

Evaluación de la *Moringa oleifera* en el tratamiento de aguas con alta turbidez y carga orgánica

Evaluation of Moringa oleifera in the water treatment with high turbidity and organic

Mejía Carrillo, P. W.^{a1}, Urquia Collantes, K.^{a2}, Cabello Torres, R. J.^{a3}, Valdiviezo Gonzales, L. G.^{a4}

^aEscuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad César Vallejo, Av. Alfredo Mendiola 6232, Los Olivos 15314, Lima, Perú.

E-mail: ^{a1} pmc1978@gmail.com, ^{a2} karinaurquiac@gmail.com, ^{a3} rcabellot@hotmail.com, ^{a4} lvaldiviezo@ucv.edu.pe

Recibido: 27/08/2019

Aceptado: 22/03/2020

Publicado: 30/04/2020

Citar como: Mejía Carrillo, P. W., Urquia Collantes, K., Cabello Torres, R. J., Valdiviezo Gonzales, L. G. (2020). Evaluation of *Moringa oleifera* in the water treatment with high turbidity and organic. *Ingeniería del agua*, 24(2), 119-127. <https://doi.org/10.4995/ia.2020.12274>

RESUMEN

El presente trabajo evalúa la eficiencia del uso de la *Moringa oleifera* (M.O) como coagulante en el tratamiento de aguas de alta turbidez y carga orgánica. Inicialmente los resultados demostraron que el coagulante a base de las semillas de M.O pre-tratada con cloruro de sodio (NaCl 1.0 N) y usando una dosis de 0.74 g/L, alcanza remociones de 87.3% y 88.8% para turbidez y sólidos suspendidos totales (SST), asimismo valores de 25.9% y 26.3% para DBO₅ y DQO respectivamente. En una segunda etapa, el coagulante, sometido a extracción Soxhlet y dosis de 0.5 g/L, muestran máximas eficiencia de 97.8%, 89.99%, 51.4% y 35.3% en la remoción de turbidez, SST, DQO y DBO₅. Las más altas eficiencias obtenidas fueron alcanzadas mediante la previa extracción de aceites, grasas y otros componentes de la semilla de M.O. Estudios relacionados al reaprovechamiento de sub-productos de la extracción deben ser realizados.

Palabras clave | Coagulante natural; *Moringa oleifera*; eficiencia de remoción; DBO₅; DQO; turbidez; pH.

ABSTRACT

In this study, the removal efficiency of Moringa Oleifera (M.O) seed as coagulant in the treatment of highly loaded wastewater in terms of turbidity and organic matter was evaluated. Initially the results showed removals of 87.3% and 88.8% for turbidity and total suspended solids (TSS) and 25.9% and 26.3% for BOD₅ and COD respectively, when the seeds of M.O were pre-treated with sodium chloride (NaCl 1.0 N) and used as coagulant at a dose of 0.74 g/L. In a second stage, the natural coagulants previously subjected to Soxhlet extraction were compared, the results showed maximum efficiency with 0.5 g/L of the seed of M.O, with values of 97.8%, 89.99%, 51.4% and 35.3% in the removal of turbidity, TSS, COD and BOD₅, respectively. The highest efficiencies were achieved through the prior extraction of oils, fats and other components of the M.O seed. Studies related to the reuse of extraction by-products should be performed.

Key words | Natural Coagulant; *Moringa oleifera*; removal efficiency; BOD₅; COD; turbidity; pH.

INTRODUCCIÓN

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en Perú son diseñadas para tratar cargas de DBO_5 (demanda biológica de oxígeno) a 20°C , de 50 g/hab-día (MVCS, 2006). Considerando un aporte *per cápita* promedio diario de aguas residuales al sistema de alcantarillado entre 200-90 L se obtiene una concentración promedio diaria de carga orgánica entre 250-550 mg/L. Sin embargo, esta concentración aumenta considerablemente debido al aporte de camales, curtiembres y otras actividades económicas (SUNASS, 2008). En la actualidad, muchas PTAR están operando con concentraciones superiores a su diseño, por ejemplo, las PTAR con las concentraciones más elevadas de DBO_5 en el afluente reportadas en Lima son: la PTAR Manchay con 720 mg/L, la PTAR Milagro con 666 mg/L y la PTAR Santa Clara (SEDAPAL) con 618 mg/L (SUNASS, 2015). Esta condición de operación evidentemente está repercutiendo negativamente en el posterior tratamiento biológico, incrementando los costos de operación y mantenimiento, además del posible incumplimiento de los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en el país.

El proceso de coagulación/floculación es la técnica más usada en el mundo en el tratamiento de efluentes industriales; los coagulantes se pueden clasificar en dos categorías: Coagulantes químicos y coagulantes naturales (Freitas et al., 2018). Los coagulantes químicos más usados son las sales de hierro y aluminio (Sengul et al., 2018). Sin embargo, son numerosas las investigaciones que relacionan el uso de coagulantes químicos, particularmente las sales de aluminio, con impactos negativos a la salud, asociándolos a enfermedades neurológicas (Alzheimer) (Crapper et al., 1973). Los coagulantes químicos, además, presentan dificultades en el tratamiento de lodos (Liew et al., 2006), incremento de la conductividad eléctrica del agua tratada (Fersi et al., 2018) e incompleta remoción de componentes orgánicos presentes en el agua (Matilainen et al., 2010).

En los últimos años muchos estudios tienen como objetivo el desarrollo de coagulantes naturales, sostenibles y eco-amigables, como una alternativa a los coagulantes inorgánicos y sintéticos. Estos coagulantes han sido clasificados como coagulantes basados en plantas (CBP) y aquellos que no son basados en plantas, ambos han mostrado excelentes resultados (Kumar et al., 2017). Los CBP, se caracterizan por su alta eficiencia y versatilidad (Fersi et al., 2018), están constituidos por la combinación de macromoléculas de carbohidratos, proteínas y lípidos siendo los más relevantes los polímeros de polisacáridos y aminoácidos (Adinolfi et al., 1994). Estos coagulantes, son usados preferentemente en zonas menos urbanizados, debido al menor costo comparado con los coagulantes artificiales (Kumar et al., 2017; Camacho et al., 2017).

Los principales mecanismos relacionados con CBP, son la formación de puentes (debido a los polímeros) y la neutralización de cargas (Kristianto, 2017). Sólo una porción de los polímeros es adherida sobre la superficie de la partícula, mientras que lo no adherido forma bucles o colas residuales, relacionados con la aglomeración de los coloides (Lee et al., 2014; Amran et al., 2018). Es decir, la floculación por barrido es el principal responsable de la separación de coloides comparada con la neutralización de cargas. La interacción del polímetro y los coloides se debe a la presencia de diversos grupos funcionales tales como $-\text{OH}$, $-\text{COOH}$ y $-\text{NH}$ (Kumar et al., 2017).

La *Moringa oleifera* Lam es una planta perteneciente a la familia Moringaceae, compuesta por un solo género (*Moringa*) y 14 especies (Pritchard et al., 2010). Las propiedades coagulantes de la semilla de *Moringa* son atribuidas a la presencia de proteínas solubles que actúan como polielectrolito catiónico (Kwaambwa y Rennie, 2011), en tanto que el mecanismo de desestabilización es atribuido a la adsorción y neutralización de cargas (Bongiovani et al., 2014). Diversos investigadores han demostrado su aplicación tanto para la clarificación de agua potable como para el tratamiento de aguas residuales (Keogh et al., 2017; Choumane et al., 2017).

Estudios anteriores han reportado el uso del M.O en la remoción de efluentes de turbidez comprendida entre 20 y 150 NTU, sin embargo, no ha reportado el uso de M.O en aguas de alta turbidez y carga orgánica, así el objetivo de la presente investigación es evaluar el uso de la semilla de la *Moringa oleifera* en la coagulación de afluentes de alta carga orgánica, considerando 4 métodos de adición. Los parámetros considerados fueron la turbidez, demanda química de oxígeno (DQO), DBO_5 y sólidos suspendidos totales (SST).

MATERIAL Y MÉTODOS

En esta investigación se recolectó una muestra de 100 L, proveniente de los afluentes de la PTAR Puente Piedra, ubicada en el distrito de San Martín de Porras, Lima, Perú (UTM (WGS84) 8677787 Norte, 0271125 Este).

El agua residual cruda y tratada con el coagulante natural fue analizada en el laboratorio del Servicio de agua potable y alcantarillado de Lima - Sedapal S.A., el cual opera bajo los estándares internacionales establecidos. Los parámetros evaluados, en la primera etapa del estudio, fueron: DBO₅ Total, soluble y particulada; DQO Total, soluble y particulada, pH y SST. En una segunda fase se evaluaron el DBO₅ Total, DQO Total, SST y pH. Los ensayos se realizaron por triplicado a fin de tener reproductibilidad de los resultados. Debido a la alta variabilidad de los parámetros, estos fueron determinados al inicio de las corridas experimentales.

Pruebas de jarras y condiciones de operación

Mediante ensayos pre - experimentales se determinó que la mejor configuración en el equipo de prueba de jarras (Marca PHIPPS & BIRD) fue la siguiente: mezcla rápida: 300 rpm por 20 min; mezcla lenta: 30 rpm por 20 min, tiempo de sedimentación: 30 min; por lo que también fueron aplicadas en esta investigación.

Preparación y métodos de adición del coagulante natural

Las semillas de M.O fueron proporcionadas por la empresa Moringa Perú, dedicada a la plantación y comercialización de plantas y semillas de M.O. Las semillas previamente pulverizadas, usando mortero de porcelana, fueron secadas en una estufa Marca BINDER a 104°C por 1 hora y colocadas en un desecador marca VAKUUMFEST por 48 horas. Las semillas secas fueron tamizadas a un tamaño menor de 425µm, usando un tamiz N° 40, a fin de asegurar una mayor área de contacto y por ende mayor eficiencia del coagulante.

En una primera fase se analizaron 03 formas de adición de la semilla de M.O (ver Figura 1) la preparación se describe a continuación.

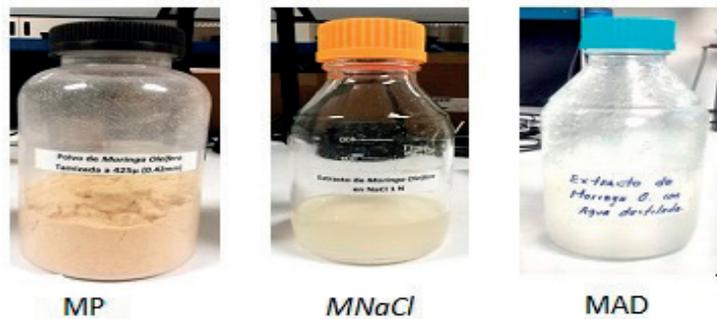


Figura 1 | Preparación de la semilla *Moringa Oleifera* usada como coagulante.

MP, consistió en la aplicación de la semilla de M.O directamente en polvo en el tamaño previamente indicado.

Asimismo, en la forma de MNaCl (M.O+NaCl), se procedió a pesar 30g de polvo de semilla de M.O, en la balanza analítica marca Sartorius Modelo: BP221S, posteriormente se adicionó 1L de solución de NaCl 1N, se agitó por 10 minutos a 60 rpm, se filtró al vacío, usando papel filtro Whatman grado 40 como medio filtrante; la solución resultante se usó como coagulante.

En el método MAD, se repitió el procedimiento descrito anteriormente cambiando la solución de NaCl 1N por agua destilada (AD).

Preparación del coagulante químico (SA)

El sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃) utilizado fue tipo B200 granulado, adquirido de un proveedor local. De acuerdo a los estudios de trazabilidad, previamente realizador en la PTAR Puente Piedra, usando una concentración de 185.6 g/L y pH 8, la dosis óptima fue de 2 mL/L. Estos valores fueron considerados en este estudio a fin de compararlo con el coagulante natural.

Extracción con Soxhlet y lavado

En una segunda etapa se evaluó la eficiencia de la semilla de *M. oleifera* previamente sometida a extracción, método Soxhlet, y posterior lavado. Se usó el etanol como agente de extracción (solvente) y lavado. La extracción fue a 80 °C y 4 horas y el lavado por 10 min a 80 °C, la solución resultante fue usada como coagulante, el procedimiento de preparación y extracción es mostrado en la Figura 2.

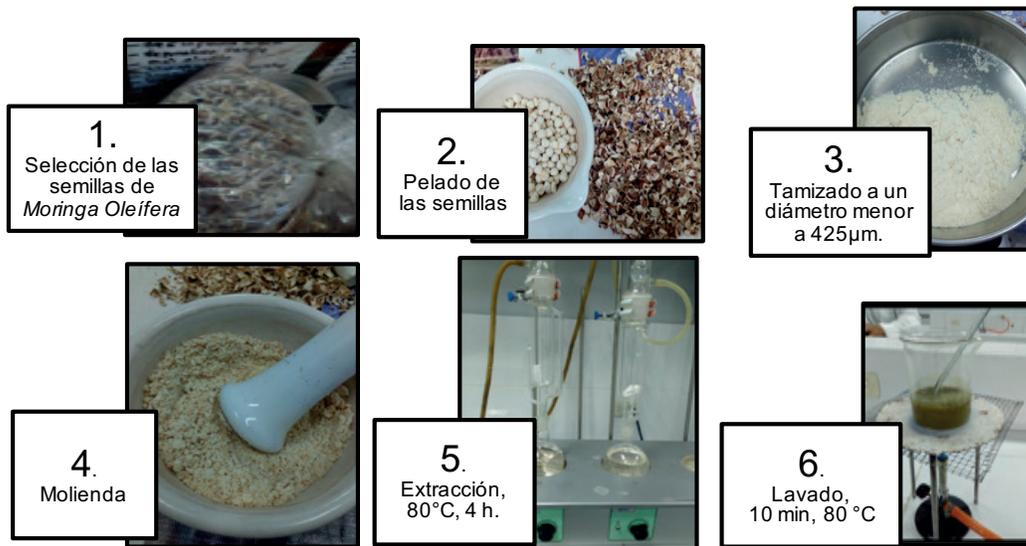


Figura 2 | Preparación y extracción de M.O.

RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los resultados de la muestra colectada en el afluente de la PTAR Puente piedra, los valores presentados son valores promedio de tres mediciones. Se observa una alta carga orgánica del afluente, así como una alta turbidez, La carga orgánica este estudio se relaciona con los valores de DBO₅ y DQO.

Tabla 1 | Análisis Inicial de la muestra.

Parámetro	Unidades	Media±desv.
Turbidez	NTU	251.3 ± 2.2
DBO ₅	mg/L	403±3.59
DBO soluble	mg/L	238±4.1
DBO particulado	mg/L	164±1.48
DQO	mg/L	2576±30.1
DQO soluble	mg/L	1092±10.1
DQO particulado	mg/L	1483±13.58
SST	mg/L	440±4.39
pH	...	7.0±0.1

Inicialmente se evaluó el uso de coagulante natural M.O sobre la remoción de la turbidez comparándolo con el coagulante inorgánico (sulfato de aluminio), los resultados de la relación dosis de coagulante y remoción de turbidez (%) se muestran en la Tabla 2 y Figura 3.

Tabla 2 | Remoción de turbidez según método de adición de *M. oleifera* a diferentes dosis (MP=M.O en polvo; MNaCl=M.O + NaCl; MAD=M.O + agua destilada, SA=Sulfato de Aluminio).

MP		MNaCl		MAD		SA	
Dosis (g/L)	Remoc. Turb (%)	Dosis (mL/L)	Remoc. Turb (%)	Dosis (mL/L)	Remoc. Turb (%)	Dosis (mL/L)	Remoc. Turb (%)
0	0	5	50.3	50	31.0	1	74.1
0.5	75.5	10	71.9	100	58.7	1.5	85.3
0.8	78.2	25	84.4	150	76.4	2	93
1	80.1	40	76	200	73.8	3	89.5
1.2	76.4	60	73.9	250	68.6	4	84.8
1.5	74.1						

La Tabla 2 muestra las dosis de MNaCl, MAD y SA expresada en g/L y mL/L (según la forma de adición del coagulante), mientras que la Figura 3 en g/L, esta conversión se realizó considerando las condiciones de preparación de la solución coagulante descrita en la metodología. El máximo valor de remoción alcanzado fue de 93% y se obtuvo con el sulfato de aluminio usando una dosis de 2 mL/L (0.37 g/L), asimismo se alcanzó eficiencias de 84.4% de remoción con el método MNaCl, es decir la adición de la solución de semilla de M.O previamente activada en solución de NaCl 1N, con una dosis de 0.74 g/L; mientras que las remociones alcanzadas fueron de 80.1% y 76.4%, cuando el coagulante natural fue adicionado directamente en polvo (MP) y en solución con agua destilada (MAD).

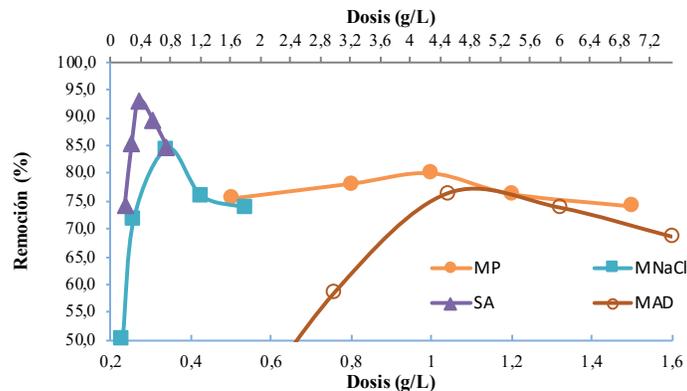


Figura 3 | Remoción de turbidez en función al tipo y forma de adición del coagulante.

Posteriormente se procedió a determinar el efecto del coagulante natural e inorgánico en la remoción de DBO₅ (total, particulado y soluble), DQO (total, particulado y soluble) y SST; así como la variación de pH, los resultados son presentados en la Figura 4. Para ello se usaron las mejores dosis de coagulante determinadas previamente.

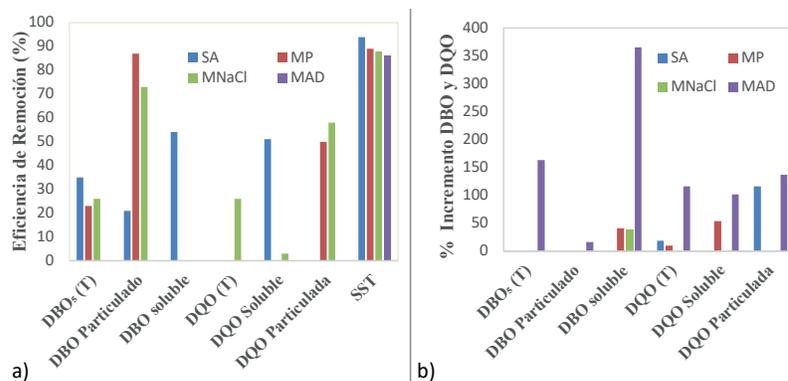


Figura 4 | Efecto del coagulante en: a) la remoción de DQO, DBO₅ y SST. b) % de incremento de DQO y DBO₅, después del tratamiento. Dosis: SA 0.37 g/L; MNaCl 0.75 g/L; MP 1 g/L y MAD 4.5 g/L

Como se muestra en la Figura 4a, la mejor remoción de DBO_5 se obtuvo con el coagulante químico con 35% de remoción. Sin embargo, M.O también muestra resultados próximos en dos de sus métodos; 26% con MNaCl y 23% con MP, no obstante, con el método MAD incrementó la DBO_5 alcanzando un valor de 775 mg/L, esto indica que la semilla de M.O aporta carga orgánica a la muestra; sin embargo, como se muestra en la Figura 4b, la DBO está disponible mayoritariamente en la fracción soluble, es decir sería fácilmente degradable por un posterior proceso biológico. Además, se observa un incremento en la DQO tanto con el coagulante químico, como con el coagulante natural, excepto con el método MNaCl , donde se observa una remoción del 26% de este parámetro; el mayor aporte al DQO fue observado con el MAD. Asimismo, también es observado que la mayor de SST es alcanzada por el SA (Figura 4a).

Extracción con Soxhlet y lavado

Los resultados de la eficiencia de remoción de turbidez, DQO , DBO_5 , SST y variación del pH se presentan en la Figura 5 y Tabla 4, en esta última tabla se muestra además las condiciones iniciales del agua cruda, correspondiente a la muestra.

En la Figura 5, se observa una remoción máxima de 98.1% para turbidez con una dosis de 0.75 g/L.

En la Tabla 3 se muestra que las remociones alcanzadas con el uso de M.O para una dosis de 0.5 g/L fueron 98.76%, 89.99%, 95.4% y 99.3% para turbidez, SST , DQO y DBO_5 respectivamente. No se observa diferencias en las remociones de los parámetros evaluados usando las dosis de 0.5 y 0.75 g/L.

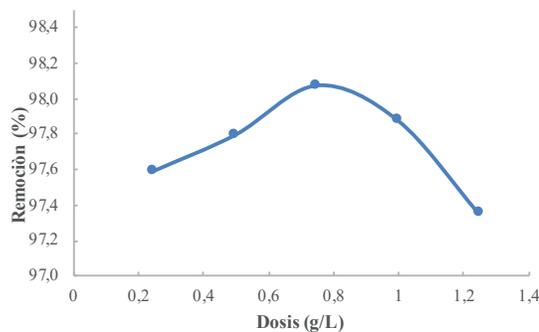


Figura 5 | Remoción de turbidez usando semillas de M.O previa extracción y lavado.

Tabla 3 | Eficiencia de remoción de turbidez, SST , DQO y DBO_5 del coagulante natural previamente extraído, usando dosis de 0.5 y 0.75 g/L.

Parámetro	Inicial	% Remoción	
		0.5 g/L	0.75 g/L
Turbidez (NTU)	560.0 ± 4.11	97.8	98.1
SST (mg/L)	303.0 ± 4.1	89.99	89.11
DQO (mg/L)	3058.9 ± 40.2	51.4	50.9
DBO_5 (mg/L)	485.9 ± 5.2	35.30	33.75
*pH	7.64 ± 0.2	7.45 ± 0.15	7.48 ± 0.18

*Valores finales de pH

DISCUSIÓN

Efecto en la DBO , DQO , SST y pH

Es notorio, a partir de las Figuras 3 y 4, que el menor consumo de coagulante natural y el valor máximo de remociones es alcanzado con el método MNaCl . Estos valores de remoción de turbidez obtenidos son similares con lo reportado por Petersen et al.

(2016), usando la semilla de M.O, no activa, en efluentes con DQO y turbidez de 576 mg/L y 226 NTU respectivamente, alcanzando valores promedios de remoción de turbidez del 82.02%, atribuyendo a las proteínas de carga positiva presente en la solución como las principales responsables de la coagulación. En este estudio, el uso del NaCl incrementa notablemente la solubilidad del componente activo de la semilla M.O y por ende su presencia en la solución coagulante; esto se refleja en el uso de menores dosis en la alta remoción de la turbidez. El efecto positivo del NaCl en la activación de semillas de M.O también fue reportado por Okuda et al. (1999), Nkurunziza et al. (2009) y Kumar et al. (2017).

Asimismo, es observado un incremento de DQO y DBO₅ soluble por adición del coagulante natural, esto se debe a la naturaleza orgánica del mismo, el cual contiene de 30-40% de aceites (García-Fayos et al., 2016). Comportamiento distinto es observado usando el sulfato de aluminio, el cual presenta incrementos en el DQO particulado. El incremento de la DQO, DBO₅ y en general de la carga orgánica en aguas tratadas usando la semilla moringa en polvo fue reportado por investigaciones previas lo que implicaría una desventaja principalmente por la posible proliferación de microorganismos y la necesidad de una etapa de desinfección posterior a la coagulación (Eman et al., 2014; Freitas et al., 2018), sin embargo, se debe resaltar que el aporte de carga orgánica es en la fracción soluble, lo que facilitaría su remoción a través de tratamientos secundarios.

En la Figura 4a, se observa que la máxima remoción de SST fue alcanzada con el sulfato de aluminio con 94% de eficiencia de remoción, mientras que valores de 89% de eficiencia de remoción, fueron alcanzados con el método M.O, este valor es superior a las eficiencias reportadas por Macías et al (2017).

Con el coagulante natural (considerando las 3 formas de adición) se verificó que la eficiencia de remoción de turbidez, DBO₅ y SST es ligeramente inferior a lo observado con el sulfato de aluminio, comparaciones y resultados similares fueron obtenidos por Léo et al. (2009). Sin embargo, son indiscutibles los mayores costos e impactos ambientales asociados al uso del sulfato de aluminio. Esto confirma el potencial uso del coagulante natural en efluentes de alta turbidez y carga orgánica.

No hubo alteraciones importantes de pH con el uso del coagulante natural, pero se observó un ligero incremento (de 7 para 8) cuando se usó el coagulante inorgánico. Estos resultados indican que usando la semilla de M.O no hay necesidad de ajuste del pH posterior a la coagulación, similar comportamiento fue reportado por Ndabigengesere y Narasiah (1998).

Extracción y lavado

La previa extracción de aceites y grasas de la semilla de M.O, permitió incrementar las eficiencias de remoción de turbidez, SST, DBO₅ y DQO, además se observó una disminución de dosis de coagulante (0.5 g/L). Estos resultados son coherentes con lo reportado por García-Fayos et al. (2016), quienes incrementaron las eficiencias de remoción de turbidez con el coagulante de semilla de M.O, mediante previa extracción con etanol en el equipo Soxhlet. Sin embargo, Camacho et al. (2016) reportaron que no existen diferencias entre el uso de la semilla de MO con y sin previa extracción, en el tratamiento de agua con una turbidez inicial de 30-60 NTU, alcanzando remociones de este parámetro de hasta 90%.

Es evidente una mayor concentración de la proteína de carácter catiónica responsable por la coagulación, presente en la semilla, luego de la extracción lo que potencializa la eficiencia de coagulación mostrada en los resultados, asimismo, el aceite extraído de semilla de moringa puede tener potenciales aplicaciones industriales, es por ello que en futuras investigaciones el aceite debe ser caracterizado y el proceso de extracción optimizado.

CONCLUSIONES

Notables incrementos en la eficiencia de remoción y el uso de bajas concentraciones de coagulante fueron obtenidos, cuando la semilla de M.O fue sometido a extracción Soxhlet; esto permitió separar aceites y otros componentes no útiles en la coagulación, pero que podrían convertirse en subproductos aprovechables. Usando una dosis de 0.5 g/L los mejores resultados obtenidos fueron 97.8%, 89.9%, 51.4% y 35.3% de remoción de turbidez, SST, DQO y DBO₅. Sin embargo, incrementos en la fracción orgánica soluble fueron obtenidos al usar el coagulante natural, siendo necesario un tratamiento secundario posterior a la coagulación. Los coagulantes naturales son una excelente opción en la remoción de contaminantes de alta carga orgánica y turbidez, siendo una

buena alternativa su aplicación en el tratamiento primario en zonas rurales de baja demanda de agua. El aprovechamiento de los subproductos de la extracción de la semilla de M.O así como la disposición o aprovechamiento de lodos debería ser objeto de estudio en futuras investigaciones

REFERENCIAS

- Adinolfi, M., Corsaro, M. M., Lanzetta, R., Parrilli, M., Folkard, G., Grant, W., Sutherland, J. 1994. Composition of the coagulant polysaccharide fraction from *Strychnos potatorum* seeds. *Carbohydrate research*, 263(1), 103-110. [https://doi.org/10.1016/0008-6215\(94\)00149-9](https://doi.org/10.1016/0008-6215(94)00149-9)
- Amran, A., Syamimi Zaidi, N., Muda, K., Wai Loan, L. 2018. Effectiveness of Natural Coagulant in Coagulation Process: A Review. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.9), 34. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.9.15269>
- Bongiovani, M. C., Camacho, F. P., Nishi, L., Coldebella, P. F., Valverde, K. C., Vieira, A. M., Bergamasco, R. 2014. Improvement of the coagulation/flocculation process using a combination of *Moringa oleifera* lam with anionic polymer in water treatment. *Environmental Technology*. 35(17), 2227-2236. <https://doi.org/10.1080/09593330.2014.899398>
- Camacho, F. P., Sousa, V. S., Bergamasco, R., Teixeira, M. R. 2017. The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. *Chemical Engineering Journal*. 313(1), 226-237. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031>
- Crapper, D. R., Krishnan, S. S., Dalton, A. J. 1973. Brain aluminum distribution in Alzheimer's disease and experimental neurofibrillary degeneration. *Science*, 180(4085), 511-513. <https://doi.org/10.1126/science.180.4085.511>
- Eman, N. A., Tan, C. S., Makky, E. A. 2014. Impact of *Moringa oleifera* Cake Residue Application on Waste Water Treatment: A Case Study. *Journal of Water Resource and Protection*, 6(7), 677-687. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2014.67065>
- Fersi, C., Gamra, B., Bozrati, H., Gorgi, C., Irmani, A. 2018. Characterizing the performance of coagulation-flocculation using natural coagulants as pretreatment of tannery wastewater. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 9(8), 2379-2386. Obtenido de https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol9/vol9_N8/262-JMES-4022-Fersi.pdf
- Freitas, T. K. F. S., Almeida, C. A., Manholer, D. D., Geraldino, H. C. L., De Sousa, M. T. F., Garcia, J. C. 2018. Review of Utilization Plant-Based Coagulants as Alternatives to Textile Wastewater Treatment. In: *Textile Science and Clothing Technology* (MUTHU, S. ed.) Detox Fashion, Springer, Singapore, 27-47. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4780-0_2
- García-Fayos, B., Arnal, J.M., Sancho, M., Rodrigo, I. 2016. *Moringa oleifera* for drinking water treatment: influence of the solvent and method used in oil extraction on the coagulant efficiency of the seed extract. *Desalination and water treatment*, 57(48-49), 23397-23404. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1137144>
- Keogh, M. B., Elmusharaf, K., Borde, P., McGuigan, K.G. 2017. Evaluation of the natural coagulant *Moringa oleifera* as a pretreatment for SODIS in contaminated turbid water. *Solar Energy*, 158, 448-454. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.10.010>
- Kristianto, H. (2017). The Potency of Indonesia Native Plants as Natural Coagulant: a Mini Review. *Water Conservation Science and Engineering*, 2(2), 51-60. <https://doi.org/10.1007/s41101-017-0024-4>
- Kumar, V., Othman, N., Asharuddin, S. 2017. Applications of Natural Coagulants to Treat Wastewater – A Review. *MATEC web conferences*, 103(06016), 1-9. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710306016>
- Kwaambwa, H. M., Rennie, A. R. 2011. Interactions of surfactants with a water treatment protein from *Moringa oleifera* seeds in solution studied by zeta-potential and light scattering measurements. *Biopolymers*, 97(4), 209-218. <https://doi.org/10.1002/bip.22014>
- Lee, C. S., Robinson, J., Chong, M. F. 2014. A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, 92, 489-508. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.04.010>

- Lédo, P. G., Lima, R. F., Paulo, J. B., Duarte, M. A. 2009. Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de Moringa oleifera para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad. *Información Tecnológica*, 20(5), 3-12. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642009000500002>
- Liew, A. G., Noor, J. M., Muyibi, S.A., Fugara, A. M., Muhammed, T. A., Iyuke, S. E. 2006. Surface water clarification using *M. oleifera* seeds. *International Journal of Environmental Studies*, 63(2), 211-219. <https://doi.org/10.1080/00207230500117670>
- Macías, M. R., Domínguez, Y. D., Y., Muñoz, S.R., Alvarez, B.G., B., Santana E, F., García, D.T. 2017. Empleo de semillas de *Moringa oleifera* en el tratamiento de residuales líquidos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(2), 87-101. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382017000200007&lng=es&tlng=es.
- Matilainen, A., Vepsäläinen, M., Sillanpää, M. 2010. Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: a review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 159(2), 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2010.06.007>
- MVCS. 2006. *Reglamento Nacional de edificaciones*, DS N° 011-2006- VIVIENDA: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. Obtenido de http://www3.vivienda.gob.pe/Direcciones/Documentos/RNE_Actualizado_Solo_Saneamiento.pdf
- Ndabigengesere, A., Narasiah, K. S. 1998. Quality of Water Treated by Coagulation Using *Moringa oleifera* Seeds. *Water Research*: 32(3), 781-791. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00295-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00295-9)
- Nkurunziza, T., Nduwayezu, J. B., Banadda, E. N., Nhapi, I. 2009. The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. *Water Science & Technology*, 59(8), 1551-1558. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.155>
- Okuda, T., Baes, A. U., Nishijima, W., Okada, M. 1999. Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. *Water Research*, 33(15), 3373-3378. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00046-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00046-9)
- Petersen, H. H., Petersen, T. B., Enemark, H. L., Olsen, A., Dalsgaard, A. 2016. Removal of *Cryptosporidium parvum* oocysts in low quality water using *Moringa oleifera* seed extract as coagulant. *Food and Waterborne Parasitology*, 3, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fawpar.2016.03.002>
- Pritchard, M., Craven, T., Mkandawire, T., Edmondson, A. S., O'neill, J. G. 2010. A comparison between *Moringa oleifera* and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(13-14), 798-805. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.07.014>
- Sengul, A. B., Ersan, G., Tufekci, N. 2018. Removal of intra and extracellular microcystin by submerged ultrafiltration (UF) membrane combined with coagulation/flocculation and powdered activated carbon (PAC) adsorption. *Journal of Hazard Materials*. 343, 29-35, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.09.018>
- SUNASS. 2008. Estudio Diagnostico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y Propuestas de solución: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. Obtenido de https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/libro_ptar_gtz_sunass.pdf
- SUNASS. 2015. Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento Obtenido de https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/libro_ptar_gtz_sunass.pdf
- Choumane, F.Z., Benguella, B., Maachou, B., Saadi, N. 2017. Valorisation of a bioflocculant and hydroxyapatites as coagulation-flocculation adjuvants in wastewater treatment of the steppe in the wilaya of Saida (Algeria). *Ecological Engineering*, 107, 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.07.013>