

Remoción de contaminantes en aguas residuales mediante el polielectrolito catiónico extraído de las semillas de *Moringa oleífera*

Holanda Teresa Vivas Saltos e-mail: teresa.vivas@espam.edu.ec
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Manabí, Ecuador

José Manuel Calderón Pincay e-mail: jose.calderon@espam.edu.ec
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Manabí, Ecuador

Laura Gema Mendoza Cedeño e-mail: laura.mendoza@espam.edu.ec
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Manabí, Ecuador

José Gerardo Cedeño Zambrano e-mail: gerceza@gmail.com
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Manabí, Ecuador

RESUMEN

Esta investigación pretende evaluar la eficiencia del polielectrolito catiónico de la *Moringa oleífera* en la remoción de contaminantes de aguas residuales. Se aplicó un diseño completamente al azar en un arreglo unifactorial, con cuatro tratamientos y tres repeticiones. El coagulante polielectrolito catiónico extraído de la semilla de moringa tuvo una dosis de 1, 2 y 4 mL y como testigo el sulfato de aluminio. Se tomó una muestra de 9000 mL de agua residual, se realizó la caracterización física presentando 120 mg/L de SST, 43,52 FAU de turbidez y 456 Pt/Co de color. No hubo diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a la prueba de ANOVA (p: 0.707), por lo que se evidencia que el tratamiento a base de moringa en sus diferentes concentraciones es un buen coagulante para remover contaminantes en aguas residuales.

Palabras clave: Agua residual, coagulante, *Moringa oleífera*, polielectrolito catiónico, remoción.

Removal of pollutants from wastewater using cationic polyelectrolyte extracted from *Moringa oleifera* seeds

ABSTRACT

This research aims to evaluate the efficiency of the cationic polyelectrolyte of *Moringa oleifera* in removing pollutants from wastewater. A completely randomized design was applied in a unifactorial arrangement, with four treatments and three repetitions. The cationic polyelectrolyte coagulant extracted from the moringa seed had a dose of 1, 2 and 4 mL and aluminum sulfate as a control. A sample of 9000 mL of residual water was taken, the physical characterization was carried out showing 120 mg/L of SST, 43.52 FAU of turbidity and 456 Pt / Co of color. There were no significant differences between treatments according to the ANOVA test (p: 0.707), so it is evidenced that the treatment based on moringa in its different concentrations is a good coagulant to remove contaminants in wastewater.

Keywords: Waste water, coagulant, *Moringa oleifera*, cationic polyelectrolyte, removal.

INTRODUCCIÓN

El aumento de la contaminación ambiental conduce a un deterioro de la calidad del agua y requiere la eliminación de una variedad de contaminantes de las aguas residuales superficiales (Ghimici, 2016; Tao et al., 2016). Actualmente, los coagulantes o floculantes tradicionales utilizados en el tratamiento de aguas pueden contrarrestar estos problemas, sin embargo, existe una gran necesidad de encontrar algunos agentes más biodegradables, rentables y más respetuosos con el medio ambiente como sustitutos de las soluciones existentes (Grenda et al., 2020; Watanabe et al., 2016).

Según el Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP, 2018) se espera que el deterioro de la calidad del agua aumente durante las próximas décadas, lo que conlleva un incremento de las amenazas para la salud humana, el medio ambiente y el desarrollo sostenible. Además, se estima que el 80% del total de las aguas residuales se libera al medio ambiente sin ningún tratamiento previo (WWAP, 2017). En Ecuador solo el 8% de las aguas negras tienen algún nivel de tratamiento (Cabrera et al., 2010). Uno de los principales contaminantes del agua son los sólidos suspendidos totales (SST), que contribuyen a mayores costos para el tratamiento del agua, la disminución de los recursos pesqueros y la estética general del agua (Verma et al., 2013; He et al., 2019).

La purificación no convencional de agua cruda se puede dar utilizando coagulantes naturales, entre ellos el extracto de semillas de *Moringa oleifera*, que remueve los coloides de aguas crudas y contaminadas (Vunain et al., 2019). Además, este constituye una alternativa a otros compuestos, que en grandes cantidades llegan a ser tóxicos, causando efectos negativos en la salud humana (Acevedo, 2019). El presente estudio contribuye a los esfuerzos para identificar un coagulante natural alternativo sostenible, ecológico y de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales en Manabí y para determinar si el polielectrolito catiónico de la Moringa (*Moringa oleifera*) es eficiente en la remoción de sólidos suspendidos totales, turbidez y color. Se planteó como objetivo evaluar la eficiencia del polielectrolito catiónico de la Moringa (*Moringa oleifera*) en la remoción de contaminantes de la Planta de tratamiento de agua residual de la ESPAM MFL.

METODOLOGÍA

Diseño experimental

En esta investigación se aplicó el método experimental que permitió la manipulación de las variables para obtener el mejor resultado, para ello se necesitó una secuencia de las pruebas de jarras realizadas en el laboratorio. Además, se empleó el factor en estudio, que es la cantidad (mL) de polielectrolito catiónico y (g) Sulfato de aluminio.

Niveles del factor en estudio:

Sulfato de aluminio (P0) = 0,5 g

Polielectrolito (P1) = 1 mL

Polielectrolito (P2) = 2 mL

Polielectrolito (P3) = 4 mL

Se realizaron cuatro tratamientos, estando compuestos por los tres niveles del factor en estudio más el testigo, cada uno con tres repeticiones (P+1) *r, dando un total de 12 unidades

experimentales (Tabla 1). El experimento fue conducido bajo los lineamientos del Diseño Completamente al Azar (DCA) en un arreglo unifactorial (P+1).

Tabla 1. Tratamientos empleados en la investigación

Tratamiento	Unidades experimentales	Dosis
T ₀	R ₁	Testigo
	R ₂	
	R ₃	
T ₁	R ₁	1 mL
	R ₂	
	R ₃	
T ₂	R ₁	2 mL
	R ₂	
	R ₃	
T ₃	R ₁	4 mL
	R ₂	
	R ₃	

Las combinaciones utilizadas se describen en la tabla 2:

Tabla 2. Descripción de las unidades experimentales

Nomenclatura	Unidad experimental	Combinaciones		Tiempo de agitación
		Polielectrolito catiónico	Agua Residual	
T ₀	R ₁	Testigo	500 mL	15 minutos
	R ₂			
	R ₃			
T ₁	R ₁	1 ml	500 mL	15 minutos
	R ₂			
	R ₃			
T ₂	R ₁	2 ml	500 mL	15 minutos
	R ₂			
	R ₃			
T ₃	R ₁	4 ml	500 mL	15 minutos
	R ₂			
	R ₃			

Se utilizó la Estadística Inferencial para contrastar las hipótesis planteadas, utilizando el software estadístico InfoStat. Se desarrollaron las siguientes pruebas:

- Análisis de la Varianza (ANOVA) - unifactorial.
- Prueba de hipótesis.
- Gráficos Estadísticos.

Tabla 3. Fuentes de interés del ANOVA del DCA

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	11
Tratamientos	4
Error Experimental	8

Extracción del polielectrolito catiónico de la *Moringa oleífera*

Se recolectaron en la ciudad de Calceta, un total de 2000 semillas de moringa en un periodo de 6 meses para el desarrollo de la presente investigación. Siguiendo el método de García (2007), se retiraron las semillas de *Moringa Oleífera* manualmente de las vainas, luego se secaron durante una hora en una estufa a 105 °C, se trituraron en un molino manual y se tamizaron en una malla de 500 micras, dando como resultado 800 g de harina.

Se prepararon los 800 g de harina en 400 mL de alcohol etílico al 95% de pureza, se removió la mezcla por 30 minutos, se dejó reposar durante una hora, con el objetivo de extraer el aceite, luego, se preparó 5 g de cloruro de sodio en 500 mL de agua destilada y se procedió a agregar la harina ya preparada removiéndola durante 15 minutos, una vez transcurrido el tiempo se filtró la mezcla, obteniendo 400 mL de polielectrolito catiónico de la semilla de *Moringa oleífera*. Después de obtener el extracto del compuesto activo se dejó reposar por 24 horas en un refrigerador a 4°C.

Caracterización del agua residual

Se realizó una toma de muestra simple en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ESPAM MFL, según la norma NTE INEN 2169 (2013). La muestra de agua fue llevada al laboratorio del área Agroindustrial de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “MFL”, donde se realizaron los respectivos análisis físicos de sólidos suspendidos totales mediante el análisis gravimétrico y aplicando la siguiente ecuación.

$$SST = \frac{(ST(g) - SDT(g)) * 1000 \text{ mg}}{\text{Volumen de la muestra (L)}} \quad (1)$$

Donde:

ST = Sólidos totales en los 100 mL muestra (g)

SDT = Sólidos disueltos totales en los 100 mL muestra (g)

SST = Sólidos suspendidos totales (mg/L)

La turbidez y color se determinaron mediante el equipo colorímetro marca Spectroquant Move 100 y se obtuvieron los resultados del agua residual antes del tratamiento, como se muestran en la tabla 4:

Tabla 4. Análisis de agua residual

Sólidos Suspendidos totales			Turbidez (FAU)	Color (Pt/co)
ST (g)	SDT (g)	SST (mg/L)		
0,207	0,195	120	43,52	456

Determinación del porcentaje de remoción de contaminantes del agua residual con la mejor dosis del polielectrolito catiónico

Se aplicó el método de prueba de jarra para determinar la mejor dosis de polielectrolito catiónico de la Moringa oleífera; para el desarrollo de los análisis se realizaron tres repeticiones para cada uno de los tratamientos: T₀ (testigo), T₁ (1 mL), T₂ (2 mL) y T₃ (4 mL).

En cada vaso del equipo de jarras se colocaron 500 mL de agua residual, previamente agitada por un tiempo de 2 minutos, se añadió las diferentes dosis de polielectrolito catiónico de la moringa y sulfato de aluminio en cada vaso. Se ubicaron las paletas dentro de las jarras, activando el sistema de agitación a una velocidad máxima de 280 rpm durante 30 segundos de agitación, luego se redujo la velocidad de las paletas a 140 rpm y se dejó flocular por 15 minutos.

Una vez transcurrido el tiempo de agitación, se detuvo el agitador, se extrajeron las paletas y se dejó sedimentar por un lapso de tiempo de 24 horas, pasado el tiempo de sedimentación, se tomaron las muestras de cada jarra para determinar los parámetros de sólidos suspendidos totales, turbidez y color.

Determinación de la mejor dosis

Para la determinación de la mejor dosis se aplicó la siguiente ecuación:

$$E = \frac{S_{inicial} - S_{final}}{S_{inicial}} * 100 \quad (2)$$

Donde:

E: Eficiencia de remoción (%)

S_{inicial}: Carga contaminante antes del tratamiento

S_{final}: Carga contaminante después del tratamiento

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinó mediante análisis de varianza (ANOVA) que los tratamientos no presentan diferencias significativas en la remoción de sólidos suspendidos totales (valor P igual a 0.707), es decir hay homogeneidad entre ellos, a un nivel de confianza del 95%.

Tabla 5. ANOVA de los resultados de la variable SST

F.V.	GL	SC	CM	F	p – valor
Tratamiento	3	141.67	47.22	0.48	0.707
Error	8	793.33	99.17		
Total	11	935.00			

En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio de la muestra de agua, en cada una de las repeticiones y tratamientos.

Tabla 6. Resultados de los análisis de cada una de las repeticiones

Tratamiento	SST en agua residual	ST (g)	SDT (g)	SST en agua tratada	Tabla 12. LMP de SST (TULSMA)	Remoción (%)	Promedio (%)
T ₀	120 mg/L	0,2045 g	0,2011 g	34 mg/ L	100 mg/ L	92	79,67
	120 mg/ L	0,1945 g	0,1922 g	23 mg/ L	100 mg/ L	86	
	120 mg/ L	0,2000 g	0,1987 g	13 mg/ L	100 mg/ L	61	
T ₁	120 mg/ L	0,1980 g	0,1970 g	10 mg/ L	100 mg/ L	92	86,00
	120 mg/ L	0,1940 g	0,1920 g	20 mg/ L	100 mg/ L	83	
	120 mg/ L	0,1920 g	0,1910 g	20 mg/ L	100 mg/ L	83	
T ₂	120 mg/ L	0,2000 g	0,1980 g	20 mg/ L	100 mg/ L	83	89,00
	120 mg/ L	0,1980 g	0,1970 g	10 mg/ L	100 mg/ L	92	
	120 mg/ L	0,1990 g	0,1970 g	10 mg/ L	100 mg/ L	92	
T ₃	120 mg/ L	0,1970 g	0,1950 g	10 mg/ L	100 mg/ L	92	83,33
	120 mg/ L	0,1950 g	0,1940 g	20 mg/ L	100 mg/ L	83	
	120 mg/ L	0,1930 g	0,1900 g	30 mg/ L	100 mg/ L	75	

Nota. LMP (Límite Máximo Permissible)

TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente)

Los valores de sólidos suspendidos totales están entre 10-30 mg/l, por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa legal vigente para descargas a un cuerpo de agua dulce del Ministerio del Ambiente (MAE, 2015). Además, una proteína catiónica contenida en el cotiledón de Moringa ayuda a los procesos de coagulación y floculación (Landazuri et al., 2018).

Los resultados presentados en la figura 1 muestran las medias obtenidas de la prueba de SST de cada tratamiento, donde el valor medio con mayor eficiencia fue alcanzado por el tratamiento T₂ (2 mL) obteniendo un 89% en la remoción de sólidos suspendidos totales, seguido por el Tratamiento T₁ (1 mL) con un 86% y el tratamiento T₃ (4 mL) con 83,33%, mientras que el tratamiento que presenta menor eficiencia fue el tratamiento T₀ (Testigo) con 79,67%. Por lo tanto, la dosificación adecuada para remover SST es de 2 mL de polielectrolito catiónico para tratar 500 mL de agua residual (lo que equivale a 4 mL por litro), sin embargo, al aumentar la dosis a 4 mL, los niveles SST vuelven a disminuir. En un estudio comparativo realizado por Montesdeoca et al. (2018), se demostró que el polielectrolito de moringa en dosis de 2 mL presentó el 92% de remoción de SST, resultado similar con la aplicación de la misma dosis de sulfato de aluminio con el 94% de remoción.

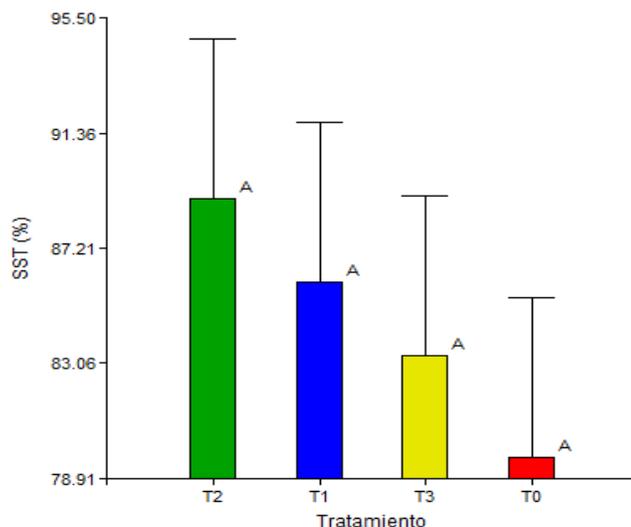


Figura 1. ANOVA de los resultados de la variable SST

En este sentido, se puede afirmar que *M. oleífera* resulta un coagulante efectivo en tratamiento de aguas residuales y es una posible alternativa, ya que no deja residuos tóxicos en el agua tratada que pudieran afectar el organismo, dado su origen vegetal y disminuye gran parte de los sólidos presentes en el agua mediante procesos de adsorción, datos que se comparan con un estudio realizado en Brasil en donde tenían por objetivo comparar la eficiencia de dos coagulantes, el sulfato de aluminio y el polielectrolito catiónico de la semilla de *Moringa oleífera* para la remoción de sólidos, determinando que la diferencia entre los coagulantes es baja, por lo que la moringa podría sustituir a este coagulante sintético (Paredes, 2013).

La turbidez se expresó en %, y se determinó estadísticamente que los tratamientos no presentan diferencia significativa entre sí, con un nivel de confianza del 95% (Tabla 7).

Tabla 7. ANOVA de los resultados de la variable turbidez

F.V.	GL	SC	CM	F	p – valor
Tratamiento	3	1134.25	378.08	1.42	0.307
Error	8	2132.67	266.58		
Total	11	3266.92			

En la tabla 8 se muestran los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio de la muestra de agua, en cada una de las repeticiones y tratamientos.

En la remoción de turbidez con el polielectrolito catiónico de moringa, el valor medio con mayor eficiencia fue T₁ (1 mL) con el 28% y el tratamiento con menor eficiencia fue el T₃ (4 mL) con 10% (Figura 2). Además, existe un rango de significatividad pues los valores muestran que la menor turbidez se presenta en la media del tratamiento T₃, donde se puede verificar que al aumentar la dosis de 1 mL a 4 mL se redujo la eficiencia de remoción, datos que se pueden comparar con un estudio realizado por Arias et al. (2017) en el que evalúan la semilla de *Moringa oleífera* en el tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio, determinando que la turbidez más baja se obtuvo donde se aplicó la dosis de 150 mL a una concentración del 5% con una remoción entre el 19 al 21%, versus a la dosis máxima de 200 mL con concentración de 20%, se evidencia que no necesariamente a mayor concentración de solución coagulante se da

un mayor nivel de remoción en la turbidez, información que concuerda con Arias y Méndez (2014) mencionan que se necesita menor cantidad de coagulante de la moringa para obtener una eficiencia de remoción superior de turbidez, ya que una sobredosificación del polímero causa un efecto negativo en el proceso físico-químico de coagulación-floculación, afectando el tamaño del floculo, no obstante, grados de remoción de turbidez hasta 24% sugieren una optimización del proceso de extracción del polielectrolito.

Tabla 8. Resultados de los análisis de cada una de las repeticiones

Tratamientos	Agua residual (FAU)	Agua tratada (FAU)	Remoción de turbidez (%)	Promedio de remoción (%)
T0	43,52	25	43	37,00
	43,52	38	13	
	43,52	20	55	
T1	43,52	35	20	28,00
	43,52	36	17	
	43,52	32	47	
T2	43,52	39	10	25,33
	43,52	26	40	
	43,52	35	26	
T3	43,52	47	0	10,00
	43,52	39	10	
	43,52	41	20	

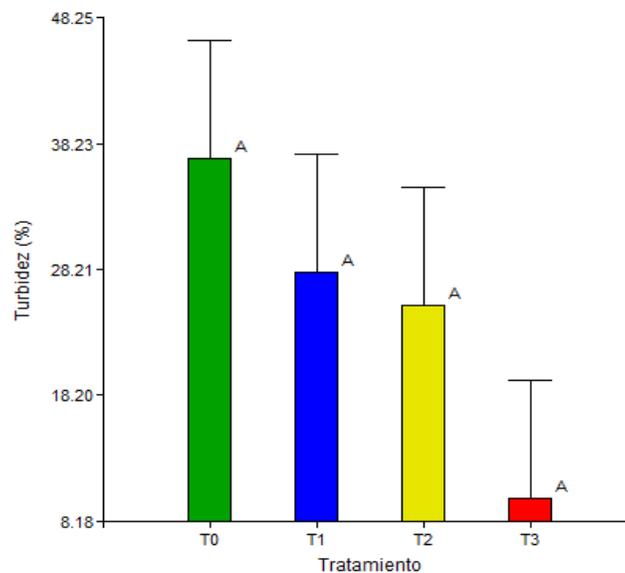


Figura 2. Categorización mediante la prueba de medida de la Variable turbidez

Existen varios estudios que informan sobre la capacidad de *Moringa oleífera* en la eliminación de turbidez debido a la proteína catiónica contenida en el cotiledón de la semilla (Baptista et al., 2017), concordando con los resultados obtenidos. Además, Landazuri et al. (2018) lograron demostrar los efectos bactericidas de *Moringa oleífera* al reducir en 89.7% la cantidad de *E. coli* presente en el Río Monjas de Quito-Ecuador.

En el color los tratamientos no presentan diferencias significativas, a un nivel de confianza del 95%, con un valor de P de 0.2617 (Tabla 9).

Tabla 9. ANOVA de los resultados de la variable de color

F.V.	GL	SC	CM	F	p – valor
Tratamiento	3	762.92	254.31	1.61	0.2617
Error	8	1262	157.75		
Total	11	2024.92			

En la Tabla 10 se muestran los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio de la muestra de agua, en cada una de las repeticiones y tratamientos.

Tabla 10. Resultados de los análisis de cada una de las repeticiones

Tratamientos	Agua residual (Pt/Co)	Agua tratada (Pt/Co)	Remoción de turbidez	Promedio de remoción (%)
T0	456	324	29	25,67
	456	443	3	
	456	249	45	
T1	456	384	16	15,33
	456	421	8	
	456	356	22	
T2	456	444	3	6,00
	456	457	0	
	456	387	15	
T3	456	551	0	6,67
	456	383	16	
	456	440	4	

Para el color (figura 3), el valor promedio con mayor eficiencia fue el tratamiento T₀ (testigo) con 25,67 % de remoción, seguido por el tratamiento T₁ (1 mL) con 15,33 % y el tratamiento con menor eficiencia fue el tratamiento T₂ (3 mL) con 6%. Según los resultados obtenidos se puede verificar que la eficiencia de remoción en las variables de color y turbidez fueron de entre 6-28%, menores a comparación de la remoción de sólidos suspendidos totales que estuvieron entre 83-89%, datos que se relacionan con un estudio realizado por Moreno (2018), donde menciona que a pesar de que investigaciones afirman que el polielectrolito catiónico de la *Moringa oleifera* presenta una buena eficiencia como coagulante natural en relación a los sintéticos, no interaccionaron lo suficiente con las partículas coloidales responsables de la turbidez y el color en el agua residual. Por otra parte, en el estudio realizado por Revelo (2015), se recomienda filtrar el agua con zeolita activada para remover trazas de color.

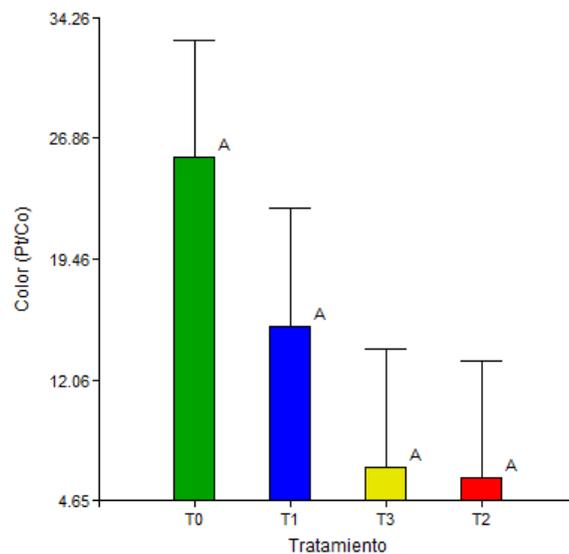


Figura 3. Categorización mediante la prueba de media de la variable de color

CONCLUSIONES

Mediante este estudio se ha demostrado que el extracto de semillas de *Moringa oleífera* tiene un alto potencial para reducir SST de aguas residuales; se obtuvo que el T1 (1mL) alcanzó una remoción de SST de 86%, el T2 (2mL) removió 89% de SST y el T3 (3mL) mostró una eficiencia de 83,33%, por lo que se determinó que el T2 es el tratamiento de mayor remoción. Asimismo, también se logra reducir el nivel de turbidez y color alcanzándose un rango de remoción de entre 6-28%, siendo menor el efecto de los tratamientos sobre estas variables debido a una baja interacción entre las partículas coloidales responsables de estos parámetros con el extracto de semillas de *Moringa oleífera*.

De acuerdo al análisis de varianza la remoción de SST, turbidez y color no presentan diferencias significativas entre tratamientos, esto sugiere que el extracto de *Moringa oleífera* es un coagulante efectivo en tratamiento de aguas residuales, mostrando resultados similares a la aplicación de sulfato de aluminio; además, dado su origen vegetal, es una alternativa ecoamigable pues no genera residuos tóxicos en el agua tratada.

REFERENCIAS

- Acevedo E.** (2019). Uso de semillas de moringa (*Moringa oleífera*) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de río negro, río de oro y quebrada Floridablanca, Santander, Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Exactas Naturales y Agropecuarias, Universidad de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Arias A., Hernández J., Castro A. y Sánchez N.** (2017). “Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la *M. oleífera* como coagulante natural”. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 1; 29 -39, [https://doi.org/10.18684/BSAA\(Edici%C3%B3nEspecial\)29-39](https://doi.org/10.18684/BSAA(Edici%C3%B3nEspecial)29-39), ISSN 1692-3561, Colombia.

- Arias D. y Méndez E.** (2014). “Remoción de sólidos en aguas residuales de la industria harinera de pescado empleando biopolímeros”. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(3); 115-123. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v5n3/v5n3a8.pdf>, ISSN 2007-2422, México.
- Cabrera H., Garcés M. y Paredes P.** (2010). *Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en el Ecuador*. Quito: UN WATER.
- García E.** (2007). *Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo*. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Ghimici L.** (2016). “Cationic polyelectrolyte induced separation of some inorganic contaminants and their mixture (zirconium silicate, kaolin, K-feldspar, zinc oxide) as well as of the paraffin oil from water”, *Journal of Environmental Management* 169: 1-7, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.007>, ISSN: 0301-4797, Academic Press Inc., United States.
- Grenda K., Arnold J., Gamelas J., Cayre O. and Rasteiro M.** (2020). “Flocculation of silica nanoparticles by natural, wood-based polyelectrolytes”, *Separation and Purification Technology*, 231: 1-9, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115888>, ISSN: 1383-5866, Elsevier, Netherlands.
- He L., Tan T., Gao Z. and Fan L.** (2019). “The Shock Effect of Inorganic Suspended Solids in Surface Runoff on Wastewater Treatment Plant Performance”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*: 1-12. <https://doi.org/10.3390/ijerph16030453>, ISSN 1660-4601, MDPI, Italy.
- Landazuri A., Villarreal J., Núñez E., Pico M., Lagos A. and Caviedes M.** (2018). “Experimental evaluation of crushed *Moringa oleifera* Lam. seeds and powder waste during coagulation-flocculation processes”. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.08.021>, ISSN: 2213-3437, Elsevier BV, United Kingdom.
- MAE** (2015). *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua*. Quito. MAE.
- Montesdeoca G. y Mendoza J.** (2018). *Eficiencia de la semilla de moringa (Moringa oleifera) en la remoción de sólidos suspendidos totales en Aguas*. Manabí, ESPAM MFL Tesis de pregrado, Facultad de Medio Ambiente, Calceta, Ecuador.
- Moreno G.** (2018). *Aplicación de Semilla de Moringa Oleifera Lam Como Alternativa Coagulante de Agua Almacenada en el Municipio de Zirándaro*, Tesis de pregrado, Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- NTE INEN 2169.** (2013). *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y Conservación de muestras*. Quito. INEN.
- Paredes P.** (2013). “El uso de *Moringa oleifera* como material natural para el tratamiento del agua potable en países en vía de desarrollo”. *Yachana*, 2(2): 243-246, <https://doi.org/10.1234/yach.v2i2.63>, ISSN: 1390-7778, Ecuador.

- Revelo A., Proaño D. y Banchón C.** 2015. “Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de *Caesalpinia spinosa*”, Enfoque UTE, 6(1): 1 -12, <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n1.50>, e-ISSN: 1390-6542, Ecuador.
- Tao Z., Wang Z., Lin X., Wang S., Wang H., Yoshida H., Xu A. and Song Y.** (2016). “One-year Survey of human enteroviruses from sewage and the factors affecting virus adsorption to the suspended solids”. Nature, <https://doi.org/10.1038/srep31474>, ISSN: 1476-4687, United Kingdom.
- Verma A., Wei X. and Kusiak A.** (2013). “Predicting the total suspended solids in wastewater: A data-mining approach”, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 26: 1366–1372, <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2012.08.0105>, ISSN: 0952-1976, Elsevier Ltd, United Kingdom.
- Vunain E., Masoamphambe E. F., Mpeketula P. M. G., Monjerezi M. and Etale A.** (2019). “Evaluation of coagulating efficiency and water borne pathogens reduction capacity of *Moringa oleifera* seed powder for treatment of domestic wastewater from Zomba, Malawi”. Journal of Environmental Chemical Engineering, 7(3), <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103118>, ISSN: 2213-3437, Elsevier BV, United Kingdom.
- Watanabe R., Nie Y., Takahashi S., Wakahara S. and Li Y.** (2016). “Efficient performance and the microbial community changes of submerged anaerobic membrane bioreactor in treatment of sewage containing cellulose suspended solid at 25 °C”, Bioresource Technology, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech2016.05.049>, ISSN: 0960-8524, Elsevier, United Kingdom.
- WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos) /ONU-Agua.** (2018). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua., UNESCO París. extraído de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261494s.pdf>
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas)** (2017) Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado, UNESCO París. extraído de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Holanda Teresa Vivas Saltos <https://orcid.org/0000-0003-3544-443X>

Elaboró y ejecutó la metodología del trabajo para determinar la dosis óptima del polielectrolito catiónico de la semilla de la moringa (*Moringa oleifera*) en la remoción de contaminantes del agua residual, a través de la aplicación del diseño experimental propuesto para el efecto. Participó en la revisión bibliográfica y redacción final de trabajo.

José Manuel Calderón Pincay <https://orcid.org/0000-0002-3315-997X>

Realizó la caracterización del agua residual cumpliendo los protocolos establecidos en la universidad. Así mismo, efectuó el análisis del agua residual tratada con el coagulante natural.

Laura Gema Mendoza Cedeño <https://orcid.org/0000-0002-1153-9867>

Colaboró en los análisis estadísticos de la investigación, mediante la aplicación del programa Statgraphics. Participó en la búsqueda de información y redacción del trabajo.

José Gerardo Cedeño Zambrano <https://orcid.org/0000-0002-9669-3539>

Participó en la revisión final del trabajo, estableciendo observaciones y recomendaciones previo a la presentación final del trabajo.