

## Remoción de turbiedad en el proceso de potabilización del agua utilizando *Moringa oleífera* y *Opuntia ficus-indica*<sup>1</sup>

Cristian Camilo Arcila Franco<sup>2</sup>, Gloria Correa Restrepo<sup>3</sup>, Álvaro Arango Ruiz<sup>4</sup>

### Resumen

**Introducción.** El siguiente trabajo de investigación nace con el fin de poder establecer el porcentaje de remoción de la turbiedad de las aguas crudas, que son dispensadas para el consumo humano, implementando coagulantes naturales como la *Moringa oleífera* y *Opuntia ficus-indica*. Determinando parámetros para la corroboración de las variables como son el pH de coagulación y la dosis necesaria del coagulante y de esta manera calcular los niveles de remoción de la turbiedad. **Objetivo.** Definir el porcentaje de remoción de turbiedad al momento de realizar la potabilización del agua para consumo humano, utilizando *Moringa oleífera* y *Opuntia ficus-indica*, empleando un

método de extracción útil, natural y eficiente. **Materiales y métodos.** En la metodología aplicada se empleó de la forma más natural y simple, sin la necesidad de destinar recursos costosos, haciéndolo de una manera asequible y eficaz, para así de esta manera poder obtener múltiples aplicaciones tanto en plantas de tratamiento como en un uso doméstico, y de esta manera poder obtener las dosificaciones necesarias de cada uno de los componentes por separados y en mezcla; los componentes que se utilizaron para realizar la remoción fueron: *Opuntia ficus-indica* y *Moringa oleífera*. En base a los métodos de análisis de aguas, definidos en el libro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association [APHA], 2017), donde se precisaron

- 1 Artículo original derivado del proyecto de investigación *Remoción de turbiedad en el proceso de potabilización del agua utilizando Moringa oleífera y Opuntia ficus-indica* de la Corporación Universitaria Lasallista, ejecutado entre agosto de 2020 y diciembre de 2020 por el grupo de investigación GAMMA y semillero SIGMA; financiado por la Corporación Universitaria Lasallista.
- 2 Estudiante de la Corporación Universitaria Lasallista. Correo: criarcila@ulasallista.edu.co, Orcid: 0000-0001-6566-8800.
- 3 Ingeniera sanitaria de la Universidad de Antioquia, magíster en Ingeniería de la Universidad de Antioquia, candidata a doctora en Biotecnología en la Universidad de Antioquia. Profesora de tiempo completo en la Corporación Universitaria Lasallista. Correo: gcorrea@unilasallista.edu.co. Orcid: 0000-0003-1937-0987.
- 4 Ingeniero químico, magíster en Ingeniería Ambiental, doctor en Ingeniería. Decano y profesor investigador en la Corporación Universitaria Lasallista. Director del grupo de investigación GAMA. Correo: aarango@unilasallista.edu.co, Orcid: 0000-0001-6204-850X.

**Autor para Correspondencia:** criarcila@ulasallista.edu.co  
Recibido: 23/09/2021      Aceptado: 31/01/2024

\*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

los valores más acertados en remoción en base al test de jarras. Posteriormente se realizó un análisis de varianza estadístico (ANOVA) para de esta manera obtener conclusiones oportunas en base a la información recolectada, para esto se ejecutaron cuatro repeticiones con cada uno de los coagulantes naturales. **Resultados.** En la búsqueda por definir la dosis óptima de los coagulantes naturales, se empleó el libro guía *Standard Methods*, por medio de ensayos de test de jarras, siendo aplicado para cada coagulante y luego combinados, con cuatro repeticiones para corroborar el valor. Después de dicho proceso se concluyó que la porción necesaria de *Moringa oleífera* fue de 30 mg/L en su mejor caso y para la *Opuntia ficus-indica* fue de 1250 mg/L con su mejor resultado de remoción; y al momento de realizar la combinación de los dos coagulantes, la mejor condición fue aplicar un cincuenta por ciento de la dosis óptima para ambos coagulantes. Por otro lado, la variación que se aplicó de pH en busca del

óptimo para la remoción de turbiedad no representó una diferencia estadísticamente significativa sobre el comportamiento de la turbiedad final, después de procesar la información mediante un análisis ANOVA. **Conclusiones.** Pensando en un proceso tanto de aplicación como de extracción eficiente y natural, se lograron obtener resultados muy positivos de remoción en cuanto a turbidez, haciéndolo simple para la aplicación doméstica o industrial en plantas de tratamiento, resaltando que los componentes naturales (*Moringa oleífera* como la *Opuntia ficus-indica*), arrojaron porcentajes de remoción superando el 98 %, con dosificaciones relativamente bajas, lo que implica que son muy eficientes para su utilización. Es muy importante decir, que el mejor promedio estadístico obtenido para la remoción de turbiedad fue con la combinación de ambos.

**Palabras clave:** *Moringa oleífera*, *Opuntia ficus-indica*, coagulantes naturales, remoción turbiedad.

---

### Removal of Turbidity in the Water Potabilization Process Using *Moringa oleífera* and *Opuntia ficus-Indica*

#### Abstract

**Introduction.** The following research work was born in order to be able to establish the percentage of removal of turbidity from raw water, which is dispensed for human consumption, implementing natural coagulants such as *Moringa oleífera* and *Opuntia ficus-indica*. Determining parameters

for the corroboration of variables such as the pH of coagulation and the necessary dose of the coagulant and in this way calculate the levels of turbidity removal. **Objective.** Define the percentage of turbidity removal at the time of purifying water for human consumption, using *Moringa oleífera* and *Opuntia ficus-indica*, using a useful, natural and efficient extraction method.

**Materials and methods.** In the applied methodology, it was used in the most natural and simple way, without the need to allocate

expensive resources, doing it in an affordable and effective way, in order to obtain multiple applications both in treatment plants and in a domestic use, and in this way to be able to obtain the necessary dosages of each one of the components separately and in mixture; The components that were used to carry out the removal were: *Opuntia ficus-indica* and *Moringa Oleífera*, Based on the water analysis methods, defined in the *Book Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017), where the most accurate value in removal were specified based on the Jars Test. Subsequently, a statistical analysis of variance (ANOVA) was carried out in order to obtain timely conclusions based on the information collected, for this, four repetitions were carried out with each of the natural coagulants. **Results.** In the search to define the optimal dose of natural coagulants, the *Standard Methods* guide book was used, through jar test trials, being applied for each coagulant and then combined, with four repetitions to corroborate the value. After said process, it was concluded that the necessary portion of *Moringa oleífera* was

30 mg/L in its best case and for *Opuntia ficus-indica* it was 1250 mg/L with its best removal result; and at the time of combining the two coagulants, the best condition was to apply fifty percent of the optimal dose for both coagulants. On the other hand, the variation of pH applied in search of the best one for the elimination of turbidity did not represent a statistically significant difference on the behavior of the final turbidity, after processing the information through an ANOVA analysis. **Conclusions.** Thinking of an efficient and natural application and extraction process, it was prepared to obtain very positive removal results in terms of turbidity, making it simple for domestic or industrial application in treatment plants, highlighting that the natural components (*Moringa oleífera* such as *Opuntia ficus-indica*), yielded removal percentages exceeding 98 %, with relatively low dosages, which implies that they are very efficient for their use. It is very important to say that the best statistical average obtained for turbidity removal was with the combination of both.

**Keywords:** *Moringa oleífera*, *Opuntia ficus-indica*, natural coagulants, turbidity removal.

---

### Remoção da turbidez no processo de purificação da água com *Moringa oleífera* e *Opuntia indica*

#### Resumo

**Introdução.** O seguinte trabalho de pesquisa nasceu para poder estabelecer o percentual de remoção de turbidez da água bruta, que é dispensada para consumo

humano, implementando coagulantes naturais como *Moringa oleífera* e *Opuntia ficus-indica*. Determinar parâmetros para comprovação de variáveis como o pH de coagulação e a dose necessária do coagulante e assim calcular os níveis de remoção de turbidez. **Objetivo.** Definir o percentual de remoção de turbidez no momento da purificação da água para consumo humano, utilizando *Moringa oleífera* e *Opuntia ficus-*

*indica*, utilizando um método de extração útil, natural e eficiente. **Materiais e métodos.** Na metodologia aplicada, utilizou-se da forma mais natural e simples, sem necessidade de alocar recursos dispendiosos, fazendo-o de forma acessível e eficaz, de forma a obter múltiplas aplicações tanto em estações de tratamento como em uso doméstico, podendo assim obter as dosagens necessárias de cada um dos componentes separadamente e em mistura; os componentes que foram utilizados para realizar a remoção foram: *Opuntia ficus-indica* e *Moringa oleífera*, com base nos métodos de análise de água, definidos no *Book Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017), onde os valores mais precisos na remoção foram especificados com base no Teste de Jars. Posteriormente, foi realizada uma análise estatística de variância (ANOVA) a fim de obter conclusões oportunas com base nas informações coletadas, para isso foram realizadas quatro repetições com cada um dos coagulantes naturais. **Resultados.** Na busca de definir a dosagem ideal de coagulantes naturais, utilizou-se o guia *Standard Methods*, por meio de tentativas de jar test, sendo aplicado para cada coagulante e depois combinado, com quatro repetições para corroborar o valor. Após o referido processo, concluiu-se que a porção necessária de *Moringa oleífera*

foi de 30 mg/L em seu melhor caso e para *Opuntia ficus-indica* foi de 1250 mg/L com seu melhor resultado de remoção; e na hora de combinar os dois coagulantes, a melhor condição era aplicar cinquenta por cento da dose ótima para ambos os coagulantes. Por outro lado, a variação de pH aplicada em busca do melhor para a eliminação da turbidez não representou diferença estatisticamente significativa sobre o comportamento da turbidez final, após processamento das informações por meio de análise ANOVA. **Conclusões.** Pensando em um processo de aplicação e extração eficiente e natural, foi preparado para obter resultados de remoção muito positivos em termos de turbidez, tornando-o simples para aplicação doméstica ou industrial em estações de tratamento, destacando que os componentes naturais (*Moringa oleífera* como *Opuntia ficus-indica*), apresentaram percentagens de remoção superiores a 98 %, com dosagens relativamente baixas, o que implica que são muito eficientes para a sua utilização. É muito importante dizer que a melhor média estatística obtida para remoção de turbidez foi com a combinação de ambos.

**Palavras-chave:** *Moringa oleífera*, *Opuntia ficus-indica*, coagulantes naturais, remoção de turbidez.

---

## Introducción

Es de apreciar que actualmente el suministro de agua potable cada día está más limitado debido a los cambios climáticos y al derroche por parte de la población mundial,

por lo anterior se hace necesario realizar tratamientos de potabilización y remoción de la turbiedad alternativos (naturales) y así poder garantizar agua tratada apta para el consumo. Cardoso *et al.* (2008), dicen que “el agua destinada al consumo humano debe

cumplir con un estándar de potabilidad; es decir, los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y radiactivos deben ser atendidos”. Para poder lograr la remoción de turbiedad del agua para que sea apta para el consumo, se emplean procesos como coagulación-floculación. Al hablar de la coagulación se hace referencia a la dosificación necesaria de los compuestos naturales y químicos como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico, el carbonato de calcio y los polímeros orgánicos sintéticos, los cuales desestabilizan las partículas coloides que estén presentes, posterior a esto se realiza la floculación, la cual consiste en un aglutinamiento de las partículas en flóculos con peso específico mayor al agua, que después se sedimentaron que permitan su remoción de una manera más ágil y sencilla. En palabras de Meza Leones *et al.* (2018):

La desventaja que tiene estas sustancias químicas es que, una vez culminado el proceso de potabilización, permanecen en el agua en forma residual, acumulándose en el medio ambiente. En el caso del sulfato de aluminio es de fácil asimilación para los seres vivos, y su ingesta por un largo período de tiempo puede acarrear efectos adversos a la salud. Los animales que viven en ecosistemas acuáticos son unos de los más afectados por estas sustancias químicas.

Con el fin de alcanzar los parámetros de calidad del agua, se implementan dentro del tratamiento primario sistemas de floculación y coagulación, debido a

la facilidad de remover y generar el *floc*, utilizando coagulantes químicos (Duarte y Mendoza, 2018). A pesar de que estos coagulantes químicos son muy efectivos para generar *floc* y entre mayor la concentración mayor es el peso del *floc*, favoreciendo la remoción de color aparente, tienen una contraindicación y son las trazas residuales de aluminio u otros metales en el agua, las cuales, según Trejo Vázquez y Hernández (2004), demuestran que la ingestión de moderadas concentraciones de algunos metales, en especial el aluminio, causan enfermedades degenerativas en el ser humano a mediano y largo plazo (Berdonces, 2008). Por eso es importante comenzar a introducir en estos tratamientos coagulantes naturales, que es una de las finalidades de esta investigación y, por tanto, se mencionan algunos a continuación.

La *Moringa oleífera* ha sido utilizada por la población mundial en su dieta desde hace muchos años atrás debido sus múltiples propiedades, una de ellas y la más relevante es el control de la glucosa y por este motivo es ideal para las personas que tienen como patología de base la diabetes (López-Romero *et al.*, 2014).

Por otro lado, la *Opuntia ficus-Indica* es considerada un coagulante ya que no le aporta ningún olor o sabor al agua, y además de esto tiene una densidad inferior a la del agua y también tiene un alto contenido de carbohidratos, siendo estas características lo que permite que se le atribuya la propiedad de polielectrolito (Martínez García y González, 2012).



Se evidenció que con *Opuntia ficus-indica* hubo mayor porcentaje de eliminación del arsénico en comparación con los coagulantes tradicionales (químicos), además de lo anterior, también arrojó una remoción en color y en turbiedad, ya que tienden a aumentar a medida que se realiza una incrementación de la dosis de coagulantes para las condiciones que fueron investigadas por diferentes autores (Villabona *et al.*, 2013; Bouaouine *et al.*, 2019).

Por otro lado, al revisar estudios con la *Moringa oleífera* como coagulante natural, se evidenció que su potencial para la eliminación de contaminantes del agua como: pesticidas, tintas y productos farmacológicos (Ueda *et al.*, 2020) era demasiado alto, por tal motivo se decidió utilizar como uno de los coagulantes naturales. Este coagulante también puede ser favorable para el control de vectores transmisores de enfermedades en aguas estancadas, ya que se pudo evidenciar en investigaciones que utilizando el extracto de las semillas se logró evitar la incubación de las larvas de *Aedes aegyptis* a los medios de control empleados para evitar la aparición de los vectores potenciales. “Su función larvicida se atribuye a la lectina hidrosoluble contenida en sus extractos, lo que retarda el crecimiento de las larvas y su mortalidad” (Morillo, 2017). También es importante hacer referencia a los estudios realizados por Melo Vargas y Turriago Ríos (2012), donde estos logran una remoción con apenas 300 mg de semilla/L, por lo que se atribuye a los sólidos totales en un 42,85 % de lograr una remoción, y en el caso de la turbiedad arrojó una equivalencia del 84,34%, en un

periodo de 60 minutos y con presencia de una agitación fuerte por quince minutos, sin la necesidad de utilizar un método previo para la remoción de tipo filtrado, lo que generó un estímulo en esta investigación.

De este modo se pudo evidenciar que los coagulantes naturales no solo tienen un valor nutricional como en el caso de la *Moringa* ya que en diferentes análisis y estudios arrojaron que el contenido de sus hojas demuestran que hasta el 30 % del peso seco es proteína asimilable; pero si se mira desde el punto de vista de tratamiento de aguas, estos favorecen la salud pública ya que no se estaría utilizando ningún químico para la remoción de la turbiedad, “de igual manera se puede comparar con la cantidad de proteínas presentes en la leche en polvo ya que estas tienen un 35 % de este coagulante” (Keogh *et al.*, 2017).

### **Materiales y métodos**

Los coagulantes naturales que se utilizaron en el transcurso de la investigación fueron semillas de *Moringa oleífera* y el mucílago de *Opuntia ficus-indica*. Para el caso de la *Moringa* se realizó la trituration de las semillas con la cáscara y sin la misma en una licuadora de uso común, posteriormente fueron pasadas por una criba donde se retiraron las partículas más grandes. En el caso de la *Opuntia ficus-indica*, se retiraron las tunas y toda la parte exterior para poder licuar el mucílago gelatinoso, de esta manera se realizó la verificación en porcentaje de cuánto fue la remoción de la turbiedad para cada uno y combinados, para lo anterior se tomó como referente el proceso que fue

realizado por Castillo Cohaila y Avendaño Cáceres para el uso de la *Moringa* (2020).

Haciendo hincapié en los métodos de análisis de aguas, que fueron definidos en el libro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017) se lograron determinar los parámetros necesarios de cada coagulante aplicando la técnica de test de jarras, para poder hallar el pH y la dosis óptima. En cuanto a la turbiedad inicial, en cada ensayo fue de 230 UNT. Hay que relevar que las sustancias fueron naturales y no se

realizó ninguna adición de otro compuesto. Al final se realizó una prueba de hipótesis por medio de un análisis de varianza ANOVA, en cuyo caso se realizaron cuatro repeticiones por cada ensayo.

### Equipos utilizados

En la **tabla 1** se hace énfasis en los equipos que fueron utilizados para realizar las mediciones y los diferentes montajes para el desarrollo de toda la investigación, y allí se demostraron las diferentes características de marca, modelo y resolución entre otras.

**Tabla 1.**

*Equipos de laboratorio empleados durante el desarrollo de la investigación*

Equipo	Marca	Modelo	Rango de volumen/ resolución	Temperatura de operación	Humedad relativa
Balanza analítica	Ohaus	Adventure ar2140	0,0001 g	18-35 °C	<80 %
Medidor de pH	WTW	pH 3210	0,01 pH	18-35 °C	<80 %
Test de jarras	E&q	E&q	1 rpm	0-50 °C	<80 %
Medidor de turbidez	Wtw	430 ir	0,1 ntu	18-35 °C	<80 %

*Nota.* Elaboración propia.

## Resultados

Después de realizar las indagaciones necesarias para poder definir la dosis óptima de los dos coagulantes naturales se realizaron varios ensayos de test de jarras, iniciando con cada sustancia individualmente y terminando con la combinación de estas. Después de dicho proceso, se concluyó que la dosis adecuada para la *Moringa oleífera* fue de 30 mg/L, con una turbiedad final entre

0,60 y 1,83 UNT, en su mejor caso y para la *Opuntia ficus-indica* fue de 1250 mg/L con una turbiedad final entre 0,40 y 1,40 UNT en su mejor resultado de remoción. En el caso de la combinación, la mejor condición fue aplicar un 50 % de la dosis óptima para ambos coagulantes; es decir, 15 mg/L como dosis de *Moringa* y 625 mg/L como dosis de *Opuntia ficus-indica*, para que al final arrojara una turbiedad final de 1,20 UNT, en su mejor valor (**tabla 4**).

Se planteó una evaluación con una estadística que es utilizada para comparar varianzas entre las medidas y de diferentes grupos (ANOVA), en este caso fueron dos factores con varias muestras por grupo las que fueron analizadas, donde posteriormente se procedió a tabular con el programa Microsoft Excel los datos

obtenidos en la experimentación, en cuanto a la relación de pH y las dosis encontradas de las sustancias. En la **tabla 3**, se hizo un resumen de este análisis. En la **tabla 2** se presentan los valores de pH de los coagulantes que fueron seleccionados para llevar a cabo la investigación.

**Tabla 2.**

*Dosis utilizada del coagulante frente a los valores de pH que se variaron*

	PH					
	8,4	8	7,5	7	6,5	6
<b>Moringa (30) mg/L</b>	1,93	1,92	1,09	1,85	1,15	1,71
	2	2,3	0,9	2,08	1,73	2,06
	<b>3,42</b>	<b>1,59</b>	<b>2,2</b>	<b>1,4</b>	<b>2,26</b>	<b>1,36</b>
<b>Opuntia (1250) mg/L</b>	1,96	1,39	2,05	2,74	2,48	2,8
	3,5	3,3	3,4	3,6	2,85	2,7
	<b>3,2</b>	<b>3,5</b>	<b>4,4</b>	<b>4,1</b>	<b>4</b>	<b>4,4</b>
<b>Mezcla (15+625) mg/L</b>	2	1,8	1,56	1,6	1,64	1,8
	2	1,8	1,56	1,6	1,64	1,8
	<b>2</b>	<b>1,7</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	<b>1,56</b>	<b>1,7</b>

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 3.**

*Comparación de varianzas entre dos factores con varias muestras por grupo (ANOVA)*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para f
<b>Dosis</b>	22,2893444	2	11,1446722	27,43454	<b>5,7804e-08</b>	<b>3,25944631</b>
<b>pH</b>	0,80335556	5	0,16067111	0,39551975	0,84861871	<b>2,47716867</b>
<b>Interacción</b>	2,64563333	10	0,26456333	0,65126845	0,76026816	<b>2,10605391</b>
<b>Dentro del grupo</b>	14,6242	36	0,40622778			
<b>Total</b>	40,3625333	53				

*Nota.* Elaboración propia.



**Tabla 4.**

Análisis de varianza de los dos factores con diferentes muestras por separado y en mezcla

Resumen	Variación de pH						Total
<i>Moringa</i> (30) mg/L	8,4	8	7,5	7	6,5	6	Total
Cuenta	3	3	3	3	3	3	18,0
Suma	7,350	5,810	4,190	5,330	5,140	5,130	32,950
Promedio	2,450	1,937	1,397	1,777	1,713	1,710	1,831
Varianza	0,707	0,126	0,493	0,120	0,308	0,123	0,329
<i>Opuntia</i> (1250) mg/L	8,4	8	7,5	7	6,5	6	Total
Cuenta	3	3	3	3	3	3	18
Suma	8,660	8,190	9,850	10,440	9,330	9,900	56,370
Promedio	2,887	2,730	3,283	3,480	3,110	3,300	3,132
Varianza	0,667	1,357	1,391	0,473	0,628	0,910	0,708
Mezcla (15+625) mg/L	8,4	8	7,5	7	6,5	6	Total
Cuenta	3	3	3	3	3	3	18
Suma	6,000	5,300	4,620	4,800	4,840	5,300	30,860
Promedio	2,000	1,767	1,540	1,600	1,613	1,767	1,714
Varianza	0,000	0,003	0,001	0,000	0,002	0,003	0,026
<b>Interacción entre grupos</b>							
<b>Total</b>							
Cuenta	9	9	9	9	9	9	
Suma	22,01	19,3	18,66	20,57	19,31	20,33	
Promedio	2,45	2,14	2,07	2,29	2,15	2,26	
Varianza	0,491	0,570	1,299	0,957	0,760	0,869	

Nota. Elaboración propia.

### Discusión

Queriendo unos resultados óptimos para la aplicación de estos coagulantes naturales, se debe tener en cuenta que las semillas de *Moringa* deben estar secas o con muy poca humedad para lograr más tiempo de

duración en su almacenamiento y para la *Opuntia ficus indica*, es la penca que se va a procesar para extraer su mucílago debe ser lo más fresca posible y así aprovechar al máximo sus efectos de coagulante y no se pierdan sus propiedades.

Cabe resaltar, que se obtuvieron datos relevantes para cada condición de tratamiento a dosificar, con los coagulantes naturales en mezcla y por separado, donde se logró identificar que el mejor promedio estadístico de los resultados en turbiedad final fue con la combinación de ambos coagulantes, donde se presenta un valor de 1,71 UNT, correspondiente a la relación de 50 % en cada dosis óptima, ver la comparación en la **tabla 4**.

Al momento de realizar la evaluación con una estadística que es utilizada para comparar varianzas entre las medidas y de diferentes grupos, ver **tabla 3**, se fijaron como variables independientes la dosis y el pH, y como variable dependiente la turbiedad final, para luego encontrar el valor de F (función de prueba), en donde fue evidente que bajo la prueba de Fisher con los grados de libertad calculados 2 para dosis y 5 para pH, se obtuvo en cuanto a dosis una diferencia estadísticamente significativa, con una probabilidad muy pequeña de donde F es mucho mayor que F crítico y esto causó un comportamiento diferente sobre la turbiedad final, de tal manera se corrobora estadísticamente la veracidad de la dosis en el tratamiento, cuyo promedio en la combinación de los coagulantes de 1.71 UNT fue la menor. Por otro lado, para la definición de pH óptimo, se identificó que, teniendo el pH variado en la muestra a tratar, no existieron cambios estadísticamente significativos, que llegan a predominar un resultado o comportamiento diferente dentro de la distribución de probabilidad de Fisher; ver **tabla 3**, donde también se puede apreciar dentro de la

interacción entre grupos que los promedios son valores muy similares corroborando lo dicho anteriormente.

## Conclusiones

Se destaca que la *Moringa Oleífera* y la *Opuntia ficus-indica*, en su forma natural, dieron porcentajes de remoción por encima del 98 % con dosificaciones relativamente bajas, y alcanzando valores de turbiedad bajo la Resolución 2115 de 2007 “por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”, en donde da como valor máximo permitido para la turbiedad final 2 UNT. De igual forma ocurrió con la combinación, mejorando la turbiedad final.

También es muy importante decir, que el mejor promedio estadístico obtenido para la remoción de turbiedad fue con la combinación de ambas sustancias, cumpliendo de igual forma la Resolución 2115 de 2007 para consumo humano.

Pensando en un proceso tanto de aplicación como de extracción eficiente sobre los coagulantes, a estos no se le agregaron ningún compuesto químico para procesarlos y de esta manera se lograron obtener resultados muy positivos de remoción en cuanto a turbiedad, haciéndolo simple para la aplicación doméstica o industrial en plantas de tratamiento, además, porque estos coagulantes tienen un gran aporte de nutrientes al organismo humano y se pueden cultivar en nuestros suelos colombianos, favoreciendo la economía de nuestros campesinos. Los resultados obtenidos son

una prueba muy fehaciente que podría hacer un cambio significativo para la salud pública y para el medio ambiente, ya que al finalizar el proceso de remoción los lodos que se están siendo obtenidos saldrán sin concentraciones de metales pesados y así poder impedir que se generen alteraciones en las composiciones orgánicas y actividad microbiana del suelo, siendo así una gran alternativa para que estos lodos puedan aprovecharse como abonos.

### Referencias

- American Public Health Association -APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (23 ed.). APHA.
- Berdonces, J. L. (2008). La problemática del tratamiento del agua potable. *Medicina Naturista*, 2(2), 69-75.
- Bouaouine, O., Bourven, I., Khalil, F., Bressollier, P. and Baudu, M. (2019). Identification and role of *Opuntia ficus indica* constituents in the flocculation mechanism of colloidal solutions. *Separation and Purification Technology*, 209, 892-899. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.036>
- Cardoso, K., Bergamasco, R., e Leila, E. e Moraes, C. (2008). Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam. *Acta Scientiarum. Technology*, 30(2), 193-198. <https://lscx/fanKcH>
- Castillo Cohaila, M. A. y Avendaño Cáceres, E. (2020). Efecto de las semillas de moringa (*Moringa oleifera lam.*) en las condiciones para la clarificación del agua del río Sama. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(1), 47-57.
- Duarte, L. y Mendoza, M. (2018). *Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en los corregimientos de Sincerín y Gambote* [Trabajo de Grado, Universidad Tecnológica de Bolívar].
- Keogh, M. B., Elmusharaf, K., Borde, P. and McGuigan, K. (2017). Evaluation of the natural coagulant *Moringa oleifera* as a pretreatment for SODIS in contaminated turbid water. *Solar Energy*, 158, 448-454. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.10.010>
- López-Romero, P., Pichardo-Ontiveros, E., Avila-Nava, A., Vázquez-Manjarrez, N., Tovar, A. R., Pedraza-Chaverri, J. and Torres, N. (2014). The Effect of Nopal (*Opuntia Ficus Indica*) on Postprandial Blood Glucose, Incretins, and Antioxidant Activity in Mexican Patients with Type 2 Diabetes after Consumption of Two Different Composition Breakfasts. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 114(11), 1811-1818. <https://lscx/13A0Hw>
- Martínez García, J. y González, L. (2012). *Evaluación del poder coagulante de la tuna (Opuntia ficus indica) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas* [Trabajo de Grado, Universidad de Cartagena].

- Melo Vargas, G. y Turriago Ríos, F. (2012). *Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de Moringa oleífera como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales del caño Cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias* [Trabajo de Grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia].
- Meza Leones, M., Riaños-Donado, K., Mercado-Martínez, I., Olivero-Verbel, R. y Jurado-Erazo, M. (2018). 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. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95-104. <https://lc.cx/bGqQA7>
- Morillo, J. (2017). *Determinación de la dureza de agua de consumo, de la Urbanización Covicorti, antes y después del tratamiento mediante floculación con Moringa oleífera "Moringa" abril-mayo 2017* [Trabajo de Grado, Universidad de Trujillo]. [https://lc.cx/7Oz\\_20](https://lc.cx/7Oz_20)
- Resolución 2115 de 2007 [Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Desarrollo y Vivienda Territorial]. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. 22 de junio de 2007.
- Trejo Vázquez, R. y Hernández, V. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable. *Conciencia Tecnológica*, (25), 1-3.
- Ueda, N., Cusioli, L., Quesada, H., Camargo, M., Fagundes-Klen, M., Salcedo, A., Gomes, R., Vieira, M. and Bergamasco, R. (2021). A review of Moringa oleifera seeds in water treatment: Trends and future challenges. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 405-420.
- Villabona, Á., Paz, I. y Martínez, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1), 137-144.