

Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de *Moringa oleífera* en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico

Evaluation of the coagulant power of aluminum sulfate and *Moringa oleífera* seeds in the clarification process of water in the swamp of Malambo-Atlántico

María Meza-Leones¹, Katerine Riaños-Donado², Iván Mercado-Martínez³, Rafael Olivero-Verbel⁴
Mario Jurado-Eraso⁵

¹ Grupo de Investigación Biotecnología de Microalgas, Físicoquímica Aplicada y Estudios Ambientales, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. Email: mmeza@mail.uniatlantico.edu.co

² Grupo de Investigación Agroindustrial - GIA, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. Email: kriano@mail.uniatlantico.edu.co

³ Grupo de Investigación Agroindustrial - GIA, Facultad de Ingeniería, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. Orcid: 0000-0002-1978-6977. Email: ivanmercado@mail.uniatlantico.edu.co

⁴ Bioprocesos, Facultad de Ingeniería, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. Orcid: 0000-0003-2807-1217. Email: rafaelolivero@mail.uniatlantico.edu.co

⁵ Grupo de Investigaciones Ambientales – GIA, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana, Pasto, Colombia. Email: majuradoe@umariana.edu.co

RECIBIDO: Enero 10, 2018. ACEPTADO: Febrero 27, 2018. VERSIÓN FINAL: Marzo 13, 2018.

RESUMEN

El poder coagulante que tiene la semilla de *Moringa oleífera*, fue evaluado y comparado con la sustancia química más utilizada a nivel mundial en los procesos de clarificación de aguas, sulfato de aluminio. Se realizó un muestreo simple del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico, registrando sus características iniciales. Mediante el test de jarras, se simuló un proceso de clarificación y se observó la reducción de turbidez que se obtuvo con cada coagulante. Se concluyó que el sulfato de aluminio disminuye la turbidez en un 96%, mientras que las semillas de *Moringa oleífera* reducen este mismo parámetro en un 64%. Por su baja toxicidad, este coagulante natural es una alternativa para reemplazar parcialmente al sulfato de aluminio.

PALABRAS CLAVE: Clarificación; coagulación; floculación; sedimentación; turbidez.

ABSTRACT

The coagulant power that has *Moringa Oleífera* seed, was evaluated and compared with the chemical substance more used to world level in the coagulation process of water, aluminum sulfate. There was realized a simple sampling of the water of the swamp of Malambo Atlántico, registering its initial characteristics. Using the jar test, was simulated a clarification process, and was observed the reduction of turbidity that was obtained with each coagulant. It concluded that the aluminum sulfate decreased the turbidity in 96%, while that the *Moringa Oleífera* seed reduce this same

parameter in 64%. For its low toxicity, this natural coagulant is an alternative to replace partially to the aluminum sulfate

KEYWORDS: Clarification; coagulation; flocculation; sedimentation; turbidity.

1. INTRODUCCIÓN

Para remover la turbidez del agua para consumo humano, se emplea el proceso de coagulación-floculación [1]. La coagulación consiste en la adición de compuestos químicos, tales como sulfato de aluminio, cloruro férrico, carbonato de calcio y polímeros orgánicos sintéticos [2], que desestabilizan las partículas presentes en pocos segundos. Posteriormente se presenta la floculación, esta se fundamenta en el aglutinamiento de las partículas en flóculos con un peso específico mayor al del agua, que luego sedimentarán para facilitar su remoción [1].

La desventaja que tienen estas sustancias químicas es que una vez culminado el proceso de potabilización, permanecen en el agua, en forma residual, acumulándose en el medio ambiente [3]. El sulfato de aluminio, se asimila de forma sencilla en los seres vivos y su ingesta prolongada, tiene efectos negativos en la salud [4].

Los animales pertenecientes a sistemas acuáticos son los principales afectados por estas sustancias. En Brasil durante el año 2016, se confirmó que el sulfato de aluminio tiene un impacto negativo sobre las hidrolasas del cerebro, el tracto digestivo y masa muscular de las *Oreochromis niloticus*, conocidas como tilapias [5].

El sulfato de aluminio en los seres humanos tiene incidencia en el deterioro cognitivo, demencia y en la aparición de la enfermedad del Alzheimer [4], cáncer y enfermedades óseas [6]. Además, esta sustancia química deteriora las células epiteliales intestinales, responsables de proteger el intestino de sustancias nocivas y filtrar distintos componentes de la dieta diaria [7].

Debido a lo anterior, se hace necesario encontrar una alternativa viable que logre reducir la turbidez, el color y la materia orgánica del agua, sin dejar residuos metálicos que puedan provocar efectos negativos en la salud humana [8].

En algunas zonas del territorio colombiano no se cuenta con fuentes de agua potable, por esto sus habitantes deben crear sistemas artesanales que les permiten tener acceso a este recurso. Debido a lo anterior, la clarificación del agua es una opción viable en sitios vulnerables de Colombia, donde no se dispone del servicio de agua potable las 24 horas del día [9].

En la actualidad, los materiales vegetales extraídos de hojas, exudados, cortezas, raíces y semillas de plantas y

árboles, están siendo estudiados como una alternativa excelente para remover la turbidez del agua, sus ventajas radican en su biodegradabilidad, bajo costo, fácil adquisición y sin efectos negativos en la salud humana [2], [10].

Los coagulantes naturales pueden ser de origen vegetal o animal. Los más estudiados son los de origen vegetal, en especial la *Moringa oleífera*, *Opuntia ficus-indica*, Cactus lefaria, Café, semillas de Nirmali y fríjol común (*phaseolus vulgaris*). Además, una gran diversidad de almidones entre los que se encuentran, el de yuca, maíz, plátano y arroz; y también algunas algas marinas. Estos coagulantes no alteran significativamente el pH y la conductividad del agua analizada [9].

El mayor interés ha surgido por el estudio del árbol de *Moringa oleífera*, que ha sido catalogado como el mejor coagulante natural para la purificación de aguas turbias [10]. Este árbol originario de la India y África soporta climas extremos, puede llegar a crecer hasta 10 metros. Además, se pueden encontrar especies similares en América y Malasia [11].

La *Moringa oleífera* se puede cultivar de dos maneras, sembrando sus semillas o plantando fragmentos de la planta, tales como: tallos, raíces o ramas conocido como cultivo por estacas; suele ser resistente a diversos climas, sin embargo, es vulnerable en tiempos de viento y sequía. Se presenta en diferentes lugares del mundo, estudios han demostrado que la *Moringa oleífera* cultivada en la India posee mayores propiedades nutricionales que las cultivadas en Nigeria debido a las altas temperaturas que se presentan en este país [12].

Se ha logrado identificar, que existen aproximadamente 14 especies de este árbol y que todas son capaces de producir semillas envueltas en vainas con un peso entre 150 y 300 mg y que varían en longitud de 150 a 1200 mm entre especies y ubicación [13]. Estas semillas tienen propiedades antioxidantes atribuidas a los compuestos de extracto etanólico que contienen. En Brasil en el año 2017, se realizó una investigación sobre el poder antioxidante de la *Moringa oleífera*, usándola como aditivo para determinar la estabilidad de almacenamiento y oxidación del biodiesel comercial. Los resultados fueron positivos, pero menos eficaces que el antioxidante químico sintético (butilhidroxitolueno) usado generalmente para estos procesos. Sin embargo, la *Moringa oleífera* es económica y amigable con el medio ambiente porque proviene de una fuente renovable [14].

En el año 2016 en la India ha sido ampliamente estudiada para conocer su valor nutritivo y comercial debido a su alto contenido en minerales, vitaminas y fitoquímicos [15]. Con fines nutritivos el consumo de esta planta les permite a las madres lactantes el aumento de la producción de leche materna. Además, es usado como agente antioxidante, antiinflamatorio, antidiabético, anticancerígeno, antimicrobiano y para fortificar algunos fármacos [16].

Algunos de los usos medicinales importantes de la *Moringa oleifera* investigados recientemente en la India han demostrado que los extractos de sus hojas son capaces de inhibir la producción de células cancerígenas en los seres humanos [17]; y también la diabetes tipo 1 y 2. La diabetes tipo 1 es aquella en la que no hay producción de insulina por parte del páncreas y se presenta generalmente en niños y jóvenes. Mientras que la diabetes tipo 2 se presenta comúnmente en adultos mayores que hacen resistencia al uso de la insulina. Debido al poder antioxidante propio de la *Moringa oleifera* puede presentarse una reducción de este tipo de enfermedades [18].

Las semillas de *Moringa oleifera* poseen una proteína catiónica soluble en agua, capaz de coagular el material presente en el agua turbia [19]. Un solo árbol, es capaz de producir 2000 semillas por año, con lo que se podría tratar aproximadamente 6.000 L de agua; sin embargo, un árbol puede ser cultivado para producir 5 o 10 veces más esta cantidad, es decir 10.000 a 20.000 mil semillas anuales, que equivalen a 60.000 L de agua tratada [10]. Además, se ha demostrado que la planta y sus semillas tienen una baja toxicidad [20].

Una vez extraído el aceite de las semillas, conocido como aceite de Ben que corresponde al 30 – 35% (p/p) [4], las semillas desengrasadas tienen 448,16 mg de proteína/g de semilla. Mientras el 2,05% no es soluble, el 97,95% si lo es y se divide en: 44% albúminas solubles en agua, 53% globulinas I y II solubles en sales, 0,56% prolaminas solubles en alcohol y 0,39% glutelina soluble en NaOH. Las proteínas albúminas y globulina I coagulan las sustancias presentes en agua turbia. La globulina I remueve el 90% del color y la turbidez, cuando se emplea una dosis de 13 mg/L en el tratamiento del agua cruda, cuya característica inicial es una turbidez baja, 50 UNT. Por el contrario, la prolaminas, glutelina, globulina II y la fracción proteica insoluble, no poseen ninguna actividad coagulante [21].

Además, son capaces de remover colorantes artificiales. En el año 2017, en Brasil fue desarrollada una investigación en la que se usaron las semillas de *Moringa oleifera* como adsorbentes naturales, de fácil adquisición

y de bajo costo para remover la tartrazina de una solución acuosa, comparando su rendimiento con el carbón activado tradicionalmente usado para este fin, coco babasú. El resultado obtenido fue que la *Moringa oleifera* es capaz de remover más del 95% del colorante [22].

La industria del café, genera agua residual con altas cantidades de sustancias nocivas para la salud humana y ecosistemas acuáticos. A nivel mundial, aproximadamente el 40% de las industrias procesan el café en húmedo. Durante el año 2016, se evaluó el poder coagulante de las semillas de *Moringa oleifera* y se encontró que disminuyen entre 20-100% de los nitratos y nitritos, siendo una alternativa viable para la contaminación generada por este tipo de industrias [23].

Los extractos de semillas de *Moringa oleifera* son mezclados con carboximetilcelulosa (CMC) para crear películas comestibles orgánicas que permiten controlar enfermedades en el aguacate (*Persea americana Mill.*) como Hass y Gem; además, controlan la calidad de almacenamiento del mismo teniendo en cuenta la actividad antifúngica. Los resultados demuestran que los aguacates recubiertos con dicha película pierden menor cantidad de masa, producen menor cantidad de etileno y menor tasa de respiración en comparación con la fruta no recubierta. Esta investigación fue realizada en Sudáfrica en el año 2017 [24].

Debido al alto costo que representa tener una tecnología avanzada en temas de potabilización del agua, en Ghana continente africano, se utilizan aguas residuales para el riego en la agricultura. Durante el año 2012 se identificó la capacidad de la *Moringa oleifera* para reducir los niveles de turbidez de esta agua, además su potencial para disminuir la cantidad de huevos parásitos helmintos comunes en ella. Los resultados positivos obtenidos en esta investigación permitieron a los agricultores adoptar el uso de este coagulante natural en las aguas para el riego [25].

La ciénaga de Malambo- Atlántico, con coordenadas geográficas 10°51'19" de latitud norte y a 74°45'23" de latitud oeste [26], se conecta al río Magdalena a través de un terraplén y en ella desemboca el arroyo San Blas, del municipio de Malambo [27]. El agua de este humedal natural actualmente no es apta para consumo humano; sin embargo, es usada por los habitantes de la zona para este fin. Por tal motivo, surge la necesidad de evaluar mediante esta investigación el 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.

2. METODOLOGIA

2.1. Muestreo de la ciénaga de Malambo- Atlántico

El agua cruda se recolectó utilizando un muestreo simple y representativo, en las orillas de la ciénaga de Malambo, también llamada ciénaga Grande. Se registró su turbidez (TB 300 IR, Lovibond) y su pH y temperatura (ST2100, OHAUS). El agua fue guardada en canecas plásticas con capacidad de 35 L y almacenada a temperatura ambiente.

2.2. Extracción del coagulante de *Moringa oleífera*

Se recolectaron del área rural y urbana del municipio de Malambo en el departamento del Atlántico, 700 vainas que fueron peladas manualmente para obtener las semillas de *Moringa oleífera*; posteriormente estas se trituraron y se molieron en una licuadora industrial de alto impacto (LI-5A, INMEZA). El polvo obtenido se tamizó (Tyler, con abertura de 1.0 mm). Por último, el polvo fino se sometió al método de extracción de grasas Soxhlet, luego se secó durante 30 minutos (F48055-60, THERMO SCIENTIFIC), se empacó y se almacenó en condiciones ambiente.

2.3. Preparación de los coagulantes

Se pesó 1 g de sulfato de aluminio comercial tipo B, y se disolvió en 100 mL de agua destilada. El mismo procedimiento se realizó con las semillas de *Moringa oleífera*.

Las dosis de coagulante aplicadas de sulfato de aluminio fueron de 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L. Para las semillas de *Moringa oleífera*, se determinó mediante ensayos preliminares las mejores dosis, cuyos resultados fueron 750, 770, 790, 810, 830 y 850 mg/L.

2.4 Corrección de pH

Para potabilizar las aguas crudas, su pH óptimo en la etapa de coagulación debe estar comprendido en un rango de 6,5-8,0 [1]. El coagulante natural, *Moringa oleífera*, actúa dentro de este rango. Cada coagulante químico tiene un rango de pH óptimo en el que se solubiliza [28], para el sulfato de aluminio comercial tipo B, este valor varía entre 5,5 y 8,0 [29]. Si el pH no se encuentra dentro de este rango, se corrige adicionado un álcali como cal o soda cáustica [28] o agregando un ácido, clorhídrico o sulfúrico [30]. En esta investigación no fue necesario corregir el pH.

2.5 Ensayo de jarras

Se simuló un proceso de clarificación, usando el test de jarras (FC6S, VELP), siguiendo los parámetros establecidos por la NTC 3903 de 1996. Se llenaron 6 vasos de precipitado con 1000 mL del agua objeto de estudio, se aplicaron las diferentes dosis de coagulantes y se sometieron a una agitación rápida a 120 rpm durante un minuto; luego a una agitación lenta a 30 rpm durante 20 minutos, posteriormente se sedimentaron los flóculos durante 15 min. Todos los experimentos se realizaron por triplicado. La variable respuesta analizada fue la turbidez, para medirla se extrajo una alícuota de 20 mL de cada jarra.

2.6 Análisis de resultados

Para realizar la investigación de tipo experimental, se elaboró un diseño factorial categórico de un solo factor, dosis del coagulante, que permitió analizar su influencia sobre la turbidez del agua de la ciénaga de Malambo.

Para verificar la eficiencia del coagulante natural los resultados se compararon con los obtenidos al emplear el sulfato de aluminio, sustancia química más utilizada en los procesos de potabilización.

Los resultados conseguidos en las 3 corridas para cada coagulante, se tabularon y analizaron en el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.II versión gratis en línea. Se efectuó un análisis de varianza ANOVA y el test de Duncan, con una confiabilidad del 95% (valor $P < 0,05$).

3. RESULTADOS

El agua cruda objeto de estudio, presentó una turbidez de 56,5 UNT; a una temperatura de 24 °C y un pH de 7,27. Según la Resolución 2115 de 2007, se establece que el agua destinada para el consumo humano debe cumplir con parámetros fisicoquímicos específicos, tales como pH entre 6,5 – 9,0 y una turbidez de 2 UNT [31]; por lo tanto, el agua recolectada de la ciénaga de Malambo no cumplió con los requisitos de turbidez para ser consumida por los seres humanos.

Se elaboró el diseño factorial que se observa en la Tabla 1. Con estas condiciones se realizó el test de jarras usando el coagulante sulfato de aluminio comercial tipo B, los resultados de turbidez después del tratamiento se muestran en la Tabla 2.

Con este tipo de diseño experimental, se permitió evaluar y comparar todos los niveles de un solo factor y proteger

contra el efecto que puedan tener las variables que no se tuvieron en cuenta.

Tabla 1. Características del diseño factorial para el sulfato de aluminio y las semillas de *Moringa oleifera*.

Clase de diseño	Factor Categórico Individual	
Diseño Base		
Número de factores experimentales	1	
Número de bloques	1	
Número de respuestas	1	
Número de corridas	18	
Grados de libertad para el error	12	
Factores	Niveles	Unidades
Dosis de coagulante	6	mg/L
Variable Respuesta	Unidades	
Turbiedad	UNT	

Fuente. Statgraphics Centurion XVI.II versión gratis en línea.

Tabla 2. Turbidez del agua de la ciénaga después del tratamiento usando sulfato de aluminio.

Dosis (mg/L)	Turbidez (UNT)
10	23,1
20	1,8
40	0,1
60	0,1
80	0,1
100	0,1

En la Tabla 3, se presenta el análisis de varianza ANOVA. Si el valor P es < 0,05 el factor analizado influye sobre la variable respuesta objeto de estudio, cuando el valor P es > 0,05 el factor no tiene ninguna incidencia.

Tabla 3. Análisis de varianza ANOVA para el sulfato de aluminio.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Entre grupos	1288,35	5	257,67	3,89	0,0250
Intra grupos	794,29	12	66,19		
Total (Corr.)	2082,64	17			

Fuente. Statgraphics Centurion XVI.II versión gratis en línea.

El valor P = 0,0250 de la Tabla 3, identifica que la dosis de coagulante, sulfato de aluminio, incide sobre la turbidez del agua de la ciénaga de Malambo.

El test de Duncan es utilizado para determinar la diferencia significativa que existe entre las medias de los niveles de un factor. Para seleccionar la mejor dosis de coagulante, sulfato de aluminio, se utiliza la Tabla 4 donde la única X que no se encuentra alineada en los grupos homogéneos es la dosis de 10 mg/L, indicando que a esta concentración de coagulante químico, se presenta la más alta turbidez del agua de la ciénaga de Malambo. Por lo tanto, se podrá emplear indistintamente las dosis de 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L para obtener la menor turbidez. Al tratarse de una sustancia nociva para la salud humana [5]-[9], se debe emplear la menor cantidad posible, 20 mg/L de sulfato de aluminio, que disminuyó la turbidez del agua objeto de estudio a un valor de 1,8 UNT y se obtuvo una reducción del 96%. Cumpliendo con la turbidez establecida por la Resolución 2115 de 2007 de agua potable [28].

Tabla 4. Test de Duncan para el sulfato de aluminio.

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
100	3	0,1	X
40	3	0,1	X
60	3	0,1	X
80	3	0,1	X
20	3	1,8	X
10	3	23,1	X
Contraste		Sig.	Diferencia
10 – 20		*	21,23
10 – 40		*	22,99
10 – 60		*	22,99
10 – 80		*	22,99
10 – 100		*	22,99
20 – 40			1,75
20 – 60			1,75
20 – 80			1,75
20 – 100			1,75
40 – 60			0
40 – 80			0
40 – 100			0
60 – 80			0
60 – 100			0
80 – 100			0

*Indica diferencia significativa.

Fuente. Statgraphics Centurion XVI.II versión gratis en línea.

Como han demostrado otros investigadores, en el año 2010, una dosis de 30 mg/L de sulfato de aluminio, disminuye la turbidez de un agua sintética en un 95%, obteniendo una turbidez final de 0,8 UNT [12].

Durante el 2016 se encontró que el tratamiento con sulfato de aluminio reduce la turbidez del agua de la

corriente de Cavouco en Brazil, en un 56,52%, siendo inicialmente 37,95 UNT y finalizando en 16,5 UNT [32].

Para el agua del río Magdalena, con una turbidez de 276 UNT, se utiliza una dosis de 35 mg/L de sulfato de aluminio, obteniendo una turbidez final de 0,55 UNT. Este valor cumple con la normativa Colombiana de agua para consumo humano [33]. Bajo estas características se remueve el 99,8% de este parámetro.

Finalizado el proceso con el coagulante químico, sulfato de aluminio, se simuló nuevamente la clarificación usando como coagulante, las semillas de *Moringa oleifera*. El diseño factorial se realizó como se muestra en la Tabla 1 y los resultados de turbidez después del tratamiento se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Turbidez del agua de la ciénaga después del tratamiento usando semillas de *Moringa oleifera*.

Dosis (mg/L)	Turbidez (UNT)
750	20,6
770	21,6
790	20,7
810	20,6
830	20,9
850	20,6

El análisis de varianza ANOVA, se da a conocer en la Tabla 6, donde el valor P = 0,3171 indica que no existe ninguna influencia del factor, dosis de coagulante, sobre la turbidez del agua de la ciénaga de Malambo.

Tabla 6. Análisis de varianza ANOVA para las semillas de *Moringa oleifera*.

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Entre grupos	2,20	5	0,44	1,33	0,3171
Intra grupos	3,99	12	0,33		
Total (Corr.)	6,19	17			

Fuente. Statgraphics Centurion XVI.II versión gratis en línea.

En la Tabla 7, se muestra el test de Duncan para el coagulante natural.

Todas las X se encuentran alineadas en el grupo homogéneo, indicando que no se presenta ninguna incidencia en la turbidez del agua objeto de estudio, según las dosis que se adicionen. Cualquiera de las 6 dosis de coagulante natural 750, 770, 790, 810, 830 y 850 mg/L pueden ser empleada en el tratamiento del agua de

la ciénaga de Malambo y se obtendrá la menor turbidez posible al emplear este material vegetal. Sin embargo, con estos valores no se cumple con la legislación colombiana de agua para consumo humano [28].

Con una dosis de la menor cantidad de sustancia natural, 750 mg/L, se generó una reducción de la turbidez del agua del 64%. Esta información coincide con ensayos preliminares elaborados en el año 2013, en la India, usando agua sintética, que establecen que para este tipo de semillas la dosis óptima oscila entre 250 y 1000 mg/L, y al emplear una dosis de 750 mg/L se remueve la turbidez en un 76,3% [4].

Tabla 7. Test de Duncan para las semillas de *Moringa oleifera*.

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
850	3	20,6	X
810	3	20,6	X
750	3	20,6	X
790	3	20,7	X
830	3	20,9	X
770	3	21,6	X
Contraste	Sig.	Diferencia	
750 - 770		-0,93	
750 - 790		-0,03	
750 - 810		0,03	
750 - 830		-0,27	
750 - 850		0,07	
770 - 790		0,9	
770 - 810		0,97	
770 - 830		0,67	
770 - 850		1,0	
790 - 810		0,07	
790 - 830		-0,23	
790 - 850		0,1	
810 - 830		-0,3	
810 - 850		0,03	
830 - 850		0,33	

*Indica diferencia significativa

Fuente. Statgraphics Centurion XVI.II versión gratis en línea.

En el Reino Unido, en el año 2010, se utilizó agua sintética para demostrar que una dosis de 750 mg/L de estas semillas, puede reducir la turbiedad del agua en un 91,6%. Las características iniciales y finales de la misma son 160 y 13,6 UNT, respectivamente [12].

Las semillas de *Moringa oleifera* tienen un porcentaje de remoción de turbidez entre el 75-90%, cuando la turbidez inicial es alta, aproximadamente 200 UNT. Por el contrario, si la turbidez es baja, 40 UNT, el porcentaje de remoción alcanza el 50% [34].

En el año 2009, en Ruanda (África oriental), una remoción de la turbidez del 99,8% se obtiene con semillas de *Moringa oleífera* disueltas en un extracto de sal, NaCl, con una dosis de 125 mg/L usando agua del río Kadahokwa que tiene una turbidez inicial de 450 UNT. En este mismo estudio, se confirma que para una turbidez inicial baja, 50 UNT, se necesita una mayor dosis de coagulante, 150 mg/L, usando agua del río Rwamanba, pero se obtiene una remoción del 95,0% [35].

En la presente investigación, el sulfato de aluminio removió 96% la turbidez del agua de la ciénaga de Malambo, mientras que el coagulante natural lo hizo en un 64%. Al tratarse solo del proceso de clarificación (coagulación, floculación y sedimentación), las semillas de *Moringa oleífera* son una alternativa viable de bajo costo y sin efectos nocivos para el ser humano.

4. CONCLUSIONES

El coagulante natural de semillas de *Moringa oleífera*, tienen un poder coagulante que puede reducir a la mitad la turbidez inicial del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico.

El sulfato de aluminio comercial tipo B, es un coagulante químico efectivo para llevar la turbidez a valores menores de una unidad.

El coagulante químico utilizado en este estudio, es mucho más efectivo que el coagulante natural empleado para reducir la turbidez del agua de la ciénaga. Sin embargo, las semillas de *Moringa oleífera*, por su baja toxicidad, son una alternativa para reemplazar parcialmente al sulfato de aluminio.

Se recomienda realizar el montaje del test de jarras y preparar la solución coagulante de manera instantánea, en cada repetición para evitar las variaciones en los resultados.

5. REFERENCIAS

[1] J. Arboleda, “Teoría de la ccoagulación del agua”, en *Teoría y práctica de la purificación del agua*, 3 ed. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill, 2001, cap 2, pp. 21-84.

[2] G. Muthuraman, S. Sasikala, “Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 20, no. 4, pp 1727-1731. Jul 2014.

[3] T.P. Flaton, “Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water”,

Brain Research Bulletin, vol. 55, no. 2, pp 187-96. May 2001.

[4] V. Rondeau, et al., “Aluminum and silica in drinking water and the risk of Alzheimer's disease or cognitive decline: findings from 15-year follow-up of the PAQUID cohort”, *American Journal Epidemiology*, vol. 169, no. 4, pp 489-96. Feb 2009.

[5] V. Melo Oliveira, et al., “Aluminium sulfate exposure: A set of effects on hydrolases from brain, muscle and digestive tract of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)”, *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, vol. 191, pp. 101-108, Ene 2017.

[6] S. Poddar, G. Talukder, A. Sharma, “Chromosome Damage Induced by Ferric Chloride in Human Peripheral Lymphocytes”, *International Journal of Human Genetics*, vol. 4, pp 261-264, Jun 2004.

[7] M. Djouina, et al., “Toxicological consequences of experimental exposure to aluminum in human intestinal epithelial cells”, *Food and Chemical Toxicology*, vol. 91, pp. 108, 116, Mar 2016.

[8] M.A. Aboulhassana, et al., “Improvement of paint effluents coagulation using natural and synthetic coagulant aids”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 138, no. 1, pp. 40-45, Nov 2006.

[9] N. Fuentes Molina, E.J. Molina Rodríguez, C. P. Ariza, “Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas”, *Producción + Limpia*, vol. 11, no. 2, pp 41-54. Jul 2016.

[10] M. Pritcharda, et al., “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*, vol. 35, no. 13-14, pp. 798-805, Dec 2010.

[11] A. Duke, “*Moringa oleifera* lam”, *Handbook of Energy Crops*. unpublished. Jun 1983[PDF]. Disponible en: https://hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Moringa_oleifera.html

[12] W. Jasper, et al., “Nutrient composition of *Moringa oleifera* leaves from two agro ecological zones in Ghana”, *African Journal of Plant Science*, vol. 8, no. 1, pp. 65-71, Jan 2014.

- [13] J. Samia Al, "Using Moringa Seeds as Coagulants in Developing Countries", *Journal - American Water Works Association*, vol. 80, no. 6, pp. 43-50, Jun 1988[PDF]. Disponible en: <https://www.awwa.org/publications/journal-awwa/abstract/articleid/12026.aspx>
- [14] F.R. Morais, et al., "Storage and oxidation stability of commercial biodiesel using Moringa oleifera Lam as an antioxidant additive", *Fuel*, vol. 203, pp. 627-632, Sep 2017.
- [15] J. L. Rockwood, B. G. Anderson, D. A. Casamatta, "Potential uses of Moringa oleifera and an examination of antibiotic efficacy conferred by M. oleifera seed and leaf extracts using crude extraction techniques available to underserved indigenous populations", *International Journal of Phytotherapy Research*, vol. 3, no. 2, pp. 61-71, 2013.
- [16] T. Mutiara, et al., "Effect lactagogue moringa leaves (Moringa oleifera Lam) powder in rats", *Journal of basic and applied scientific Research*, vol. 3, no. 4, pp. 430-434, 2013.
- [17] C. Tiloke, A. Phulukdaree, A. Chuturgoon, "The antiproliferative effect of Moringa oleifera crude aqueous leaf extract on cancerous human alveolar epithelial cells", *BMC Complementary and Alternative Medicine*, vol. 13, pp. 226-233, Sep 2013.
- [18] S. M. Divi, R. Bellamkonda, S. K. Dasireddy, "Evaluation of antidiabetic and antihyperlipidemic potential of aqueous extract of Moringa oleifera in fructose fed insulin resistant and STZ induced diabetic wistar rats: a comparative study", *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, vol. 5, no. 1, pp. 67-72, Ene 2012.
- [19] J. Samia Al, "Simplified water treatment technologies for rural areas", *Documentation on Sustainable Agriculture Expanded*, vol. 4, no. 1, pp. 22-25, Jun 1988.
- [20] S.J. Stohs, M.J. Hartman, "Review of the safety and efficacy of Moringa oleifera", *Phytotherapy Research*, vol. 29, no. 1, pp. 796-804, Jun 2015.
- [21] A. Alves, et al., "Protein fractionation of seeds of Moringa oleifera lam and its application in superficial water treatment", *Separation and Purification Technology*, vol. 180, pp 114-124, Feb 2017.
- [22] I.M. Reck, et al., "Removal of tartrazine from aqueous solutions using adsorbents based on activated carbon and Moringa oleifera seeds", *Cleaner Production*, vol. 171, pp. 85-97, Ene 2018.
- [23] W. Gardea, et al., "Application of Moringa Oleifera seed extract to treat coffee fermentation wastewater", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 329, pp. 102-109, Ene 2017.
- [24] S. Zeray Tesfay, et al., "Carboxyl methylcellulose (CMC) containing moringa plant extracts as new postharvest organic edible coating for Avocado (Persea americana Mill.) fruit", *Scientia Horticulturae*, vol. 226, pp. 201-207, Dic 2017.
- [25] M. E. Sengupta, et al., "Use of Moringa oleifera seed extracts to reduce helminth egg numbers and turbidity in irrigation water", *Water Research*, vol. 46, no. 11, pp 3646-3656. Jul 2012.
- [26] Get a map. Ciénaga malambo/Atlántico. [PDF]. Disponible en: http://es.getamap.net/mapas/colombia/atlantico/_malambo_cienaga
- [27] Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica del río Magdalena en el departamento del Atlántico, POMCA, 2007 [PDF]. Disponible en: <https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=43372&download=Y>.
- [28] J. Cogollo, "Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio", *Dyna*, Volumen 78, Número 165, p. 18-27, 2011.
- [29] C. Barajas, A. León, "Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃ 18H₂O) en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial", *Tesis de grado Ingeniería Ambiental, División de Ingenierías, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia*, 2015.
- [30] A. Cajigas, A. Pérez, P. Torres, "importancia del ph y la alcalinidad en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca", *Scientia Et Technica*, vol. XI, no. 27, pp. 243-248, Abr 2005.
- [31] Resolución por medio del cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias de sistema de control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. Resolución 2115, 2007.

[32] J. Souza Freitas, et al., “Evaluation of using aluminum sulfate and water soluble Moringa oleifera seed lectin to reduce turbidity and toxicity of polluted stream water”, *Chemosphere*, vol. 163, pp. 133-141, Nov 2016.

[33] R. Olivero, I. Mercado, L. Montes, “Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*”, *Producción + Limpia*, vol. 8, no. 1, pp 19-21, Ene 2013.

[34] M. Pritcharda, et al., “A study of the parameters affecting the effectiveness of Moringa oleifera in drinking water purification”, *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 35, no. 13-14, pp. 791-797, Dic 2010.

[35] T. Nkurunziza, et al., “The effect of turbidity levels and Moringa oleifera concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment”, *Water Science & Technology*, vol. 59, pp. 1551–1558, Feb 2009.