

**USO DE SUSTANCIAS NATURALES COMO ALTERNATIVA BIOLÓGICA  
PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA DEL RÍO MAGDALENA**

ROSMERY KATHERINE CRUZ O'BYRNE  
JOSE ALDAIR VILLA PAREJO

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
SANTA MARTA D.T.C.H.  
2017

USO DE SUSTANCIAS NATURALES COMO ALTERNATIVA BIOLÓGICA PARA  
EL TRATAMIENTO DEL AGUA DEL RÍO MAGDALENA

ROSMERY KATHERINE CRUZ O'BYRNE  
JOSE ALDAIR VILLA PAREJO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO  
AMBIENTAL Y SANITARIO

Dra. SONIA ESPERANZA AGUIRRE FORERO  
Director

Esp. ALVARO CASTILLO MIRANDA  
Coodirector

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
SANTA MARTA D.T.C.H.  
2017

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Santa Marta, 07 de marzo de 2017

A nuestras familias: Cruz O'byrne y  
Villa Parejo por apoyarnos  
constante e intensamente en todo  
nuestro proceso de formación.  
Los amamos

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestra Universidad del Magdalena, especialmente a nuestro programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria por la formación académica brindada que nos sirvió como base fundamental para llevar a cabo este proyecto.

A nuestra directora del proyecto; Dra. SONIA ESPERANZA AGUIRRE FORERO por guiarnos en este proceso de investigación.

A nuestro codirector del proyecto; Esp. ALVARO CASTILLO MIRANDA por proporcionarnos bases técnicas y teóricas necesarias para la realización del proyecto.

Al Grupo de Investigación Suelo, Ambiente y Sociedad; especialmente a nuestro director Dr. NELSON VIRGILIO PIRANEQUE GAMBASICA por apoyarnos activamente en el proceso. Al igual que a todos nuestros compañeros del grupo.

Al laboratorio de Calidad de Agua de la Universidad del Magdalena; especialmente al director del laboratorio Mg. ISAAC MANUEL ROMERO BORJA por brindarnos el espacio para la realización del muestreo; Además de darnos una mano siempre que lo necesitamos.

A nuestras familias; Cruz O'byrne y Villa Parejo por sufrir y reír junto a nosotros en todo este proceso. Palabras hacia ustedes sobran. LOS AMAMOS.

## CONTENIDO

RESUMEN	12
1. PRESENTACION	13
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
3. ESTADO DEL ARTE	17
3.1. <i>Moringa oleifera</i>	17
3.2. <i>Opuntia ficus-indica</i>	19
3.3. <i>Zea mays</i>	20
3.4. <i>Azadirachta indica</i>	21
4. MARCO TEORICO CONCEPTUAL	23
4.1 Coloides	23
4.1.1. Estabilidad de los coloides	23
4.2. Propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua	25
4.2.1. Turbiedad	25
4.2.2. Color	25
4.2.3. pH	26
4.2.4. Coliformes fecales y totales	26
4.3. Tratamiento del agua	26
4.3.1. Coagulación	26
4.3.2. Floculación	27
4.3.3. Importancia del pH en los procesos de coagulación y floculación	27
4.3.4. Dosis óptima de coagulante	28
4.3.5. Tiempo óptimo de floculación	28
4.3.6. Velocidad óptima de agitación en coagulación y floculación	28
4.3.7. Coagulantes	29
5. JUSTIFICACION	35
6. OBJETIVOS	36
6.1. General	36
6.2. Específicos	36
7. DISEÑO METODOLOGICO	37
7.1. Selección de materia prima	37
7.2. Obtención de coagulantes naturales	37

7.2.1. Extracción del compuesto activo de las semillas de <i>Moringa oleifera</i> , <i>Azadirachta indica</i> y <i>Zea mays</i> para la obtención de coagulante líquido	37
7.2.2. Extracción del compuesto activo de la tuna <i>Opuntia ficus-indica</i> para la obtención de coagulante en polvo	37
7.3. Obtención de la muestra de agua	39
7.4. Tratamiento del agua	39
7.4.1. Tratamiento inicial – Actividad coagulante	39
7.4.2. Actividad desinfectante	39
7.4.3. Optimización del tratamiento – Actividad coagulante	40
7.5. Evaluación de parámetros físico químicos y microbiológicos	40
8. DESARROLLO DEL PROYECTO	41
9. RESULTADOS Y DISCUSION	42
9.1. Estado del Rio Magdalena	42
9.2. Tratamiento inicial – Actividad coagulante	42
9.3. Actividad desinfectante	45
9.4. Optimización del tratamiento – Actividad coagulante	47
10. CONCLUSIONES	50
11. RECOMENDACIONES	52
12. PRESUPUESTO	53
BIBLIOGRAFIA	54
ANEXOS	59

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos analíticos para la evaluación de parámetros de calidad de agua del Rio Magdalena.	40
Tabla 2. Cronograma de actividades.	41
Tabla 3. Estado del Rio Magdalena.	42
Tabla 4. Presupuesto Global.	53

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Doble capa eléctrica de las partículas coloidales.	24
Figura 2. Árbol <i>Moringa oleifera</i> (izquierda) y semillas (derecha).	30
Figura 3. Árbol <i>Azadirachta indica</i> (izquierda), semillas (superior) y flores (inferior derecha).	31
Figura 4. Plantación de <i>Zea mays</i> (izquierda), semillas (Derecha).	32
Figura 5. Pencas de <i>Opuntia ficus-indica</i> .	33
Figura 6. Obtención de coagulante líquido de las semillas de <i>Moringa oleifera</i> , <i>Azadirachta indica</i> y <i>Zea mays</i> .	38
Figura 7. Obtención de coagulante en polvo de la tuna <i>Opuntia ficus-indica</i> .	38

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Comportamiento de la turbidez en tratamiento inicial del Rio Magdalena con coagulantes naturales obtenidos.	43
Gráfico 2. Comportamiento del color en tratamiento inicial del Rio Magdalena con coagulantes naturales obtenidos.	44
Gráfico 3. Disminución de coliformes totales en tratamiento del Rio Magdalena con coagulantes naturales y convencional.	46
Gráfico 4. Disminución de coliformes fecales en tratamiento del Rio Magdalena con coagulantes naturales y convencional.	47
Gráfico 5. Disminución de turbidez en tratamiento del Rio Magdalena con dosis optima de coagulantes naturales y convencional.	49
Gráfico 6. Disminución de color en tratamiento del Rio Magdalena con dosis optima de coagulantes naturales y convencional.	49

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Ficha técnica de preparación de coagulante natural de <i>Moringa oleifera</i> .	60
ANEXO 2. Ficha técnica de preparación de coagulante natural de <i>Azadirachta indica</i> .	61
ANEXO 3. Ficha técnica de preparación de coagulante natural de <i>Zea mays</i> .	62
ANEXO 4. Ficha técnica de preparación de coagulante natural de <i>Opuntia ficus-indica</i> .	63

## RESUMEN

Esta investigación atiende la necesidad de encontrar alternativas viables al problema de la falta de acceso a agua potable; Además de encontrar soluciones en pro de la calidad ambiental y el bienestar de las personas. A través de análisis de calidad de agua se determinó el efecto de sustancias provenientes de *Moringa oleífera*, *Opuntia-ficus-indica*, *Azadirachta indica* y *Zea mays* sobre algunas características físico-químicas y microbiológicas del Rio Magdalena. Se evaluó la actividad coagulante y desinfectante de las sustancias obtenidas mediante prueba de jarras tomando como base los parámetros de turbidez, color pH, coliformes totales y coliformes fecales. En el caso de los parámetro fisicoquímicos, se obtuvo disminuciones de turbidez y color de 96,8% y 97,8% respectivamente al tratar agua proveniente del Rio Magdalena con coagulante natural obtenido de *M. oleífera*, remociones de 70,6% de turbidez y color fue alcanzada al tratar la muestra con *A. indica*. Respecto a la *O. Ficus- indica* se logró la remoción de turbidez en un 65,8% y de color 57,2%, el coagulante obtenido del *Z. Mays* alcanzó reducción de turbidez y color de 60,8% 50,4% respectivamente; cada uno de los tratamientos no presentó cambio significativos de pH. En el caso de los parámetros microbiológicos, para cada una de las sustancias naturales obtenidas, se alcanzaron reducciones significativas de coliformes fecales (CF) y totales (CT). Coagulante obtenido de *A. Indica* indicó reducciones mayores al 99% de CF y CT, disminuciones 93,3% y 95,6% de CF y CT respectivamente en el caso de *M. Oleífera*, El *Z. Mays* alcanzó remoción de CT en un 94,4% y CF 83,6%, la sustancia obtenida de *O. Ficus-indica* logró disminuir en un 67,0% los CT y 90,0% los CF. Finalmente, se trató el agua con el coagulante convencional  $Al_2(SO_4)_3$ , alcanzando disminuciones de turbidez y color del agua del Rio Magdalena de 95,7% y 96,5% respectivamente sin cambios significativos de pH, remociones de CT de 99,5% y 98,4%. Con base a los resultados obtenidos se concluye que el uso de sustancias naturales obtenidas de *Moringa oleífera*, *Opuntia-ficus-indica*, *Azadirachta indica* y *Zea mays* representan una alternativa biológica para el tratamiento del agua del Rio Magdalena.

## 1. PRESENTACION

Las fuentes hídricas son uno de los recursos naturales de gran importancia a nivel mundial debido a sus múltiples usos. Este recurso se ve muy afectado por su fácil exposición a la contaminación y por lo general no cumplen con los niveles mínimos de calidad exigidos para un determinado uso, ya sea para riego o consumo humano.

En los países en vía de desarrollo y subdesarrollados; en comunidades rurales la accesibilidad al agua, ya sea para consumo humano o cualquier otro uso históricamente ha sido limitada.

Según OMS/UNICEF<sup>1</sup> para el año 2015, alrededor del mundo, 663 millones de personas (9%) aún utilizan fuentes no mejoradas de agua potable, incluyendo aguas de superficie, pozos excavados no protegidos y manantiales no protegidos. Además afirma que un 79% de las personas que utilizan fuentes no mejoradas, y un 93% de las que utilizan aguas de superficie, viven en zonas rurales.

A causa de esto, “se calcula que unas 842.000 personas alrededor del mundo mueren cada año de diarrea como consecuencia de la insalubridad del agua y saneamiento insuficiente, y que al menos 1.800 millones de personas utilizan fuentes de abastecimiento de agua para beber que están contaminadas con materias fecales”<sup>2</sup>.

En Colombia, para el año 2014, de la población nacional vigilada y atendida con el suministro, 32,7% de los habitantes no consumieron agua potable, usaron agua segura 12.1%, utilizó agua baja en tratamiento o protección 13.5% y se sirvió de agua cruda 7.3%. En la zona urbana del país el 22,2% de la población vigilada no tuvo agua potable; se abasteció de agua segura el 10,9%, 7,3% tomó agua baja en tratamiento o protección y consumió agua cruda el 4,2%; esta zona presentó un IRCA de 10,1% correspondiente a riesgo bajo. Respecto a la zona rural, el 79% de la población estudiada no consume agua potable; utilizaron agua segura el 17,2%, empleó agua baja en tratamiento y protección 40,7% y recurrió al agua directa de la fuente 21,0%; el IRCA en esta zona fue de 47,7% clasificado como alto<sup>3</sup>.

Las Naciones Unidas<sup>4</sup> destaca no solo la importancia del acceso al agua potable como elemento indispensable para la salud y el bienestar humanos sino también su relación con el desarrollo sostenible, en particular para la integridad del medio ambiente y la erradicación de la pobreza y el hambre.

1. OMS/UNICEF. Progresos en materia de saneamiento y agua potable: informe de actualización 2015 y evaluación del ODM. Estados Unidos: OMS/UNICEF, 2015. P.4; P. 9.

2. OMS. Agua, Nota descriptiva N° 391. [En línea]. <<http://www.who.int/>>. [Citado en 2 de diciembre de 2016]

3. Instituto Nacional de Salud. Estado de vigilancia de la calidad de agua para consumo humano 2014. Colombia: INS, 2015. P.5.

4. Naciones Unidas. Resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas. A/60/158. Medidas adoptadas para organizar las actividades del Decenio Internacional para la Acción, “El agua, fuente de vida”, 2005-2015. 2005. [En línea] <<http://www.un.org/>>. [Citado en 2 de diciembre de 2016]

Partiendo de dicha problemática el ser humano durante muchos años ha buscado la forma de mejorar la calidad de éste recurso a través de la aplicación de coagulantes sintéticos como es el caso del sulfato de aluminio que logren remover la turbiedad y el color en un tratamiento primario; y el uso de sustancias como desinfectante para remover microorganismos patógenos. Estos coagulantes al ser productos químicos y dosificarlos de manera inadecuada, puede convertirse en un riesgo para la salud humana, causando enfermedades como el Alzheimer relacionada con la ingesta de grandes cantidades de sales de aluminio <sup>5</sup>.

Por tanto, la implementación de sustancias naturales provenientes de *Moringa oleífera*, *Azadirachta indica*, *Opuntia ficus-indica* y *Zea mays* en los procesos de tratamiento, ya sea a nivel rural o de planta de tratamiento, se convierte en una alternativa viable para reemplazar completa o parcialmente los compuestos químicos utilizados en las plantas de tratamiento de agua potable y para lograr un tratamiento primario en zonas donde carecen del abastecimiento de este recurso, que a su vez no ocasione problemas ambientales y no atente con la salud humana.

5. SUAY, Loreto y BALLESTER, Ferran. Revisión de los estudios sobre exposición al aluminio y enfermedad de alzheimer. En: Revista Española de Salud Pública. Vol. 76, no. 6 (Noviembre-Diciembre 2002). p. 645-658.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en muchas partes del mundo, principalmente en países subdesarrollados y en vía de desarrollo no cuentan con acceso al agua potable; siendo esto indispensable para el cubrimiento de las necesidades básicas de las personas. Esta situación, y el carecimiento de técnicas convencionales y recursos para adquirir coagulantes sintéticos para el tratamiento de las aguas, obliga a la población a utilizar el recurso sin tratamiento previo de fuentes como los ríos.

Los campesinos localizados en la rivera del Río Magdalena, cuyas aguas recorren gran parte del país y durante su curso recibe grandes aportes de carga orgánica y sedimentos, se abastecen de sus aguas y la emplean para múltiples usos desde el consumo humanos hasta el riego de sus cultivos, lo que ocasiona problemas en la salud de las personas.

En el año 2013, Afirma la Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales<sup>6</sup> que la calidad de potabilización de las aguas del Río Magdalena es muy baja y que los habitantes del 22% de los municipios de la cuenca se enferman a causa de la calidad del agua de dicho río. Además, el 27% de los municipios informan que al menos una de sus plantas de tratamiento de agua se encuentra dañada.

En aquellas regiones donde el acceso al agua potable y saneamiento básico es deficiente, el agua se convierte en un vehículo dispersor de enfermedades que afecta principalmente a los menores de 5 años, quienes son propensos a contraer enfermedades como la enfermedad diarreica aguda<sup>7,8,9,10</sup>.

Por otro lado, a nivel de planta, el uso de coagulantes químicos convencionales de hierro y aluminio genera residuos al tratar el agua con ellos; convirtiéndose también en un riesgo para la salud humana al ser estos productos químicos. Conociéndose que la ingesta de grandes cantidades de sales de aluminio puede causar la enfermedad del Alzheimer.

Afirma Suay y Ballester<sup>11</sup> que existe Riesgo en exposiciones a aluminio en el agua con concentraciones mayores de 0,1 mg/l. Además, los lodos generados del tratamiento con estos insumos al presentar gran cantidad de metales, no pueden

6. Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios. Río Magdalena: Informe Social, Económico y Ambiental. [En línea] <<http://www.procuraduria.gov.co/>>. [Citado en 02/12/2016]

7. Consejo Nacional de Política Económica y Social. Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural. Bogotá: Conpes, 2014. 46 p. (Documento Conpes 3810).

8. OMS. Lucha contra las enfermedades transmitidas por el agua en los hogares. Ginebra: OMS, 2007. P 7.

9. OMS. Ambientes saludables y prevención de enfermedades: hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente. Ginebra: OMS, 2006. P 6.

10. OMS/UNICEF. Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. Water for life: making it happen. Ginebra: OMS y UNICEF, 2005. P. 10.

11. SUAY, Loreto y BALLESTER, Ferran. Revisión de los estudios sobre exposición al aluminio y enfermedad de alzheimer. En: Revista Española de Salud Pública. Vol. 76, no. 6 (Noviembre-Diciembre 2002). p. 645-658.

ser utilizados en la agricultura y generan problemas ambientales por su inadecuada disposición final<sup>12,13</sup>.

**12.** KAGGWA, Rose, et al. The impact of alum discharges on a natural tropical wetland in Uganda. En: Water Res. Vol. 35, no. 3 (Febrero 2001). P. 795-807

**13.** NDABIGENGESERE et al., 1995, citado por CALDERA, Yaxcelys et al. Eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua. En: Boletín del centro de investigaciones biológicas. Vol 41, no. 2 (2007). P. 244-254.

### 3. ESTADO DEL ARTE

Polímeros naturales orgánicos han sido utilizados por más de 2000 años en India, África y China como coagulante y como coadyuvantes de coagulación en aguas con alta turbidez <sup>14</sup>. La efectividad de dichos polímeros ha sido estudiada por numerosos científicos, sin embargo dicha efectividad no ha sido analizada de manera conjunta con distintos parámetros de importancia ambiental.

#### 3.1. *Moringa oleifera*

La actividad coagulante de la *Moringa oleifera* fue estudiada por Asrafuzzaman et al<sup>15</sup> con agua sintética o preparada de alta (100 NTU), media (48 NTU) y baja turbidez (25 NTU). En el agua tratada se encontraron disminuciones de 94.1, 69.37 y 60% respectivamente con dosis óptima de 1 g/l. Para la obtención de dichos resultados, se trabajó con un tiempo de coagulación de 1-3 minutos con una velocidad de 200-250 rpm, de floculación tiempo de 12-15 minutos con 30-40 rpm y una sedimentación durante 20-60 minutos. También evaluó la actividad desinfectante de la semilla de *Moringa oleifera* obteniendo que el coagulante natural logró una reducción de coliformes totales de alrededor del 96%.

Una remoción de turbidez de 84,34% fue obtenida por Melo y Turriago<sup>16</sup> al tratar agua proveniente del Caño Cola de Pato, Acacias-Meta con dosis de 89,5 mg/L extracto de la semilla *Moringa oleifera* con tiempo de mezcla rápida de 2 minutos demostrando una posibilidad viable y eficiente ante la aplicación de este como floculante natural a las fuentes hídricas.

En el mismo estudio se determinó su eficiencia en el tratamiento microbiológico determinando la presencia de microorganismos aerobios, coliformes totales (CT) y fecales (CF) donde se obtuvo una disminución de microorganismos aerobios de 26.5%, mientras que los CT y CF no demostraron reducción significativa.

En un estudio realizado Albuquerque et al<sup>17</sup>, se probó también la actividad desinfectante evaluando la mortandad de coliformes termotolerantes (CTT) en agua del Rio Acaraú, Sobral, Brasil tratada con las semillas de *Moringa oleifera*; Se dosificaron 5 g/l y 10 g/l del extracto coagulante y se obtuvo la mayor disminución de CTT con la concentración de 5 g/l con disminuciones mayores al 90% con tiempo

14. ASRAFUZZAMAN, Md; FAKHRUDDIN., A y ALAMGIR Hossain, Md. Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants. En: International Scholarly Research Network ISRN Microbiology. Vol 2011 (2011). 6 p.

15. Ibid.

16. MELO, Germán y TURRIAGO, Fabio. 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. Villavicencio, 2012, 82 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agroforestal). Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD.

17. ALBUQUERQUE, Renata, et al. Thermotolerant coliform die-off in water treated with *Moringa oleifera* seeds. En: Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas. Vol. 35, no. 2 (Diciembre, 2013). p. 24-29.

de tratamiento variable, siendo el tiempo de 20 minutos el que logró la mayor reducción con un 99,9%; Así mismo, en el caso de la dosis de 10 g/l se muestran disminuciones mayores a 75% en tiempos variables de tratamiento, obteniendo mayor disminución de carga de CTT de 87,4% con un tiempo de 30 minutos de tratamiento.

En otro estudio realizado en Colombia se evaluó la eficiencia de la semilla de *M. Oleífera* con extracción y sin extracción de grasas. Feria et al<sup>18</sup> con muestra de agua del río Sinú encontraron que no es necesario obtener el extracto de grasas para remover turbidez del agua cuando se encuentra entre 200 y 360 NTU, Además se determinó que El pH y la alcalinidad de las muestras tratadas con coagulante natural luego de la aplicación de las dosis no tuvieron cambios significativos, lo que representa una ventaja sobre los coagulantes sintéticos, debido a que no se requiere estabilización de pH.

Cabe destacar que las semillas de *Moringa* han sido no solo estudiadas como coagulante principal sino también como ayudantes de coagulación. En estudios realizados por Núñez<sup>19</sup>, se evaluó el poder coagulante de la semilla de *Moringa oleifera* como coadyuvante o coagulante auxiliar para la remoción de la turbidez en las aguas del rio Neteapa, Maracolí, Honduras; donde se observó que la mayor eficiencia obtenida fue utilizando 14 ppm de Sulfato de Aluminio como coagulante principal (70%) y 30 mg/l de *Moringa oleifera* como el auxiliar (30%), quienes disminuyeron la turbidez de 230 UNT a 2.5 UNT mostrando una eficiencia de 98.91%. También se evaluó la *M. oleifera* como coagulante principal logrando una disminución de 96% con 210 mg de *Moringa*.

La eficiencia de la semilla *Moringa oleifera* para el tratamiento de las aguas ha sido ampliamente estudiada con respecto a la turbidez, pocos estudios agregan el color como parámetro de importancia para su tratamiento.

Rodríguez et al<sup>20</sup> estimó la característica de coagulante de la semilla de *M. oleifera* utilizando el componente activo de dos maneras, en solución de agua y como pasta sólida, para la remoción de la turbidez y el color de las aguas provenientes del Rio Arroyo Arenas, La lisa, Cuba; donde se encontró que para el componente disuelto en agua con una dosis optima de 90 mg/L logro remover la turbiedad de 50 NTU a 4 NTU alcanzando una eficiencia de 92% y en el caso del color consiguió una remoción de 70 UC a 10 UC obteniendo una eficiencia de 85.72%. Mientras que para el componente solido la remoción de la turbiedad solo fue de 50 NTU a 20 NTU

**18.** FERIA, Jhon; BERMÚDEZ., Sixto y ESTRADA, Ana. Eficiencia de la *semilla Moringa Oleífera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. En: Producción + limpia. Vol. 9, no. 1 (Enero, 2014). p. 9-22.

**19.** NÚÑEZ, Eliana. Validación de la efectividad de la semilla de *Moringa oleifera* como coagulante natural del agua, destinada al consumo humano, Morocelí, Honduras. Zamorano, 2007, 36 p. Trabajo de grado (Ingeniera en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente con el Grado Académico de Licenciatura). Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano.

**20.** RODRÍGUEZ, Susana, et al. Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua. En: Revista CENIC. Ciencias Químicas. Vol. 36, no. Especial (2005). 8 p.

eficiencia estimada en un 60% y el color solo se redujo de 70 a 50 UC llegando a una pobre eficiencia de 28.57%; lo que indico que el componente disuelto en agua fue mucho más eficiente que el sólido.

### **3.2. *Opuntia ficus-indica***

En el caso de la tuna *Opuntia ficus-indica* ha sido evaluada su eficiencia como coagulante pero no como desinfectante.

Martínez y González<sup>21</sup> con muestra de agua obtenida del Canal del Dique a la altura de Puerto Badel, corregimiento de Arjona – Bolívar, Colombia, evaluaron el poder coagulante de la Tuna *Opuntia ficus-indica* donde se logró remover la turbidez y el color en porcentajes significativos. Con dosis de 50 mg/l de coagulante y 40 rpm de velocidad de agitación se logró una remoción de 85,75% de turbidez; También se apreció una disminución gradual de la turbidez a medida que aumenta la dosis de coagulante. En el caso del color con una agitación de 40 rpm y una dosis de 90 mg/l, se alcanzó el mayor porcentaje de remoción, siendo este un 57.14%.

En el análisis realizado se logró concluir que se puede lograr una disminución de color y turbidez utilizando solo pequeñas dosis del coagulante natural obtenido de la *Opuntia ficus-indica*; Además que altas velocidades de agitación incrementaron la remoción de impurezas, no obstante las bajas velocidades de agitación generaron flóculos más grandes y compactos. En el caso de un exceso de coagulante (90 mg/l) se saturan las superficies coloidales sin dejar lugar para la formación de puentes interparticulares.

En el mismo año Rani y Jadhav<sup>22</sup>, realizaron estudios para evaluar el poder coagulante de la *Opuntia ficus-indica* utilizando agua sintética preparada con polvillo de caolinita. La mayor remoción antes de filtración fue de 91,14% con una dosis de coagulante obtenido de la *O. Ficus-indica* de 1.3 mg/L, tiempo de coagulación de 1 minuto a una velocidad de 100 rpm, tiempo de floculación de 20 minutos a 35 rpm y de sedimentación de 30 minutos, lográndose una reducción de turbidez de 192 NTU a 17 NTU. Después del proceso de filtración, se logró la reducción hasta 1 NTU siendo este el 99,48% de remoción. En dicho estudio también se manifestó que el componente activo que facilita la coagulación es el ácido galacturónico.

En un estudio realizado por Villabona et al<sup>23</sup>, se evaluó la tuna como coagulante y

**21.** MARTÍNEZ, Jasser y GONZÁLEZ, Luis. Evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas. Cartagena, 2012, 96 p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad de Cartagena.

**22.** RANI, C Y JADHAV, M. Enhancing filtrate quality of turbid water incorporating seeds of *Strychnos potatorum*, pads of *Cactus opuntia* and mucilage extracted from the fruits of *Coccinia indica* as coagulants. En: *Journal of Environmental Research And Development*. Vol. 7, no. 2 (Octubre-Diciembre, 2012). p. 668-674.

**23.** VILLABONA, Angel; PAZ., Isabel y MARTÍNEZ, Jasser. Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. En: *Revista Colombiana de Biotecnología*. Vol. 15, no. 1 (Junio 2013). p. 137-144.

se realizó además la caracterización del tallo y del polvo extraído de esta planta. Consideraron que las sustancias que confieren la actividad coagulante son el ácido poligalacturónico y compuestos algínicos. Además determinaron que la *Opuntia ficus-indica* no genera alteración en el pH del agua y tiene la capacidad de remover en aguas crudas con turbidez inicial alta (171 NTU) un 54% del color y 72% de turbidez, cuando se aplica coagulante en una dosis de 90 mg/l. Además observaron que la remoción del color y de turbidez son directamente proporcionales las dosis de coagulante para las condiciones estudiadas.

Olivero et al<sup>24</sup> también evaluó el efecto coagulante de la Tuna en la remoción de la turbidez en muestra de agua del Río Magdalena obtenida en Gambote, Departamento de Bolívar, Colombia. Se determinó que el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica* es útil como coagulante primario porque removió entre 92,39 y 93,25% de la turbidez del agua sin haber simulado la fase de filtración del proceso de potabilización. Al utilizar una dosis de 40 mg/l de coagulante y una velocidad de agitación de 100 rpm, se logró la mayor reducción de turbidez lográndose remover del agua una turbidez del 93,25%.

### 3.3. *Zea mays*

Respecto al *Zea mays*, se ha estudiado su efectividad en la reducción de la turbidez. Sin embargo, se hace necesario el análisis de color.

Raghuwanshi et al<sup>25</sup> estudio el *Zea mays* como coadyuvante usando agua sintética preparada con arcilla. Con dosis óptima de 15 mg/L de alumbre como coagulante principal y 10 mg/L de *Zea mays* como coadyuvante y tiempos óptimos de coagulación de 2 minutos a 100 rpm, floculación de 8 minutos a 25 rpm y sedimentación de 30 minutos la remoción de la turbidez fue de 100 NTU a 9.8 NTU con eficiencia de 90.2%, antes del filtrado. Luego de 1 hora de filtración la turbidez logro bajar hasta 1.1 NTU. Este estudio también demostró que la utilización del *Zea mays* como coadyuvantes es mucho más efectiva en la remoción que cuando se utilizó el alumbre como único coagulante.

García<sup>26</sup> evaluó la actividad coagulante y antimicrobiana de las semillas de *Zea mays* (Especies maíz rojo y dulce) con dosis de 10 µl en agua turbia sintética previamente preparada con arcilla caolinita con una turbiedad entre 250 y 300 UNT respecto a la sedimentación.

24. OLIVERO, Rafael; MERCADO., Iván y MONTES, Luz. Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. En: Producción + limpia. Vol. 8, no. 1, (2013). p. 19-27.

25. RAGHUWANSHI, Pramod, et al. Improving Filtrate Quality Using Agrobased Materials as Coagulant Aid. En: Water Quality Research Journal of Canada. Vol. 37, no. 4 (2002). p. 745-756.

26. GARCÍA, Beatriz. Metodología de extracción *in situ* de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo. Valencia, 2007, 103 p. Trabajo de grado (Master en Seguridad Industrial y Medioambiente). Universidad Politécnica de Valencia.

En el test de sedimentación se determinó que el coagulante obtenido de las semillas de *Z. mays* permite reducir la turbidez del agua tratada en un rango del 70-75%, respecto del inicial lográndose una sedimentación entorno al 70% tras 60 minutos de sedimentación. Además se logró concluir que las semillas Maíz rojo y Maíz dulce al ser expuestas a una temperatura superior al 85°C, su proteína activa ve afectada parcialmente, en la cual su capacidad disminuye, es decir se desnaturaliza.

También, se encontró que el extracto purificado posee una baja actividad antimicrobiana en el rango de concentraciones estudiadas (0.1-10 µg/mL, 0.2 mg/mL y 0,6 mg/mL). En los test de floculación celular, se observó que las semillas poseen la capacidad de formar agregados celulares sobre las bacterias, característica por la cual podría ser utilizada para la purificación del agua.

### **3.4. *Azadirachta indica***

La actividad coagulante para el tratamiento de las aguas de la semilla de Neem (*Azadirachta indica*) no ha sido estudiada, pero propiedades antimicrobianas (desinfectantes) han sido comprobadas.

Somani et al<sup>27</sup>, evaluaron la efectividad de hierbas naturales en las cuales se encontraba la *Azadirachta indica* para el tratamiento de agua como agente antibacterial frente a *E. Coli*. Se determinó el tiempo de contacto extracto-microorganismo y las concentraciones óptimas de tratamiento encontrando que en 30 minutos de contacto el efecto del tiempo en la eliminación de *E. coli* se encontró máximo. También se indicó que con concentración de extracto de Neem de 1% se logra la mayor la eliminación de *Escherichia coli* determinando que se logra una disminución 71,79% en el uso de Hierbas Neem en el tratamiento.

Tratamiento con extracto de semilla de *A. Indica* en aguas residuales porcinas ubicadas en San José de Bécum, Sonora, México contaminadas con *Salmonella typhi*, fue realizado por Gálvez et al<sup>28</sup>. En dicho estudio encontraron mayor efectividad para concentraciones de 10, 17.5 y 20% del extracto, cuyos resultados mostraron escaso o inhibición total de *S. typhi*. Además se determinó que las aguas residuales producidas por las granjas porcinas pueden ser reutilizadas para riegos de cultivos después de realizar un tratamiento con extracto de *A. Indica*, contribuyendo así a la solución del problema de la escasez de agua.

Así mismo, Joshi y Saju<sup>29</sup>, por medio de diluciones inocularon en un medio selectivo,

**27.** SOMANI, Sunil; INGOLE., Nitin y PATIL, Shirikant. Performance evaluation of natural herbs for antibacterial activity in water purification. En: International Journal of Engineering Science and Technology. Vol. 3, no. 9 (Septiembre 2011). p. 7170-7174.

**28.** GÁLVEZ, R, et al. Tratamiento con extracto de *Azadirachta indica* en aguas residuales porcinas contaminadas con *Salmonella typhi*. En: Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. Vol. 9, no. 1 (2013). p. 62-69.

**29.** JOSHI, Jigar y SAHU, Omprakash. *Azadirachta Indica* Leaves as Antibacterial Treatment on Drinking Water. En: International Journal of Clinical Nutrition. Vol. 2, no. 2 (2014) p. 36-40.

muestras de agua provenientes de un lago, de un río, de agua subterránea y agua de pozo para observar el crecimiento de colonias de E. Coli. Se evaluó el efecto el pH, tiempo y dosis óptimos en la disminución de dicha bacteria. Lograron determinar que el coagulante procedente de *Azadirachta indica*, aceite extraído con etanol muestra una reducción microbiana de 99% en el agua subterránea, en agua de pozo del 98%, 96% de lago y del 95% para el agua del río en dosis mínima de 5 ml/l en 12 horas de tiempo de tratamiento. También encontraron que el costo de su utilización es bajo por lo que se convierte en una alternativa de tratamiento para áreas rurales.

## 4. MARCO TEORICO CONCEPTUAL

### 4.1 Coloides

En 1860, Thomas Graham al estudiar la difusión de sustancias disueltas, notó que ciertas sustancias no se comportaban como un sistema homogéneo denominado solución verdadera, ni como sistemas heterogéneos, cuyas partículas pueden observarse con un microscopio óptico llamadas suspensiones ordinarias; sino que formaban suspensiones que no sedimentaban y al examinarlas en el microscopio por transparencia, parecían sistemas homogéneos. Sin embargo, sus partículas se difunden a una velocidad de unas cien veces menor que la de las moléculas de las disoluciones ordinarias <sup>30</sup>.

Con base a su tamaño han sido definidos como partículas cuyo diámetro varía entre 0,001 y 1  $\mu\text{m}$ , y pueden ser, como dice Rodríguez<sup>31</sup>; orgánicos (proteínas y grasas) o inorgánicos (arcillas). Además de su pequeño tamaño, "los coloides se caracterizan por poseer carga eléctrica, tener un área superficial grande, atravesar los filtros, presentar movimiento browniano, presentar el fenómeno de tyndall, adsorber partículas, flocular y absorber humedad" <sup>32</sup>.

Según su afinidad con el agua pueden ser de dos tipos; coloides hidrofílicos y coloides hidrofóbicos. "En un coloide hidrofílico existe una fuerte atracción entre la fase dispersa y la fase continua (agua). En un coloide hidrofóbico hay una carencia de atracción entre las fases dispersa y continua." <sup>33</sup>.

#### 4.1.1. Estabilidad de los coloides

##### 4.1.1.1. Doble capa eléctrica

La estabilidad de las partículas coloidales se da por la presencia de dos capas eléctricas alrededor de ellas tal como determina Rodríguez<sup>34</sup>; Principalmente, el coloide en su superficie es altamente negativo y debido a esto atrae cargas positivas formando una primera capa denominada Capa de Stern. La segunda capa denominada Capa difusa de Gouy-Chapman está constituida por el resto de iones móviles, hasta la superficie neutra del líquido (Ver figura 1). La doble capa eléctrica actúa repulsivamente y no permite que los coloides se aproximen entre sí lo suficientemente cerca como para unirse.

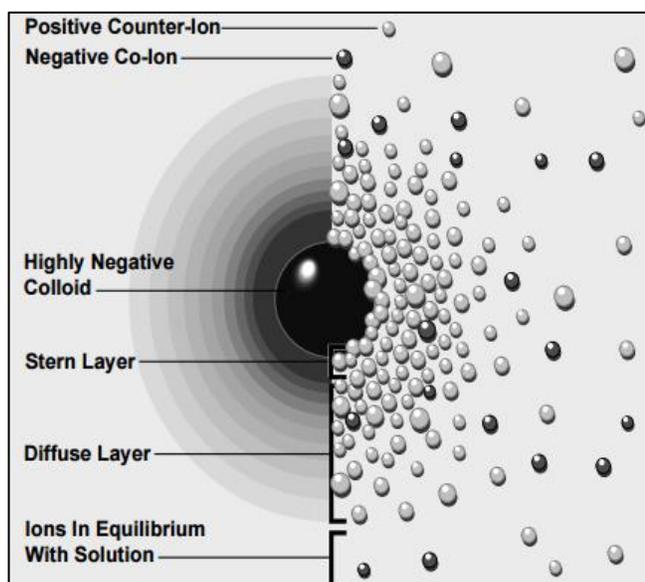
30. GUTIERREZ, Enrique. Química. Barcelona: Reverté S.A, 1985. P. 191.

31. RODRIGUEZ, Carlos. Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable. Sucre, 2008, P 7. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de Sucre.

32. Universidad Nacional Autónoma de México. Química de suelos o química de coloides. [En línea] <<http://www.agricolaunam.org.mx/>> [Citado en 2 de diciembre de 2016].

33. EBBING, Darrell y GAMMON, Steven. Química General. 9na edición. México: Cengage Learning Editores, 2010, P. 509.

34. RODRIGUEZ, Licesio. Sistemas Coloidales en Farmacia: Estabilidad de los sistemas Coloidales. Cap. 5. [En línea] <<http://campus.usal.es/>> [Citado en 2 de diciembre de 2016].



**Figura 1. Doble capa eléctrica de las partículas coloidales**

Fuente: <http://www.zeta-meter.com/5min.pdf>

#### 4.1.1.2. Potencial zeta

El potencial zeta es una medida de estabilidad de las partículas y “físicamente se define como el trabajo necesario para traer la unidad de carga desde el infinito al plano de corte, siendo éste el origen del movimiento de las cargas hacia el polo de carga opuesta cuando se encuentra bajo la acción de un campo eléctrico”<sup>35</sup>.

Esto quiere decir que entre mayor sea el potencial zeta, mayor será la estabilidad de las partículas y por tanto, a mayor potencial zeta, menor grado de desplazamiento de los coloides y las interacciones entre sí. Entonces, para poder remover las partículas coloidales, las fuerzas de atracción deben prevalecer; reduciendo el potencial zeta y de esa manera lograr formar flóculos por colisión de las partículas que faciliten su sedimentación por gravedad.

Una forma de reducir dicho potencial, es “añadiendo iones de carga eléctrica contraria a la de los coloides, lo cual produce un doble efecto: primero, disminución de la carga eléctrica neta del coloide con respecto al resto de la solución y, segundo, aumento de la concentración de iones en la solución, reduciendo la distancia a través de la cual la carga es efectiva. Mientras mayor sea la valencia del ion que se añade, mayor será su poder de coagulación”<sup>36</sup>.

#### 4.1.1.3. Afinidad de los coloides a los contaminantes

Los coloides tienen gran influencia en la química acuática, afirma Manahan<sup>37</sup>. Pues

**35.** AGUILAR, M, et al. Tratamiento físico-químico de aguas residuales: Floculación-Coagulación. Murcia: Universidad de Murcia, 2002, P 26.

**36.** RODRIGUEZ, Carlos. Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable. Sucre, 2008, P 12. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de Sucre.

**37.** MANAHAN, Stanley. Introducción a la Química ambiental. México: Reverté, 2007, P. 78.

tiene la habilidad para transportar varios tipos de contaminantes orgánicos e inorgánicos al quedar estos adheridos o absorbidos a las partículas coloidales. Este transporte es de preocupación, ya que, facilitarían la acumulación de los contaminantes en los sedimentos o ser transportados hasta otros cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

## 4.2. Propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua

### 4.2.1. Turbiedad

La turbiedad o turbidez es una propiedad o efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de los rayos de luz que atraviesan una columna de agua. En el agua es ocasionada por una gran cantidad de materiales en suspensión de diferentes tamaños; tales como las arcillas, algas, minerales, materia orgánica e inorgánica y organismos planctónicos y microorganismos <sup>38</sup>.

Esta propiedad es de gran importancia en aguas para abastecimiento público debido a que en el caso del consumo humano, cualquier valor de turbiedad en el agua produce un rechazo a su consumo y a su utilización en los alimentos. Por otra parte, en los procesos de filtrado al aumentar la turbiedad del agua estos serán más difíciles y sus costos aumentarían. En la desinfección un valor alto de turbiedad es un índice de la posible presencia de materia orgánica y microorganismos lo que ocasiona aumento en la cantidad de cloro u ozono necesario para su eliminación <sup>39</sup>.

Disminuir la turbidez no es solo una cuestión de estética y costos, sino también como afirma Nuñez<sup>40</sup>, es un requisito previo para la desinfección de las aguas con destino al consumo humano garantizando la reducción de enfermedades gastrointestinales.

### 4.2.2. Color

En el agua se puede reconocer dos tipos de color: el color verdadero, que se refiere al generado por sustancias en solución, y el color aparente, que incluye además de las sustancias disueltas, el material en suspensión. Este último tal como dice Sereviche, et al <sup>41</sup>, es causado comúnmente por la hierro y manganeso ya sean en estado coloidal o disuelto, el contacto del agua con residuos orgánicos vegetales en

**38.** ARBOLEDA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. 3ra edición. Colombia: McGraw Hill/ACODAL, 2000. 836 p.

**39.** Universidad de Tamaulipas, 1999. Citado por ORELLANA, Andrea. Línea base de la calidad y cantidad de agua en la microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso, Honduras. Zamorano, 2003, P 12. Trabajo de grado (Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente en el grado académico de licenciatura). Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano.

**40.** NÚÑEZ, Eliana. Validación de la efectividad de la semilla de *Moringa oleifera* como coagulante natural del agua, destinada al consumo humano, Morocelí, Honduras. Zamorano, 2007, 36 p. Trabajo de grado (Ingeniera en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente con el Grado Académico de Licenciatura). Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano.

**41.** SEREVICHE, Carlos; ACEVEDO., Rosa y JAIME, José. Calidad del agua para consumo humano: municipio de Turbaco-Bolivar, norte de Colombia. [En línea] <<http://www.eumed.net/>> [Citado en 2 de diciembre de 2016].

diferentes estados de descomposición y algunos residuos industriales.

La determinación del color es importante para la evaluación de las características del agua, la fuente de esta y la eficiencia del proceso utilizado para su remoción. La remoción se hace esencial en el tratamiento debido a que cualquier grado considerable de color es cuestionado por parte del consumidor <sup>42</sup>. Además la presencia de color sirve como nutriente para microorganismos patógenos lo que afecta la calidad de las aguas.

#### 4.2.3. pH

El pH determina el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia, a través de la concentración de H<sup>+</sup> presentes en ella. Este se encuentra comprendido en rangos que van del 1 al 14; donde unidades iguales a 7 consideran la sustancia como neutra, rangos inferiores a 7 como acida y superiores alcalina.

#### 4.2.4. Coliformes fecales y totales

Los coliformes son considerados como un grupo indicador de la calidad microbiológica, su presencia en el agua indica contaminación procedente de heces fecales, ya sean humanas o animales y por tal razón podrían representar un gran peligro sobre la salud de las personas.

Los coliformes totales son bacilos gram negativos pertenecientes a la familia Enterobacteriaceae en los que encontramos *Escherichia Coli*, *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Klebsiella*, capaces de fermentar la lactosa a 35°C en 48 horas. En el caso de los coliformes fecales encontramos *E. Coli* y *Klebsiella* que la fermentan a 44,5°C en 24 horas <sup>43</sup>.

### 4.3. Tratamiento del agua

#### 4.3.1. Coagulación

La coagulación en el cual se da la desestabilización química de las partículas coloidales a través de la adición de un agente coagulante al agua; quien neutraliza las cargas causantes de la estabilidad de dichas partículas. Estas generan fuerzas de repulsión superficial e impiden su sedimentación por gravedad. La sedimentación natural de las partículas va a depender de su tamaño y naturaleza <sup>44</sup>.

**42.** ROMERO, Jairo. Calidad del agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. 400 p.

**43.** VALENCIA, Hernando. Notas de clase: Manual de prácticas de microbiología básica. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2004. 140 p.

**44.** MELO, Germán y TURRIAGO, Fabio. 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. Villavicencio, 2012, P 39. Trabajo de grado (Ingeniero Agroforestal). Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD.

Cabe destacar que la coagulación es un proceso que se da casi de inmediato donde la desestabilización coloidal se da justo cuando el coagulante empleado hace contacto con el cuerpo de agua y las partículas coloidales, y para que el proceso sea eficiente se necesita que la muestra de agua se mantenga en movimiento con gradientes de velocidad rápidos y tiempos de retención cortos. La coagulación y la floculación van de la mano por tanto un mal proceso de coagulación ocasiona también una mala floculación.

#### 4.3.2. Floculación

La floculación se realiza posterior a la coagulación. Este proceso hidrodinámico consiste en la colisión de las partículas desestabilizadas favoreciendo la agregación entre ellas y logrando formar aglomerados conocidos como flóculos o flocs quienes unidos alcanzan un peso que les permite ser sedimentables por gravedad <sup>45</sup>.

La eficiencia de este proceso está asociada a la formación de flocs bien compactados y de un gran peso para que así su sedimentación se vea facilitada. Esto va a depender principalmente de un buen proceso de coagulación previo, además es necesario que el agua se mantenga en velocidades entre media y baja con el fin de que los flocs formados no se rompan y tiempo de retención considerable de tal forma que se dé una aglomeración total de las partículas.

#### 4.3.3. Importancia del pH en los procesos de coagulación y floculación

El pH es una de las variables más importante a tener en cuenta durante el proceso de coagulación tal como dice Murillo<sup>46</sup> ya que afecta la solubilidad de los precipitados, el tiempo requerido para la formación de los flocs y la carga de las partículas coloidales. Su rango óptimo para la remoción de coloides varía según la naturaleza del agua, pero normalmente cae en pH de 5,0 a 6,5. También afecta la solubilidad de los coagulantes, un pH menor a 7 facilita la eliminación de la materia orgánica con la fácil formación de aglomerados.

Si el pH no se encuentra en un rango óptimo para la coagulación y floculación, la clarificación será mínima. Afirma Domínguez<sup>47</sup> que el pH óptimo esta en relación con la carga, por tanto cuando el pH es neutro la carga es neutra, manejándose un punto isoeléctrico donde el potencial zeta es el mínimo al igual que la dosis de coagulante.

**45.** MELO, Germán y TURRIAGO, Fabio. 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. Villavicencio, 2012, P 39. Trabajo de grado (Ingeniero Agroforestal). Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD.

**46.** MURILLO, Diana. Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada. Pereira, 2011, P 40. Trabajo de grado (Químico Industrial). Universidad Tecnológica de Pereira

**47.** DOMINGUEZ, María. Optimización de la coagulación - floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional Campoalegre – CAJASAN. Bucaramanga, 2010, 100 p. Trabajo de grado (Ingeniero Ambiental). Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

#### 4.3.4. Dosis óptima de coagulante

Es la cantidad de coagulante necesaria para la mayor remoción de turbiedad y color del agua, a través de la formación de flocs aglomerados y compactados que sedimentan con mayor facilidad. Esta puede ser determinada a través de un equipo de pruebas de jarras en el laboratorio.

La dosis de coagulante está relacionada estrechamente con el rango de pH en el que la dosis se mueve; la dosis es directamente proporcional al rango de pH <sup>48</sup>. Cabe señalar, que si no se tiene en cuenta la dosis optima y se produce una sobredosificación, los coloides negativos podrían revertirse y restituirse causando nuevamente problemas de turbiedad o color <sup>49</sup>.

Una dosificación de coagulante mayor al optimo, ocasiona que la superficie de los flóculos formados adquieran cargas positivas y por consiguiente un potencial zeta positivo ocasionando que los flocs se dispersen. Mientras que con una dosificación menor, las cargas de las partículas coloidales no son neutralizadas por completo y la formación de aglomerados no son suficientes para lograr una sedimentación.

#### 4.3.5. Tiempo óptimo de floculación

Este determina el tiempo de retención necesario que tendrá la mezcla de coagulante y agua para aglomerar los flóculos de manera más eficiente.

“La velocidad de aglomeración de las partículas coloidales es proporcional al tiempo de mezcla lenta” <sup>50</sup>; lo que hace que no se produzcan resultados exitosos con tiempos de retención que estén por encima o por debajo del óptimo.

#### 4.3.6. Velocidad óptima de agitación en coagulación y floculación

“La determinación de una coagulación completa se produce cuando el grado de agitación de la muestra es uniforme e intensa en toda la masa de agua, con el fin de asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido correcta y se hayan producido las diferentes reacciones químicas de neutralización de las partículas” <sup>51</sup>.

Durante los procesos de coagulación y floculación se producen dos tipos de mezclas o velocidades:

**48.** DOMINGUEZ, María. Optimización de la coagulación - floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional Campoalegre – CAJASAN. Bucaramanga, 2010, 100 p. Trabajo de grado (Ingeniero Ambiental). Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

**49.** ROMERO, Jairo. Calidad del agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. 400 p.

**50.** DOMINGUEZ, María. Optimización de la coagulación - floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional Campoalegre – CAJASAN. Bucaramanga, 2010, 100 p. Trabajo de grado (Ingeniero Ambiental). Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

**51.** ANDIA, Yolanda. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación. Lima: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima – Sedapal, 2000. 44 p.

La primera es la mezcla rápida, esta se realiza durante la coagulación y busca dispersar el coagulante en el agua de tal forma que entre en contacto efectivo con las partículas coloidales. En este proceso, el tiempo de retención es menor de 8 segundos.

La segunda es la mezcla lenta, realizada durante la floculación y tiene como objeto la formación de los flocs. De esta velocidad depende la fuerza de los coloides para permanecer unidos entre sí. En este proceso es importante mantener una velocidad adecuada (menor a la de coagulación) de tal forma que los flóculos que se formen no tiendan a quebrarse.

#### 4.3.7. Coagulantes

Los coagulantes son aquellas sustancias encargadas de la desestabilización de las partículas coloidales, quienes facilitan así la remoción de la turbiedad y el color de las aguas.

##### 4.3.7.1. Coagulantes convencionales

Los coagulantes convencionales comprenden sustancias metálicas, poliméricas o polielectrolitos. Sin embargo, las sustancias metálicas son los más utilizados en la actualidad. Los coagulantes metálicos se clasifican en dos categorías: los creados a base de aluminio y los basados en hierro.

Se destacan el sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso y cloruro férrico. El sulfato de aluminio es el coagulante con mayor uso en el tratamiento del agua potable, tiene su mayor efectividad en intervalos de pH entre 6 y 8 y produce flocs pequeños que logran ser removido con mucha facilidad. La inhalación de este producto en grandes cantidades puede ser nociva, en cantidades elevadas es toxico para la vida acuática; además que causa alergias en los ojos <sup>52</sup>.

##### 4.3.7.2. Coagulantes naturales

Son sustancias de origen vegetal que suelen ser solubles en agua. Afirman Martínez y González<sup>53</sup> que por lo general presentan una nula toxicidad, poseen propiedades aglomerantes similares a los coagulantes sintéticos y que a diferencia de estos tienen una alta efectividad para aguas con una baja turbidez al igual que para aguas industriales.

Muchos de estos coagulantes poseen características antimicrobianas, ayudando a la eliminación o reducción de microorganismos patógenos capaces de producir

**52.** MARTÍNEZ, Jasser y GONZÁLEZ, Luis. Evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas. Cartagena, 2012, P 41. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad de Cartagena.

**53.** Ibid. P 44.

enfermedades. Además, su origen natural les permite ser inofensivos para el ser humano, y los lodos producidos pueden ser utilizados en la agricultura por su gran biodegradabilidad <sup>54</sup>.

#### 4.3.7.2.1. *Moringa oleífera*

La *Moringa oleífera* (Ver figura 2) “fue en su origen un árbol ornamental de Sudán, plantado durante la ocupación británica. *Moringaceae* es el nombre de la familia de plantas que engloba a más de 14 especies conocidas, endémicas de los países africanos, Madagascar, Arabia y la India. La mitad de ellas son relativamente comunes en la actualidad y son esporádicamente cultivadas, aunque solo la *Moringa oleífera*, es cultivada en toda el área tropical”<sup>55</sup>.



**Figura 2. Árbol *Moringa oleífera* (izquierda) y semillas (derecha)<sup>56</sup>**

“Este árbol puede cosecharse durante épocas secas, pues tiene la facultad de soportar extensos periodos de sequía y de viento fuerte. Puede ser propagado por medio de semillas o por reproducción asexual” <sup>57</sup>.

Es rico en vitaminas, minerales y oligoelementos en los que encontramos: Agua, proteínas, carbohidratos, calcio, potasio, cobre, manganeso, fósforo, hierro, vitamina A, B, B, B1, B2, B3, D, E, K, P. También es rico en aminoácidos como la tirosina y fenilalanina <sup>58</sup>.

**54.** GARCÍA, Beatriz. Metodología de extracción *in situ* de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo. Valencia, 2007, P 11. Trabajo de grado (Master en Seguridad Industrial y Medioambiente). Universidad Politécnica de Valencia.

**55.** *Ibid.* P 12.

**56.** *Ibid.* P 13.

**57.** FOLKARD, Geoff y SUTHERLAND, Jhon. *Moringa oleifera* un árbol con enormes potencialidades. Citado por GARCÍA, Beatriz. Metodología de extracción *in situ* de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo. Valencia, 2007, P 12. Trabajo de grado (Master en Seguridad Industrial y Medioambiente). Universidad Politécnica de Valencia.

**58.** BRUHNS, Erwin. *Moringa oleifera* El “árbol del maravilloso” del Ajurveda: Salud natural para su vida. Alemania: E-book, 2011. 60 p.

La *M. Oleifera* tiene numerosos usos en los que se encuentran:

- “Legumbre: Las vainas verdes, las hojas, flores y las semillas asadas son comestibles y altamente nutritivas.
- Aceite: Las semillas contienen un 40% de aceite muy rico en tocofenoles. Se usa para cocinar, para fabricar jabones, cosméticos y como combustible de lámparas.
- Coagulante para el tratamiento del agua: Debido a sus actividades como coagulante, antibióticas y antifúngicas.
- Medicina: Es ampliamente utilizado en la medicina tradicional debido a sus propiedades antiinflamatorias, hepatoprotectoras, antihipertensivas y antitumorales. La semilla molida se usa como ungüento para tratar infecciones bacteriales comunes de la piel.
- Forraje para ganado y fertilizante de suelo.
- Barreras vegetales y como rompevientos.
- Agroforestería.
- Fabricación de papel”<sup>59</sup>.

#### 4.3.7.2.2. *Azadirachta indica*

La *Azadirachta indica* (Ver figura 3) “es un árbol procedente del sur de Asia, en donde crece en los bosques naturales de las regiones más secas; y del sur de la India. También fue introducido en Estados Unidos y en varios países sudamericanos como Argentina, Brasil y Chile”<sup>60</sup>. Pertenece a la familia *Meliaceae* en el que se encuentran 51 géneros de los cuales se derivan 575 especies.



**Figura 3. Árbol *Azadirachta indica* (izquierda), semillas (superior) y flores (inferior derecha)<sup>61</sup>.**

**60.** PORCUNA, J. Aceite de Neem: *Azadirachtina*. [En línea]. <<http://www.agroecologia.net/>>. [Citado en 2 de diciembre de 2016].

**61.** SANCHEZ, José. Guía de las plantas ornamentales. España.: MP, 2001. 685 p.

Es rico en “Proteínas, terpenos (Azadirachtina, azadiractanina, nimbina, azaridona en las semillas, azadiractor en los frutos, nimbinina, nimbinona en la corteza del tallo y vilasanina en las hojas), ácidos grasos (Araquidíco, behénico, linoleico, mirístico, oleico, palmítico, esteárico en los frutos), minerales (Calcio, Magnesio, Fosforo en los frutos, Azufre en las semillas), taninos en la corteza del tallo, curaminas (escopoletina), flavonoides (Rutina en hojas, quercetina en flores y hojas, kaempferol y miricitina en las flores) y grasa”<sup>62</sup>.

La *A. Indica* tiene numerosos usos en los que se encuentran:

- “Medicina: Enfermedades de la piel, Purgativo, Astringente, Diabetes, Cancer, Gusanos intestinales.
- Industria: Insecticida, producto de belleza natural.
- Regenerador de suelos.
- Abono.
- Comida para los animales”<sup>63</sup>.

#### 4.3.7.2.3. *Zea mays*

El *Zea mays* (Ver figura 4) “es clasificado como del Nuevo Mundo porque su centro de origen está en América. Es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Perteneció a la familia de las Poáceas (Gramíneas) y es la única especie cultivada de este género”<sup>64</sup>.



**Figura 4. Plantación de *Zea mays* (izquierda) 65, semillas (Derecha)**

Fuente: <http://www.agroforum.pe/>

**62.** Botanical-Online SL. Propiedades del Nim (*Azadirachta indica*). [En línea]. <<http://www.botanical-online.com/>> [Citado en 2 de diciembre de 2016].

**63.** Botanical-Online SL. Propiedades del Nim (*Azadirachta indica*). [En línea]. <<http://www.botanical-online.com/>> [Citado en 2 de diciembre de 2016].

**64.** BONILLA, Nevio. Curso producción de semilla de maíz. San José: INTA, 2008 P. 3.

**65.** MUÑOZ, Ana. Maíz: *Zea mays*. [En línea] <<http://www.cepvi.com/>> [Citado en 2 de diciembre de 2016].

Su composición química difiere por diversos factores, como la variedad, localización geográfica y las condiciones de clima <sup>66</sup>. Su grano contiene carbohidratos (86%), proteínas (9%), aceite (3%) y fibra (2%) <sup>67</sup>.

Su principal uso es el alimentario. El *Zea mays* es altamente utilizado en la gastronomía en granos, harinas y aceites.

También, tiene usos medicinales. Por ejemplo los estilos del maíz se usan en casos de cálculos y arenillas renales, nefritis, cistitis, gota, ya que estimulan la eliminación de ácido úrico y son diuréticos. Además trata edemas de origen cardiaco, hidropesía. El aceite del gemen de maíz es utilizado para la arteromatosis y la cataplasma de harina de maíz se usa para tratar edemas, úlceras, tumores y dolores reumáticos <sup>68</sup>.

En el lado ambiental, aunque ha sido poco estudiado, se ha demostrado que sus semillas tienen actividad coagulante y resultan efectivas en la remoción de la turbidez del agua <sup>69</sup>.

#### 4.3.7.2.4. *Opuntia ficus-indica*

La tuna *opuntia ficus-indica* (Ver figura 5) “es una planta perteneciente a la familia Cactaceae originaria de américa y la conforman 98 géneros y más de 1500 especies” <sup>70</sup>.



**Figura 5. Pencas de *Opuntia ficus-indica***

Fuente: [www.botanical-online.com](http://www.botanical-online.com)

**66.** LOPEZ, Sylvia; GARCIA., Gilberto e IBARRA, Brenda. El maíz (*Zea mays L.*) y la cultura maya. En: Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. Vol. XIV, no. 3 (2012) p. 3-8.

**67.** BONILLA, Nevio. Curso producción de semilla de maíz. San José: INTA, 2008 P. 6.

**68.** MUÑOZ, Ana. Maíz: *Zea mays*. [En línea] <<http://www.cepvi.com/>> [Citado en 2 de diciembre de 2016].

**69.** RAGHUWANSHI, Pramod, et al. Improving Filtrate Quality Using Agrobased Materials as Coagulant Aid. En: Water Quality Research Journal of Canada. Vol. 37, no. 4 (2002). p. 745-756.

**70.** OLIVERO, Rafael; MERCADO., Iván y MONTES, Luz. Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. En: Producción + limpia. Vol. 8, no. 1 (2013). p. 19-27.

“El género *Opuntia* generalmente se localizan en zonas áridas y semi áridas. Son capaces de soportar escasez de agua y temperaturas variadas, ya que, en sus tejidos almacenan y conservan agua. Sus tallos son cladodios o pencas, con formas de raqueta ovoide o alargada” <sup>71</sup>.

Sus pencas, dependiendo a la temperatura, condiciones de humedad y manejo del cultivo, contienen porcentajes de carbohidratos en los que encontramos L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico. El contenido de los carbohidratos puede variar entre 3,78 a 8,5 % según la especie de *Opuntia* <sup>72</sup>.

La tuna es usada principalmente en el campo de la medicina. Popularmente se conoce debido a que sirve para tratar la diabetes, colesterol y por ser utilizado como cicatrizante.

En el punto de vista ambiental, las pencas que la *Opuntia ficus-indica* ha sido utilizada para producir coagulantes para el tratamiento de las aguas obteniendo disminuciones de color y turbidez <sup>73.74</sup>.

**71.** SAENZ, Carmen, et al. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 162. Roma: FAO, 2006. [En línea] <<http://www.fao.org/>> [Citado en 2 de diciembre de 2016].

**72.** NAZARENO, Mónica y PADRON, Carlos. Nuevas tecnologías desarrolladas para el aprovechamiento de las cactáceas en la elaboración de alimentos: Componentes funcionales y propiedades antioxidantes. En: Revista venezolana de Ciencia y Tecnología de alimentos. Vol. 2, no. 1 (Enero-Junio 2011) p. 202-238.

**73.** MARTÍNEZ, Jasser y GONZÁLEZ, Luis. Evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas. Cartagena, 2012, 96 p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad de Cartagena.

**74.** VILLABONA, Angel; PAZ., Isabel y MARTÍNEZ, Jasser. Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. En: Revista Colombiana de Biotecnología. Vol. 15, no. 1 (Junio 2013). p. 137-144.

## 5. JUSTIFICACION

La implementación de técnicas no convencionales para el tratamiento del agua del Rio Magdalena tales como los extractos naturales obtenidos de algunas plantas que crecen cerca de estas poblaciones como son: *Moringa oleifera*, *Opuntia-ficus-indica*, *Azadirachta indica* y *Zea mays*, resultaría una alternativa viable para el mejoramiento de la calidad de vida de comunidades con problemas de saneamiento y acceso agua potable, donde hay nula o pocas posibilidades de acceder a tecnologías convencionales.

El uso de estas sustancias además de mejorar la calidad de vida de poblaciones vulnerables, puede direccionarse a nivel de planta de tratamiento como coagulante principal o coadyuvante. Esto implicaría la generación de lodos orgánicos que pueden ser reutilizados como fertilizante y no presentan impacto al ambiente; en comparación con los lodos generados en el tratamiento con productos sintéticos de aluminio y hierro que generan lodos con contenidos de estos metales. Además, la producción de estos coagulantes en comparación con los coagulantes sintéticos, representa menos costos de energía.

En los países en desarrollo, es importante implementar tratamiento de aguas como el uso de sustancias naturales que resulten ser innovadoras, eficaces, sostenibles, económicas, fiables y fáciles de manejar, con el fin que su aplicación sea lo menos complicada posible y de esta forma permitir el acceso de agua de calidad a poblaciones vulnerables; Además su origen natural, garantiza la inocuidad para el ser humano.

La aplicación de dicha sustancias no solo puede ir dirigida a las zonas más vulnerables de los países en vías de desarrollo, sino también a potabilización convencional y al tratamiento de aguas residuales.

Así, el uso de sustancias naturales de *Moringa oleifera*, *Opuntia ficus-indica*, *Azadirachta indica* y *Zea mays* para el tratamiento del agua resulta ser una alternativa socialmente justa, económicamente viable y ambientalmente sostenible.

## 6. OBJETIVOS

### 6.1. General

Determinar el efecto de sustancias provenientes de *Moringa oleífera*, *Opuntia-ficus-indica*, *Azadirachta indica* y *Zea mays* sobre algunas características de calidad de agua del Río Magdalena.

### 6.2. Específicos

- Obtener el material coagulante de las semillas de *Moringa Oleifera*, *Opuntia-ficus-indica*, *Azadirachta indica* y *Zea mays*.
- Evaluar el efecto coagulante sobre Turbidez, color y pH del agua del río Magdalena.
- Evaluar el efecto desinfectante sobre coliformes fecales y totales del agua del río Magdalena.
- Diseñar una guía técnica para utilización de coagulantes naturales como alternativa de tratamiento de aguas.

## 7. DISEÑO METODOLOGICO

### 7.1. Selección de materia prima

Las semillas y la tuna usada en la presente investigación se seleccionaron teniendo en cuenta que se hayan utilizado en estudios previos, que sean plantas comunes y de fácil adquisición y su composición bioquímica; principalmente las proteínas, ya que estudios previos sobre coagulantes naturales indican que dichos compuestos están relacionados con la actividad coagulante. Tal es el caso de la *Moringa oleifera* cuyo compuesto activo es una proteína<sup>75</sup>.

### 7.2. Obtención de coagulantes naturales

#### 7.2.1. Extracción del compuesto activo de las semillas de *Moringa oleifera*, *Azadirachta indica* y *Zea mays* para la obtención de coagulante líquido

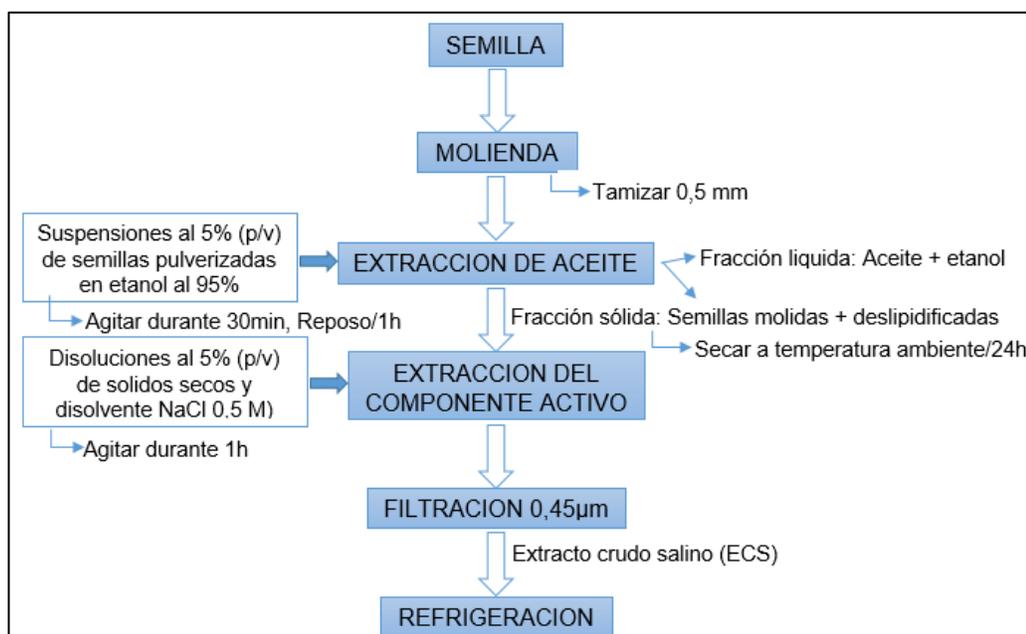
Con ayuda de un mortero se realiza la trituration o molienda de las semillas y se tamizan a continuación empleando una luz de malla de 0,5 mm. Seguidamente se procede a la extracción del aceite de las semillas preparando suspensiones al 5 % (p/v) de semillas pulverizadas en etanol, se agita durante 30 minutos y se deja en reposo durante 1 hora. Una vez transcurrido ese tiempo se elimina el sobrenadante utilizando una pipeta, y la fracción de sólidos resultante se deja secar a temperatura ambiente durante 24 horas.

Luego, se procede a la extracción del componente activo de las semillas. Para ello, se preparan disoluciones al 5 % (p/v) compuestas por los sólidos secos y con el disolvente NaCl 0,5 M. Dichas disoluciones se agitan durante 1 hora, y una vez transcurrido ese tiempo, se filtran en un filtro de tela obteniendo el extracto crudo salino con acción coagulante (Ver figura 6).

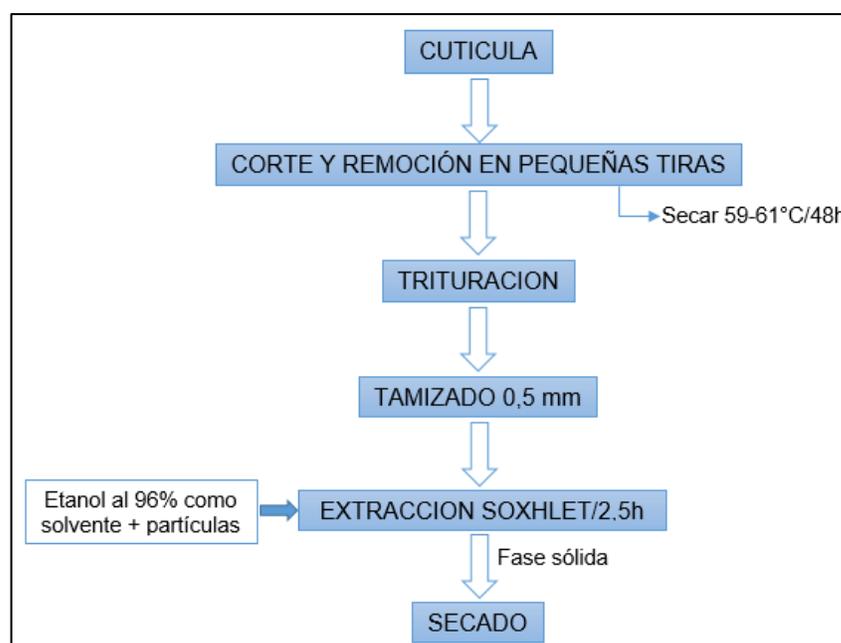
#### 7.2.2. Extracción del compuesto activo de la tuna *Opuntia ficus-indica* para la obtención de coagulante en polvo

Las cutículas de los tallos de la tuna, se cortan y remueven en pequeñas tiras con el fin de secarlas a una temperatura de 59-61°C durante 48 horas. Luego de transcurrido dicho tiempo, con ayuda de un mortero, se trituran las tiras y se tamizan con una luz de maya de 0,5 mm. Una vez obtenidas partículas finas de la tuna, se procede a realizar extracción de soxhlet con etanol al 96% como solvente con el fin de eliminar la clorofila y otros pigmentos presentes en el material triturado durante 2,5 horas. Finalmente, se seca a temperatura ambiente (Ver figura 7).

75. NDABIGENGESERE et al., 1995, citado por CALDERA, Yaxcelys et al. Eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua. En: Boletín del centro de investigaciones biológicas. Vol 41, no. 2 (2007). P. 244-254.



**Figura 6. Obtención de coagulante líquido de las semillas de *Moringa oleifera*, *Azadirachta indica* y *Zea mays*.**  
Basado en García<sup>76</sup>.



**Figura 7. Obtención de coagulante en polvo de la tuna *Opuntia ficus-indica*.**  
Basado en Martínez y González<sup>77</sup>.

76. GARCÍA, Beatriz. Metodología de extracción *in situ* de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo. Valencia, 2007, 103 p. Trabajo de grado (Master en Seguridad Industrial y Medioambiente). Universidad Politécnica de Valencia.

77. MARTÍNEZ, Jasser y GONZÁLEZ, Luis. Evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas. Cartagena, 2012, 96 p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad de Cartagena

### 7.3. Obtención de la muestra de agua

Las muestras de agua del Rio Magdalena se obtuvieron en la población Villa Palermo en el departamento del Atlántico por muestreo azar simple a profundidad somera. Se tomaron cuatro (4) muestras en distintas épocas del año 2016.

### 7.4. Tratamiento del agua

Con el fin de determinar si el efluente podía ser tratado de manera rentable y con la eficiencia deseada mediante el tratamiento coagulación-floculación-sedimentación, se optó por la simulación de una planta de tratamiento a escala de laboratorio conocido como prueba de jarras con 600 ml de muestra, donde se estableció dosis óptima de coagulante, tiempo y velocidad óptima de floculación para el agua proveniente del Rio Magdalena.

#### 7.4.1. Tratamiento inicial – Actividad coagulante

Se trabajaron principalmente con once (11) dosis de coagulantes naturales provenientes de *Moringa oleífera*, *Azadirachta indica*, *Zea mays* y *Opuntia ficus-indica*; 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.5, 2, 2.5 g/L. Esto con el fin de obtener las tres (3) dosis que presenten mejor actividad respecto a la reducción de parámetros físicos de turbidez y color, sin alteración significativa del pH del agua. En esta fase se trabajó con un tiempo de coagulación de 10 segundos con mezcla rápida de 120 rpm, floculación de 20 minutos a 45 rpm y sedimentación de 15 minutos.

También se evaluó la actividad del coagulante convencional sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) con la dosis comúnmente utilizada; 0,02 g/L con las mismas condiciones de coagulación, floculación y sedimentación.

#### 7.4.2. Actividad desinfectante

Para evaluar la actividad desinfectante de las sustancias obtenidas de *Moringa oleífera*, *Azadirachta indica*, *Zea mays* y *Opuntia ficus-indica*; se utilizaron las (3) dosis de mejor actividad en el tratamiento inicial respecto a parámetros físico-químicos y se determinó la mejor dosis respecto a la reducción de coliformes totales y fecales

### 7.4.3. Optimización del tratamiento – Actividad coagulante

Una vez culminado el tratamiento inicial y seleccionadas las tres (3) dosis, se varió el tiempo y velocidad de floculación con la finalidad de obtener la dosis óptima de coagulante natural para el tratamiento del agua del Río Magdalena. Se trabajó con tiempos adicionales de 30 y 40 minutos, velocidades de 35 y 55 rpm, y sedimentación de 15 minutos.

### 7.5. Evaluación de parámetros físico químicos y microbiológicos

Con el fin de determinar la dosis óptima de coagulante, se optó por evaluar antes y después del tratamiento los parámetros de turbidez, color, pH, coliformes fecales y totales con los métodos establecidos en la tabla 1.

**Tabla 1. Métodos analíticos para la evaluación de parámetros de calidad de agua del Río Magdalena**

Parámetro	Unidad	Método
Turbidez	NTU	Nefelométrico
Color	UPC	Espectrofotométrico <sup>78</sup>
pH	Unidades	Potenciométrico
Coliformes totales y fecales	NMP/100 ml	Tubos múltiples de fermentación <sup>79</sup>

La efectividad de la actividad coagulante y desinfectante de las sustancias obtenidas en el tratamiento del agua del Río Magdalena, fue evaluada a partir de la reducción de los valores de los parámetros físico-químicos y microbiológicos obtenidos antes y después del tratamiento.

**78.** Am Public Health ASN. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edición 20. Part 2000. Washington, D.C: American Public Health Association, 1999. 1220 p.

**79.** Ibid. Part 9000.

## 8. DESARROLLO DEL PROYECTO

La realización del proyecto se llevó a cabo durante nueve (9) meses a través de las actividades consignadas en la tabla 2.

**Tabla 2. Cronograma de actividades**

Actividad	Mes								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Obtención de coagulantes	■								
Toma de muestras		■	■	■	■				
Recolección de datos (Análisis de laboratorio)		■	■	■	■				
Procesamiento y análisis de datos						■	■		
Redacción, revisión y corrección del borrador							■	■	
Presentación informe final									■

## 9. RESULTADOS Y DISCUSION

### 9.1. Estado del Rio Magdalena

El estado inicial de las muestras tomadas del Rio Magdalena en época de verano e invierno indican que el cuerpo de agua presenta valores altos de turbidez y color; con una alta carga contaminante de coliformes totales y fecales (Ver tabla 3); mostrando mayores resultados en época invernal.

La calidad de agua que presenta el Rio Magdalena, puede ocasionar que la población adquiera enfermedades transmitidas por el agua que según la Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios, representa el 22% de los habitantes de los municipios de la cuenca del Rio <sup>80</sup>.

#### Estado del Rio Magdalena

Parámetro	Unidad	Valor promedio	Valor máximo	Valor mínimo
Turbidez	NTU	126,6	179	92
Color	UPC	2225,4	3343,5	1548,5
pH	Unidades	N.A	8,5	7,4
Coliformes Totales	NMP/100 ml	7275,0	16000,0	1700,0
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2495,0	9200,0	210

N.A - No es correcto realizar promedio en los valores de pH debido a que son magnitudes exponenciales

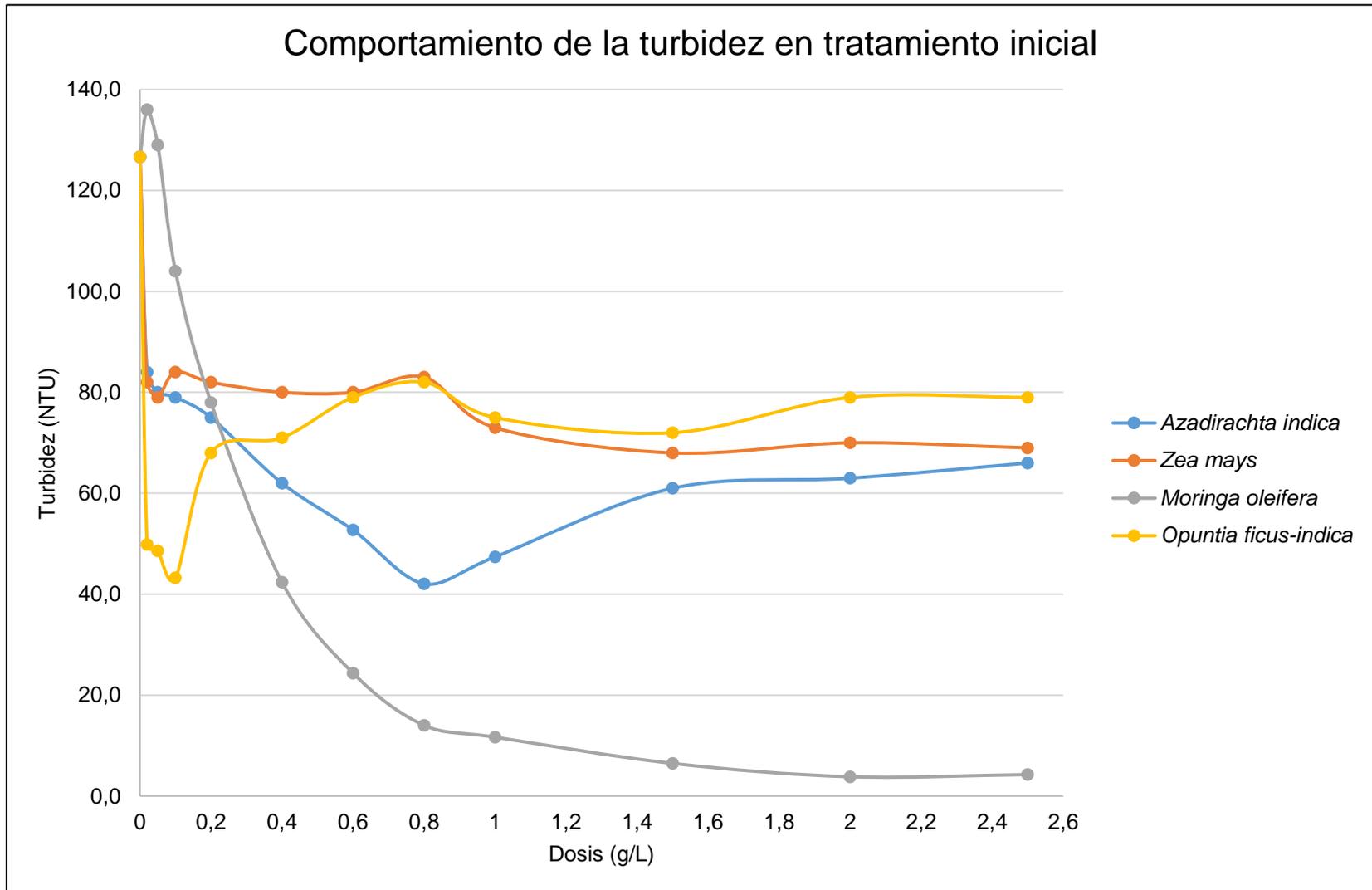
### 9.2. Tratamiento inicial – Actividad coagulante

En la fase inicial del tratamiento; con un tiempo de coagulación de 10 segundos a una velocidad de mezcla de 120 rpm, floculación de 20 minutos a 45 rpm y sedimentación de 15 minutos, se observó que las sustancias obtenidas de las semillas de *Moringa oleífera*, *Azadirachta indica*, *Zea mays* y el nopal *Opuntia ficus-indica* presentan actividades coagulantes.

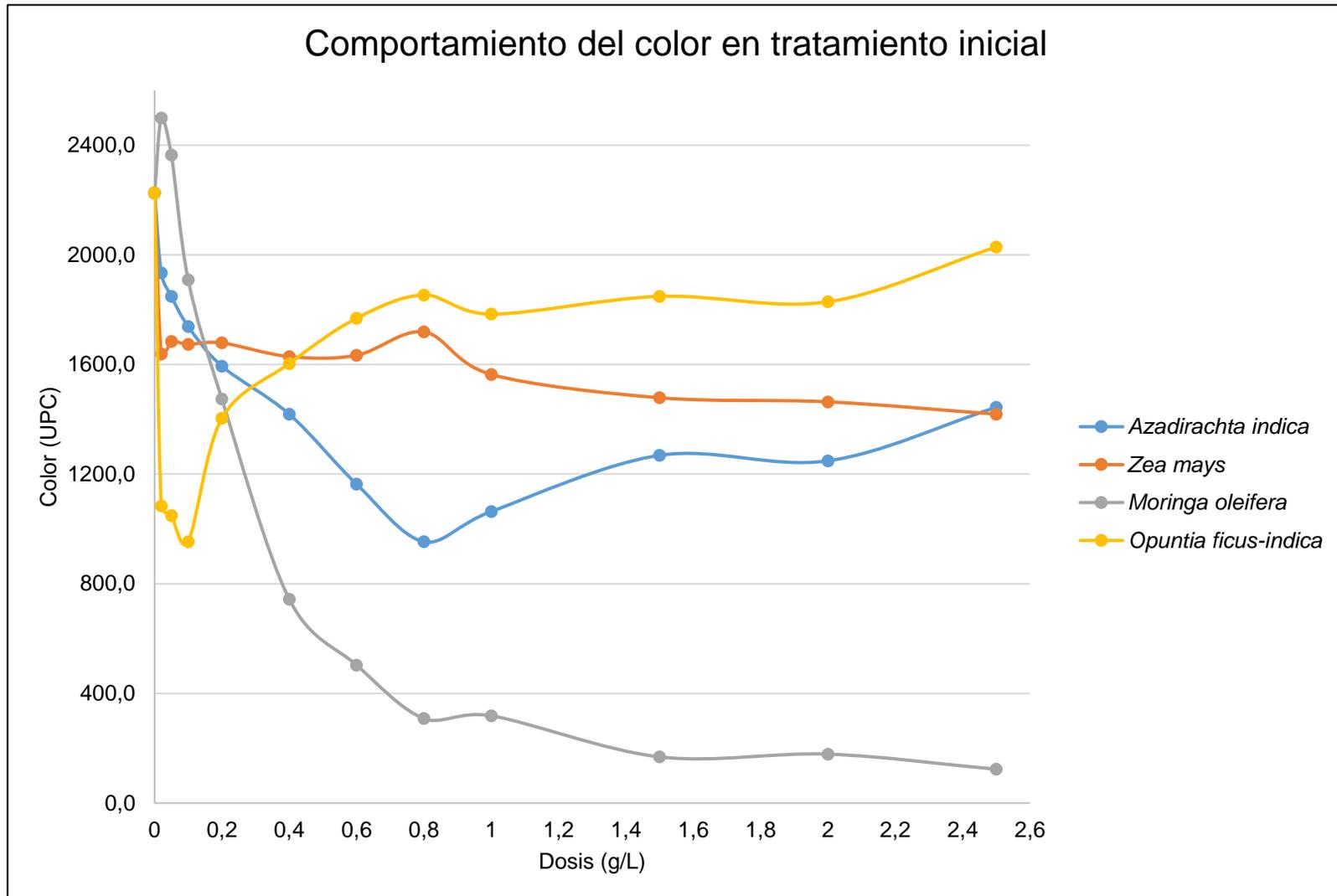
La *M. Oleífera* mostró en esta fase, disminuciones mayores al 95% en el caso de la turbidez y alrededor del 92% de color con dosis de 1.5, 2 y 2,5 g/L. El coagulante obtenido de *O. Ficus-infica*, con dosis de 0.02, 0.05 y 0,1 g/L logró disminuciones de 51.3, 52.9 y 57,2% de color respectivamente y de turbidez de alrededor del 62%.

En el caso de la *A. Indica*, alcanzó reducciones en turbidez de 58.4, 66.8 y 62.6%; así como reducciones en color de 47.7, 57.2 y 52.2% con dosis de 0.6, 0.8 y 1 g/L respectivamente. Respecto al coagulante natural obtenido del *Z. Mays* logró disminuciones de turbidez de aproximadamente 45% y de color de 35% con dosis de 1.5, 2 y 2,5 g/L (Ver gráfico 1 y 2). Cada uno de los tratamientos realizados no mostraron alteración significativa en el pH del agua.

<sup>80</sup>. Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios. Rio Magdalena: Informe Social, Económico y Ambiental. [En línea] <<http://www.procuraduria.gov.co/>>. [Citado en 19/12/2016]



**Gráfico 1. Comportamiento de la turbidez en tratamiento inicial del Rio Magdalena con coagulantes naturales obtenidos.**



**Gráfico 2. Comportamiento del color en tratamiento inicial del Rio Magdalena con coagulantes naturales obtenidos.**

### 9.3. Actividad desinfectante

De las tres (3) dosis obtenidas del tratamiento inicial, se evaluó la actividad desinfectante de las sustancias naturales obteniendo resultados significativos en reducción de coliformes fecales y totales al tratar el agua del Río Magdalena con cada uno de ellas.

La *Azadirachta Indica* con 0,8 g/L obtuvo disminuciones de 99,4% y de 99,2% de coliformes totales y fecales respectivamente; reducción mayor respecto a coliformes totales al obtenido por Joshi y Saju<sup>81</sup> el cual alcanzaron reducciones de 95% en agua de río al tratarlo con un tiempo de 12 horas; mientras que el tratamiento realizado en el presente proyecto solo fue de 20 minutos. En el caso de los coliformes fecales, Somani et al<sup>82</sup> en tratamiento con 1% de extracto de *A. Indica* durante 30 minutos, alcanzó 71,79% de remoción; resultado menor al obtenido en el tratamiento del Río Magdalena del presente proyecto.

Respecto a la sustancia obtenida de *Zea Mays*, logró disminuir en un 94,4% los coliformes totales y en un 83,6% los fecales con una concentración de 2,5 g/L; tal como afirmó García<sup>83</sup> en test de floculación celular, que las semillas poseen la capacidad de formar agregados celulares sobre las bacterias, característica por la cual podría ser utilizada para la purificación del agua.

La *M. Oleifera* alcanzó una disminución de coliformes totales en un 83,5% y de coliformes fecales de 94,4%, afirmando su efectividad en la remoción de coliformes totales tal como lo estableció Asrafuzzaman et al<sup>84</sup> que logró removerlos en un 96% con agua de menor concentración de coliformes totales a las trabajadas en el presente proyecto. Respecto a la sustancia obtenida de la *O. Ficus-indica* se logró reducir en alrededor del 67% los coliformes totales y fecales.

Por último, al tratar las muestras con el coagulante convencional Sulfato de Aluminio se obtuvieron reducciones de 99,5% y 98,4% en coliformes totales y fecales respectivamente (Ver gráfico 3 y 4).

Lo anterior demuestra que la carga bacteriana está relacionada con la turbidez y el color; pues a pesar que el Sulfato de Aluminio no es una sustancia desinfectante, mostró disminuciones significativas en el contenido de coliformes fecales y totales.

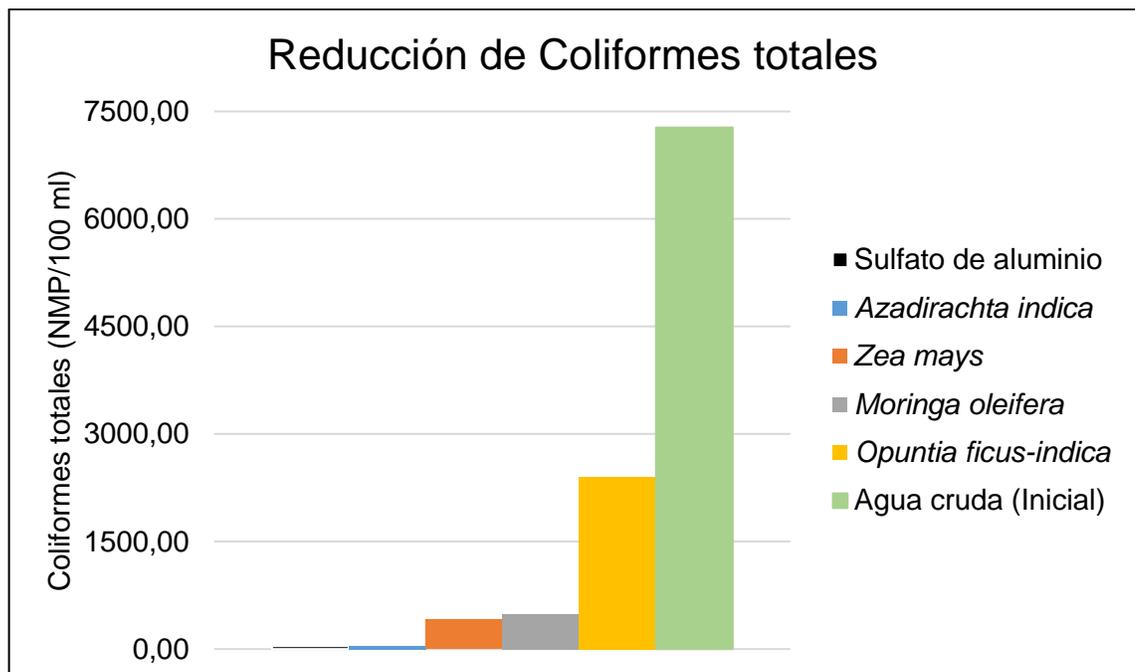
**81.** JOSHI, Jigar y SAHU, Omprakash. *Azadirachta Indica* Leaves as Antibacterial Treatment on Drinking Water. En: International Journal of Clinical Nutrition. Vol. 2, no. 2 (2014) p. 36-40.

**82.** SOMANI, Sunil; INGOLE., Nitin y PATIL, Shirikant. Performance evaluation of natural herbs for antibacterial activity in water purification. En: International Journal of Engineering Science and Technology. Vol. 3, no. 9 (Septiembre 2011). p. 7170-7174.

**83.** GARCÍA, Beatriz. Metodología de extracción *in situ* de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo. Valencia, 2007, 103 p. Trabajo de grado (Master en Seguridad Industrial y Medioambiente). Universidad Politécnica de Valencia.

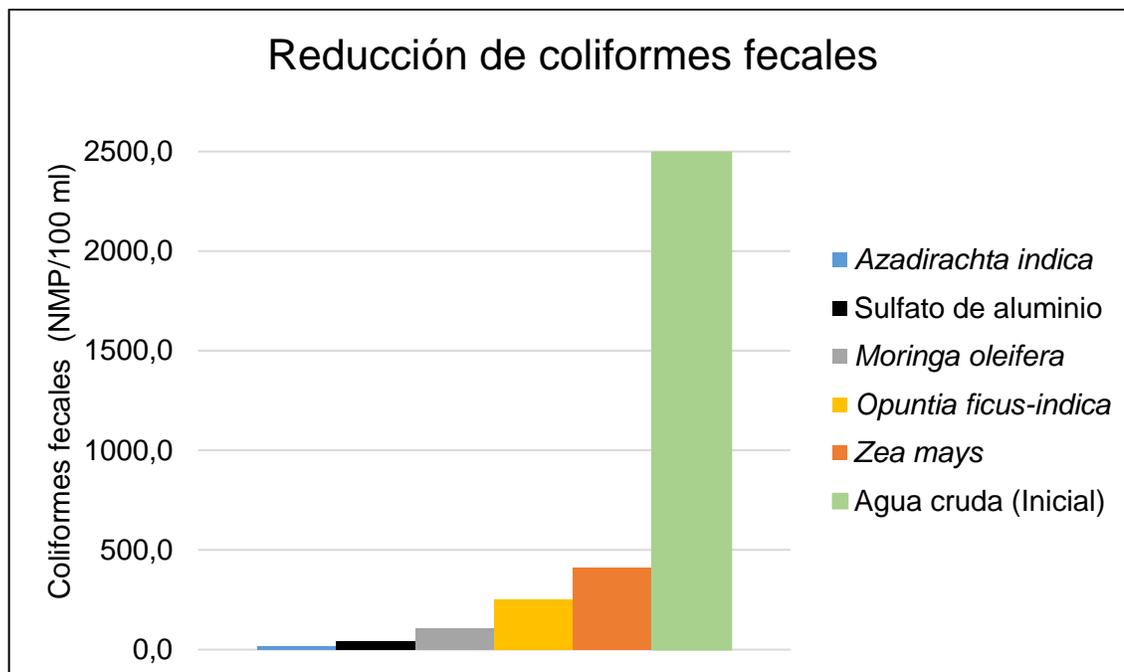
**84.** ASRAFUZZAMAN, Md; FAKHRUDDIN., A y ALAMGIR Hossain, Md. Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants. En: International Scholarly Research Network ISRN Microbiology. Vol 2011 (2011). 6 p.

Esto indica concordancia con lo que establece el Instituto Nacional de Salud<sup>85</sup> respecto a la desinfección; “La turbidez y color son características relacionadas con la carga de partículas y materia orgánica del agua, factor que influye notablemente en la eficiencia del tratamiento de desinfección” (...) “Altos valores de color y turbidez exigen mayor contiendo de sustancia para la desinfección, autores sugieren que la mediana de la turbiedad del agua para que una desinfección sea eficiente, idealmente debe ser menor de 0,1 UNT, aspectos que deben ser considerados para el proceso de tratamiento y disminución de la presencia de coliformes totales y *E. Coli* en el agua”. Es decir, para lograr determinar la verdadera actividad desinfectante de la sustancia, se debe primero reducir las concentraciones de turbidez y color, para luego sí realizar desinfección.



**Gráfico 3. Disminución de coliformes totales en tratamiento del Rio Magdalena con coagulantes naturales y convencional.**

<sup>85</sup>. Instituto Nacional de Salud. Enfermedades vehiculizadas por agua-EVA e índice de riesgo de la calidad en Colombia-IRCA, 2008 - 2013. Colombia: INS, 2014. P. 53.



**Gráfico 4. Disminución de coliformes fecales en tratamiento del Rio Magdalena con coagulantes naturales y convencional.**

#### 9.4. Optimización del tratamiento – Actividad coagulante

En el proceso de optimización del tratamiento, se determinó dosis óptima, tiempo óptimo y velocidad óptima de floculación.

Al tratar las muestras del Rio Magdalena con el extracto obtenido de semillas de *Moringa oleifera* se obtuvo una remoción de turbidez y color de 96,8 y 97,8% respectivamente, con dosis de 2 g/L con un tiempo de 30 minutos de floculación y velocidad de 45 rpm. Dicho efecto en la turbidez fue observado también por Nuñez<sup>86</sup> con reducción en un 96%, Asrafuzzaman et al<sup>87</sup> con disminuciones del 94,1%, Rodríguez et al<sup>88</sup> 92%, Melo y Turriago<sup>89</sup> con remoción del 84,3%. En el caso del color, Rodríguez et al<sup>90</sup> también demostró reducciones en un 85,7%.

**86.** NÚÑEZ, Eliana. Validación de la efectividad de la semilla de *Moringa oleifera* como coagulante natural del agua, destinada al consumo humano, Morocelí, Honduras. Zamorano, 2007, 36 p. Trabajo de grado (Ingeniera en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente con el Grado Académico de Licenciatura). Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano.

**87.** ASRAFUZZAMAN, Md; FAKHRUDDIN., A y ALAMGIR Hossain, Md. Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants. En: International Scholarly Research Network ISRN Microbiology. Vol 2011 (2011). 6 p.

**88.** RODRÍGUEZ, Susana, et al. Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua. En: Revista CENIC. Ciencias Químicas. Vol. 36, no. Especial (2005). 8 p.

**89.** MELO, Germán y TURRIAGO, Fabio. 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. Villavicencio, 2012, 82 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agroforestal). Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD.

**90.** RODRÍGUEZ, Susana, et al. Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua. En: Revista CENIC. Ciencias Químicas. Vol. 36, no. Especial (2005). 8 p.

Respecto al extracto de semillas de *Azadirachta indica* se demostró actividad coagulante con remociones del 70,6% de color y turbidez en condiciones de floculación de 45 minutos de retención a velocidad de mezcla de 45 rpm con dosis de extracto de 1 g/L.

Por otro lado, se demostró la efectividad de la sustancia coagulante obtenida de la tuna *Opuntia ficus-indica* logrando reducciones en un 65,8 y 57,2% en turbidez y color respectivamente con una dosis de 0,1 g/L, tiempo de floculación de 20 minutos a 45 rpm. Tal efectividad también fue demostrada en la remoción de turbidez por Olivero et al<sup>91</sup> de 93,3%, Rani y Jadhav<sup>92</sup> con 91,14%, Martínez y González<sup>93</sup> con remoción de un 85,75% y Villabona et al<sup>94</sup> de 72%.

Por último, se afirmó la actividad coagulante de la semilla de *Zea mays* como lo estableció García<sup>95</sup>. Al tratar la muestra del Río Magdalena con este extracto, con un tiempo de floculación de 30 minutos, velocidad de 45 rpm y dosis de 2,5 g/L, se redujo la turbidez en un 60,8% y color 50,4% (Ver gráfico 5 y 6).

En el caso del sulfato de aluminio; coagulante convencional, con una dosis de 0,02 g/L alcanzó disminuciones en color y turbidez de 95,7 y 96,5%.

Cada uno de los tratamientos al Río Magdalena realizados con las sustancias naturales y convencionales, no mostraron cambios significativos en el pH del agua.

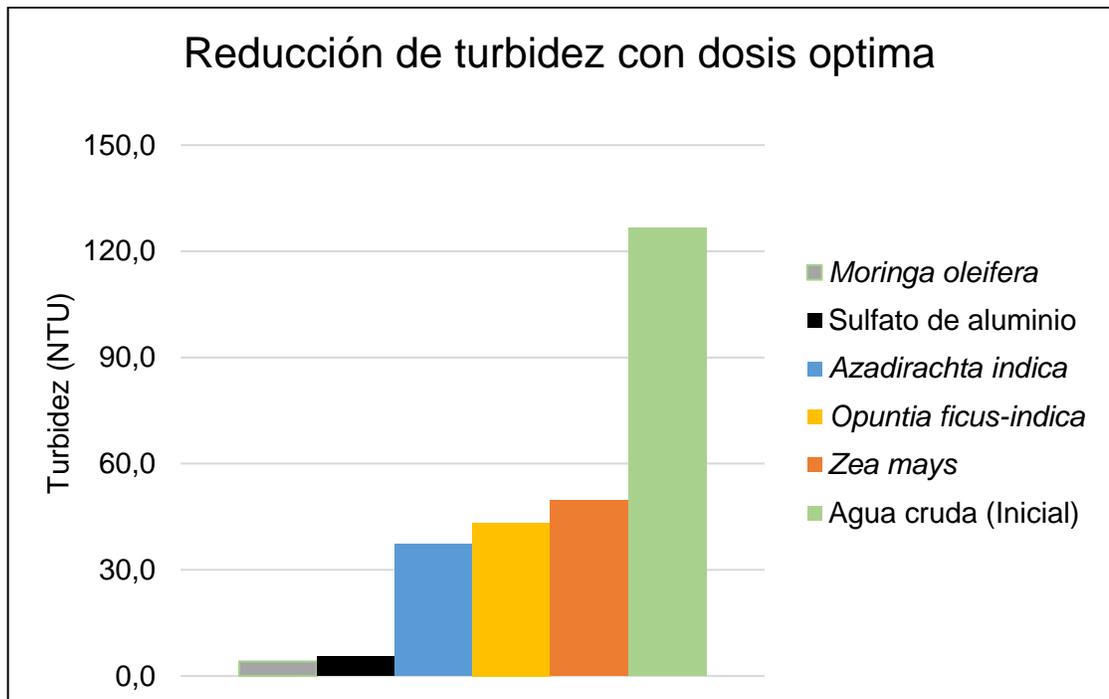
**91.** OLIVERO, Rafael; MERCADO., Iván y MONTES, Luz. Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. En: Producción + limpia. Vol. 8, no. 1, (2013). p. 19-27.

**92.** RANI, C Y JADHAV, M. Enhancing filtrate quality of turbid water incorporating seeds of *Strychnos potatorum*, pads of *Cactus opuntia* and mucilage extracted from the fruits of *Coccinia indica* as coagulants. En: Journal of Environmental Research And Development. Vol. 7, no. 2 (Octubre-Diciembre, 2012). p. 668-674.

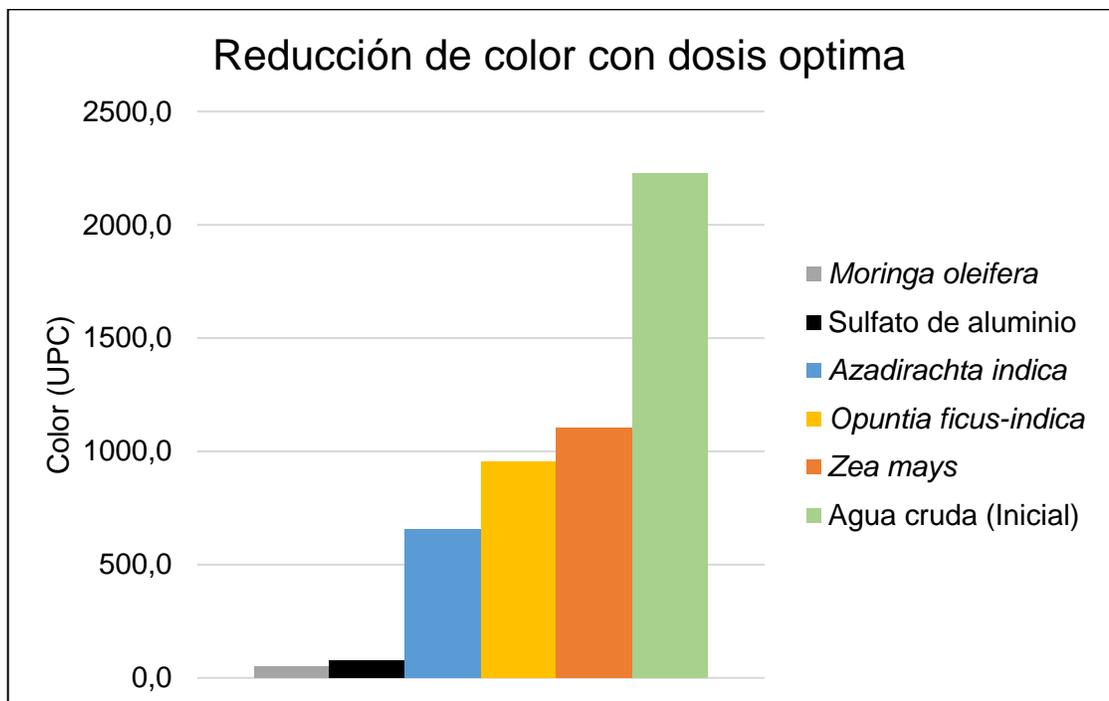
**93.** MARTÍNEZ, Jasser y GONZÁLEZ, Luis. Evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas. Cartagena, 2012, 96 p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad de Cartagena.

**94.** VILLABONA, Angel; PAZ., Isabel y MARTÍNEZ, Jasser. Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. En: Revista Colombiana de Biotecnología. Vol. 15, no. 1 (Junio 2013). p. 137-144.

**95.** GARCÍA, Beatriz. Metodología de extracción *in situ* de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo. Valencia, 2007, 103 p. Trabajo de grado (Master en Seguridad Industrial y Medioambiente). Universidad Politécnica de Valencia.



**Gráfico 5. Disminución de turbidez en tratamiento del Rio Magdalena con dosis optima de coagulantes naturales y convencional.**



**Gráfico 6. Disminución de color en tratamiento del Rio Magdalena con dosis optima de coagulantes naturales y convencional.**

## 10. CONCLUSIONES

Los resultados experimentales obtenidos en este trabajo de investigación permite concluir que el uso de sustancias naturales obtenidas de las semillas de *Moringa oleífera*, *Azadirachta indica* y *Zea mays*, y de la tuna *Opuntia ficus-indica* resultan efectivas en la remoción de turbidez, color, coliformes fecales y totales del Rio Magdalena, sin alteración significativa del pH; por lo que su utilización resulta ser una alternativa socialmente justa, económicamente viable y ambientalmente sostenible en el tratamiento de aguas.

### *Parámetros físico-químicos*

Reducciones del 96,8 y 97,8% de turbidez y color respectivamente fueron alcanzadas al tratar muestras del Rio Magdalena con 2g/L de extracto de semillas de *M. Oleífera*, demostrando que la actividad coagulante que posee es tan efectiva como la del coagulante convencional sulfato de aluminio que removió 95,7% de turbidez y 96,5% de color.

En el caso del extracto de semillas de *A. Indica*, se demostró que su uso como coagulante en el tratamiento del Rio Magdalena con 1 g/L resulta efectivo con disminuciones de 70,6% en turbidez y color.

La tuna *O. Ficus-indica* también resultga efectiva en el tratamiento del agua trabajada; con dosis de 0,1 g/L alcanzó remociones 65,8 y 57,2% en turbidez y color respectivamente. Respecto al extracto de las semillas del *Z. Mays* con dosis de 2,5 g/L se logró disminuir la turbidez en un 60,8% y el color 50,4%.

### *Parámetros microbiológicos*

Al tratar las muestras del Rio Magdalena con 0,8 g/L de sustancia natural de semillas de *A. Indica* se logró disminuir la concentración de coliformes totales (CT) y fecales (CF) más de un 99% respecto al inicial; resultados mayores al obtenido con 0,02 g/L de sulfato de aluminio con remociones del 99,5% en CT y 98,4% en CF. Esto demuestra que la carga bacteriana está relacionada con la turbidez y el color; pues a pesar que el Sulfato de Aluminio no es una sustancia desinfectante obtuvo remociones; Por lo que es necesario realizar inicialmente tratamiento físico-químico para luego desinfectar.

En relación con la *M. oleífera* se logró remociones del 93,3 y 95,6% de CT y CF respectivamente, al tratar agua del Rio Magdalena con 2 g/L de extracto. Resultados importantes también fueron obtenidos con extracto de *Z. Mays* que con dosis de 2,5 g/L redujo los CT en un 94,4% y CF en 83,6%

Finalmente, la *O. Ficus indica* demostró capacidad en la remoción de coliformes totales y fecales disminuyendo su concentración en un 67,0% y 90,9% respectivamente.

Cada uno de los tratamientos realizados no mostró alteración significativa del pH del agua.

## 11. RECOMENDACIONES

La planeación, desarrollo y ejecución de este proyecto brinda bases a investigaciones futuras sobre el establecimiento de nuevos métodos y alternativas de tratamiento de agua que contribuyan a producir un recurso inocuo para las personas y por lo tanto mejorar la calidad de vida de las poblaciones, ya que serían métodos replicables. Que además genere beneficios en el campo universitario.

Partiendo de esta experiencia cabe sugerir que para estudios de la misma índole se tenga en cuenta:

- Probar la actividad desinfectante de las sustancias naturales escogidas una vez se haya removido color y turbidez del agua.
- Implementar unidad de filtración posterior a la sedimentación, y luego de esta la desinfección con la finalidad de obtener una mayor eficiencia en el tratamiento.

Se hace necesario buscar procesos que permitan identificar claramente las características coagulante de sustancias naturales con el objetivo de aislar el principio activo presente y con esto aumentar su eficiencia para remover turbidez y color en aguas crudas.

## 12. PRESUPUESTO

**Tabla 4. Presupuesto Global**

RUBROS GENERALES		RECURSOS APORTADOS POR			TOTAL
		UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA		OTRAS FUENTES	
		EFFECTIVO	(CAPACIDAD INSTALADA)		
Personal:		0	4'000.000	0	4'000.000
Insumos:		0	3'000.000	0	3'000.000
Otros insumos:		0	0	0	0
Equipo	Compra	0	0	0	0
	Arriendo	0	0	0	0
	Uso	0	4'500.000	0	4'500.000
Servicios técnicos:		640.000	0	0	640.000
Salidas de campo:		250.000	0	0	250.000
Viajes Nacionales, Internacionales y Cursos de entrenamiento:		200.000	2'000.000		2'200.000
Software:		0	0	0	0
Realización talleres, foros:		0	0	0	0
Material bibliográfico especializado: Biblioteca Unimag		0	100.000	0	100.000
Publicaciones y patentes:		0	0	0	0
Imprevistos		1'469.000		0	1'469.000
<b>TOTAL</b>		<b>2'559.000</b>	<b>13'600.000</b>	<b>0</b>	<b>16'159.000</b>

## BIBLIOGRAFIA

AGUILAR, M; SAENZ., J; LLORENS., M; SOLER., A y ORTUÑO, J. Tratamiento físico-químico de aguas residuales: Floculación-Coagulación. Murcia: Universidad de Murcia, 2002. 153 p.

ALBUQUERQUE, Renata; SILVA., Gisselle; PEIXOTO., Jackson y SILVA, Regine. Thermotolerant coliform die-off in water treated with *Moringa oleifera* seeds. En: Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas. Vol. 35, no. 2 (Diciembre, 2013). p. 24-29.

Am Public Health ASN. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edición 20. Washington, D.C: American Public Health Association, 1999. 1220 p.

ANDIA, Yolanda. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación. Lima: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima – Sedapal, 2000. 44 p.

ARBOLEDA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. 3ra edición. Colombia: McGraw Hill/ACODAL, 2000. 836 p.

ASRAFUZZAMAN, Md; FAKHRUDDIN., A y ALAMGIR Hossain, Md. Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants. En: International Scholarly Research Network ISRN Microbiology. Vol 2011 (2011). 6 p.

BONILLA, Nevio. Curso producción de semilla de maíz. San José: INTA, 2008. 72 p.

Botanical-Online SL. Propiedades del Nim (*Azadirachta indica*). [En línea]. <<http://www.botanical-online.com/>> [Citado en 2 de diciembre de 2016].

BRUHNS, Erwin. *Moringa oleifera* El “árbol del maravilloso” del Ajurveda: Salud natural para su vida. Alemania: E-book, 2011. 60 p.

CALDERA, Yaxcelys., MENDOZA, Iván., BRICEÑO, Ligia., GARCÍA, Juan y FUENTES, Lorena. Eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua. En: Boletín del centro de investigaciones biológicas. Vol 41. No. 2. (2007). P. 244-254.

Consejo Nacional de Política Económica y Social. Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural. Bogotá: Conpes, 2014. 46 p. (Documento Conpes 3810).

DOMINGUEZ, María. Optimización de la coagulación - floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional Campoalegre –

CAJASAN. Bucaramanga, 2010, 100 p. Trabajo de grado (Ingeniero Ambiental). Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

EBBING, Darrell y GAMMON, Steven. Química General. 9na edición. México: Cengage Learning Editores, 2010. 1026 p.

FERIA, Jhon; BERMÚDEZ., Sixto y ESTRADA, Ana. Eficiencia de la *semilla Moringa Oleífera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. En: Producción + limpia. Vol. 9, no. 1 (Enero, 2014). p. 9-22.

FOLKARD, Geoff y SUTHERLAND, Jhon. *Moringa oleifera* un árbol con enormes potencialidades. Citado por GARCÍA, Beatriz. Metodología de extracción *in situ* de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo. Valencia, 2007, P 12. Trabajo de grado (Master en Seguridad Industrial y Medioambiente). Universidad Politécnica de Valencia.

GÁLVEZ, R; GÓMEZ., O; SILVA., G; RÍOS., F y QUINTERO. D. Tratamiento con extracto de *Azadirachta indica* en aguas residuales porcinas contaminadas con *Salmonella typhi*. En: Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. Vol. 9, no. 1 (2013). p. 62-69.

GARCÍA, Beatriz. Metodología de extracción *in situ* de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo. Valencia, 2007, 103 p. Trabajo de grado (Master en Seguridad Industrial y Medioambiente). Universidad Politécnica de Valencia.

GUTIERREZ, Enrique. Química. Barcelona: Reverté S.A, 1985. 489 p

Instituto Nacional de Salud (INS). Enfermedades vehiculizadas por agua-EVA e índice de riesgo de la calidad en Colombia-IRCA, 2008 - 2013. Colombia: INS, 2014. 83 p.

Instituto Nacional de Salud (INS). Estado de vigilancia de la calidad de agua para consumo humano 2014. Colombia: INS, 2015. 210 p.

JOSHI, Jigar y SAHU, Omprakash. *Azadirachta Indica* Leaves as Antibacterial Treatment on Drinking Water. En: International Journal of Clinical Nutrition. Vol. 2, no. 2 (2014) p. 36-40.

KAGGWA, Rose., MULALELO, Charity., DENNY, Patrick y OKURUT, Tom. (2001). The impact of alum discharges on a natural tropical wetland in Uganda. En: Water Res. Vol. 35, no. 3 (Febrero 2001). P. 795-807.

LOPEZ, Sylvia; GARCIA., Gilberto e IBARRA, Brenda. El maíz (*Zea mays L.*) y la cultura maya. En: Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. Vol. XIV, no. 3 (2012). p. 3-8.

MANAHAN, Stanley. Introducción a la Química ambiental. México: Reverté, 2007. 698 p.

MARTÍNEZ, Jasser y GONZÁLEZ, Luis. Evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas. Cartagena, 2012, 96 p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad de Cartagena.

MELO, Germán y TURRIAGO, Fabio. 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. Villavicencio, 2012, 82 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agroforestal). Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD.

MUÑOZ, Ana. Maíz: *Zea mays*. [En línea] <<http://www.cepvi.com/>> [Citado en 2 de diciembre de 2016].

MURILLO, Diana. Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada. Pereira, 2011, 128 p. Trabajo de grado (Químico Industrial). Universidad Tecnológica de Pereira

Naciones Unidas. Resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas. A/60/158. Medidas adoptadas para organizar las actividades del Decenio Internacional para la Acción, “El agua, fuente de vida”, 2005-2015. 2005. [En línea] <<http://www.un.org/>>. [Citado en 2 de diciembre de 2016]

NAZARENO, Mónica y PADRON, Carlos. Nuevas tecnologías desarrolladas para el aprovechamiento de las cactáceas en la elaboración de alimentos: Componentes funcionales y propiedades antioxidantes. En: Revista venezolana de Ciencia y Tecnología de alimentos. Vol. 2, no. 1 (Enero-Junio 2011) p. 202-238.

NÚÑEZ, Eliana. Validación de la efectividad de la semilla de *Moringa oleifera* como coagulante natural del agua, destinada al consumo humano, Morocelí, Honduras. Zamorano, 2007, 36 p. Trabajo de grado (Ingeniera en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente con el Grado Académico de Licenciatura). Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano.

OLIVERO, Rafael; MERCADO., Iván y MONTES, Luz. Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. En: Producción + limpia. Vol. 8, no. 1, (2013). p. 19-27.

Organización Mundial de la Salud (OMS) y Fondo de las Naciones Unidas para La Infancia (UNICEF). Progresos en materia de saneamiento y agua potable: informe de actualización 2015 y evaluación del ODM. Estados Unidos: OMS/UNICEF, 2015. 80 p.

Organización Mundial de la Salud (OMS) y Fondo De Las Naciones Unidas Para La Infancia (UNICEF). Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. Water for life: making it happen. Ginebra: OMS y UNICEF, 2005. 44 p.

Organización Mundial de la Salud (OMS). Agua, Nota descriptiva N° 391. [En línea]. <<http://www.who.int/>>. [Citado en 2 de diciembre de 2016].

Organización Mundial de la Salud (OMS). Ambientes saludables y prevención de enfermedades: hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente. Ginebra: OMS, 2006. 16 p.

Organización Mundial de la Salud (OMS). Lucha contra las enfermedades transmitidas por el agua en los hogares. Ginebra: OMS, 2007. 36 p.

ORWA, C; MUTUA., A; KINDT., R; JAMNADASS., R y ANTHONY, S. *Azadirachta indica* [En línea]. <<http://www.worldagroforestry.org/resources/databases/agroforestree>> [Citado en 2 de diciembre de 2016].

PORCUNA, J. Aceite de Neem: *Azadirachtina*. [En línea]. <<http://www.agroecologia.net/>>. [Citado en 2 de diciembre de 2016]

Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios. Rio Magdalena: Informe Social, Económico y Ambiental. [En línea] <<http://www.procuraduria.gov.co/>>. [Citado en 2 de diciembre de 2016].

RAGHUWANSHI, Pramod; MANDLOI., Monika; SHARMA., Arvind; MALVIYA., Hanumat Y CHAUDHARI, Sanjeev. Improving Filtrate Quality Using Agrobased Materials as Coagulant Aid. En: Water Quality Research Journal of Canada. Vol. 37, no. 4 (2002). p. 745-756.

RANI, C Y JADHAV, M. Enhancing filtrate quality of turbid water incorporating seeds of *Strychnos potatorum*, pads of *Cactus opuntia* and mucilage extracted from the fruits of *Coccinia indica* as coagulants. En: Journal of Environmental Research And Development. Vol. 7, no. 2 (Octubre-Diciembre, 2012). p. 668-674.

RODRIGUEZ, Carlos. Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable. Sucre, 2008, 86 p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de Sucre.

RODRIGUEZ, Licesio. Sistemas Coloidales en Farmacia: Estabilidad de los sistemas Coloidales. Capítulo 5. [En línea] <<http://campus.usal.es/>> [Citado en 2 de diciembre de 2016].

RODRÍGUEZ, Susana; MUÑOZ., Rosario; GARCÍA., Osnel y FERNÁNDEZ, Elina. Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua. En: Revista CENIC. Ciencias Químicas. Vol. 36, no. Especial (2005). 8 p.

ROMERO, Jairo. Calidad del agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. 400 p.

SAENZ, Carmen; BERGER., Horst; GARCIA., Joel; GALETTI., Ljubica; CORTAZAR., Victor; MONDRAGON., Candelario; RODRIGUEZ-FELIZ., Armida; SEPULVEDA., Elena y VARNERO, María. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 162. Roma: FAO, 2006. [En línea] <<http://www.fao.org/>> [Citado en 2 de diciembre de 2016].

SANCHEZ, José. Guía de las plantas ornamentales. España: MP, 2001. 685 p.

SEREVICHE, Carlos; ACEVEDO., Rosa y JAIMES, José. Calidad del agua para consumo humano: municipio de Turbaco-Bolivar, norte de Colombia. [En línea] <<http://www.eumed.net/>> [Citado en 2 de diciembre de 2016].

SOMANI, Sunil; INGOLE., Nitin y PATIL, Shirikant. Performance evaluation of natural herbs for antibacterial activity in water purification. En: International Journal of Engineering Science and Technology. Vol. 3, no. 9 (Septiembre 2011). p. 7170-7174.

SUAY, Loreto y BALLESTER, Ferran. Revisión de los estudios sobre exposición al aluminio y enfermedad de alzheimer. En: Revista Española de Salud Pública. Vol. 76, no. 6 (Noviembre-Diciembre 2002). p. 645-658.

Universidad de Tamaulipas, 1999. Citado por ORELLANA, Andrea. Línea base de la calidad y cantidad de agua en la microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso, Honduras. Zamorano, 2003, 77 p. Trabajo de grado (Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente en el grado académico de licenciatura). Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano.

Universidad Nacional Autónoma de México. Química de suelos o química de coloides. [En línea] <<http://www.agricolaunam.org.mx/>>. [Citado en 2 de diciembre de 2016]

VALENCIA, Hernando. Notas de clase: Manual de prácticas de microbiología básica. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2004. 140 p.

VILLABONA, Angel; PAZ., Isabel y MARTÍNEZ, Jasser. Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. En: Revista Colombiana de Biotecnología. Vol. 15, no. 1 (Junio 2013). p. 137-144.

# **ANEXOS**



# *Moringa oleifera*

Coagulante líquido natural

**SEMILLAS** Descascar las semillas

**MOLIENDA** Triturar el contenido del interior de las semillas

**TAMIZAJE** Usar tamiz con luz de malla de 0,5 mm

**EXTRACCION DE  
ACEITE**

Preparar suspensiones al 5 % (p/v) de semillas en etanol, se agita durante 30 minutos y se deja en reposo durante 1 hora. Una vez transcurrido ese tiempo se elimina el sobrenadante utilizando una pipeta, y la fracción de sólidos resultante se deja secar a temperatura ambiente durante 24 horas.

**EXTRACCION DEL  
COMPONENTE  
ACTIVO**

Preparar disoluciones al 5 % (p/v) compuestas por los sólidos secos y con NaCl 0,5 M. Agitar durante 1 hora.

**FILTRACION**

Filtrar la disolución en un filtro de tela

**REFRIGERACION**

Refrigerar el extracto crudo salino obtenido



# *Azadirachta indica*

Coagulante líquido natural

**SEMILLAS** Descascar las semillas

**MOLIENDA** Triturar el contenido del interior de las semillas

**TAMIZAJE** Usar tamiz con luz de malla de 0,5 mm

## **EXTRACCION DE ACEITE**

Preparar suspensiones al 5 % (p/v) de semillas en etanol, se agita durante 30 minutos y se deja en reposo durante 1 hora. Una vez transcurrido ese tiempo se elimina el sobrenadante utilizando una pipeta, y la fracción de sólidos resultante se deja secar a temperatura ambiente durante 24 horas.

## **EXTRACCION DEL COMPONENTE ACTIVO**

Preparar disoluciones al 5 % (p/v) compuestas por los sólidos secos y con NaCl 0,5 M. Agitar durante 1 hora.

**FILTRACION** Filtrar la disolución en un filtro de tela

**REFRIGERACION** Refrigerar el extracto crudo salino obtenido



# *Zea mays*

Coagulante líquido natural

**SEMILLAS**

**MOLIENDA** Triturar las semillas

**TAMIZAJE** Usar tamiz con luz de malla de 0,5 mm

**EXTRACCION DE  
ACEITE**

Preparar suspensiones al 5 % (p/v) de semillas en etanol, se agita durante 30 minutos y se deja en reposo durante 1 hora. Una vez transcurrido ese tiempo se elimina el sobrenadante utilizando una pipeta, y la fracción de sólidos resultante se deja secar a temperatura ambiente durante 24 horas.

**EXTRACCION DEL  
COMPONENTE  
ACTIVO**

Preparar disoluciones al 5 % (p/v) compuestas por los sólidos secos y con NaCl 0,5 M. Agitar durante 1 hora.

**FILTRACION**

Filtrar la disolución en un filtro de tela

**REFRIGERACION**

Refrigerar el extracto crudo salino obtenido



# *Opuntia ficus-indica*

Coagulante en polvo natural

## CUTICULAS

Las cutículas de los tallos de la tuna, se cortan y remueven en pequeñas tiras

## SECADO

Secar las tiras a temperatura de 59-61°C durante 48 horas

## MOLIENDA

Triturar las tiras

## TAMIZAJE

Usar tamiz con luz de malla de 0,5 mm

## ELIMINACION DE CLOROFILA

Realizar extracción de soxhlet con etanol al 96% como solvente durante 2,5 horas

## SECADO

Secar a temperatura ambiente