



Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, *Opuntia ficus* y *Moringa oleífera* en clarificación de aguas¹

Rafael Olivero Verbel², Alexy Florez Vergara³, Luis Vega Fellizola⁴, Glenda Villegas de Aguas⁵

*Evaluation of a the mixture of natural coagulants *Opuntia ficus* and *Moringa oleifera* in water clarification*

*Avaliação de uma mistura de coagulantes naturais, *Opuntia ficus* e *Moringa oleifera* em clarificação de águas*

RESUMEN

Introducción. En este proyecto de investigación se utilizaron coagulantes naturales *Opuntia ficus-indica* y *Moringa oleifera*, y se comparó su desempeño frente al sulfato de aluminio (alumbre). **Objetivo.** Evaluar el desempeño de tres coagulantes para la remoción de sólidos suspendidos y disueltos para el tratamiento del agua del río Magdalena. **Materiales y métodos.** Inicialmente, para el acondicionamiento de la materia prima se utilizaron operaciones unitarias tales como peladas, secadas, trituradas y tamizado (malla de 6 mm) para convertir la *Moringa oleifera* y la *Opuntia ficus* en polvos. Las variables principales a analizar fueron la turbidez y la correlación de turbidez con la absorbancia, las cuales se hallaron con la ayuda de un turbidímetro y un espectrofotómetro, respectivamente. Se determinó la dosis de clarificantes a usar para las muestras, utilizando un diseño experimental de 8x3x2. **Resultados.** Se compararon los resultados con los coagulantes por separado y mezclados para saber si el uso de sulfato de aluminio en los porcentajes dados altera la clarificación; se compararon los valores aceptables de los parámetros fisicoquímicos para el agua potable de 2 UNT para la turbidez, y entre 0,10 y 0,20 para el color, señalados en la normativa de Colombia. **Conclusión.** Los resultados obtenidos permitieron concluir que mezclando *Moringa oleifera* y *Opuntia ficus* se puede remover un porcentaje de turbidez mayor a 90 %, en comparación con mezcla de alumbre y coagulantes naturales, la cual puede remover al menos un 99 % de turbidez en el agua; a su vez, se logró visualizar una disminución en los sólidos por medio de la absorbancia.

Palabras clave: clarificantes, flóculos, remoción, turbidez, sólidos.

1 Proyecto de investigación: Evaluación de la mezcla de coagulantes naturales, *Opuntia ficus* y *Moringa oleifera* en la clarificación de aguas del Río Magdalena en el departamento del Atlántico. convocatoria impacto caribe. 2015 – 2016. Universidad del Atlántico.

2 Magíster, Investigador del grupo GIBYA de la Universidad del Atlántico ORCID: 0000-0003-2807-1217

3 Magíster, Investigador del grupo GIBYA de la Universidad del Atlántico ORCID: 0000-0001-5109-0753

4 Ingeniero Agroindustrial investigador del grupo GIBYA de la Universidad del Atlántico ORCID: 0000-0001-6711-0640

5 Ingeniero Agroindustrial investigador del grupo GIBYA de la Universidad del Atlántico ORCID: 0000-0003-3801-8540

ABSTRACT

Introduction. In this research project, natural coagulants *Opuntia ficus-indica* and *Moringa oleifera* were used, and their performance against aluminum sulfate (Alum) was compared. **Objective.** Evaluate the performance of three coagulants for the removal of suspended and dissolved solids to treat the water of the Magdalena River. **Materials and Methods.** Initially, unit operations such as peeling, drying, crushing and sieving (6 mm mesh) were used to convert *Moringa oleifera* and *Opuntia ficus* into powders. The main variables to be analyzed were turbidity and the correlation of turbidity and absorbance, which were found with the help of a turbidimeter and a spectrophotometer, respectively. The dose of clarifiers to be used for the samples was determined using an experimental design of

8x3x2. **Results.** The results were compared with the coagulants, both separately and mixed, to verify if the use of aluminum sulfate in the given percentages alters the clarification. We compared the acceptable values of the physicochemical parameters for drinking water of 2 UNT for turbidity and between 0.10 and 0.20 for absorbance, indicated in the Colombian regulations. **Conclusion.** The obtained results allowed to conclude that mixing *Moringa oleifera* and *Opuntia ficus* can remove a percentage of turbidity greater than 90.0 %, in comparison with the mixture of alum and natural coagulants, which can remove at least 99.0 % of turbidity in the water. In turn, it was possible to evidence a decrease in the solids by means of absorbance.

Key words: clarifiers, flocs, removal, turbidity, solids.

RESUMO

Introdução. Neste projeto de investigação se utilizaram coagulantes naturais *Opuntia ficus-indica* e *Moringa oleifera*, e se comparou seu desempenho frente ao sulfato de alumínio (alumbre). **Objetivo.** Avaliar o desempenho de três coagulantes para a remoção de sólidos suspensos e dissolvidos para o tratamento da água do rio Magdalena. **Materiais e métodos.** Inicialmente, para o acondicionamento da matéria prima se utilizaram operações unitárias tais como descascadas, secadas, trituradas e peneiração (malha de 6 mm) para converter a *Moringa oleifera* e a *Opuntia ficus* em pó. As variáveis principais a analisar foram a turbidez e a correlação de turbidez com a absorbância, as quais se encontraram com a ajuda de um turbidímetro e um espectrofotômetro, respectivamente. Se determinou a dose de clarificantes a usar para as amostras, utilizando um

desenho experimental de 8x3x2. **Resultados.** Se compararam os resultados com os coagulantes por separado e misturados para saber se o uso de sulfato de alumínio nas porcentagens dadas altera a clarificação; se compararam os valores aceitáveis dos parâmetros físico-químicos para a água potável de 2 UNT para a turbidez, e entre 0,10 e 0,20 para a cor, sinalados na normativa da Colômbia. **Conclusão.** Os resultados obtidos permitiram concluir que misturando *Moringa oleifera* e *Opuntia ficus* se pode remover uma porcentagem de turbidez maior a 90 %, em comparação com mistura de alumbre e coagulantes naturais, a qual pode remover pelo menos um 99 % de turbidez na água; por sua vez, se conseguiu visualizar uma diminuição nos sólidos por meio da absorbância.

Palavras chave: clarificantes, flocos, remoção, turbidez, sólidos.

INTRODUCCIÓN

Investigaciones de Sánchez-Martín et al. (2010), Yin (2010) y Abidin et al. (2013) indican que las etapas de coagulación y floculación son procesos esenciales y eficaces en el tratamiento de las aguas residuales industriales; a partir de estos procesos físicos y químicos, se obtiene la eliminación de sólidos totales

suspensos, turbidez, color, entre otros. Se han evaluado varios tipos de especies vegetales utilizados ampliamente como coagulantes naturales, entre ellos, la *Moringa oleifera* (moringa), *Strychnos potatorum* (nirmali), *Opuntia ficus indica* (cactus) y *Jatropha curcas*, usados en la disminución de contaminantes para los tratamientos de aguas residuales. La innovación en procesos de clarificación de aguas, como los

describen las investigaciones de Labarcés y Guzmán buscan que estos sean más económicos, eficientes y amigables con el medio ambiente. La clarificación es una de las etapas más importantes, ya que permite la remoción de materiales en suspensión, como arcilla, limo y lodos. Para lograr la clarificación del agua, es necesaria la utilización de algún agente coagulante que elimine un porcentaje importante de las partículas en suspensión; actualmente el coagulante más utilizado es el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$). Recientes investigaciones han demostrado también la eficiencia de las sustancias orgánicas en cuanto a la remoción de turbidez, color y microorganismos, además de quedar demostrada la inocuidad de estos productos naturales a la salud humana en la producción de agua limpia y segura, sin el uso del sulfato de aluminio (Cogollo, 2010).

Según la OMS (2012), desde hace mucho la falta de agua segura para el consumo humano es uno de los principales y más urgentes problemas relacionados con la salud. Prácticamente la décima parte de la carga global de enfermedades podría prevenirse mejorando el abastecimiento de agua, el saneamiento y la higiene. Asegurar el acceso a las poblaciones pobres a agua segura para beber, a un saneamiento adecuado y favorecer la higiene personal, doméstica y comunitaria mejorará la calidad de vida de millones de personas.

Melo y Vargas (2012) estudiaron la efectividad coagulante de la Moringa oleífera como una alternativa de bio-remediación en la purificación de aguas superficiales de su región. En un trabajo similar, investigaciones de Villabona *et al*, (2013) estudiaron la eficacia del *Opuntia ficus-indica* como coagulante para la eliminación de turbidez y de color en aguas crudas. Los valores de la turbidez inicial fueron de 171 NTU. Luego del tratamiento obtuvieron un máximo de remoción de color del orden del 54.0 %, y una remoción de turbidez de 72.0 % cuando se aplicó coagulante en una dosis de 90.0 mg/L. Con la Moringa se determinó que no altera las propiedades del agua tratada, por lo que se recomienda su uso en poblaciones rurales como un sustituto eficaz, barato y sin riesgos para la salud (Olson y Fahey, 2011).

Sandoval y Laines, (2013) compararon en su investigación la eficiencia de coagulación entre tres tipos de soluciones obtenidas de las semillas de Moringa Oleífera y el sulfato de aluminio, mediante prueba de jarras. El tratamiento del agua con sulfato de aluminio proporcionó los valores más altos de remoción de turbiedad (95.6 %) y color (98.3 %), seguida del tratamiento de la solución de moringa

en cloruro de sodio. Por otro lado, los tratamientos con moringa oleífera no cambiaron las propiedades químicas del agua tratada.

La calidad del agua que se consume en Colombia está determinada, entre otros factores, por la calidad de la fuente, el tratamiento que se aplica para potabilizarla, el estado de las instalaciones físicas y de los equipos, así como la disponibilidad de los recursos necesarios para el funcionamiento de dichas instalaciones. Investigaciones de Restrepo en 2009 indican que el coagulante más usado para la clarificación del agua en Colombia es el sulfato de aluminio, el cual se usa también en otros países ya que es una técnica efectiva en lo que a remoción de turbidez y color se refiere; sin embargo, existen desventajas asociadas al uso de este coagulante, como altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo en comparación con otros métodos naturales que pueden también causar la remoción de materiales en suspensión tales como arcilla, limo y lodos presentes en el agua, a un precio más económico, teniendo en cuenta que la cantidad de lodo residual es menor y más amigable con el medio ambiente (Yin, 2010).

El objetivo principal del trabajo fue evaluar la capacidad que posee la mezcla entre la penca del *Opuntia ficus-indica* y moringa oleífera. Este trabajo pretende promover el uso alternativo de clarificantes de fuentes naturales y remover la turbidez presente en las aguas del río Magdalena. La eficiencia de los coagulantes y las mezclas se calcularon comparando la turbidez inicial con los valores finales obtenidos después de un tratamiento a las muestras; se usó un equipo de prueba de jarras para simular las condiciones de los procesos de coagulación-floculación que se utilizan en los sistemas de tratamiento de aguas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección y selección de materia prima

Extracción del mucilago de la *Opuntia ficus*

Las muestras de *Opuntia ficus-indica* se recolectaron y lavaron, luego se procedió a cortar varios cladodios o pencas, se secó el mucilago gelatinoso (secado solar), el cual se dejó por 2 horas en el sol, luego con un molino se trituró el mucilago seco y se pasó por un tamiz de aproximadamente 6 cm; se repitió el proceso de tamizado una segunda vez para separar de una manera correcta las partes gruesas del polvo.

Extracción del polvo de la semilla *Moringa oleífera*.

Para la obtención del extracto de la semilla de la *moringa oleífera*, se siguieron los pasos propuestos por Núñez (2012): inicialmente se eliminó la cascara a la *moringa oleífera*, las semillas se pasaron por un molino y, cuando se redujo el tamaño y quedaron como un polvo, este se pasó por un tamiz de aproximadamente 6 cm de diámetro para separar las partes gruesas; se repite el proceso de tamizado dos veces.

Primero se evalúan los valores iniciales de turbidez y pH del agua del río Magdalena, valores que nos permitirán comparar la eficiencia de los tratamientos. Posteriormente, se evalúan los tratamientos por separado de los coagulantes opuntia, moringa y alumbre; luego se procede a mezclar los coagulantes

naturales *opuntia ficus* y la *moringa oleífera*, y sulfato de alumbre en diferentes proporciones como se muestra en la tabla I, los cuales se usaron para la clarificación de aguas del río Magdalena y verificar los cambios en las variables de turbidez con respecto a valores iniciales; las variables escogidas para los tratamientos son: la dosis de coagulante y el pH. En la tabla I, observamos que se utilizaron los siguientes mezclas; *Opuntia Ficus* en dosis de 35, 40 y 50 mg/L y un pH de 7.0 y 8.0; igual tratamiento para moringa y alumbre que tomaremos de referencia para las comparaciones correspondientes. Con respecto a las mezclas opuntia-alumbre se combinarán porcentajes de 10.0, 20.0 y 30.0 % de opuntia, el cual se completa con 90.0, 80.0 y 70.0 % y un pH de 7.0 y 8.0; estos mismos porcentajes se tomaron para la mezcla moringa-alumbre. Finalmente, se evalúa la mezcla moringa-opuntia, usando relaciones de 40.0 y 60.0 % y un pH de 7.0 y 8.0.

Tabla I. Tratamientos de las mezclas, dosis y pH utilizados para las pruebas de jarra con los coagulantes naturales y alumbre.

Mezcla (1) Opuntia- Alumbre	%Opuntia para la mezcla			%Alumbre para la mezcla			Dosis en mg/L para las pruebas de jarra.			pH	
	10	20	30	90	80	70	35	40	45	7	8
Mezcla (2) Moringa- Alumbre	%Moringa			%Alumbre			35	40	45	7	8
	10	20	30	90	80	70					
Mezcla (3) Moringa- Opuntia	%Opuntia			%Moringa			35	40	45	7	8
	40	60	60	40							

Fuente: elaborado por los autores

Prueba de jarras con agua del Río Magdalena.

Bajo condiciones estandarizadas de las diferentes combinaciones de dosis de los clarificantes, se hicieron los ensayos de jarra (tabla I) se agregó al mismo tiempo la mezcla de clarificantes naturales y sulfato de aluminio a la prueba de jarra y se sometió a una mezcla rápida de 300 rpm por 30 segundos, después de terminar el tiempo de la floculación las paletas se sacaron de las jarras y se dejaron sedimentar las muestras por 15 minutos.

Evaluación de tratamientos

Todos los tratamientos fueron evaluados por triplicado; se usó el turbidímetro para hallar la turbidez del agua, y para la correlación de la turbidez y la absorbancia se usó un espectrofotómetro usando como parámetro el incremento de la absorbancia; se compararon los resultados obtenidos para así encontrar la eficiencia de los coagulantes. Después de que las muestras se dejaron en reposo en la probeta, se tomaron 40.0 cc de agua de cada tratamiento y se aplicaron en la celda con una pipeta; se insertó la celda en el turbidímetro y se repitió el procedimiento 2 veces más.

RESULTADOS

Tabla 2. Características iniciales del agua del río Magdalena

Parámetro	Resultado			Valores de referencia a gua tratada
Turbidez, UNT	Turb. 1	Turb. 2	Turb. 3	2 UNT
	489	464	433	
Absorbancia	Abs. 1	Abs. 2	Abs. 3	NA
	0,266	0,198	0,259	
pH	pH 1	pH 2	pH 3	6,5 a 9
	6,89	8,2	7,3	

Fuente: elaborado por los autores

En la tabla 2 se observan los resultados de los valores iniciales de turbidez y pH del agua del río Magdalena. Estos valores iniciales se compararon con los tratamientos de las mezclas de los coagulantes naturales y sulfato de aluminio. En la tabla 3 se muestran los resultados de turbidez de los tratamientos según la mezcla, dosis y pH utilizados. En la tabla 4 se muestra la eficiencia de los tratamientos con mejor comportamiento en la disminución de la turbidez; los tratamientos 3, 10 y 12 muestran un significativo descenso en la turbidez de las muestras del agua del río Magdalena tratadas. Las muestras con solo alumbre, como era de esperarse, tienen una gran eficiencia en el proceso de clarificación, obteniéndose

1.7 UNF con pH 8 en la muestra tratada; observamos el comportamiento de la mezcla moringa-alumbre con una turbidez de 1.7 UNF con pH 8 y opuntia-alumbre 5.4 UNF con pH 7; si lo comparamos con los valores iniciales (agua sin tratar) cercanos a 400 UNF, observamos una gran disminución en la turbidez.

Observamos que hay tratamientos que no cumplen con los valores mínimos exigidos por el Decreto 1575 del 2007 con respecto a la turbidez, la cual debe ser de 2 NTU para el agua potable. Observamos de la tabla 3 que solo el tratamiento moringa alumbre cumple con la norma.

Tabla 3. Turbidez de los tratamientos de las diferentes mezclas de coagulantes naturales con sulfato de aluminio.

N.º	Tratamiento	Dosis (ppm)	pH	Turbidez
1	<i>Opuntia f.</i> -alumbre	35	7	75,1
2	<i>Opuntia f.</i> -alumbre	35	8	29,3
3	<i>Opuntia f.</i> -alumbre	40	7	5,4
4	<i>Opuntia f.</i> -alumbre	40	8	26,3
5	<i>Opuntia f.</i> -alumbre	45	7	5,1
6	<i>Opuntia f.</i> -alumbre	45	8	11,5
7	<i>Moringa o.</i> -alumbre	35	7	7,04
8	<i>Moringa o.</i> -alumbre	35	8	4,8
9	<i>Moringa o.</i> -alumbre	40	7	5,96
10	<i>Moringa o.</i> -alumbre	40	8	2,5
11	<i>Moringa o.</i> -alumbre	45	7	15,8
12	<i>Moringa o.</i> -alumbre	45	8	1,7
13	Alumbre	40	8	1,02
14	<i>Moringa o</i>	40	7	39,65
15	<i>Opuntia</i>	45	8	345

Fuente: elaborado por los autores

Tabla 4. Eficiencia de los tratamientos 3, 10 y 12

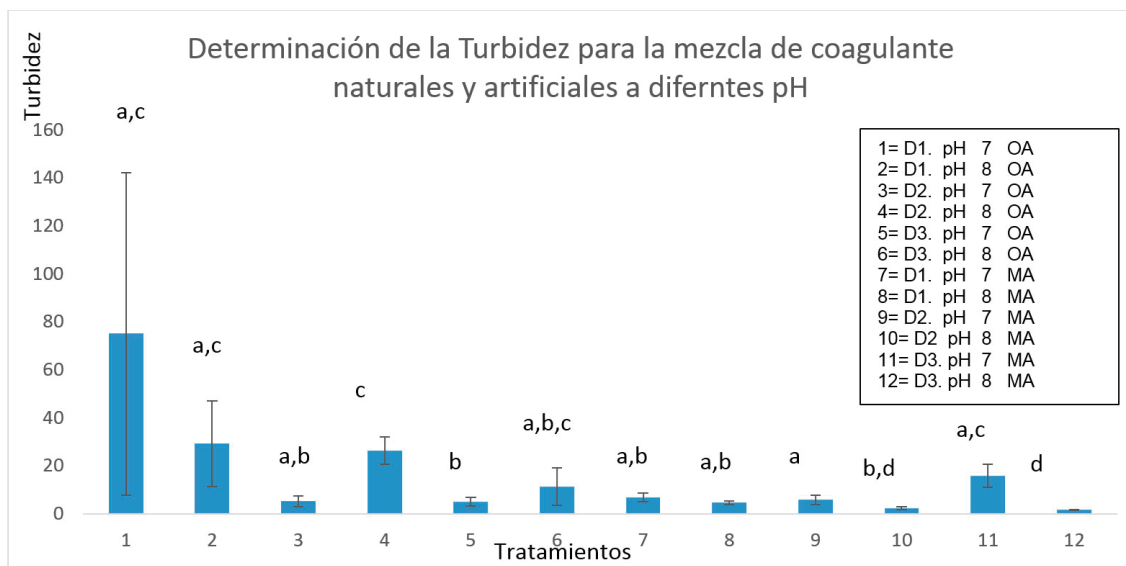
N.º	Tratamiento	Dosis (ppm)	pH	Turbidez (UNT)	Eficiencia (%)
3	Opuntia f.- Alumbre	40	7	5,42	98
10	Moringa .- Alumbre	40	8	2,52	99.3
12	Moringa .- Alumbre	45	8	1,79	99.5

Fuente: elaborado por los autores

Como se observa en la tabla 4, en la combinación del alumbre con los clarificantes naturales, se denota una gran eficiencia, mayor a 95.0 %; la combinación que presentó una mayor remoción de partículas suspendidas en el agua fue la mezcla de coagulantes *Moringa oleifera* y sulfato de aluminio y pH 8 y 45 ppm. Investigaciones de Martínez y González en 2012, con *Opuntia*, determinaron que el coagulante natural alcanzó una eficiencia satisfactoria (84.5 %); además, logró remover un gran porcentaje de turbidez (85.7 %) y de absorbancia (57.1 %) presente

en el agua cruda, utilizando dosis similares a las de los coagulantes metálicos con mayor uso en la actualidad para los procesos de tratamiento de agua potable.

El análisis de varianza se determinó por una prueba T para las muestras independientes, como se observa en la gráfica I; entre la mayoría de los tratamientos no existen diferencias significativas, en la cual podemos destacar los tratamientos 10 y 12 en donde el nivel de remoción de partículas en estas muestras es representativo con respecto a los demás.



Gráfica I. Análisis de turbidez para mezcla de coagulantes naturales (*Opuntia ficus*, *Moringa oleifera*) y artificiales (sulfato de aluminio), con diferentes valores de pH

Fuente: elaborado por los autores

En la gráfica 1 se muestra la capacidad de las diferentes mezclas de los coagulantes naturales y el alumbre en disminuir la turbidez de las aguas del río Magdalena; observamos que muchos de los tratamientos son efectivos en la remoción de los sólidos; el efecto del pH para algunos tratamientos es determinante en la disminución de la turbidez de las muestras. Se resalta

el tratamiento de la mezcla moringa-alumbre, el cual cumple con la norma. El tratamiento 1 (uno) moringa-opuntia es menos eficiente (75, l de turbidez), con una dosis de 35.0 mg/L y un pH de 7; observamos también que para esta misma mezcla moringa-opuntia, pero con pH de 8 disminuye sustancialmente la turbidez con 29.3.

Resultados de la absorbancia para mezcla de coagulantes naturales con sulfato de aluminio

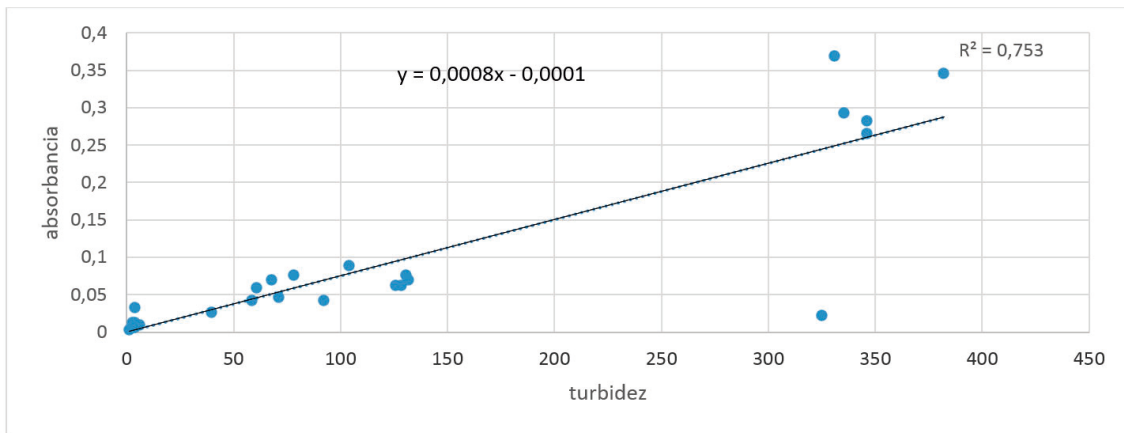


Gráfico 2. Relación de la absorbancia y turbidez

Fuente: elaborado por los autores

En la gráfica 2, observamos que hay una correlación muy fuerte entre la absorbancia y la turbidez, lo

que traduce que los valores de absorbancia van disminuyendo a medida que lo hace la turbidez.

Tabla 5. Absorbancia para mezcla de coagulantes naturales con sulfato de aluminio

No.	Tratamiento	Dosis (ppm)	pH	Absorbancia	Eficiencia (%)
3	<i>Opuntia f.</i> -alumbre	40	7	0,0026	98,9
10	<i>Moringa o.</i> -alumbre	40	8	0,0051	97,9
11	<i>Moringa o.</i> -alumbre	45	7	0,0054	97,8
12	<i>Moringa o.</i> -alumbre	45	8	0,0021	99.0

Fuente: elaborado por los autores

Con respecto a la eficiencia de la mezcla de los coagulantes y el alumbre y en relación con el pH en la remoción de los sólidos se evidencia la disminución en los valores de absorbancia, como se observa en la tabla 5. La combinación de *Moringa oleifera* y alumbre con dosis de 40.0 ppm y pH 8 es la que tiene una eficiencia de 99.0 %; esto quiere decir que a medida que disminuye la turbidez en el agua, la absorbancia también disminuirá; estas dos son directamente proporcionales. De acuerdo con el análisis de varianza para la absorbancia entre las mezclas de coagulantes naturales con sulfato de aluminio, de manera general no se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$), entre los distintos tratamientos; cabe destacar que aquellos cuyos niveles de absorbancia son más bajos (tratamientos 3, 10, 11, 12) tienen un comportamiento estadísticamente similar.

El tratamiento con una concentración 45 ppm de la mezcla *Moringa oleifera* y alumbre con pH 8 (tratamiento 12) presentó una absorbancia más baja, lo que representa menos sólidos en la muestra; se observa gran cantidad de precipitado en el fondo del recipiente, debido a que el sulfato de aluminio puede producir una reacción con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando, mientras que la absorción y la neutralización de cargas son los principales mecanismos de coagulación presentes en el tratamiento de la *Moringa oleifera*, según Melo et al. (2012).

DISCUSIÓN

El análisis de los resultados obtenidos permitió establecer que en las condiciones manejadas durante las pruebas de jarra, la mezcla de coagulantes *moringa oleifera* y sulfato de aluminio a 45 ppm, y pH 8 alcanzó una eficiencia satisfactoria de 99.5 % en cuanto a la variable de turbidez y un 99.0 % en absorbancia. Usar una velocidad de 300.0 rpm favorece que el principio activo de los coagulantes esté en mayor contacto con las partículas suspendidas en el agua, mientras que a 60.0 rpm genera flóculos más grandes y compactos haciendo que se precipitaran al fondo del recipiente.

En cuanto a los resultados de los coagulantes de manera individual, el resultado de 1.2 NTU lo arroja el sulfato de aluminio a 40.0 ppm y pH 8 con una

eficiencia de 99.7 %, mientras que el resultado de la *moringa oleifera* a 40.0 ppm y pH 7 fue de 39.6 NTU con 89.0 % de eficiencia. La diferencia de eficiencias entre ambas mezclas es de 10.0 %; la combinación entre los coagulantes químicos con la *moringa oleifera* aumenta la eficiencia de los coagulantes en comparación a cuando son usados por separado, es decir, se observa un efecto sinérgico, ya que la combinación de ambos tiene en cuenta mecanismos de remoción complementarios. Como lo reporta Díaz (2014), la utilización de los coagulantes-floculantes naturales en los procesos de clarificación de agua para el consumo humano es de gran importancia en las zonas rurales y barrios marginales.

La obtención del coagulante en polvo a partir de la Tuna se logró utilizando operaciones unitarias como secado, triturado, tamizado las cuales no representaron un alto costo ni revistieron gran complejidad.

CONCLUSIÓN

Al mezclar la *moringa oleifera* con sulfato de aluminio a 45.0 ppm y pH 8 se obtuvo el mejor valor de los ensayos de jarra, en cuanto a coagulantes naturales, con una turbidez de 1.7 NTU el cual está por debajo de los límites el Decreto 1575 del 2007. Es de gran importancia resaltar que los coagulantes naturales no le confirieron ningún sabor, olor ni color extraño al agua. El comportamiento de los coagulantes naturales en la disminución de la turbidez es menor que el coagulante sulfato de aluminio; sin embargo, se observa gran eficiencia en la reducción de la turbidez de estos coagulantes cuando se mezclan con el alumbre. Aportes similares se observan en investigaciones de Feria, Estrada y Bermúdez (2014), quienes señalan que obtuvieron valores de turbiedades entre 200.0 UNT y 360.0 UNT; el coagulante natural de *M. Oleifera* tiene el mismo comportamiento que el sulfato de aluminio, con la misma concentración para turbiedades entre 200.0 UNT y 360.0 UNT; el coagulante natural de *M. Oleifera* tiene el mismo comportamiento que el sulfato de aluminio, con la misma concentración (1.0 %) y en dosis mayores a 10 mg/L. Con dosis menores y turbiedades bajas del agua cruda (menores a 50 mg/L), el sulfato de aluminio es más eficiente que el coagulante natural al (1.0 %) y en dosis mayores a 10.0 mg/L. Con dosis menores y turbiedades bajas del agua cruda (menores a 50.0 mg/L), el sulfato de aluminio es más eficiente que el coagulante natural.

REFERENCIAS

- Abidin, Z. Z.; Mohd, N.S.; Madehi, N. & Sobri, S. (2013). Optimisation of a method to extract the active coagulant agent from *Jatropha curcas* seeds for use in turbidity removal. *Ind. Crop. Prod.*, 41(1), 319–323.
- Cogollo, J. (2010) Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. *Dyna*, 78(165), 1827.
- Feria, J.; Estrada, A. y Bermúdez, S. (2014). Eficiencia de la semilla moringa oleifera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción + Limpia*, 9(1), 9-22.
- Díaz, J. (2014). *Coagulantes-floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas*. (Tesis de Maestría) Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán. Tegucigalpa Honduras
- Guzmán, L., Tarón, A., Núñez, A. (2007). Utilización del polvo de semilla de cañafístula (*Cassia fistula*) como agente coagulante natural en el tratamiento de agua potable [tesis de pregrado]. Cartagena: Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería.
- Martínez, J. y González (2012). *Evaluación del poder coagulante de la tuna (Opuntia Ficus Indica) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas*. (Tesis de pregrado Programa de Ingeniería Química). Cartagena: Universidad de Cartagena.
- Labarces, A. (2007). *Evaluación del proceso coagulación-Floculación a partir del sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$ preparado utilizando envases reciclados del metal y aluminio modificado en la potabilización de aguas*. (Trabajo de grado Especialización en Química Ambiental). Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander
- Melo, G. y Turriago, F. (2012). *Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de moringa oleifera como una alternativa de biorremediación en la purificación superficiales del caño Cola de Pato, ubicado en el sector rural del municipio de Acacias*. (Trabajo de grado Programa de Ingeniería Agroforestal). Villavicencio: Universidad Nacional Abierta y A distancia –UNAD– Facultad de Ciencias Agrarias.
- Restrepo, O. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. [Tesis Facultad de Minas]. Medellín: Universidad Nacional sede Medellín.
- Olson, M. E. y Fahey, J. W. (2011). Moringa oleifera: un árbol multiusos par las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 1071-1082.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2012). *Agua, saneamiento y salud (ASS). Informe acerca de los progresos sobre el agua potable y saneamiento*. Recuperado de http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2012/drinking_water_20120306/es/
- Sandoval, M. y Laines, J. (2013). Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería, Rev. Académica de la FI-UADY*, 17(2), 93-101.
- Núñez, E. (2012). *Validación de la efectividad de la semilla de Moringa oleifera como coagulante natural del agua, destinada al consumo humano*. (Trabajo de grado de la Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente). Honduras: Universidad de Zamorano.
- Sánchez-Martín, M.; González-Velasco, J.; Beltrán-Heredia, J. (2010). Acacia mearnsii de wild tannin-based flocculant in surface water treatment. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 29(2), 119–135.
- Villabona, A.; Paz, I. y Martínez, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Rev. Colomb. Biotecnol*, 15(1), 137-144.
- Yin, C. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochem.* 45(9), 1437-1444. doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030