



SEMILLAS DE MORINGA (*Moringa oleifera*) Y ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*) PARA LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA

MORINGA SEEDS (*Moringa oleifera*) AND CASSAVA STARCH (*Manihot esculenta*) FOR WATER CLARIFICATION

Iván Darío Mercado Martínez¹

Katerine Riaños Donado²

María Carolina Meza Leones³

¹ Mtr. Ingeniería Ambiental, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia.
ivanmercado@mail.uniatlantico.edu.co

² Ing. Agroindustrial, Corp. Autónoma Regional del Atlántico-C.R.A., Barranquilla, Colombia.
krianos@crautonomia.gov.co

³ Ing. Agroindustrial, Harinera de la Costa, Soledad, Atlántico, Colombia.
laboratorio.ihc@organizacionsolarte.com

Citación: Mercado, I., Riaños, K. y Meza, C. (2024). Semillas de moringa (*Moringa oleifera*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) para la clarificación del agua. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 29-48. <https://doi.org/10.22490/21456453.6334>

RESUMEN

Contextualización: el uso de coagulantes naturales para la clarificación del agua se investiga mundialmente debido a sus bajos costos, alta biodegradabilidad y capacidad de sustituir a los coagulantes sintéticos altamente tóxicos.

Vacío de conocimiento: el agua de la Ciénaga Grande del departamento del Atlántico en Colombia se utiliza para labores de limpieza, consumo y preparación de alimentos por los pobladores de la zona. Sin embargo, no cumple con la calidad del agua para consumo en relación al parámetro turbidez, definida por la Resolución 2115 de 2007; por tal motivo, es importante analizar la sinergia que se genera al emplear la combinación coagulante de semillas de moringa y almidón de yuca, en la búsqueda por mejorar sus condiciones. Es importante destacar que se presentan escasos reportes en la literatura sobre el uso simultáneo de estos coagulantes.

Propósito: la presente investigación tiene como objetivo evaluar la clarificación del agua de la Ciénaga Grande empleando mezclas de coagulantes naturales, conformadas por semillas de moringa y almidón de yuca para reducir su turbidez.

Metodología: las combinaciones de coagulantes, semillas de moringa y almidón

de yuca, se mezclaron con una relación 90:10, 80:20, 70:30 y 60:40, respectivamente. Se evaluó la turbidez y el pH al agua de la Ciénaga Grande; además, se simuló su clarificación según la NTC 3903 de 2010 con cada tratamiento; se inició con una agitación a 120 rpm por un tiempo de 1 min, después se realizó por 20 min una agitación a 30 rpm y finalmente, durante 15 min, se dejó sedimentar; después, de cada jarra se extrajo una muestra y se midió la turbidez final; se llevó a cabo un diseño factorial para cada combinación coagulante, con 6 niveles de dosis (mg/L) y una variable respuesta, turbidez final del agua (UNT), utilizando una confiabilidad del 95% se realizó un análisis de varianza ANOVA y el test de Duncan.

Resultados y conclusiones: el tratamiento con mayor remoción de turbidez fue 4 UNT que tiene una relación 60:40 de semillas moringa y almidón de yuca; además, disminuyó este parámetro en 80.4%. Las dosis empleadas en los tratamientos 1, 2 y 3 influyeron sobre la turbidez final del agua. Se concluyó que una turbidez inicial alta aumenta la acción coagulante de la mezcla natural, provocando una mayor remoción de este parámetro.

Palabras clave: coagulación, floculación, remoción, sedimentación, turbidez

ABSTRACT

Context: The use of natural coagulants for water clarification is being globally researched due to their low cost, high biodegradability, and ability to replace highly toxic synthetic coagulants.

Knowledge gap: The water of the Ciénaga Grande (Great Swamp in English) in Atlántico Department, Colombia, is used for cleaning, consumption, and food preparation by the inhabitants of the area. However, it does not comply with water quality for human consumption, as defined by the Resolution 2115 of 2007 regarding the turbidity parameter. For this reason, it is important to analyze the synergy generated by using the coagulant combination of moringa seeds and cassava starch in the search to improve its conditions. It is important to note that there are few reports in the literature on the simultaneous use of these coagulants.

Purpose: This research aims to evaluate the clarification of the water from Ciénaga Grande using mixtures of natural coagulants composed of moringa seeds and cassava starch to reduce its turbidity.

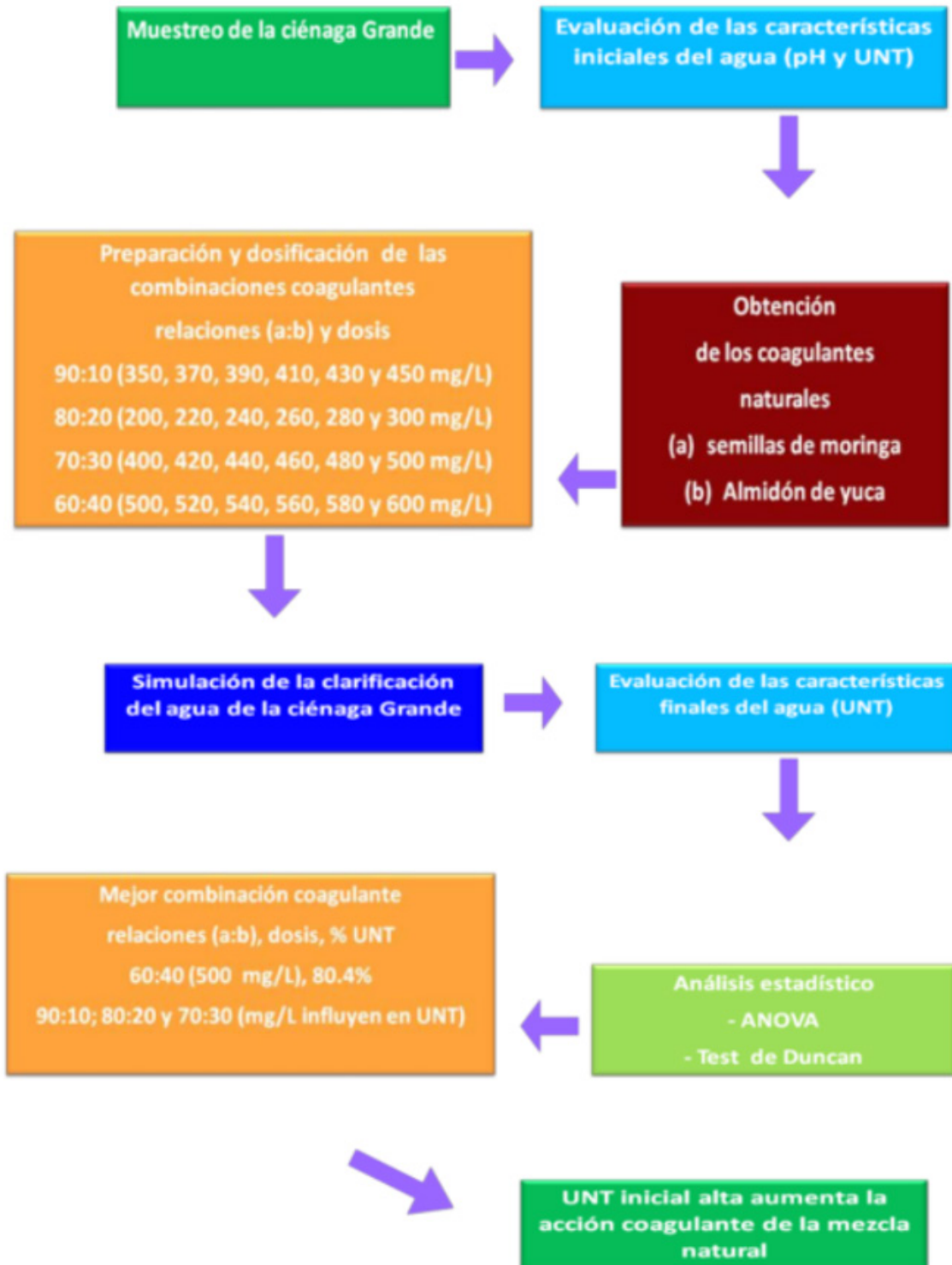
Methodology: The combinations of coagulants, moringa seeds, and cassava starch, were mixed with a ratio of 90:10, 80:20, 70:30, and 60:40, respectively. The turbidity and pH of Ciénaga Grande wa-

ter were evaluated. In addition, clarification was simulated in accordance with the regulation NTC 3903 of 2010 with each treatment. It began with agitation at 120rpm for 1 min., then an agitation at 30rpm was carried out for 20 min., and, finally, it was left to sediment for 15 min. Then, a sample was extracted from each jar, and the final turbidity was measured. A factorial design was carried out for each coagulant combination, with six dose levels (mg/L) and one response variable, the final water turbidity (nephelometric turbidity unit, NTU). The analysis of variance ANOVA and Duncan's multiple range test were carried out using 95% reliability.

Results and conclusions: The treatment with the highest turbidity removal (NTU) was treatment 4, which has a 60:40 ratio of moringa seeds and cassava starch. Additionally, the turbidity parameter decreased by 80.4%. The doses used in treatments 1, 2, and 3 influenced the final turbidity of the water. It was concluded that high initial turbidity increases the coagulating activity of the natural mixture, causing a higher removal of such a parameter.

Keywords: Coagulation, flocculation, removal, sedimentation, turbidity

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

Coagulación, floculación y sedimentación son los tres procesos que conforman la etapa de clarificación en el tratamiento de agua potable. La coagulación es el proceso donde es adicionada una sustancia sintética o natural, que se mezcla rápidamente para ocasionar la desestabilización de las partículas presentes en el agua, que generalmente son de carga negativa y responsables del color y la turbidez. En la floculación las partículas desestabilizadas se unen mediante las fuerzas de Van der Waal o enlaces de hidrógenos, formando flóculos más grandes que sedimentan fácilmente (Brandt *et al.*, 2017).

Las sustancias utilizadas como coagulantes en la clarificación pueden ser de tres tipos: minerales, polímeros sintéticos y naturales. No obstante, los coagulantes minerales como el sulfato de aluminio son altamente contaminantes (Momeni *et al.*, 2018). Esta sustancia provoca graves problemas en la salud humana, produce el deterioro celular que depende de la producción de radicales libres, conocido como estrés oxidativo. Asimismo, la exposición a este metal produce esclerosis lateral amiotrófica, Alzheimer y Parkinson (Cicero *et al.*, 2017). Un estudio realizado en Brasil durante el año 2018 demostró que en peces como el Lambari (*Astyanax altiparanae*), esta sustancia química es responsable de los daños presentados en la

estructura del ADN y alteraciones del ciclo celular (Pinheiro *et al.*, 2019). Por su parte, los polímeros sintéticos suelen ser tóxicos y provocar cáncer en diferentes partes del cuerpo humano (Momeni *et al.*, 2018).

Los coagulantes sintéticos han sido ampliamente utilizados debido a su efectiva actividad de coagulación-floculación; sin embargo, se está restringiendo su uso porque poseen monómeros cancerígenos. Por tal motivo, actualmente se están utilizando coagulantes naturales con poca toxicidad, bajo costo y biodegradables (Mounir *et al.*, 2014; Ang y Mohammad, 2020). Entre los más usados se destacan, el árbol de *Moringa oleifera*, diversas especies de cactus como *Opuntia*, almidones de arroz, papa y yuca, quitosano, quitina y algas pardas (Mounir *et al.*, 2014; Choy *et al.*, 2018).

Las semillas de *Moringa oleifera* se han estudiado debido a sus propiedades de coagulación-floculación. Este coagulante natural es capaz de remover en aguas con baja y alta turbidez este parámetro eficientemente. De igual forma, contribuye a la eliminación de cianobacterias presentes en el agua, se demostró que la *Moringa oleifera* al mezclarse con un coagulante químico potencializa su efecto, disminuyendo considerablemente la turbidez. En el año 2017, en la industria cementera de

Brasil se analizaron las aguas residuales de la producción de hormigón; con una turbidez inicial de 84.5 UNT se usó una dosis de 1850 mg/L de la mezcla coagulante, semillas de *Moringa oleifera* y sulfato de aluminio, en una proporción 20:80, para obtener una remoción del 99.9% de la turbidez (de Paula *et al.*, 2018).

En la India durante el año 2014 fueron usados tres coagulantes naturales: semillas de *Moringa oleifera*, *Strychnos potatorum* (Nirmali) y *Phaseolus vulgaris* (frijol común), con el propósito de clarificar aguas sintéticas con valores de 100, 250 y 500 UNT. Se obtuvo como resultado que a mayor turbidez inicial mayor porcentaje de remoción de este parámetro. Para una muestra de agua con 500 UNT y una dosis de 250 mg/L, las semillas de *Moringa oleifera* logran una remoción del 96.7%; mientras que *Strychnos potatorum* (Nirmali) un 86.5% y finalmente *Phaseolus vulgaris* un 80.5%. Por lo tanto, las semillas de *Moringa oleifera* poseen mejores propiedades de coagulación para clarificar aguas turbias sintéticas (Muthuraman y Sasikala, 2014). Teniendo como referencia los resultados obtenidos de las investigaciones de Paula *et al.* (2018) y Muthuraman y Sasikala (2014), se decidió utilizar las semillas de moringa en el presente estudio.

También es importante mencionar que por sus características de coagulación-floculación se han estudiado distintas fuentes de almidón, además se identificó que no es tóxico, ni corrosivo y es biodegradable. Los almidones nativos y modificados son usados como coagulantes primarios

o ayudantes de coagulación en los tratamientos de aguas residuales (Teh *et al.*, 2014; Mohd-Salleh *et al.*, 2019). En el departamento de Bolívar-Colombia, durante el año 2017, a fin de remover la turbidez del agua del Canal del Dique ubicado en Arjona, se realizó una investigación que determinó la capacidad coagulante de dos sustancias naturales, almidón nativo de plátano del clon topocho pelipita (*Musa ABB*) y almidón modificado químicamente con anhídrido acético. Con una dosis de 200 mg/L el almidón nativo alcanza una remoción de turbidez del 96%, mientras que el almidón modificado remueve un 95% (Tirado *et al.*, 2017). Los anteriores resultados demuestran la efectividad de los almidones sin modificar, como parte fundamental de un proceso “verde” que disminuya el uso de sustancias químicas para la clarificación del agua.

Además, en el año 2019 se realizó un estudio para evaluar el comportamiento del coagulante conformado por mucílago de nopal y almidón de yuca en la remoción de turbidez del agua del río Magdalena en la ciudad de Girardot, Colombia. Se obtuvieron mejores resultados al utilizar la mezcla coagulante que al usar las sustancias naturales individualmente (Lugo-Arias *et al.*, 2020). Lo anterior invita a investigar otras combinaciones.

A pesar de las condiciones rurales de los territorios a nivel mundial, nacional y local, las del cambio climático que ha alterado el ciclo biológico de las abejas (Olivero *et al.*, 2020), de otros animales y plantas que contribuyen al bienestar de

los recursos naturales, lograr el acceso al agua limpia como uno de los objetivos del desarrollo sostenible es actualmente complejo, pero necesario; por tal razón, al ser la turbidez uno de los parámetros que contribuyen a la buena calidad del agua, cobra importancia su monitoreo. El agua de la Ciénaga Grande del departamento del Atlántico en Colombia se utiliza en labores de limpieza, consumo y preparación de alimentos por los pobladores de la zona. A pesar de ello, no cumple con la calidad del agua para consumo humano, definida en este país suramericano

por la Resolución 2115 (2007) en relación con el parámetro turbidez. Por tal motivo, es importante analizar la sinergia que se genera al emplear la combinación de coagulantes, semillas de moringa (*Moringa oleifera*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*), en la búsqueda por mejorar las condiciones de estas aguas. La presente investigación tiene como objetivo evaluar la clarificación del agua de la Ciénaga Grande empleando diferentes mezclas de los coagulantes naturales anteriormente mencionados para reducir su turbidez.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Obtención de coagulantes y preparación de dosis

En lo relacionado con el coagulante natural elaborado de moringa, se recolectaron 700 vainas de este árbol con el propósito de extraer las semillas de su interior que se presentan en la Figura 1, luego se trituraron y molieron en una licuadora de alto impacto (modelo LI-5A, marca INMEZA). El polvo resultante se hizo pasar a través de un tamiz Tyler, con abertura de 1.0 mm para obtener una harina fina que se desengrasó con el método Soxhlet, donde se utilizó el n-hexano como disolvente por un tiempo de 24 horas. Luego, el polvo se secó a 105 °C durante 30 min en una mufla (modelo F48055-60, marca THERMO SCIENTIFIC), finalmente se

empacó y almacenó. En lo que respecta al coagulante natural elaborado a partir del almidón de yuca, esta materia prima se utilizó tal como se recibió y se obtuvo cuando una microempresa productora de bollos de yuca, la descartó como basura dentro de su proceso productivo. Las combinaciones de coagulantes se prepararon en soluciones, empleando 100 mL de agua destilada y 5 g de semillas de moringa y almidón de yuca en las siguientes relaciones y rangos de dosis, 90:10 (350-450 mg/L), 80:20 (200-300 mg/L), 70:30 (400-500 mg/L) y 60:40 (500-600 mg/L), respectivamente. Es importante destacar que mediante ensayos previos se definieron los rangos de dosis usados en el presente estudio para cada uno de los cuatro tratamientos.

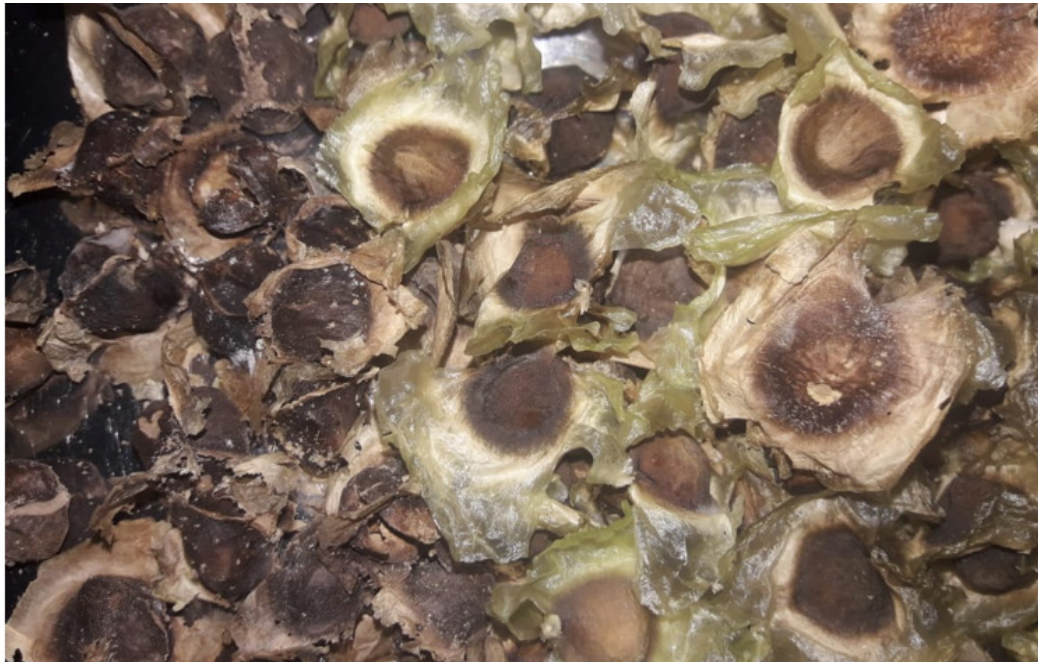


Figura 1. Fotografía que presenta las semillas extraídas de las vainas del árbol de moringa. Fuente: autores.

2.2 Muestreo del humedal y prueba de jarras

Durante un periodo de invierno se recolectaron en diez tanques de plástico con una capacidad de 20 L cada uno, aproximadamente 180 L de agua cruda proveniente de las orillas de la Ciénaga Grande del departamento del Atlántico en Colombia (coordenadas 10°51'19" N y 74°45'23" O), que se transportaron hacia las instalaciones del laboratorio de biotecnología de microalgas de la Universidad del Atlántico. Este cuerpo hídrico se presenta en la Figura 2. Posteriormente, al agua recolectada de cuatro muestreos se determinó el pH empleando el equipo modelo ST2100, marca OHAUS; adicionalmente, para determinar la turbidez se

empleó un turbidímetro (modelo TB 300 IR, marca Lovibond). Luego, se clarificaron estas aguas según la norma técnica colombiana NTC 3903 que presenta el protocolo establecido para realizar el ensayo a nivel laboratorio (ICONTEC, 2010), con cada uno de los cuatro tratamientos de las combinaciones coagulantes, semillas de moringa y almidón de yuca (90:10, 80:20, 70:30 y 60:40, respectivamente). Cada jarra del equipo de floculación-coagulación (modelo FC6S, marca VELP) se llenó con 1 L de agua de la Ciénaga antes de adicionar la mezcla coagulante. Se inició con una agitación a 120 rpm por un tiempo de 1 min, después se realizó por 20 min una agitación a 30 rpm y finalmente, durante 15 min, se dejó decantar. Después de cada jarra se extrajo una muestra y se midió la turbidez final.



Figura 2. Fotografía que presenta las aguas de la Ciénaga Grande del departamento del Atlántico en Colombia. Fuente: autores.

2.3 Diseño estadístico y su análisis

Se llevó a cabo un diseño factorial para cada una de las cuatro combinaciones de coagulantes, semillas de moringa y almidón de yuca, con 6 niveles de dosis de la siguiente manera: para la mezcla 90:10 (350, 370, 390, 410, 430 y 450 mg/L) -ensayo 12-; para 80:20 (200, 220, 240, 260, 280 y 300 mg/L) -ensayo 11-; para 70:30 (400, 420, 440, 460, 480 y 500 mg/L) -ensayo 10-; finalmente para 60:40 (500, 520, 540, 560, 580 y 600 mg/L) -ensayo 9-. Además, se analizó una variable respuesta, turbidez final del agua (UNT). Se reali-

zó la clarificación del agua de la Ciénaga Grande para todos los tratamientos tres veces, buscando garantizar la reproducibilidad de los datos. Luego de tabular la información del presente estudio de tipo experimental, fue empleado el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.II, versión gratis en línea, con el fin de comprender la influencia que tienen las dosis de cada combinación de coagulantes sobre la turbidez del agua objeto de estudio. Por tal motivo, utilizando una confiabilidad del 95% se realizó un análisis de varianza ANOVA y el test de Duncan. Finalmente se obtuvieron los porcentajes de remoción de este parámetro.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se dan a conocer las características iniciales de pH y turbidez del agua de la Ciénaga Grande que se presentaron en este estudio antes de su clarificación. Muestreo 1 (7.25 unidades de pH y 44.8 UNT) utilizado para el ensayo 12; muestreo 2 (7.22 unidades de pH y 81.0 UNT) datos usados para el estudio del ensayo 11; muestreo 3 (7.25 unidades de pH y 82.0 UNT) empleado para el ensayo 10; finalmente, muestreo 4 (7.32 unidades de pH y 113.0 UNT) datos útiles para el análisis del ensayo 9.

La Figura 3 muestra los valores de turbidez finales obtenidos con cada uno de los cuatro tratamientos de las combinaciones coagulantes, semillas de moringa y almidón de yuca (ensayo 12→90:10, ensayo 11→80:20, ensayo 10→70:30 y ensayo 9→60:40, respectivamente) para cada dosis empleadas. Para la mezcla 90:10 (350, 370, 390, 410, 430 y 450 mg/L); para 80:20 (200, 220, 240, 260, 280 y 300 mg/L); para 70:30 (400, 420, 440, 460, 480 y 500 mg/L); finalmente para 60:40 (500, 520, 540, 560, 580 y 600 mg/L).

Es importante señalar que el agua de la Ciénaga Grande del departamento del Atlántico en Colombia, cumple con el valor de pH exigido por Resolución 2115 (2007), cuya normativa muestra las características de calidad del agua para consumo humano, pese a lo cual no presenta la turbidez máxima para tal fin (2 UNT). Por tal motivo, la importancia de su clarificación mediante este estudio. Utilizando una confiabilidad del 95%, el análisis de varianza ANOVA [Tabla 1] da a conocer que el factor, dosis de las combinaciones de coagulantes, semillas de moringa (*Moringa oleifera*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*), en el tratamiento 1 (ensayo 12→90:10, valor-P=0.0479), tratamiento 2 (ensayo 11→80:20, valor-P=0.0089) y tratamiento 3 (ensayo 10→70:30, valor-P=0.0024) presenta la existencia de diferencias significativas en el análisis de la turbidez final del agua de la Ciénaga Grande. Con todo, en el tratamiento 4 (ensayo 9→60:40, valor-P=0.8049) no se observa esta situación.

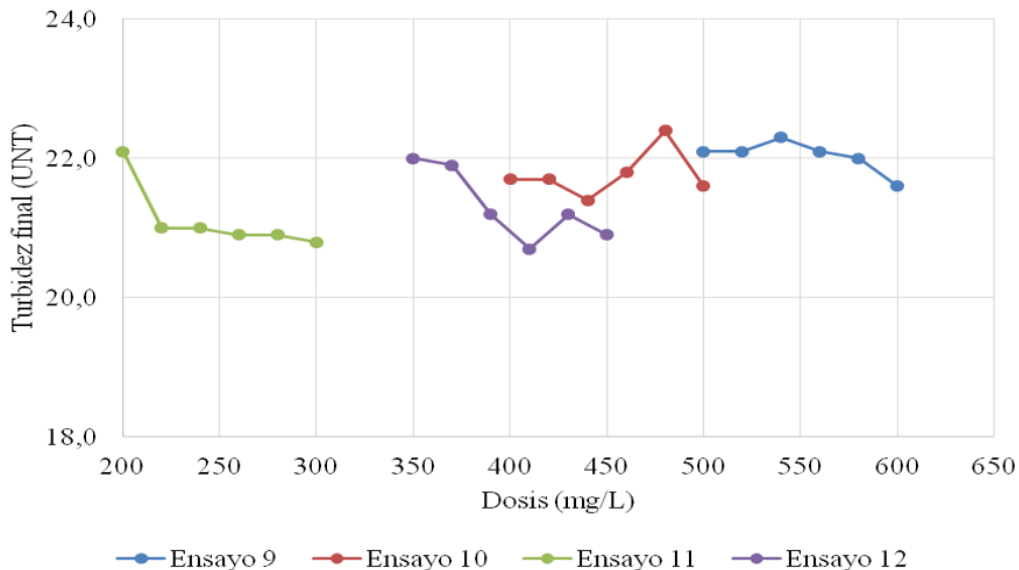


Figura 3. Gráfico que representa el comportamiento de la turbidez final del agua de la Ciénaga Grande después de su clarificación a diferentes condiciones de ensayo y dosis de la combinación coagulante, semillas de moringa y almidón de yuca. Fuente: autores.

Tabla 1. Análisis de varianza ANOVA de los ensayos 9, 10, 11 y 12

Ensayo 9	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Valor-P
Origen					
Entre grupos	0.8177	5	0.1635	0.45	0.8049
Intra grupos	4.3533	12	0.3627		
Total corregido	5.1711	17			
Ensayo 10	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Valor-P
Origen					
Entre grupos	1.7827	5	0.3565	7.29	0.0024*
Intra grupos	0.5866	12	0.0488		
Total corregido	2.3694	17			
Ensayo 11	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Valor-P
Origen					
Entre grupos	3.6627	5	0.7325	5.23	0.0089*

Intra grupos	1.6800	12	0.1400		
Total corregido	5.3427	17			
Ensayo 12					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Valor-P
Entre grupos	4.0561	5	0.8112	2.95	0.0479*
Intra grupos	3.3000	12	0.2750		
Total corregido	7.3561	17			

Nota: * indica la existencia de diferencias significativas.

Fuente: autores.

El test de Duncan [tablas 2 y 3] muestra los contrastes de las dosis de las mezclas de sustancias naturales, semillas de moringa y almidón de yuca, que presentan diferencias significativas.

Tabla 2. Test de Duncan de los ensayos 9, 10 y 11.

Ensayo 9 Nivel	Casos	Media	Contraste	Sig.	Diferencia
600	3	21.6667	500 - 520		-0.0333
580	3	22.0000	500 - 540		-0.2333
560	3	22.1333	500 - 560		0
<u>500</u>	3	<u>22.1333</u>	500 - 580		0.1333
520	3	22.1667	500 - 600		0.4666
540	3	22.3667	520 - 540		-0.2000
			520 - 560		0.0333
			520 - 580		0.1666
			520 - 600		0.5000
			540 - 560		0.2333
			540 - 580		0.3666
			540 - 600		0.7000
			560 - 580		0.1333
			560 - 600		0.4666
			580 - 600		0.3333

Ensayo 10					
Nivel	Casos	Media	Contraste	Sig.	Diferencia
440	3	21.4000	400 - 420		0.0333
500	3	21.6333	400 - 440		0.3666
420	3	21.7333	400 - 460		-0.0333
<u>400</u>	3	<u>21.7667</u>	400 - 480	*	-0.6666
460	3	21.8000	400 - 500		0.1333
480	3	22.4333	420 - 440		0.3333
			420 - 460		-0.0666
			420 - 480	*	-0.7000
			420 - 500		0.1000
			440 - 460		-0.4000
			440 - 480	*	-1.0333
			440 - 500		-0.2333
			460 - 480	*	-0.6333
			460 - 500		0.1666
			480 - 500	*	0.8000
Ensayo 11					
Nivel	Casos	Media	Contraste	Sig.	Diferencia
300	3	20.8333	200 - 220	*	1.0666
280	3	20.9000	200 - 240	*	1.1333
260	3	20.9000	200 - 260	*	1.2333
240	3	21.0000	200 - 280	*	1.2333
<u>220</u>	3	<u>21.0667</u>	200 - 300	*	1.3000
200	3	22.1333	220 - 240		0.0666
			220 - 260		0.1666
			220 - 280		0.1666
			220 - 300		0.2333
			240 - 260		0.1000
			240 - 280		0.1000
			240 - 300		0.1666
			260 - 280		0
			260 - 300		0.0666
			280 - 300		0.0666

Nota: * indica la existencia de diferencias significativas.

Fuente: autores.

Tabla 3. Test de Duncan del ensayo 12.

Ensayo 12					
Nivel	Casos	Media	Contraste	Sig.	Diferencia
410	3	20.7667	350 – 370		0.0666
450	3	20.9667	350 – 390		0.7666
430	3	21.2333	350 – 410	*	1.2666
<u>390</u>	3	<u>21.2667</u>	350 – 430		0.8000
370	3	21.9667	350 – 450	*	1.0666
350	3	22.0333	370 – 390		0.7000
			370 – 410	*	1.2000
			370 – 430		0.7333
			370 – 450	*	1.0000
			390 – 410		0.5000
			390 – 430		0.0333
			390 – 450		0.3000
			410 – 430		-0.4666
			410 – 450		-0.2000
			430 – 450		0.2666

Nota: * indica la existencia de diferencias significativas.

Fuente: autores.

Debido a lo anterior, en el tratamiento 4 (ensayo 9→60:40) se determinó a 500 mg/L como la dosis óptima, ya que utiliza la menor cantidad de mezcla natural, teniendo en cuenta que ninguna dosis muestra diferencias significativas. Adicionalmente, este tratamiento presentó la mayor remoción de turbidez (80.4%), porque generó un valor final de 22.1 UNT a partir de 113.0 UNT. En el tratamiento 3 (ensayo 10→70:30), se observó que la dosis de 480 mg/L presentó diferencias significativas con respecto a las demás. En

este caso, no es escogida porque genera el valor mayor de turbidez final del agua de la Ciénaga Grande (22.4 UNT). Se estableció como dosis óptima a 400 mg/L porque es la mínima cantidad de mezcla coagulante que se puede emplear. Este tratamiento presentó una remoción de turbidez del 73.5%, porque generó un valor final de 21.7 UNT a partir de 82.0 UNT. En el tratamiento 2 (ensayo 11→80:20), se determinó que la dosis de 200 mg/L muestra diferencias significativas con relación a otras concentraciones. En esta

ocasión, no es elegida porque genera el valor más alto de turbidez final del agua (22.1 UNT). Se dio a conocer como dosis óptima a 220 mg/L porque es la menor cantidad de mezcla natural que se puede utilizar. Dicho tratamiento presentó una remoción de turbidez del 74.0%, porque generó un valor final de 21.0 UNT a partir de 81.0 UNT. Finalmente, en el tratamiento 1 (ensayo 12→90:10), se observó que ambas dosis, 350 y 370 mg/L, mostraron diferencias significativas con respecto a las dosis de 410 y 450 mg/L. Sin embargo, generan los valores mayores de turbidez final del agua de la Ciénega Grande (22.0 y 21.9 UNT, respectivamente). Por tal motivo, ninguna se escogió como la

mejor dosis. Este tratamiento presentó a 390 mg/L como la dosis óptima porque es la mínima cantidad de mezcla coagulante que se puede emplear, además, este tratamiento produjo la menor remoción de turbidez en comparación con los demás (52.7%), que generó un valor final de 21.2 UNT a partir de 44.8 UNT.

Lo anterior demuestra que una turbidez inicial alta aumenta la acción coagulante de la mezcla natural, semillas de moringa y almidón de yuca, provocando una mayor remoción de este parámetro. En la Figura 4 se observa el montaje del test de jarras con el agua recolectada inicialmente de la Ciénega Grande (A) y posterior al tratamiento 4 (B).

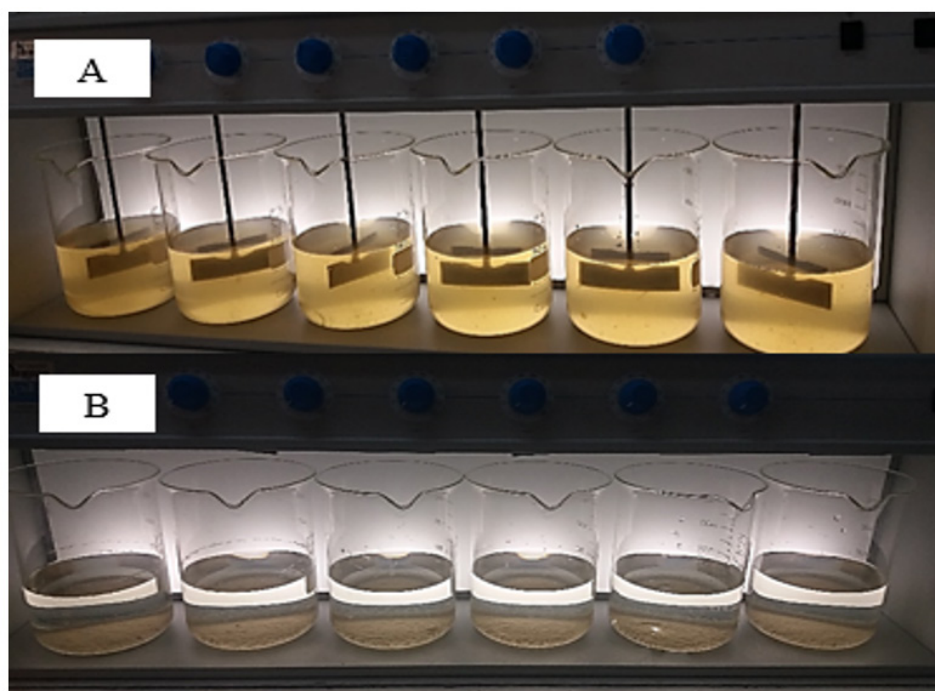


Figura 4. Fotografía que presenta el montaje del test de jarras con el agua recolectada inicialmente de la Ciénega Grande (A) y posterior al tratamiento de la combinación coagulante, semillas de moringa y almidón de yuca, 60:40 (B). Fuente: autores.

Durante el año 2019 en Girardot-Colombia, se desarrolló una investigación que evaluó la sinergia que se genera al emplear la combinación de coagulantes, mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*), en la clarificación del agua del río Magdalena. Cuando la turbidez inicial es 316 UNT, la mayor remoción de este parámetro es del 47.15%, siendo la turbidez final 167 UNT que se obtiene al aplicar una dosis de 7 mg/L de la mezcla natural en una relación 67:33, respectivamente. Esta misma combinación logra la máxima remoción de la turbidez del 67.5% cuando el agua del río tiene un valor inicial de 80 UNT, al ser la turbidez final 26 UNT que se alcanza al aplicar una dosis de 2.5 mg/L de la mezcla natural (Lugo-Arias et al., 2020). De lo anterior se deduce que una turbidez inicial alta no aumenta la acción coagulante de la mezcla natural, mucílago de nopal y almidón de yuca; mientras que en el presente estudio se demostró que sí lo hace con respecto a la combinación de coagulantes, semillas de moringa y almidón de yuca. Además, en la actual investigación, cuando las aguas de la Ciénaga Grande tenían valores de turbidez iniciales de 81.0 y 82.0 UNT, se obtuvieron remociones del 74.0 y 73.5%, respectivamente. Lo anterior se logró utilizando dosis de 220 y 400 mg/L de semillas de *Moringa oleifera* y *Manihot esculenta* en relaciones de 80:20 y 70:30, respectivamente. Estos resultados demuestran mejor efectividad de la mezcla objeto de estudio con respecto a la propuesta por Lugo-Arias et al. (2020).

También en Malasia se ha realizado un estudio sobre la clarificación del agua utilizando combinaciones de coagulantes naturales. En el año 2021 se publicaron los resultados de la evaluación del desempeño de la mezcla conformada por cáscaras de frutas de calamondina (*Citrus microcarpa*) y semillas de papaya (carica papaya) sobre el río Muda, en relaciones 80:20 y 40:60 respectivamente. Las primeras se caracterizan por la gran cantidad de antioxidantes que contienen y las últimas presentan taninos. La acción coagulante de las cáscaras de calamondina se favorece en un rango de pH entre 4.0-5.0, mientras las semillas de papaya lo hacen a 6.5 unidades de pH. Cuando el agua de este río tiene una turbidez inicial de 66.67 UNT, con una dosis de 50 mg/L en una relación 80:20 de cáscara y semillas, se obtiene una turbidez final de 7.38 UNT, es decir, 88.93% se remueve este parámetro físico. Cuando la combinación natural se aplica en la relación 40:60 de cáscaras de calamondina y semillas de papaya, respectivamente; la dosis sigue siendo 50 mg/L y la remoción de turbidez determinada es 88.94% (Dollah et al., 2021). Al comparar los resultados anteriores con la presente investigación, se observa que bajo ninguna condición se presentaron valores aproximados de remociones de turbidez en las aguas clarificadas de la Ciénaga Grande (52.7, 74.0, 73.5 y 80.4% para el tratamiento 1, 2, 3 y 4, respectivamente). Lo anterior motiva a realizar futuros estudios que analicen la sinergia de las combinaciones de cáscaras y semillas de frutas como coagulantes naturales.

4. CONCLUSIONES

El uso de las mezclas de sustancias naturales puede competir con los beneficios generados por los productos sintéticos en la clarificación de aguas, ya que son una opción viable para no provocar efectos negativos en la salud humana y alteraciones en el medio ambiente; asimismo, el uso de coagulantes naturales reduce los costos asociados a la adquisición de sustancias químicas, un ejemplo es el almidón de yuca, residuo descartado como basura del proceso de elaboración de bollos a base de esta materia prima.

La combinación de semillas de moringa y almidón de yuca en proporciones de 60:40, respectivamente, es la mejor op-

ción para remover un alto porcentaje de la turbidez del agua de la Ciénaga Grande del departamento del Atlántico en Colombia. Una turbidez inicial alta en este recurso hídrico aumenta la acción coagulante de esta mezcla natural; provocando una mayor remoción de este parámetro. Además, esta combinación presenta mejor efectividad que la sinergia que se genera al emplear la mezcla mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y *Manihot esculenta* en la búsqueda por clarificar un agua. Finalmente, se sugiere desarrollar futuros estudios para analizar las ventajas y desventajas de las combinaciones coagulantes provenientes de cáscaras y semillas de frutas.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Iván Darío Mercado Martínez: conceptualización, metodología, investigación, análisis de datos, escritura y borrador original. **Katerine Riaños Donado:** conceptualización, metodología, investigación,

análisis de datos, escritura y revisión. **María Carolina Meza Leones:** conceptualización, metodología, investigación, análisis de datos, escritura y revisión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al laboratorio de biotecnología de microalgas de la Universidad del Atlántico por el apoyo brindado durante este estudio.

LITERATURA CITADA

- Ang, W. L. & Mohammad, A. W. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121267. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>
- Brandt, M. J., Johnson, K. M., Elphinston, A. J. & Ratnayaka, D. D. (2017), *Twort's Water Supply*, [7th ed., Ch. 7]. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100025-0.00007-7>
- Cicero, C. E., Mostile, G., Vasta, R., Rapisarda, V., Signorelli, S. S., Ferrante, M., Zappia, M. & Nicoletti, A. (2017). Metals and neurodegenerative diseases. A systematic review, *Environmetal Research*, 159, 82-94. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.07.048>
- Choy, S. Y., Prasad, K., Wu, T., Raghunandan, M., Phang, S., Juan, J. & Ramanan, R. (2018). Separation of Chlorella biomass from culture medium by flocculation with rice starch. *Algal research*, 30, 162-172. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.11.012>
- de Paula, H. M., de Oliveira, M. S., Sarmiento, A. P. & Andrade, L. S. (2018). Dosage optimization of *Moringa oleifera* seed and traditional chemical coagulants solutions for concrete plant wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 174, 123-132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.311>
- Dollah, Z., Masbol, N. H., Musir, A. A., Karim, N. A., Hasan, D. y Tammy, N. J. (2021, 9 de diciembre). *Utilization of citrus microcarpa peels and papaya seeds as a natural coagulant for turbidity removal* [ponencia]. 4th International Conference on Civil and Environmental Engineering (CENVIRON 2021), Penang, Malaysia. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/920/1/012001>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. [ICONTEC].(2010). *Norma técnica colombiana NTC 3903: procedimiento para el ensayo de coagulación-floculación en un recipiente con agua o método de jarras*. Autor. <https://tienda.icontec.org/gp-procedimiento-para-el-ensayo-de-coagulacion-floculacion-en-un-recipiente-con-agua-o-metodo-de-jarras-ntc3903-2010.html>
- Lugo-Arias, J., Lugo-Arias, E., Ovallos-Gazabón, D., Arango, J., de la Puente, M. & Silva, J. (2020). Effectiveness of the mixture of nopal and cassava starch as clarifying substances in water purification: A case study in Colombia. *Heliyon*, 6(6), e04296. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04296>
- Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007, 22 de junio). *Resolución 2115 de 2007 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. Diario Oficial n.º 46.679. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>
- Mohd-Salleh, S. N. A., Mohd-Zin, N. S. & Othman, N. (2019). A review of wastewater treatment using natural material and its potential as aid and composite coagulant. *Sains Malaysiana*, 48(1), 155-164. <http://dx.doi.org/10.17576/jsm-2019-4801-18>
- Momeni, M. M., Kahfroushan, D., Abbasi, F. & Ghanbarian, S. (2018), Using Chitosan/CHPATC as coagulant to remove color and turbidity of industrial wastewater: Optimization through RSM design. *Journal of Environmental Management*, 211, 347-355. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.031>
- Mounir, B., Abdeljalil, Z. & Abdellah, A. (2014). Comparison of the efficacy of two biofloculants in water treatment. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 3(6), 734-737.
- Muthuraman, G. & Sasikala, S. (2014). Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 1727-1731. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.08.023>
- Pinheiro, J. P. S., de Asis, C. B., Muñoz-Peñuela, M., Júnior, F. B., Correia, T. G. & Moreira, R. G. (2019). Water temperature and acid pH influence the cytotoxic and genotoxic effects of aluminum in the freshwater teleost *Astyanax altiparanae* (Teleostei: Characidae). *Chemosphere*, 220, 266-274. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.143>
- Teh, C. Y., Wu, T. Y. & Juan, J. C. (2014). Potential use of rice starch in coagulation-flocculation process of agro-industrial wastewater: Treatment performance and flocs characterization. *Ecological Engineering*, 71, 509-519. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.005>
- Tirado, D. F., Herrera, A. P. & Acevedo, D. (2017). Evaluation of the coagulant capacity of starch obtained from topocho pelipita plantain clone (*Musa ABB*) for turbidity and color removal in raw waters. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33[Especial biotecnología e ingeniería ambiental], 125-134. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.11>
- Olivero, R., Villa, K., Mendoza, J., Flórez, A., Cervera, S., Mercado, I. y Aguas, Y. (2020), *Evaluación de la miel de abejas (*Apis mellifera*) producida y comercializada en el departamento del Atlántico*, Universidad del Atlántico. <http://investigaciones.uniatlantico.edu.co/omp/index.php/catalog/catalog/book/42>



Conflicto de intereses
*Los autores declaran no tener
ningún conflicto de intereses.*



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons
Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.