCLUSIONES

La aplicación de la semilla de *Moringa oleífera* en polvo demostró eficiencia en la remoción de turbidez del agua del río Caplina en 97.77%, considerando dosis óptima del coagulante alternativo con 105 mg/400mL, concentración de 0.004 M de NaOH y tiempo de agitación manual de 4 min., el pH, salinidad y TDS tienen ligera variación de su condición inicial debido al NaOH. Los resultados obtenidos con respecto a los parámetros hallados en los ECA se encuentran dentro de las sub-categorías A1 y A2 que no implican tratamientos avanzados o alta tecnología considerándose una alternativa eco-amigable en el tratamiento de agua para el consumo humano, así mismo, se sugiere que futuros estudios profundicen el modo de aplicabilidad y conservación de los coagulantes naturales de origen vegetal para su inserción en el mercado industrial a gran escala de tratamiento de aguas por limitaciones al tener naturaleza orgánica.

AGRADECIMIENTO

El autor agradece a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por el acceso al laboratorio de agua y permitir el uso de sus instrumentos de medición.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gómez L, Martínez M, Medrano B, Mendoza J, Zafra C. Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Rev UIS Ing.* 2020 Feb 1;19(1):15–24.
2. Betancur AM, Upegui SA. Comparación de técnicas alternativas de potabilización de agua, y su posible aplicación en el área rural del territorio nacional colombiano. *Cuad Act.* 2015;5(4662):56.
3. Minto A, Gilmour D, Jorat E, Tierney I. Potential Benefits and Disbenefits of the Application of Water Treatment Residuals from Drinking Water Treatment Processes to Land in Scotland: Development of a Decision Support Tool. *Sustainability.* 2023; 15(12): 9268. doi:10.3390/su15129268.
4. Knap A, Żubrowska M. Natural Organic Matter Removal in Surface Water Treatment via Coagulation—Current Issues, Potential Solutions, and New Findings. *Sustainability.* 2023; 15 (18): 13853. doi: 10.3390/su151813853.
5. Zumalacárregui B, Ferrer C. Caracterización fisicoquímica de hojas, semillas y aceite vegetal de *Moringa oleifera* ecotipo Plain. *Rev Cuba Química.* 2022;34(2):227–41.
6. Koul B, Bhat N, Abubakar M, Mishra M, Arukha AP, Yadav D. Application of Natural Coagulants in Water Treatment: A Sustainable Alternative to Chemicals. *Water.* 2022; 14(22): 3751. doi:10.3390/w14223751.
7. Avendaño E, Castillo M. Efecto de las semillas de Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) en las condiciones para la clarificación del agua del río Sama. *Rev Soc Quím Perú.* 2020 Mar 31;86(1):47–57.
8. Apaza J, Portugal M, Tirado E, Tirado L. Optimización de dos coagulantes naturales coadyuvados por hidróxido de sodio para la potabilización de aguas del río Caplina. *Rev Verit Sci - UPT.* 2022 May 24;11(1):87–98.
9. Jurado M, Mercado I, Meza M, Olivero R, Riaños K. Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleifera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Rev UIS Ing.* 2018 Mar 15;17(2):95–104.
10. Garcia G, Siqueira B, Vicensoto M, Yumi C, Pereira M, Gonçalves A. Impact of *Moringa oleifera* Seed-Derived Coagulants Processing Steps on Physicochemical, Residual Organic, and Cytotoxicity Properties of Treated Water. *Water.* 2022; 14(13), 2058. doi:10.3390/w14132058.
11. Mejía P, Urquia K, Cabello R, Valdiviezo L. Evaluación de la *Moringa oleifera* en el tratamiento de aguas con alta turbidez y carga orgánica. *Ing del agua.* 2020 Apr 30;24(2):119. doi:10.4995/ia.2020.12274.
12. Skaf D, Punzi V, Rolle J, Cullen E. Impact of *Moringa Oleifera* extraction conditions on zeta potential and coagulation effectiveness. *J Environ Chem Eng.* 2021;9(1):104687. doi:10.1016/j.jece.2020.104687.
13. Castillo M. Revisión sobre clarificación del agua y el uso de semillas de moringa, *Moringa oleifera* Lam. *Rev Soc Cient Parag.* 2023 May 31;28(1):169–89.
14. Hadadi A, Imessaoudene A, Bollinger JC, Cheikh S, Assadi AA, Amrane A, et al. Parametrical Study for the Effective Removal of Mordant Black 11 from Synthetic Solutions: Moringa oleifera Seeds' Extracts Versus Alum. *Water.* 2022; 14(24): 4109. doi:10.3390/w14244109.

15. Cedillo J, Ponce A, González V, Vega M, Zayas T, Soriano G. Utilización de *Moringa oleífera* como coagulante-floculante natural para la descontaminación de agua. RD-ICUAP. 2024 Jan 7;10(28):224–35.
16. Mekonin W, Ebba M. Wastewater treatment using a natural coagulant (*Moringa oleifera* seeds): optimization through response surface methodology. Heliyon. 2021;7(11):e08451. doi:10.1016/j.heliyon.2021.e08451
17. Licapa G, Poma P, Licapa R, Farfán G, Vega M. Eco-friendly Coagulant in the Treatment of Turbidity in the Water of the Mashcón River. In: Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology. 4-6 diciembre 2023. doi:10.18687/LEIRD2023.1.1.176
18. Zea A, Gutiérrez J, Caballero P. Use of *Moringa Oleifera* as a Natural Coagulant in the Reduction of Water Turbidity in Mining Activities. Water. 2024; 16(16): 2315. doi:10.3390/w16162315.
19. Gandiwa B, Moyo L, Ncube S, Mamvura T, Mguni L, Hlabangana N. Optimisation of using a blend of plant based natural and synthetic coagulants for water treatment: (*Moringa Oleifera*-Cactus *Opuntia*-alum blend). South African J Chem Eng. 2020;34:158–64.
20. Sandoval M, Laines J. *Moringa oleifera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. Ingeniería. 2013;17(2):93–101.
21. MINAM. Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. El Peruano [Internet]. 2017;6–9. [Citado 12 mayo 2024]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>