



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

---

“Resultados del estudio utilizando *Moringa oleifera* como  
coagulante en el proceso de la potabilización de agua”.

---

TRABAJO MONOGRÁFICO  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
**INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTA

**DANIELA ESTEFANIA CAAMAL ESQUIVEL**

SUPERVISORES

**Dr. JOSE ALFONZO CANCHE UHH**

**Dra. MARIA ANGELICA GONZALEZ VERA**

**M.I.A. JUAN CARLOS AVILA REVELES**

**Dr. JOSE LUIS GONZALEZ BUCIO**

**Dr. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMENÉZ**

CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2023





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

TRABAJO MONOGRÁFICO TITULADO

“Resultados del estudio utilizando *Moringa oleifera* como coagulante en el proceso de la potabilización de agua”.

ELABORADO POR

Alumno: DANIELA ESTEFANIA CAAMAL ESQUIVEL

BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

COMITÉ SUPERVISOR

DR. JOSE ALFONZO CANCHE UUH.

SUPERVISOR:

DRA. MARIA ÁNGELICA GONZALEZ VERA

SUPERVISOR:

M.I.A. JUAN CARLOS AVILA REVELES

SUPERVISOR:

M.E.M. JOSÉ LUIS GONZALEZ BUCIO

SUPERVISOR SUPLENTE:

DR. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMENÉZ.

SUPERVISOR SUPLENTE:



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE QUINTANA ROO, MÉXICO, OCTUBRE DE 2023



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi padre, hermana y de igual forma a toda mi familia por siempre apoyarme, por su constante motivación, gracias por siempre aconsejarme, por su amor incondicional estoy profundamente agradecida con toda mi familia por ser parte de este gran éxito en mi vida personal y profesionalmente.

Agradezco al Dr. José Alfonzo Canche Uh por todo su apoyo durante mi vida universitaria, además de ser director de este trabajo monográfico fue mi tutor en la universidad el cual fue un gran guía, este trabajo está dedicado a él.

Agradezco a todos mis amigos por su amistad, apoyo que cada uno tuvo conmigo, por esas risas, trabajos en equipos juntos en particular a mi amiga de toda la carrera Ing. Cristina Piedra Cachón, por ser parte de este trayecto llamado universidad no fue fácil, pero ambas lo logramos.

# Índice

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	7
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	9
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	11
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	13
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	13
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	14
<b>CAPÍTULO I</b> .....	15
<b>ANTECEDENTES</b> .....	15
<b>PROBLEMÁTICA DEL AGUA EN EL MUNDO</b> .....	17
<b>NORMAS OFICIALES MEXICANAS DEL SECTOR AGUA EN MÉXICO</b> .....	21
Legislación y parámetros permisibles para el consumo y uso de agua potable en México .....	22
<b>CAPÍTULO II</b> .....	33
<b>GENERALIDADES DE LA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN</b> .....	33
<b>COAGULACIÓN</b> .....	33
<b>FLOCULACIÓN</b> .....	35
<b>CAPÍTULO III</b> .....	44
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MORINGA</b> .....	44
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	57
<b>DISCUSIÓN DE LOS TRES ARTÍCULOS</b> .....	57
<b>CONCLUSIONES</b> .....	78

**LISTA DE CUADROS**

**Cuadro I. Especificaciones sanitarias físicas ..... 19**

**Cuadro II. Especificaciones sanitarias químicas..... 20**

**Cuadro III. Tabla de cumplimiento gradual para fluoruro ..... 21**

**Cuadro IV. Especificaciones sanitarias de metales y metaloides ..... 21**

**Cuadro IX. Especificaciones sanitarias de residuales de la desinfección ..... 25**

**Cuadro V. Tabla de cumplimiento gradual para arsénico y cadmio ..... 22**

**Cuadro VI. Especificaciones sanitarias microbiológicas..... 23**

**Cuadro VII. Especificaciones sanitarias de fitotoxinas ..... 24**

**Cuadro VIII. Especificaciones sanitarias de radiactividad..... 24**

**Cuadro X. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - trihalometanos ..... 25**

**Cuadro XI. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - ácidos haloacéticos ..... 26**

**Cuadro XII. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - aniones..... 26**

**Cuadro XIII. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - carbonilos 27**

**Cuadro XIV. Especificaciones sanitarias de compuestos orgánicos sintéticos..... 27**

**Cuadro XIX. Contenido de algunos aminoácidos presentes en hojas de moringa ..... 52**

**Cuadro XV. Efecto del tamaño decreciente de las esferas ..... 37**

**Cuadro XVI. Usos y beneficios de la moringa..... 45**

**Cuadro XVII. Clasificación de la moringa ..... 47**

**Cuadro XVIII. Información nutricional comparando los alimentos ..... 49**

**Cuadro XX. Características del diseño Factorial para el sulfato de aluminio y las semillas de Moringa..... 60**

**Cuadro XX. Comparación y similitudes de los 3 artículos científicos..... 53**

**Cuadro XXI. Turbidez del agua de la ciénega después del tratamiento usando sulfato de aluminio ..... 60**

**Cuadro XXII. Análisis de varianza (Anova) para el sulfato de aluminio..... 60**

**Cuadro XXIII. Test de Duncan para el sulfato de aluminio..... 61**

**Cuadro XXIV. Turbidez del agua en la ciénega después del tratamiento usando semillas de Moringa oleifera..... 61**

**Cuadro XXIX. Resultados de remoción de turbiedad en los diferentes tratamientos ..... 67**

**Cuadro XXV. Análisis de varianza (Anova) para las semillas de Moringa oleifera..... 61**

**Cuadro XXVI. Test de Duncan para las semillas de Moringa oleifera ..... 62**

**Cuadro XXVII. Preparación de soluciones coagulantes con Moringa ..... 65**

<b>Cuadro XXVIII. Características fisicoquímicas del agua del río Samaria .....</b>	<b>66</b>
<b>Cuadro XXX. Resultados de remoción de color en los diferentes tratamientos .....</b>	<b>67</b>

#### **LISTA DE FIGURAS**

<b>Fig I. Planta de Moringa Oleifera .....</b>	<b>45</b>
<b>Fig II. Semilla de Moringa .....</b>	<b>48</b>
<b>Fig III. Partes de la planta de Moringa.....</b>	<b>49</b>
<b>Fig IV. Resultados de turbiedad residual en los tratamientos .....</b>	<b>73</b>
<b>Fig V. Mecanismo de Floculación de MOC-SC-PC con Kaolina (Okud,a et a, 2001) .....</b>	<b>77</b>

# INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso muy importante para la vida de cualquier individuo ser vivo, México se encuentra en una situación crítica en cuanto al uso de sus recursos hídricos a causa de la sobreexplotación, contaminación y mal uso de las fuentes de agua. De igual forma hay muchas poblaciones que no tienen acceso al agua la cual es indispensable para todas nuestras actividades cotidianas como ser vivo, como bien sabemos el agua es indispensable, no se puede reemplazar.

Sin embargo, en el estado de Quintana Roo el problema es muy visible por ser un estado con mayor demanda de turismo, la población es mucho mayor, así como el consumo de los recursos y en particular el agua, siendo de esta forma un problema el no tratar las aguas residuales, estas son depositadas en los cuerpos de agua sin importar cuales son las características físicas-químicas con las que se están inyectando a los cuerpos acuíferos.

Estamos ubicados en una zona donde a poca profundidad del suelo ya podemos encontrar agua y para comunidades lejanas a la ciudad y donde este recurso es escaso la población opta a una alternativa muy eficiente la cual se hace un pozo de agua en sus hogares, donde este recurso hídrico contiene características un poco deficientes para que se pueda considerar como agua potable apta para el consumo humano, bien sabemos que para que se pueda considerar como agua potable se tiene que cumplir con cierta normatividad.

Cabe mencionar para este trabajo se utilizará un proceso de tratamiento de potabilización de agua utilizando un coagulante natural, hago mención que la evaluación de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas es de gran importancia en el campo de la ingeniería ambiental y

sanitaria. Encontrar sustancias en la naturaleza que provean remociones similares a las sales metálicas tradicionalmente usadas, que además sean de fácil adquisición y bajo costo motiva la investigación en el área del tratamiento de las aguas naturales.

Investigaciones realizadas dan a conocer la gran efectividad que tiene la *Moringa oleífera* como coagulante natural ya que ésta contiene cantidades importantes de aminoácidos polares, con carga neta positiva y negativa, que podrían interactuar con las partículas coloidales responsables de la turbidez y el color durante el proceso de clarificación de las aguas, contribuyendo a su eliminación (Campos et al. 2003).



## **OBJETIVO GENERAL**

- Comparar los resultados de artículos realizados sobre la utilización de la *Moringa oleífera* como coagulante natural para la potabilización de agua, como un aporte bibliográfico para los estudiantes de ingeniería ambiental.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar los diferentes usos de la *Moringa oleífera*.
- Evaluar la eficiencia de la *Moringa oleífera* como coagulante a partir de 4 artículos.

## JUSTIFICACIÓN

Para la potabilización de agua se emplean métodos que eliminan agentes contaminantes utilizando reactivos químicos estos actúan como agentes oxidantes. De igual forma se pueden emplear coagulantes naturales extraídos de plantas un claro ejemplo es la *Moringa oleífera*, en ella se ha evaluado la eficiencia demostrando que puede ser utilizada para la potabilización de agua, obteniendo un resultado óptimo y dando como beneficio un aporte ecológico al ser humano. Actualmente la problemática más visible es la falta de agua en las ciudades y comunidades, la escasez, el uso inadecuado de los recursos hídricos, el uso en exceso de este recurso podría provocar problemas mayores ambientales a futuro.

Se pueden emplear alternativas aprovechando los recursos naturales que tenemos al alcance de todos, sin embargo, en ocasiones estos temas son pocos estudiados el cual, si se pudiera dar a conocer de manera en general, poder aplicarlo sería de mucha utilidad para la población que cuentan con la problemática que el recurso hídrico que está a su alcance no cumple con las condiciones necesarias para ser utilizada en sus actividades cotidianas el cual pudiera provocar una afectación para la población en cuestión de salud, el problema de contaminación del recurso hídrico actualmente ha tenido un mayor grado de afectación ambiental ya que no se tiene el cuidado ecológico ambiental que cualquier actividad que se realice tenga algún tipo de relación ya sea directa o indirectamente con el agua el problema de contaminación será visible es por eso que se debe tener ciertas limitaciones para evitar posibles afectaciones a futuro.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

La *Moringa oleifera* forma una parte esencial e importante para que se lleven a cabo los procesos de purificación y se eliminen la mayor cantidad posible de este material suspendido, antes de que el agua pase a la etapa de desinfección. Para eliminar el material sólido se utilizan coagulantes, que se agregan al agua sin tratar; generalmente son productos químicos como el sulfato de aluminio (alumbre) o polielectrolitos sintéticos. En los países en vías de desarrollo estos productos suelen ser importados, lo que implica un gran mayor costo (Borràs, 2010).

Desde hace muchos años los investigadores han estado examinando el potencial de la semilla de *Moringa oleifera* en el tratamiento de aguas, mediante la recolección de muestras provenientes de recipientes para almacenamiento de agua, tratados con semilla de *Moringa oleifera* triturada para una mejor sedimentación. Sus hallazgos muestran que la semilla de *Moringa oleifera* triturada, un coagulante natural, podría ser una alternativa viable para reemplazar parcial o completamente el alumbre y los demás productos químicos utilizados en el tratamiento de aguas (Sutherland et al., 1990).

El proceso de preparación de la semilla es simple. Las vainas se dejan secar en forma natural en el árbol; cuando se cosechan, las semillas se desvainan fácilmente y se trituran y tamizan utilizando las técnicas tradicionales para producir harina de maíz. El polvo de la semilla bien triturada, al mezclarse con el agua, produce proteínas solubles con una carga neta positiva. Las dosis de soluciones (por lo general del 1-3%) actúan como un polielectrolito canónico durante el tratamiento (Sutherland et al., 1990).

La semilla de *Moringa oleífera* tiene un 40% de aceite; el perfil de ácido graso del aceite indica un 73% de ácido oleico. Esto significa que el aceite de moringa tiene el mismo nivel de calidad y por lo tanto podría tener el mismo valor de mercado del aceite de oliva. Las pruebas de laboratorio realizadas en Leicester confirman que la pasta que queda después de la extracción del aceite contiene los ingredientes activos de efecto coagulante. De hecho, el coagulante puede considerarse un subproducto de la extracción del aceite. En Zumbase, el Intermédiate Tecnología Development Grupo (Grupo Intermedio de Desarrollo Tecnológico) ha introducido con éxito una tecnología adecuada para el proceso descentralizado y en pequeña escala de aceites comestibles, en particular aceite de girasol (Sutherland et al., 1990).

Cabe mencionar que la forma de utilización de la *Moringa oleífera* es muy versátil, ya que podemos aprovecharla para satisfacer nuestras necesidades cotidianas de una forma sustentable y evitar el consumismo que está afectando las condiciones ambientales a nivel mundial.

Uno de los factores influyentes en las actividades de coagulación y floculación es el pH, debido a que los coagulantes y floculantes químicos alteran significativamente el pH final del agua. Sin embargo, el extracto acuoso de *Moringa oleífera* no afecta la calidad final del agua tratada. Según Ndabigengesere (1995), a un pH de 7 las partículas de caolín se cargan negativamente por lo tanto el proceso de coagulación con extracto acuoso de semillas *Moringa oleífera* en aguas turbias con caolín es causado por la desestabilización de los coloides de carga negativa con poli electrólitos catiónicos, este es el mecanismo de adsorción y neutralización de cargas, siendo el más predominante para el extracto acuoso de semillas de *Moringa oleífera*. Teniendo en cuenta que los agentes coagulantes activos en realidad son poli electrólitos catiónicos, los mecanismos para esta actividad coagulante son la adsorción y neutralización de cargas, o la adsorción y el puente entre partículas desestabilizadas.

El mecanismo de adsorción y puente entre partículas se produce cuando un coagulante proporciona una cadena polimérica de alto peso molecular, aumentando en gran medida el número de sitios de adsorción no ocupados. Por lo tanto, a partir de la adsorción entre partículas de caolín y el componente activo de coagulación se forman puentes de partículas que sirven como redes para la formación del coágulo. En los extractos de las semillas, la presencia de electrolitos en medio acuoso puede facilitar el efecto coagulante de coagulantes poliméricos ya que se genera menor repulsión electrostática entre las partículas permitiendo la formación de una estructura a modo de red en el agua turbia para eliminar sólidos suspendidos, mediante el mecanismo de coagulación de barrido (Okuda et al., 2001).

De igual forma cabe mencionar la coagulación-floculación es una técnica química de tratamiento del agua que se aplica, típicamente, antes de un proceso físico de separación que suele hacerse por sedimentación o filtración, con el fin de mejorar su capacidad de eliminación de partículas. La coagulación neutraliza cargas y forma una masa gelatinosa que atrapa (o une) partículas, aumentando su tamaño de modo que puede quedar atrapada en el filtro o sedimentar. La floculación mueve suavemente o agita tales partículas, haciendo que se unan formando masas mayores que sedimentan con más facilidad o pueden ser filtradas (Mazille & Spuhler, s. f.).

## **PROBLEMÁTICA DEL AGUA EN EL MUNDO**

El agua potable es esencial para cubrir las necesidades de los seres humanos, como la alimentación, el aseo personal, el uso de este recurso para satisfacer nuestras necesidades físicas, sociales y económicas (Organización Mundial de la Salud, 2006).

El uso fundamental del agua para el ser humano es el consumo directo, no obstante, existen otros usos con requerimientos de calidad que pueden tener mayor exigencia de tratamiento, este

debe recibir el grado máximo de protección sanitaria. (Romero, J., 2002). Es preciso mencionar que al agua que se encuentra libre de microorganismos que causen enfermedades, además sin sustancias químicas que se produzcan efectos nocivos para la salud produciendo efectos fisiológicos, es considerada como recurso de calidad y apto para consumo (Organización Mundial de la Salud, 2006).

El agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas y para la supervivencia de los seres humanos. El agua también forma parte crucial de la adaptación al cambio climático, y es un decisivo vínculo entre la sociedad y el medioambiente (United Nations, s. f.).

Cada país regula la calidad de agua para consumo humano estableciendo y exigiendo normas de calidad de agua segura o potable, además mediante las entidades de manejo del recurso, creando estrategias pertinentes para resguardar este líquido tan importante de cualquier contaminación o impureza. (Romero, J., 2002).

El deterioro de la calidad del agua tiene efectos negativos para el medio ambiente, la salud y la economía global. El propio presidente del Banco Mundial, David Malpass, alerta del impacto económico: "El deterioro de la calidad del agua frena el crecimiento y exagera la pobreza en muchos países". La explicación está en que cuando la demanda biológica de oxígeno —medida que muestra la contaminación orgánica registrada en el agua — supera determinado umbral el crecimiento del Producto Interior Bruto (PIB) de las regiones ubicadas en las cuencas cae hasta un tercio (Iberdrola, 2021).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define el agua contaminada como aquella que sufre cambios en su composición hasta quedar inservible. Es decir, es agua tóxica que no se puede ni beber ni destinar a actividades esenciales como la agricultura, además de una fuente de

insalubridad que provoca más de 500.000 muertes anuales a nivel global por diarrea y transmite enfermedades como el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis (UNESCO, 2015).

Los principales contaminantes del agua incluyen bacterias, virus, parásitos, fertilizantes, pesticidas, fármacos, nitratos, fosfatos, plásticos, desechos fecales y hasta sustancias radiactivas. Estos elementos no siempre tiñen el agua, haciendo que la contaminación hídrica resulte invisible en muchas ocasiones. Por esta razón, se suele recurrir al análisis químico de pequeñas muestras y organismos acuáticos para conocer el estado de la calidad del agua (UNESCO, 2015).

El aumento de la temperatura terrestre, a causa de las emisiones de CO<sub>2</sub>, calienta el agua y esto hace que disminuya su nivel de oxígeno. La tala de los bosques puede agotar las fuentes hídricas y genera residuos orgánicos que sirven de caldo de cultivo para bacterias contaminantes. Los vertidos de productos químicos procedentes de estos sectores son unas de las causas principales de la eutrofización del agua. La ONU asegura que más del 80 % de las aguas residuales del mundo que llegan al mar y a los ríos están sin depurar. Buena parte de los plásticos que contaminan los océanos proceden de los barcos pesqueros, petroleros y de transporte de mercancías. El transporte y el almacenamiento del petróleo y sus derivados dan lugar a filtraciones que pueden llegar a las fuentes de agua (UNESCO, 2015).

El agua contaminada y el saneamiento deficiente contribuyen a la transmisión de enfermedades como el cólera, otras enfermedades diarreicas, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Si no hay servicios de agua y saneamiento, o si estos son insuficientes o están gestionados de forma inapropiada, la población se expone a riesgos para su salud que, en realidad, se pueden prevenir. Esta prevención se podría conseguir especialmente en los establecimientos de salud sin servicios de suministro de agua, saneamiento e higiene, donde tanto

pacientes como profesionales corren más riesgo de contraer infecciones y enfermedades (World Health Organization: WHO, 2023).

El agua es un requisito fisiológico para mantener una hidratación adecuada, preparar alimentos y mantener la higiene. El agua contaminada transmite enfermedades infecciosas y, a veces, enfermedades no infecciosas, como la intoxicación por plomo de las tuberías y la fontanería que usan este metal. La falta de acceso a agua suficiente desalienta las prácticas de higiene. El agua puede estar contaminada por microbios y productos químicos en su origen, en su almacenamiento y en su transporte, ya sea por recipientes portátiles, camiones cisterna o tuberías de distribución. Es importante garantizar que el suministro de agua potable sea fiable, que esté protegido de la contaminación por aguas residuales y que las tuberías y los sistemas de almacenamiento estén correctamente instalados y mantenidos (Organización Mundial de la Salud, 2001).

La mejora de los sistemas de abastecimiento de agua debe lograrse haciendo frente al cambio climático, la mayor escasez de agua, el crecimiento de la población, los cambios demográficos y la urbanización. De hecho, más de 2000 millones de personas viven en países con escasez de agua, una situación que probablemente empeorará en algunas regiones como resultado del cambio climático y el crecimiento demográfico. Una estrategia importante para recuperar agua, nutrientes y energía es reutilizar las aguas residuales. El uso de aguas residuales y lodos es una práctica extendida en todo el mundo; sin embargo, gran parte se utiliza sin los conocimientos adecuados, sin tratar y sin otros controles que garanticen la protección de la salud humana y del medio ambiente. Si se hace correctamente, las aguas residuales y los lodos se pueden reutilizar sin riesgos y reportar múltiples beneficios, entre ellos un incremento de la producción de alimentos,



una mayor resiliencia a la escasez de agua y nutrientes y una mayor circularidad en la economía. (World Health Organization: WHO, 2023).

## **NORMAS OFICIALES MEXICANAS DEL SECTOR AGUA EN MÉXICO**

A continuación, se especifican las normas oficiales mexicanas con respecto a su tratamiento de potabilización y las condiciones necesarias que se requiere para que el agua sea utilizada para el consumo humano y cualquier actividad.

### **Comisión Nacional del Agua**

NOM-001-CONAGUA-2011 Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario. Hermeticidad, especificaciones y métodos de prueba.

NOM-002-CNA-1995 Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable. Especificaciones y métodos de prueba.

NOM-003-CONAGUA-1996 Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.

NOM-004-CONAGUA-1996 Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.

NOM-005-CONAGUA-1996 Fluxómetros. Especificaciones y métodos de prueba.

NOM-006-CNA-1997 Fosas sépticas prefabricadas. Especificaciones y métodos de prueba.

NOM-008-CNA-1998 Regaderas empleadas en el aseo corporal. Especificaciones y métodos de prueba.

NOM-009-CONAGUA-1998 Inodoros para uso sanitario. Especificaciones y métodos de prueba.

NOM-010-CNA-1999 Válvula de admisión y válvula de descarga para tanque de inodoro. Especificaciones y métodos de prueba.

NOM-011-CONAGUA -2015 Conservación del recurso agua. Establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.

NOM-013-CNA-2000 Redes de distribución de agua potable. Especificaciones de hermeticidad y métodos de prueba.

### **Secretaría de Salubridad y Asistencia**

NOM-013-SSA1-1993 Requisitos sanitarios que debe cumplir la cisterna de un vehículo para el transporte y distribución de agua para uso y consumo humano.

NOM-014-SSA1-1993 Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento públicos y privados.

NOM-127-SSA1-1994 Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

NOM-179-SSA1-1998 Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público.

NOM-230-SSA1-2002 Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.

Legislación y parámetros permisibles para el consumo y uso de agua potable en México

**NOM-127-SSA1-2017**, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades relacionadas con el agua, para lo cual se requiere establecer y mantener actualizados los límites permisibles en cuanto a sus características físicas, químicas, microbiológicas, y radiactivas, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua que se entrega al consumidor por los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados (Secretaría de salud, 2019).

Por tales razones la Secretaría de Salud, propone la emisión de la presente Norma Oficial Mexicana, con la finalidad de establecer un eficaz control sanitario del agua que se somete a tratamientos de potabilización a efecto de hacerla apta para uso y consumo humano, acorde a las necesidades actuales (Secretaría de salud, 2019).

Especificaciones requeridas para que el agua sea apta para el uso y consumo humano.

***Cuadro I. Especificaciones sanitarias físicas***

<b>Parámetros</b>	<b>Límite permisible</b>	<b>Unidades</b>
Turbiedad <sup>a</sup>	4.0	UNT
pH	6.5 a 8.5	Unidades de pH
Color Verdadero	15	UC

- El límite permisible para Turbiedad será de 3.0 UNT a partir del año 2019.

**Fuente (DOF, 2019)**

**Cuadro II. Especificaciones sanitarias químicas**

<b>Parámetros</b>	<b>Límite permisible</b>	<b>Unidades</b>
Cianuros totales	0.07	mg/L
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	500.00	mg/L
Fluoruros como F <sup>-a</sup>	1.50	mg/L
Nitrógeno amoniacal	0.50	mg/L
Nitrógeno de nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	11.00	mg/L
Nitrógeno de nitritos (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0.90	mg/L
Sólidos disueltos totales	1000.00	mg/L
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	400.00	mg/L
Sustancias activas al azul de metileno	0.50	mg/L

- <sup>a</sup> El límite permisible para fluoruros será de 1.50 mg/L para todas las localidades y se ajustará de conformidad con la tabla de cumplimiento gradual.

Fuente ( DOF, 2019).

**Cuadro III. Tabla de cumplimiento gradual para fluoruro**

<b>Localidad</b>	<b>Año</b>	<b>Límite permisible</b>	<b>Unidades</b>
Mayor de 500,000 habitantes	2020	1.0	mg/L
Entre 50,000 y 499,999 habitantes	2022	1.0	mg/L
Menor de 50,000 habitantes	2025	1.0	mg/L

Fuente ( DOF, 2019)

**Cuadro IV. Especificaciones sanitarias de metales y metaloides**

<b>Parámetros</b>	<b>Límite permisible</b>	<b>Unidades</b>
Aluminio	0.20	mg/L
Arsénico <sup>a</sup>	0.025	mg/L
Bario	1.3	mg/L
Cadmio <sup>b</sup>	0.005	mg/L
Cobre	2.00	mg/L
Cromo total	0.05	mg/L
Hierro	0.30	mg/L

<b>Parámetros</b>	<b>Límite permisible</b>	<b>Unidades</b>
Manganeso	0.15	mg/L
Mercurio	0.006	mg/L
Níquel	0.07	mg/L
Plomo	0.01	mg/L
Selenio	0.04	mg/L

Fuente ( DOF, 2019)

- NOTA 1 Los límites permisibles de metales y metaloides se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

- <sup>a</sup> El límite permisible para arsénico será de 0.025 mg/L para todas las localidades y se ajustará de conformidad con la tabla de cumplimiento gradual Cuadro V, de este punto 5.4.
- <sup>b</sup> El límite permisible para cadmio será de 0.005 mg/L para todas las localidades y se ajustará de conformidad con la tabla de cumplimiento gradual Cuadro V, de este punto 5.4.

**Cuadro V. Tabla de cumplimiento gradual para arsénico y cadmio**

<b>Localidad</b>	<b>Año</b>	<b>Límite permisible de arsénico</b>	<b>Límite permisible de cadmio</b>	<b>Unidades para arsénico y cadmio</b>
Mayor de 500,000 habitantes	2020	0.01	0.003	mg/L
Entre 50,000 y 499,999 habitantes	2022	0.01	0.003	mg/L
Menor de 50,000 habitantes	2025	0.01	0.003	mg/L

Fuente ( DOF, 2019)

**Cuadro VI. Especificaciones sanitarias microbiológicas**

<b>Parámetros</b>	<b>Límite permisible</b>	<b>Unidades</b>
<i>E. coli</i> o	<1.1	NMP/100 mL
Coliformes fecales u	<1	UFC/100 mL
Organismos termotolerantes	Ausencia	Ausencia o Presencia/100mL
<i>Giardia lamblia</i>	Ausencia	Quistes/20L

Fuente ( DOF, 2019)

- NOTA 1 El organismo responsable debe seleccionar uno de los tres parámetros para su análisis: *E. coli* o coliformes fecales u organismos termotolerantes.
- NOTA 2 Las unidades de medida (NMP/100mL; UFC/100mL; Ausencia o Presencia/100mL) corresponden a los tres métodos de prueba aceptados para el cumplimiento de esta Norma.
- NOTA 3 *Giardia lamblia* debe determinarse sólo en caso de que el agua provenga de fuente superficial o que la fuente tenga influencia de agua superficial.

**Cuadro VII. Especificaciones sanitarias de fitotoxinas**

<b>Parámetros</b>	<b>Límite permisible</b>	<b>Unidades</b>
Microcistina-LR	1.0	µg/L

Fuente ( DOF, 2019)

- NOTA 1 La microcistina-LR se debe determinar cuando el agua proviene de una fuente superficial.

**Cuadro VIII. Especificaciones sanitarias de radiactividad**

<b>Parámetros</b>	<b>Límite permisible</b>	<b>Unidades</b>
Radiactividad alfa total	0.5	Bq/L
Radiactividad beta total	1.0	Bq/L

Fuente ( DOF, 2019)

- Residuales de la desinfección: Si para la desinfección del agua se utiliza algún compuesto de cloro (hipoclorito de sodio o de calcio, gas cloro o dióxido de cloro) debe medirse cloro residual libre.
- Si para la desinfección del agua se utiliza yodo debe medirse yodo residual libre.
- Si para la desinfección del agua se utiliza cualquier forma de plata debe medirse plata total.



**Cuadro IX. Especificaciones sanitarias de residuales de la desinfección**

<b>Parámetros</b>	<b>Límite permisible</b>	<b>Unidades</b>
Cloro residual libre	0.2 a 1.5	mg/L
Yodo residual libre	0.2 a 1.5	mg/L
Plata total	0.05 a 0.1	mg/L

Fuente ( DOF, 2019)

- La Secretaría de Salud determinará si un agente diferente a los establecidos en la Cuadro IX puede ser utilizado para la desinfección de agua para uso y consumo humano.
- En caso de un brote, para garantizar la protección a la población, la Secretaría de Salud determinará el agente desinfectante del agua y el intervalo de concentración de los residuales de desinfección.
- Subproductos de la desinfección.
- Si el agua se desinfecta con algún compuesto de cloro se deben medir los subproductos de la desinfección: trihalometanos y ácidos haloacéticos, de conformidad con lo establecido en las Cuadros X y XI de esta Norma.

**Cuadro X. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - trihalometanos**

<b>Parámetros</b>	<b>Límite permisible</b>	<b>Unidades</b>
Bromodiclorometano	60	µg/L
Bromoformo	100	µg/L
Cloroformo	300	µg/L
Dibromoclorometano	100	µg/L

Fuente ( DOF, 2019)

**Cuadro XI. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - ácidos haloacéticos**

<b>Parámetros</b>	<b>Límite permisible</b>	<b>Unidades</b>
Ácido cloroacético	20	µg/L
Ácido dicloroacético	50	µg/L
Ácido tricloroacético	200	µg/L

Fuente ( DOF, 2019)

- Si el agua se desinfecta con ozono, se deben medir los subproductos de la desinfección: aniones y carbonilos, de conformidad con lo establecido en los Cuadros XII y XIII de esta Norma.

**Cuadro XII. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - aniones**

<b>Parámetros</b>	<b>Límite permisible</b>	<b>Unidades</b>
Bromatos	10	µg/L
Cloratos	700	µg/L
Cloritos	700	µg/L

Fuente ( DOF, 2019)

**Cuadro XIII. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - carbonilos**

Parámetros	Límite permisible	Unidades
Formaldehído	900	µg/L

Fuente ( DOF, 2019)

- Compuestos orgánicos sintéticos:

**Cuadro XIV. Especificaciones sanitarias de compuestos orgánicos sintéticos**

Parámetros	Límite permisible	Unidades
Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles fijos	0.01	mg/L
Compuestos orgánicos no halogenados	0.025	mg/L
Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles purgables	0.005	mg/L
	Benceno	10 µg/L
	Estireno	20 µg/L
Compuestos orgánicos volátiles no halogenados	Etilbenceno	300 µg/L
	Tolueno	700 µg/L
	Xilenos (suma de isómeros ortos, meta y para)	500 µg/L

Fuente ( DOF, 2019)

- En caso de sobrepasar alguno de los límites permisibles de los grupos de compuestos orgánicos sintéticos del Cuadro XIV de esta Norma, el organismo responsable deberá analizar los compuestos orgánicos asociados establecidos en el Apéndice A Normativo de esta Norma correspondientes al grupo de compuestos orgánicos sintéticos que sobrepase el límite permisible.

- Cuando se excedan los límites permisibles expuestos en este Capítulo, se deben aplicar los procesos de tratamiento adecuados para su remoción, entre los cuales puede aplicar el que corresponda, de los referidos en el Apéndice C Informativo de esta Norma o cualquier otro que sea efectivo para la remoción del contaminante.
- En caso de alguna emergencia (ver inciso 3.9 de esta Norma), la Secretaría de Salud definirá los parámetros y límites aplicables al agua destinada para uso y consumo humano, conforme a lo dispuesto por el artículo 116 de la Ley General de Salud.

# CAPÍTULO II

## GENERALIDADES DE LA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

### COAGULACIÓN

La coagulación es un proceso común en el tratamiento de aguas aplicado para la desestabilización de impurezas coloidales y disueltas, produciendo agregados de flóculos grandes que pueden ser removidos por subsiguientes procesos de filtración/clarificación (GAO, 2002).

La coagulación y la floculación son dos procesos que deben ejecutarse uno seguido del otro, estos son operaciones que se llevan a cabo en la potabilización de agua la cual se encarga de la remoción de la turbiedad orgánica e inorgánica, solidos suspendidos, o solidos suspendidos que no son susceptibles a sedimentarse rápidamente, así como la remoción de color verdadero y aparente, eliminación de virus, bacterias y microorganismos patógenos que presenten respuesta a estos métodos y también contribuyen con la destrucción de sustancias productoras de olor y sabor. Fuente (Zambrano & Liliana, 2008).

El agente coagulante que permite la neutralización de las fuerzas que las mantienen separadas, lo cual se logra al someter al flujo a una agitación muy intensa o mezcla rápida que permita la dispersión de la totalidad del coagulante en el volumen de agua a tratar dentro del menor tiempo posible, dando lugar a la generación de un efecto de desestabilización más efectivo y en un menor período de tiempo. Fuente (Zambrano & Liliana, 2008; Heddam et al, 2012).

#### Fases de la coagulación

- 1ra Fase: Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas existentes en la suspensión.
- 2da Fase: Precipitación y formación de componentes químicos que se polimerizan.

- 3ra Fase: Adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides.
- 4ta Fase: Adsorción mutua entre los coloides.
- 5ta Fase: Acción de barrido (Márquez, 1994).

El coagulante más usado es el sulfato de aluminio, el cual presenta muy buenos resultados en cuanto a la remoción de contaminantes, sin embargo, el impacto económico y medioambiental debido a su uso es muy alto. Además, su uso genera grandes cantidades de lodos de desecho, los cuales son difíciles de tratar, por otra parte los lodos remanentes generan tierras inertes no aptas para algún cultivo; los altos niveles de aluminio remanente en las aguas tratadas ponen en riesgo la salud pública debido que grandes cantidades pueden ser causantes del síndrome de Alzheimer, lo cual ha sido demostrado en investigaciones médicas realizadas en Inglaterra, donde se ha encontrado que el riesgo de contraer esta enfermedad es 1.5 veces mayor en aquellos sitios donde las concentraciones de aluminio en el agua exceden los 0.110 mg/L (Zambrano & Liliana, 2008).

El uso de coagulantes naturales extraídos de plantas, para el tratamiento de aguas data de varios milenios (Sanghi et al, 2002) y, continuamente se hacen estudios que permiten identificar la potencialidad de distintas plantas para este propósito, y que permitan disminuir el uso de sustancias químicas sintéticas, así como la producción de lodos biodegradables (Choque-Quispe et al, 2018).

Estos polímeros son complejos en su composición química, están constituidos principalmente por varios tipos de polisacáridos y proteínas. Algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes y en muchos lugares son usados en forma empírica para aclarar el agua turbia con resultados satisfactorios (Choque-Quispe et al, 2018).

Los coagulantes pueden clasificarse en tres grandes grupos: Los coagulantes metálicos, los coagulantes de origen vegetal y los polielectrolitos o ayudantes de coagulación. Los dos primeros

actúan durante el proceso de coagulación, mientras que los ayudantes ejercen su efecto en la floculación, contribuyendo con la formación de flóculos más pesados (Castrillón & Giraldo, 2012).

También es común el uso de los coagulantes vegetales como coadyuvantes en el proceso de coagulación, dando como resultado la formación de flóculos con mejores características de sedimentación (Solís et al, 2012).

En la selección del coagulante deben ser considerados varios factores:

- pH, naturales y calidad del agua a tratar.
- Destino del agua tratada.
- Destino previsto después de la coagulación (sedimentación, filtración)
- Grado de pureza del reactivo empleado como coagulante (Pérez & Vargas, 2006).

Los agentes coagulantes más empleados en el tratamiento de aguas son las sales Al y Fe (III), particularmente los sulfatos (Pérez & Vargas, 2006).

El sulfato de aluminio resulta un buen coagulante para aguas que contienen apreciables cantidades de materia orgánica. Los coagulantes de Fe III pueden ser aplicados en un amplio intervalo de pH y son generalmente efectivos en la eliminación de color del agua, aunque usualmente son más costosos que los de aluminio (Pérez & Vargas, 2006).

## **FLOCULACIÓN**

La importancia de la floculación radica en que es el proceso que complementa la eliminación de las fuerzas responsables de que las partículas se encuentren separadas y a su vez de transportarlas a través del fluido para que entren en contacto y establezcan puentes entre sí que les permitan aglomerarse (Lorenzo-Acosta, 2006).

Factores que influyen en la floculación:

- Que la coagulación precedente sea lo más efectiva posible.
- Disponer de una agitación lenta y homogénea
- La floculación es estimulada por una agitación lenta de la mezcla puesto que así se favorece la unión entre los flóculos. El mezclado demasiado intenso debe evitarse porque rompería los flóculos ya formados (Lorenzo-Acosta, 2006).

- Temperatura

La influencia principal de la temperatura en la floculación es su efecto sobre el tiempo requerido para una buena formación de flóculos. Generalmente, temperaturas bajas dificultan la clarificación del agua, por lo que se requieren periodos de floculación más largos o mayores dosis de coagulante o floculante (Lorenzo-Acosta, 2006).

- Características del agua.
- Empleo de floculantes o ayudantes de la coagulación-floculación.

Los floculantes, llamados también ayudantes de coagulación, ayudantes de floculación e incluso ayudantes de la sedimentación o de la filtración, son productos destinados a favorecer cada una de estas operaciones. La acción puede ejercerse a nivel de la velocidad de reacción (floculación más rápida) o a nivel de la calidad del flóculo (flóculo más pesado, más voluminoso y coherente) (Lorenzo-Acosta, 2006).

Según su naturaleza, los floculantes pueden ser:

- Minerales: por ejemplo, la sílice activada.



- Orgánicos: son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético (Lorenzo-Acosta, 2006).

Los floculantes orgánicos de origen natural se obtienen a partir de productos naturales como alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos vegetales) y derivados de la celulosa. Su eficacia es relativamente pequeña (Lorenzo-Acosta, 2006).

- Los de origen sintético, son macromoléculas de cadena larga, solubles en agua, conseguidas por asociación de monómeros simples sintéticos, alguno de los cuales poseen cargas eléctricas o grupos ionizables, por lo que se le denominan polielectrolitos (Lorenzo-Acosta, 2006).

### **Floculantes más usados.**

- Sílice activada: Fue el primer floculante empleado y sigue siendo el que mejores resultados puede dar cuando se emplean sales de aluminio. Consiste en una solución de ácido polisilícico ( $(H_2SiO_3)_4$ ), procedente de una polimerización controlada del silicato de sodio ( $NaSiO_2$ ) en medio ácido. Su mayor desventaja es su inestabilidad.
- Arcillas: Bentonitas, caolinitas son añadidas como lechadas para aumentar frecuencia de colisiones y aumentar el peso en el flóculo.
- Otros floculantes minerales: carbón activado en polvo, arena fina (diatomeas), blanco de mendón ( $CaCO_3$  precipitado), etc. (Marquez, 1994).
- Polímeros orgánicos naturales: Son principalmente almidones (polisacáridos) extraídos de granos, semillas y corteza de origen vegetal, así como varios tipos de suelos. Generalmente no tienen un peso molecular tan alto como los polímeros sintéticos (Chedoba et al, 1996).

Los polímeros orgánicos actualmente utilizados como ayudantes de la coagulación son sustancias orgánicas de elevada masa molecular, que cumplen la función de propiciar un mayor

crecimiento del floculo, con lo cual se incrementa notablemente su velocidad de sedimentación, repercutiendo en un sedimentado posterior de menores dimensiones (Lorenzo-Acosta, 2006).

- Polímeros orgánicos sintéticos: Son producidos por la transformación química de los derivados del petróleo y del carbón y aunque no todos se encuentran en forma de polvo seco están generalmente constituidos por poliacrilinas (no iónicas) o poliacríida hidrolizado (aniónicos) con alto peso molecular, que van a favorecer la aglomeración de los floculos a través de puentes. Un polímero es simplemente una macromolécula que tiene una unidad simple repetida (monómero), algunos de los cuales poseen cargas eléctricas o grupos ionizables (Chedoba et al, 1996).

Los ayudantes de la coagulación de tipo sintético resultan costosos y se utilizan en dosificaciones muy pequeñas. El costo de estos floculantes es compensado en una parte por sus altos beneficios normalmente se utilizan concentraciones menores de 1 mg/l, debiendo determinarse experimentalmente la dosis a emplear mediante las “pruebas de jarras” (Lorenzo-Acosta, 2006).

- Polímeros no iónicos: Las poliacrilamidas ( $2-4 \times 10^6$  g/mol) son usadas en clarificación y deshidratación de lodos, incrementan la resistencia del floculo y frecuentemente se utilizan también como ayudantes de filtración en línea. Las poliaminas de cadenas más cortas (menor de  $1 \times 10^6$  g/mol), son usadas sólo en clarificación como coagulantes primarios y como ayudante de coagulación la de alto peso molecular (Water quality treatment, s.f.).
- Polímeros aniónicos: Son polielectrolitos cargados negativamente y caracterizados por la coexistencia de grupos que permiten la adsorción y grupos ionizados negativamente (carboxílicos o sulfúricos), cuyo papel consiste en provocar la extensión del polímero. Entre éstos podemos mencionar las poliacrilamidas parcialmente hidrolizadas con sosa cáustica (Water quality treatment, s.f.).

- **Polímeros catiónicos:** Son polielectrolitos cargados positivamente que poseen en sus largas cadenas una carga eléctrica positiva, debido a grupos aminos, amonio cuaternario, capaz de remover la turbidez y el color, acondicionador de lodos, con peso molecular entre  $10^4$ - $10^6$  g/mol y pueden usarse junto a coagulantes inorgánicos, resistentes al cloro, su densidad de carga no es sensible a cambios de PH. Las poliaminas cuaternarias con peso molecular más bajo ( $10^4$ - $10^5$  g/mol) son usadas mayormente como coagulante primario para la remoción de color. Las poliaminas ( $10^4$ - $10^7$  g/mol) menos frecuente es usada como coagulante primario, reacciona con el dicloro y es sensible a cambios de pH. Los polielectrolitos catiónicos funcionan como coagulantes (neutralización de cargas). El mayor beneficio obtenido con los floculantes poliméricos es un mayor incremento en el tamaño del flóculo, obteniéndose una más rápida sedimentación (Chedoba et al, 1996).

## **Estado coloidal**

Las diferentes sustancias que contiene el agua pueden estar presentes en ella de varias formas: cuando una molécula de una sustancia está disgregada dentro del agua, se dice que dicha sustancia está en solución; cuando partículas muy pequeñas de la sustancia están dispersas en el agua, se dicen que están en estado coloidal o en dispersión coloidal; cuando partículas relativamente grandes de una sustancia se encuentran flotando dentro del agua, se dice que están en suspensión. (Pérez, 2010).

## **Propiedades de los coloides**

Propiedades cinéticas

Movimiento Browniano

Una de las propiedades que más distingue a las dispersiones coloidales, es el que no pueden sedimentarse, aun cuando las partículas sean más densas que el líquido que las rodea (Valencia, 2000). La teoría de la cinética explica este fenómeno como resultado del bombardeo caótico de las partículas en suspensión por parte de las moléculas del agua, situación que aumenta al elevarse la temperatura del líquido (Kirchemer, 1981).

## Difusión

El movimiento incesante de las partículas coloidales hace que estas se difundan, esto es, que se distribuyan uniformemente en el solvente. La velocidad de difusión es mucho menor que la velocidad media de la partícula en el movimiento browniano (Valencia, 2000).

## Presión osmótica

Si un solvente, agua, y un sistema coloidal, aguas más coloides, se encuentran separados por una membrana, la cual es permeable al solvente, pero no a los coloides, la dilución puede ocurrir solamente con el movimiento del solvente hacia el sistema coloidal a través de la membrana. Esto ocurre en forma espontánea y se llama flujo osmótico. Si se aplica una presión hidrostática apropiada de forma que el flujo osmótico se detenga, se alcanza un estado de equilibrio. La presión balanceante es la presión osmótica (Kirchemer, 1981).

## Propiedades ópticas

Las propiedades ópticas son: la dispersión de la luz y la opalescencia.

## Diseminación de la luz

Un rayo de luz es diseminado al pasar a través de una suspensión coloidal. La diseminación es proporcional al tamaño de las partículas. Cuando se usa un rayo bien definido se puede observar claramente un cono de luz. A este fenómeno se le suele llamar efecto de Tyndal-Faraday. La diseminación hace aparecer las soluciones turbias. La turbiedad es por tanto una forma de medir la concentración de partículas coloidales en un líquido (Valencia, 2000).

## Opalescencia

Los coloides son primariamente incoloros. Sin embargo, las suspensiones coloidales aparecen con una cierta coloración. Esto puede deberse a:

1. A la diseminación de la luz.
2. A la absorción selectiva por el coloide de una cierta longitud de onda.

La coloración puede usarse también para medir la concentración de los coloides (Valencia, 2000).

### Propiedades de superficie

Las partículas coloidales se caracterizan por tener una gran superficie específica, definida como la relación entre el área superficial y la masa de una partícula. El Cuadro XV muestra el efecto de la disminución del tamaño de las esferas sobre el área total superficial y el tiempo de sedimentación requerido (Pérez, 2010).

**Cuadro XV. Efecto del tamaño decreciente de las esferas**

Diámetro partículas [mm]	Orden de tamaño	Área superficial total	Tiempo necesario para la sedimentación
10	Grava	3.142 $cm^2$	0.3 s
1	Arena gruesa	31.42 $cm^2$	3 s
0.1	Arena fina	314.2 $cm^2$	38 s
0.01	Limo	0.31 $m^2$	33 min
0.001	Bacterias	3.14 $m^2$	55 h
0.0001	Partículas coloidales	3.17 $m^2$	230 d
0.00001	Partículas coloidales	2.833 $m^2$	6.3 años
0.000001	Partículas coloidales	28.328 $m^2$	Mínimo de 63 años

Fuente:( Pérez, 2010).

### Propiedades electrocinéticas

Las partículas coloidales tienen carga eléctrica y se mueven de acuerdo con su carga hacia el electrodo de signo opuesto. Por su naturaleza, casi todos los coloides poseen carga negativa, lo

cual es muy importante para comprender la estabilidad de las dispersiones coloidales (Pérez, 2010).

## **Naturaleza de la turbiedad y color**

### **Turbiedad**

La turbiedad o turbidez es el producto visual ocasionado por la dispersión e interrupción de los rayos luminosos que se encuentran atravesando una muestra de agua; mismas que pueden ser producidas por una gran diversidad de materiales en suspensión que varían su tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otras arcillas, limo, materia de tipo orgánica e inorgánica desintegrada, organismos planctónicos y microorganismos. (Sierra, 2003, como se citó en Montenegro, 2017).

### **Color**

Las causas más usuales por la que existe color en el agua se deben a la presencia de ciertos metales como hierro y manganeso disueltos en la misma, o a su vez por el contacto que tiene el agua con residuos orgánicos como hojas, madera, raíces, entre otros, los cuales están en varios estados de alteración con respecto a su naturaleza, del mismo modo existe taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales (Romero, J., 2002).

La consecuencia del color en el agua se da principalmente por aparición de partículas suspendidas con carga negativa, existen dos tipos de color que son reconocidos en el agua como son:

- color verdadero: este es el color de una muestra una vez que se ha removido la turbidez
- color aparente: muestra el color de las sustancias en solución y coloidales, además el color debido al material suspendido (Romero, J., 2002).

## **Estabilidad e inestabilidad de los coloides**

Se entiende por estabilidad, la propiedad inherente de las partículas coloidales de permanecer en suspensión en el transcurso del tiempo, mientras que, por inestabilidad, se expresa la tendencia de dichas partículas a aglomerarse, siempre que entren en contacto entre sí (Pérez, 2010).

La estabilidad de las dispersiones coloidales se debe a las fuerzas de repulsión, originadas por la carga eléctrica de los coloides, generalmente del mismo signo, y por la hidratación de los coloides hidrofílicos. La inestabilidad se debe a factores como la gravedad, el movimiento browniano y además a las fuerzas de Van der Waals. (Pérez, 2010).

## **Dosis óptima**

La cantidad de coagulante a adicionar durante el proceso de potabilización del agua debe ser determinada con anterioridad, la cual dependerá principalmente del grado de turbidez que presente el agua a tratar. Esta dosis es considerada como el volumen indicado de coagulante a una concentración determinada con la cual se logrará conseguir la formación de flóculos con mayor compactación y velocidad de sedimentación, lo que a su vez permitirá obtener un mayor porcentaje de reducción de la turbidez (Pérez & Vargas, 2006).

Cabe adicionar que el valor de dicha dosis no es constante ya que presentará una variación de acuerdo con la naturaleza y composición del agua que este siendo tratada, razón por la cual no existe una relación matemática que permita calcular una dosis óptima de coagulante con una concentración necesaria para permitir la floculación y que tenga en cuenta todas las variables relacionadas. Por lo anterior, la manera más adecuada de conocer esta dosis es por medio de una simulación a escala de laboratorio de los procesos de coagulación y floculación, donde se pueda ensayar previamente con el agua que será sometida a tratamiento (Pérez & Vargas, 2006).

## CAPÍTULO III

### Características generales de la *Moringa oleífera*

La *Moringa oleífera* conocida comúnmente como *Moringa oleífera* es un árbol pequeño y de crecimiento acelerado que usualmente alcanza de 10-12 metros de altura (Liñan 2010), es originario de los Himalaya, pero ha sido introducido en diferentes lugares como: Bangladesh, Afganistán, Pakistán, Sri Lanka, el Sureste asiático, Asia occidental, la Península Arábiga, África del Oeste, Madagascar, el sur de la Florida, las islas del Caribe, América del Sur, desde México a Perú, Paraguay y Brasil; crece con rapidez en lugares favorables incrementando de 1 a 2 m por año en altura durante los primeros 3 a 4 años (Parrotta, 1993).

La variedad de nombres tanto en inglés ilustra los muchos usos asignados al árbol y sus productos. En algunos lugares se conoce como "palo de tambor" debido a la forma de sus vainas, que son uno de los principales productos alimenticios en la India y África. También es conocido como el árbol del rábano picante, debido al sabor de sus raíces, que los británicos utilizaban en la India como sustituto del rábano silvestre. En algunos sitios del este de África se le conoce como "el mejor amigo de mamá", nombre que indica que la gente conoce muy bien el valor del árbol (Folkard & Sutherland, 1996).

Este cultivo puede ser sembrado por medio de semillas o por reproducción asexual (estacas), aún en suelos pobres; soporta largos períodos de sequía y crece bien en condiciones áridas y semiáridas. Es una de esas especies resistentes que requieren poca atención hortícola y crece rápidamente, hasta cuatro metros en un año. Experiencias recientes con *Moringa oleífera*



desarrolladas en colaboración con el Instituto de Investigación Forestal de Kenia (Kenia Forestar Rexach Instituto) han producido árboles de cuatro metros en sólo cuatro meses. En el sur de Malawi se ha trabajado con el cultivo para probar su potencial en el tratamiento de aguas; los ensayos mostraron que el árbol podría florear y dar fruto en un año. En muchas partes del mundo se han reportado grandes y múltiples cosechas en un solo año (Folkard & Sutherland, 1996).

El árbol tiene una extensa forma de utilización como, por ejemplo; Las vainas verdes, las hojas, las flores y las semillas tostadas son muy nutritivas y se consumen en muchas partes del mundo. El aceite de la semilla de *Moringa oleífera* puede utilizarse en la cocina, para producir jabones, cosméticos y combustible para lámparas. Diferentes partes del árbol se utilizan en medicinas naturales, los residuos de la extracción del aceite de las semillas pueden utilizarse como acondicionador del suelo o como fertilizante y tienen potencial para ser utilizados como suplemento alimenticio avícola y ganadero (Folkard & Sutherland, 1996).

La especie *Moringa oleífera* es la más conocida del género *Moringa* (Figura I). Es oriundo del sur del Himalaya, encontrándose diseminado en gran parte del planeta y conociéndose con muchos nombres tales como: Palo jeringa, acacia y jazmín francés y otros más. Esta planta se



**Fig I. Planta de *Moringa Oleífera***

**Fuente: (GreenSouq, s.f.).**

destaca por sus múltiples usos y adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas. (Rivas, 2019).

La familia de las *Moringaceae* tiene un solo género de arbustos y árboles, de los cuales únicamente *Moringa oleífera* Lam., denominada vulgarmente marango, ha llegado a ser muy conocida como árbol de usos múltiples. Esta especie, nativa de las zonas subhimalayas de Agra y Oudh, en Uttar Pradesh, India nordoccidental, actualmente se cultiva para diversas finalidades en toda la zona tropical (FAO). (Food and Agriculture Organization of the United Nations, s. f).

La *Moringa oleífera* es un árbol caducifolio, de crecimiento rápido, con raíces tuberosas y gruesas, hoja verde claro, de floración abundante, con frutos en cápsulas alargadas y colgantes y que contienen semillas oscuras. Se asocia a zonas tropicales y subtropicales, bastante resistente a la sequía, con una temperatura de crecimiento ideal de 25-35°C, aunque puede tolerar hasta los 48°C (Navas., 2019).

La *Moringa oleífera* es un cultivo importante en India, Etiopía, Filipinas y Sudán, y se está cultivando en África oriental, occidental y austral, Asia tropical, América Latina, el Caribe, Florida y las islas del Pacífico (Navas., 2019).

La *Moringa oleífera* es la especie económicamente más valiosa y procede de Asia meridional, donde crece en las estribaciones del Himalaya, pero se cultiva extensamente en los trópicos. Pueden encontrarse hasta nueve especies al este de Etiopía, al norte de Kenia y en Somalia, siendo ocho de ellas endémicas en África (Food and Agriculture Organization of the United Nations, s. f).

La *Moringa oleifera* es un árbol que llega a medir hasta 12 m de altura, sus hojas son compuestas y están dispuestas en grupos de folíolos, con cinco pares de estos acomodados sobre el pecíolo principal y un folíolo en la parte terminal. Las hojas son alternas tripinadas con una longitud de 30-70 cm. Se trata de un árbol fijo, poco longevo, que puede vivir 20 años como máximo, aunque se han obtenido variedades en la India que son anuales. Es una especie de muy rápido crecimiento. Aporta una gran cantidad de nutrientes al suelo, además de protegerlo de factores externos como la erosión, la desecación y las altas temperaturas. Esta planta crece hasta los 1400 m.s.n.m., con un rango de pH en el suelo que va desde 4 hasta 8, exceptuando suelos arcillosos pesados y prefiere suelos neutros o ligeramente ácidos (Folkard & Sutherland, 1996).

Las hojas tienen cualidades nutritivas sobresalientes, que están entre las mejores de todos los vegetales perennes. El contenido de proteína es del 27%; además tienen cantidades significativas de calcio, hierro y fósforo, así como vitamina A y C. Este valor nutricional es particularmente importante en áreas donde la seguridad alimentaria se puede ver amenazada por períodos de sequía, pues las hojas de moringa pueden cosecharse durante las épocas secas, cuando no hay otros vegetales frescos disponibles (Folkard & Sutherland, 1996).

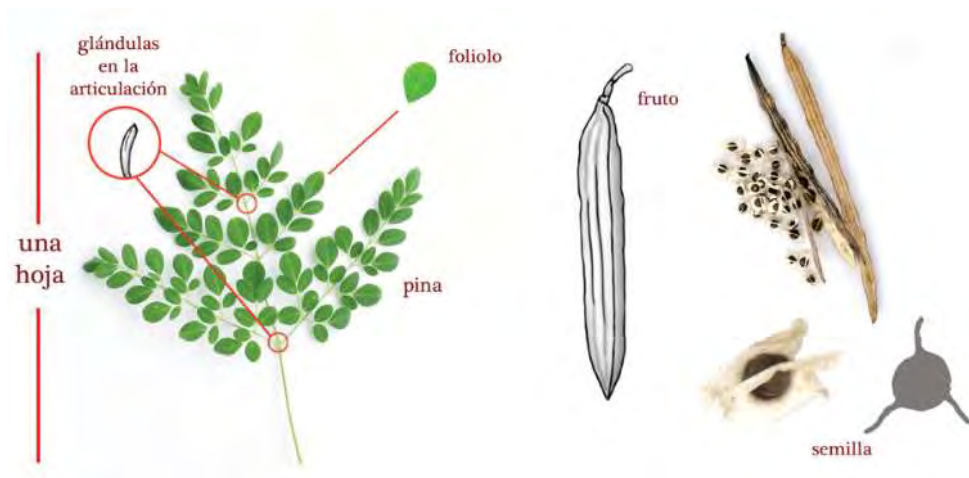
La semilla de *Moringa oleífera* (Figura II) tiene un 40% de aceite; el perfil de ácido graso del aceite indica un 73% de ácido oleico. Esto significa que el aceite de moringa tiene el mismo nivel de calidad - y por lo tanto podría tener el mismo valor de mercado - del aceite de oliva. Las pruebas de laboratorio realizadas en Leicester confirman que la pasta que queda después de la extracción del aceite contiene los ingredientes activos de efecto coagulante. De hecho, el coagulante puede considerarse un subproducto de la extracción del aceite (Folkard & Sutherland,1996).



***Fig II. Semilla de Moringa***

**Fuente: (CienciaUNAM, 2013).**

Las partes que componen la planta de la *Moringa oleífera* como son las hojas, semillas, flores, frutos y las raíces (Figura III) toman un papel fundamental en la nutrición las cuales tienen muchos beneficios para un bienestar general del ser humano (Folkard & Sutherland, 1996).



**Fig III. Partes de la planta de Moringa**

**Fuente: (CienciaUNAM, 2013).**

## **Usos y beneficios de la moringa**

### ***Cuadro XVI. Usos y beneficios de la Moringa oleífera***

1. Alimento animal, por su importante valor nutricional. Se emplea en la alimentación de peces, aves, ganado bovino y porcino, ya que su composición nutricional es similar a la de la soya, de esta manera contribuye indirectamente a una mejoría de la alimentación del ser humano.
2. Las semillas oleaginosas de la *Moringa oleífera* se pueden emplear para la producción de biocombustibles (biodiesel y bioetanol).

3. El aceite extraído de la semilla de la *Moringa oleífera* se usa para hacer cosméticos. Su empleo como humectante, acondicionador, emoliente para la piel, así como ingrediente en jabones, ungüentos, cremas y protectores solares es importante.
4. La semilla tiene empleo como clarificador de miel y del jugo de la caña de azúcar y también por sus propiedades floculante, reductora de la turbidez y de la contaminación bacteriana.
5. Las semillas de la especie vegetal *Moringa oleífera* se emplean en varios países, como es el caso de Cuba, como alternativa para la sustitución de coagulantes químicos en el tratamiento de las aguas residuales (purificación del agua). Este efecto también se puede emplear en la preparación de quesos.
6. La torta de *Moringa oleífera*, obtenida después de la extracción del aceite, es bioestimulante para las bacterias heterotróficas, las cuales tienen capacidad para degradar hidrocarburos aromáticos policíclicos y biorremediar suelos artificialmente contaminados. De ahí que, este subproducto de *Moringa oleífera* se pueda utilizar en la degradación del petróleo crudo de suelos contaminados con esta sustancia.
7. Se puede utilizar como bioplaguicida (pesticida) en la jardinería de mercado (árboles de sombra, setos, pantalla visual y auditiva, incluso como cortavientos), fertilizante y agente de limpieza.
8. Su pulpa se puede emplear para hacer papel prensa y papel celofán, y su leño da un excelente carbón.

9. Las flores presentan actividad caseinolítica por la presencia de iones de calcio dependientes de aspártico, cisteína, serina y proteasa, lo cual tiene aplicación potencial en la industria láctea.
10. Su uso en el campo de la salud del ser humano es ampliamente reconocido.

Fuente: Martín et al, 2013.

### **Clasificación de la *Moringa oleífera***

**Cuadro XVII. Clasificación de la *Moringa oleífera***

Taxonomía	Especies	Nombre común
División. <i>Magnoliophyta</i>	<i>Moringa arbórea</i>	Árbol milagroso
Clase. <i>Magnoliopsida</i>	<i>Moringa borziama</i>	Árbol de la vida
Orden. <i>Brasicales</i>	<i>Moringa Hildebrandtii</i>	Marango
Familia. <i>Moringaceae</i>	<i>Moringa longituba</i>	Paraíso
Género. <i>Moringa</i>	<i>Moringa drouhardii</i>	Palo jeringa
	Especies	Nombre común
	<i>Moringa oleífera</i>	Paraíso blanco
	<i>Moringa ovalifolia</i>	Moringa
	<i>Moringa peregrina</i>	Árbol de la libertad
	<i>Moringa pygmae</i>	Árbol milagroso
	<i>Moringa rivae</i>	Taberinto
	<i>Moringa ruspolina</i>	
	<i>Moringa stenopela</i>	

Fuente. Paniagua & Chora, 2016

## **Alimentación Humana**

Como ya se mencionó, todas las partes de la planta son comestibles desde las hojas hasta la raíz. Los estudios de moringa han ido incrementándose en los últimos años debido a su importancia nutricional ya que el contenido de proteínas, vitaminas y minerales es muy sobresaliente destacando que en esta planta se encuentran todos los aminoácidos esenciales (Paniagua & Chora, 2016).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha estudiado el uso de la *Moringa oleifera* durante décadas como un suplemento proteico, de bajo costo, para ser usado en los países pobres de todo el mundo que sufren de desnutrición. Asimismo, diversos estudios han identificado más de cuarenta compuestos con actividad antioxidante en esta planta, sugiriendo su gran potencial como ingrediente, en el desarrollo de alimentos funcionales innovadores (Gómez & Angulo, 2014).

El forraje de *Moringa oleifera* contiene altas cantidades de proteína, por lo que se puede considerar como un complemento en la nutrición animal, como ya se señaló con anterioridad. La inclusión de esta planta, en hasta un 50 % de la dieta de diferentes animales, aumenta la ganancia diaria de peso, lo que disminuye el uso de suplementos comerciales para cubrir sus requerimientos, sobre todo en la época seca, lo cual indirectamente contribuye a mejorar la alimentación y la economía de la población (Gómez & Angulo, 2014).

A su vez, la *Moringa oleifera* contiene alrededor de 6.75 g de fibra cruda/100 g del polvo de hojas secas y 10.24 g/100 g del polvo de semilla y alimentos como la avena, pan, pastas integrales y lentejas cocidas, contienen de 5 a 10 g de fibra dietética/100 g de alimento, lo que la hace comparable con estos productos. Estos aspectos tienen una repercusión positiva en la



alimentación de cualquier persona, en particular aquellas con trastornos en el metabolismo de los lípidos, proteínas y carbohidratos (Gómez & Angulo, 2014).

El amplio consumo humano de *Moringa oleífera*, como parte de la dieta y de remedios terapéuticos durante siglos, sin que se reporten casos de alergias y toxicidad, podría parecer un aval suficiente de su inocuidad. Sin embargo, el conocimiento acumulado no bastaría si no estuviese respaldado por evidencias científicas. Afortunadamente, la mayoría de las pruebas confirman los elevados márgenes de seguridad de los extractos de hojas, semillas y de otras partes de la planta (Gómez & Angulo, 2014).

### **Contenido de algunos compuestos presentes en la *Moringa oleífera***

#### ***Cuadro XVIII. Información nutricional comparando los alimentos gg***

	Alimento	Hoja de moringa
Vitamina A	Zanahoria	10 veces más
Vitamina C	Naranjas	0.5 veces más
Calcio	Leche	17 veces más
Potasio	Plátano	15 veces más
Hierro	Espinaca	25 veces más
Proteína	Yogurt	9 veces más

*Fuente:* Mathur, 2005

Como se puede observar en la Cuadro XVIII se muestra los diversos nutrientes que proporcionan las hojas de la moringa, cabe mencionar que se desconoce la capacidad que tiene el cuerpo para su absorción.

Existe todavía un camino por explorar del cual se carece de información acerca de la importancia nutricional y disponibilidad de los compuestos o nutrientes en el cuerpo, así como también el valor y absorción de las proteínas en el metabolismo.

### **Usos medicinales**

La medicina ayurvédica le atribuye propiedades a la *Moringa oleifera* para el tratamiento de ciertas dolencias como el asma, la epilepsia, las enfermedades oculares y de la piel, la fiebre y las hemorroides. Otras propiedades farmacológicas beneficiosas atribuidas a esta planta y de las cuales se ha obtenido evidencia científica, incluye efectos o acciones de tipo antioxidante, nefroprotectora, hepatoprotectora, neuroprotectora y retardadoras del envejecimiento (Gómez & Angulo, 2014).

Las hojas frescas trituradas de *Moringa oleifera* son de utilidad para el tratamiento coadyuvante de varias enfermedades crónicas no transmisibles, entre ellas la diabetes mellitus (hipoglucemiante e insulino sensibilizador), dislipidemias (hipocolesterolémico), obesidad, hipertensión arterial,) entre otras. Esto se debe, sobre todo, al contenido total de fenoles y de flavonoides que contiene, el cual es mayor al de otros vegetales (coliflor, espinacas, repollo, brócoli, o los guisantes, por ejemplo (Gómez & Angulo, 2014).

Entre los efectos favorecedores reportados, también se señalan los cardioprotectores, anticancerígenos y quimiopreventivos. Dichas propiedades farmacológicas se atribuyen a la pterigospermina y a los glucosinatos, isotiocianatos, ácidos fenólicos (catequina, ácido elágico, epicatequina), flavonoides (quercetina, kaempferol, miricetina), esteroles, vitaminas, glucósidos y compuestos terpenoides entre otros, contenidos en esta milagrosa planta.) (Gómez & Angulo, 2014).

La corteza de la *Moringa oleifera* es un aperitivo digestivo, la goma es un diurético y abortivo, el aceite es usado para enfermedades de la próstata. Se emplea en la medicina tradicional para tratar artritis, anemia, desnutrición, enfermedades bronquiales y de la piel, tuberculosis, problemas oculares y síntomas del climaterio. Además, se indica que tiene acción antimicrobiana, antifúngica, inmunomoduladora, lo que aporta un efecto coadyuvante de gran utilidad en el tratamiento de dichas enfermedades (Gómez & Angulo, 2014).

Simultáneamente, se describe que esta planta tiene actividad antiviral contra los virus del Herpes simple, Epstein Barr, hepatitis, rinovirus y el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH); al mismo tiempo, se describe que sus flores, vainas y hojas son usadas como antihelmíntico. Se relata también, otros posibles usos como afrodisiaco, antiespasmódico, analgésico, antipirético y antiinflamatorio, estimulante cardiocirculatorio, agente antiulcerogénico y antilitiásico y antidiarreico, entre otros (Gómez & Angulo, 2014).

## Tratamiento de aguas

Contenido de algunos aminoácidos presentes en hojas de *Moringa oleífera*

**Cuadro XIX. Contenido de algunos aminoácidos presentes en hojas de *Moringa oleífera***

Aminoácido	Hoja fresca	Hoja seca
Arginina	406.6 mg	1325 mg
Histidina	149.8 mg	613 mg
Isoleucina	299.6 mg	825 mg
Leucina	492.2 mg	1950 mg
Lisina	342.4 mg	1325 mg
Metionina	117.7 mg	350 mg
Fenilalanina	310.3 mg	1388 mg
Treonina	117.7 mg	1188 mg
Aminoácido	Hoja fresca	Hoja seca
Triptofano	107 mg	425 mg
	374.5 mg	1063 mg

*Valores por 100 gramos de porción comestible. Fuente: : Mathur, 2005*

# CAPÍTULO IV

## DISCUSIÓN DE LOS TRES ARTÍCULOS

Para la realización de este trabajo monográfico se realizó una búsqueda de artículos científicos los cuales indican datos de la eficiencia de la *Moringa oleifera* para tratamientos de aguas, una alternativa con mucho potencial y efectividad.

Cuadro XX. Comparación y similitudes de los 3 artículos científicos

	Artículo 1	Artículo 2	Artículo 3
Nombre del artículo	Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de <i>Moringa oleifera</i> en el proceso de clarificación del agua de la Ciénega de malambo, atlántico.	<i>Moringa oleifera</i> una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales.	<i>Moringa oleifera</i> , importancia, funcionalidad y estudios involucrados
Fecha que realizó	13 de Agosto del 2013	02 de Mayo del 2013	2013
Características	Se realizó un muestreo en la zona de Ciénega de Malambo, Atlántico (Colombia).	Se comparó la eficiencia de turbidez y color del coagulante obtenido de	En este trabajo se realizó una comparación de tres estudios en laboratorio utilizando la <i>Moringa</i>

Se hizo una extracción del coagulante de la *Moringa oleífera*. las semillas de *Moringa oleífera* como tratamiento para aguas.

Se hace la mención que un árbol de moringa puede producir 200 semillas por año por el cual se podría tratar 6.000 L de agua. Posteriormente se realizó tres soluciones sulfato de aluminio comercial y la prueba de jarras tomando como parámetro de comparación y así poder determinar la eficiencia de remoción de los coagulantes naturales.

#### Metodología

Se realizó un muestreo simple y representativo.

Para la extracción del coagulante se pelo manualmente las semillas, se trituraron, se molieron en una licuadora industrial, el polvo se tamizó, posteriormente se sometió al método de extracción de grasas Soxhlet, se secó durante 30 min se empacó y se almacenó en condiciones ambiente.

Para la preparación del coagulante; se pesó 1 g de sulfato de aluminio comercial tipo B y se disolvió en 100 ml de agua destilada, al

Se tomaron muestras del río Samaria del municipio de Nacajuca, Tabasco, el río corresponde a un brazo del río Grijalva que desemboca al Norte del Golfo de México. En esta zona se caracteriza por presentar valores bajos de turbidez en temporada de estiaje y valores altos en periodos de lluvia.

En el mes de mayo del 2009 se recolectaron 100 L de agua a una temperatura de 27°C posteriormente se trasladó al laboratorio donde se midió el pH, turbidez, color al igual la conductividad, el

Se muestran diversos estudios a nivel laboratorio y en planta piloto sobre la aplicación de estas proteínas coagulantes de la *Moringa oleífera* en algunos casos la utilizan en conjunto con el sulfato de aluminio o alumbre, siendo este coagulante más utilizado en el tratamiento o potabilización de agua.

1. Se obtuvo muestra del río donde se le aplicó tratamiento para agua donde el resultado fue un 90% de eliminación de sólidos se usó una dosis de 5.250 mg/L de la semilla

igual lo mismo se hizo con la *Moringa oleífera*. La dosis de coagulantes aplicadas de sulfato de aluminio fueron de 10, 20, 40, 60,80 y 100 mg/L para las semillas de *Moringa oleífera*, determinó mediante ensayos preliminares las mejores dosis, cuyos resultados fueron 750, 770, 790, 810, 830 y 850 mg/L.

También se realizó una prueba de ensayo de jarras donde se llenaron 6 vasos de precipitado con 1000 ml de agua en donde se aplicaron diferentes dosis de los coagulantes y se sometieron a una agitación rápida de 120 rpm durante un minuto luego agitación lenta a 30 rpm durante 20 minutos posteriormente se sedimentaron los flósculos durante 15 minutos, todos los experimentos se realizaron por triplicado.

porcentaje de salinidad y sólidos disueltos totales.

La semilla de *Moringa oleífera* se adquirió de la empresa Pio Renova, ubicada en la ciudad de México. Se realizó la extracción de aceite de la *Moringa oleífera* las semillas se secaron por 24 horas, se pelaron y pulverizaron en un triturador manual, el polvo se colocó en los filtros del extractor, se procedió a la extracción del aceite utilizado 300 ml de ciclo hexano como disolvente por un tiempo aproximado de 3 horas. Terminada la extracción el residuo sólido contenido en el filtro se secó a 104°C durante 24 horas. Se prepararon las soluciones coagulantes con *Moringa oleífera*, solución con agua destilada, con cloruro de sodio, en agua de mar,

de la *Moringa oleífera*.

2. Se usó agua contaminada se utilizó el 0.751 g de semilla se observaron efectos floculantes con los siguientes parámetros, pH y medidor de carbono orgánico.
3. Se usó Agua sintética aquí tuvo una deficiencia de 90% se usó 10 mg/L, donde se midió la turbidez, color, pH y salinidad de agua antes y después del tratamiento, a igual se usó el test de jarras para determinar la dosis del coagulante óptimo para disminuir la turbidez.

Resultado

En esta investigación de tipo experimental, se

Los resultados obtenidos de turbiedad

Durante la revisión bibliográfica para el

elaboró un diseño factorial categórico de un solo factor dosis del coagulante que permitió analizar su influencia sobre la turbidez del agua. Por último el agua presentó una turbidez de 56.5 UNT a una temperatura de 23 °c y un ph de 7.27 según la resolución 2115 de 2007.

Se permitió evaluar y comparar todos los niveles de un solo factor y proteger contra el efecto que puedan tener las variables.

residual en los tratamientos a base de semillas de *Moringa oleífera* indican que el coagulante extraído usando como solución cloruro de sodio y agua de mar presentan una capacidad de remoción similar a la del sulfato de aluminio grado comercial por lo que resulta una excelente alternativa en la remoción de turbiedad de aguas superficiales. Se realizó la prueba de comparación del poder coagulante de la *Moringa oleífera*, al igual un análisis estadístico con un diseño totalmente al azar para el análisis de Varianza y probar la igualdad de medidas entre los tratamientos.

presente estudio, se encontró cuantiosa información acerca de *Moringa oleífera* y como ya se mencionó existen diversas investigaciones acerca de estas proteínas y su actividad coagulante para tratamiento de aguas

## Conclusiones

Para concluir el coagulante natural de semillas de *Moringa oleífera* tienen un poder coagulante que puede reducir a la mitad de turbidez inicial del agua de la ciénaga de malambo- atlántico.

Se concluye que si se encuentra eficiente utilizar la *Moringa oleífera*.

*Moringa oleífera* no descarta los métodos de potabilización: floculación, filtración ya que se forman precipitados o coágulos de materia orgánica que tienen que ser retirados así como también la desinfección con cloro la



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

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

cual es complementada con la propiedad antimicrobiana de la *Moringa oleífera* la cual elimina en su totalidad patógenos presentes. La utilización de estas proteínas coagulantes trae como beneficio el tratamiento del agua a un bajo costo y gran disponibilidad ya que es una planta muy accesible y se tiene una fácil aplicación sin metodologías complejas

**En el artículo titulado, Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de *Moringa oleífera* en el proceso de clarificación del agua de la ciénega de Malambo, Atlántico.**

**Trabajo que se realizó el 12 de agosto del 2013.**

**Hago referencia la tabla número XX**

Posteriormente se realizó un muestreo en la zona de Ciénega de Malambo, Atlántico (Colombia), el cual arrojó los siguientes datos su turbidez (TB 300 IR, Lovibond) y su pH y temperatura (ST2100, OHAUS). De igual forma el agua fue guardada en canecas plásticas con capacidad de 35 l y almacenada a temperatura ambiente.

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

Para la preparación de los coagulantes, se pesó 1 g de sulfato de aluminio comercial tipo B, y se disolvió en 100 ml de agua destilada. El mismo procedimiento se realizó con las semillas de *Moringa oleífera*. Las dosis de coagulante aplicadas de sulfato de aluminio fueron de 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/l. Para las semillas de *Moringa oleífera*, se determinó mediante ensayos preliminares las mejores dosis, cuyos resultados fueron 750, 770, 790, 810, 830 y 850 mg/l

En la potabilización de aguas crudas el pH debe estar entre un rango de 6.5 – 8.0, teniendo estos datos el coagulante natural de la *Moringa oleífera* si entra el rango ya establecido. Es

importante tomar en cuenta que cada coagulante químico tiene un rango de pH óptimo en el que se solubiliza, para el sulfato de aluminio comercial tipo B, este valor varía entre 5.5 y 8.0. Si el pH no se encuentra dentro de este rango, se procede a hacer una corrección adicionando un álcali como cal o soda cáustica o agregando un ácido, clorhídrico o sulfúrico. En este caso no fue necesaria realizar una corrección de pH.

Se realizó una simulación usando el test de jarras (FC6S, VELP) siguiendo los parámetros establecidos por la NTC 3903 de 1996, se procedió a llenar 6 vasos de precipitado con 1000 ml del agua en la cual se aplicaron diferentes dosis del coagulante de igual forma se sometió a agitación rápida de 120 rpm durante un minuto, después se hizo una agitación lenta a 30 rpm durante 20 minutos, posteriormente se sedimentaron los flósculos durante 15 min. Todos los experimentos se realizaron por triplicado. La variable respuesta analizada fue la turbidez, para medirla se extrajo una alícuota de 20 ml de cada jarra.

La dosis del coagulante natural, se pudo verificar la eficiencia sobre la influencia sobre la turbidez del agua de la Ciénega de Malambo. De igual forma se realizó una comparación con el sulfato de aluminio, sustancias químicas más utilizadas en el proceso de potabilización. También se procedió a analizar los resultados y se realizó una tabulación estadística.

#### Resultado- Análisis

El agua presentó una turbidez de 56.5 UNT con una temperatura de 24 grados centígrados y un pH de 7.27

A continuación, se presentan los cuadros de resultados obtenidos

**Cuadro XXI. Características del diseño Factorial para el sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera**

Clase de diseño	Factor categórico individual	
<b>Diseño base</b>		
Numero de factores experimentales	1	
Número de bloques	1	
Número de respuestas	1	
Número de corridas	18	
Grados de libertad para el error	12	
Factores	Niveles	Unidades
Dosis de coagulante	6	mg/l
Variable de respuesta	Unidades	
Turbiedad	UNT	

Fuente: Mercado-Martínez et al, 2018

**Cuadro XXII. Turbidez del agua de la ciénega después del tratamiento usando sulfato de aluminio**

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

Fuente: Mercado-Martínez et al, 2018

El cuadro XXI indica la dosis del coagulante de sulfato de Aluminio la incide sobre la turbidez del agua. Se comprobó que, si pudiese emplear indistintamente la dosis de 20, 40,60,80 y 100 mg/l para así obtener menor turbidez, siendo un químico nocivo para la salud se debe emplear la menor cantidad de dosis 20 mg/l el cual disminuyó la turbidez un 46% cumpliendo con lo establecido para considerarse agua potable

**Cuadro XXIII. Análisis de varianza (Anova) para el sulfato de aluminio**

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

Fuente: Mercado-Martínez et al, 2018

**Cuadro XXIV. Test de Duncan para el sulfato de aluminio**

Nivel	Casos	Media	Grupos homogéneos
100	3	0,1	X
40	3	0,1	X
60	3	0,1	X
80	3	0,1	X
20	3	1,8	X
10	3	23,1	X
<b>Contraste</b>	<b>Sig.</b>		<b>Diferencia</b>
10-20	*		21,23
<b>Contraste</b>	<b>Sig.</b>		<b>Diferencia</b>
10-40	*		22,99
10-60	*		22,99
10-80	*		22,99
10-100	*		22,99
20-40			1,75
20-60			1,75
20-80			1,75
20-100			1,75
40-60			0
40-80			0
40-100			0
60-80			0
60-100			0
80-100			0

Fuente: Mercado-Martínez et al, 2018

**Cuadro XXV. Turbidez del agua en la ciénega después del tratamiento usando semillas de Moringa oleífera**

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

Fuente: Mercado-Martínez et al, 2018

**Cuadro XXVI. Análisis de varianza (Anova) para las semillas de Moringa oleífera**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón F	
Entre grupos	2,20	5	0,44	1,33	0,3171
Intra grupos	3,99	12	0,33		
Total (Corr.)	6,19	17			

Fuente: Mercado-Martínez et al, 2018

**Cuadro XXVII. Test de Duncan para las semillas de *Moringa oleifera***

Nivel	Casos	Media	Grupos homogéneos
850	3	20,6	X
810	3	20,6	X
750	3	20,6	X
790	3	20,7	X
830	3	20,9	X
770	3	21,6	X

Contraste	Sig.	Diferencia
750-770		-0,93
750-790		-0,03
750-810		0,03
750-830		-0,27
750-850		0,07
770-790		0,9
770-810		0,97
770-830		0,67

Contraste	Sig.	Diferencia
770-850		1,0
790-810		0,07
790-830		-0,23
790-850		00,1
810-830		-0,3
810-850		0,03
830-850		0,33

Fuente: Mercado-Martínez et al, 2018

Para concluir cabe mencionar que se utilizó una dosis de 750 mg/l de las semillas de *Moringa oleifera* la cual se obtuvo una reducción de la turbiedad de un 91.6%. De igual forma la *Moringa oleifera* tiene un porcentaje de remoción de turbidez aproximadamente entre el 75-90% cuando la turbidez inicial es alta, aproximadamente de un 200 UNT, por otro lado, si la turbidez es baja 40 UNT el porcentaje alcanza un 50%.

Para el 2009 se realizó un proyecto donde fue un éxito la remoción de la turbidez de 99.8% con *Moringa oleifera* disueltos con un extracto de sal, NaCl con una dosis de 125 mg/l en el cual se utilizó el agua de un río con una turbidez inicial. El cual el estudio confirma que, para una turbidez inicial baja, 50 UNT se necesita una mayor dosis de coagulante 150 mg/l utilizando agua de río y se obtiene una remoción del 95.0%.

En esta investigación que se realizó se removió 96% de la turbidez con el sulfato de aluminio por otro lado el coagulante natural lo hizo en un 64 %. Al tratarse solo del proceso de clarificación (coagulación, floculación y sedimentación), las semillas de *Moringa oleifera* son una alternativa viable de bajo costo y sin efectos nocivos para el ser humano.

Para finalizar en este trabajo se pudo obtener que el coagulante natural de semillas de *Moringa oleifera*, tienen un poder coagulante que puede reducir a la mitad la turbidez inicial del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico.

Mientras tanto el coagulante químico que se utilizó resultó ser más eficiente, las semillas de *Moringa oleifera*, por su baja toxicidad, son una alternativa para reemplazar parcialmente al sulfato de aluminio.

**En el artículo titulado, *Moringa oleifera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales, trabajo que se realizó el 02 de mayo del 2013.**

### **Hago referencia la Tabla XX**

En este trabajo se realizó lo siguiente, se trabajó la extracción del aceite de la *Moringa oleifera*, primeramente, se tomaron muestras del río Samaria que abastece a la planta potabilizadora El Manguito del municipio de Nacajuca, Tabasco. La planta suministra agua potable a los municipios de Nacajuca, Jalpa de Méndez y una zona de Villahermosa. El río Samaria corresponde a un brazo del río Grijalva, desemboca al norte del Golfo de México en la barra de Chiltepec.

Para la realización de este trabajo se hicieron pruebas las cuales se recolectaron en el mes de mayo de 2009, 100 L de agua. La temperatura media a la hora de toma de la muestra fue de

27°C. Se determinaron en el sitio, la temperatura y pH del agua, con un medidor versátil marca HannaMR con precisión 0.1 pH.

Después se trasladaron al laboratorio de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol). Se midió la turbiedad, empleando un turbidímetro marca LaMotteMR con precisión 0.01 NTU-turbiedad por el método EPA 180.1, El color se determinó con el mismo equipo, con una precisión de 0.1 UC-color; por el método estándar 2120B.

Semilla de *Moringa oleifera*, esta semilla utilizada se adquirió con la empresa Pío Renova, está se ubica en la ciudad de México. Estas tienen una forma redonda de color, castaño y con tres a las blanquecidas, al quitar la cascara se encuentra un endospermo blanquecidas, al quitar la cascara se encuentra un endospermo blanquecino oleinoso la cual tiene muchas proteínas, vitaminas y minerales. Estas contiene 4% de humedad un 38.4% de Proteína cruda, 34.7% de aceite, 3.5 de fibra y 3.2 cenizas.

Posteriormente se realizó una extracción del aceite de *Moringa oleifera*. La obtención del extracto a partir de semillas de *Moringa oleifera* se realizó siguiendo la recomendación de Okuda et al., (2001).

Procedimiento, las semillas se secó durante 24 horas en una estufa felissa, posteriormente se pelearon y pulverizaron en un triturado manual Robot Cuope de acero inoxidable, El polvo obtenido se colocó en los filtros de extractor Soxhlet. Se procedió a la extracción del aceite utilizando 300ml de ciclohexano como disolvente por un tiempo aproximado de 3 horas, después se secó a 104 grados centígrados durante 24 horas para eliminar cualquier rastro de disolvente.



El residuo seco, se molió en mortero de ágata para darle uniformidad al grano y se mantuvieron a temperatura ambiente en frascos herméticamente sellados de vidrio para su posterior utilización.

**Cuadro XXVIII. Preparación de soluciones coagulantes con *Moringa oleífera***

<b>Solución de <i>Moringa oleífera</i> en agua destilada</b>	<b>Solución de <i>Moringa oleífera</i> en cloruro de sodio 1N</b>	<b>Solución de <i>Moringa oleífera</i> en agua de mar</b>
10 g de polvo seco de semillas de <i>Moringa oleífera</i>	10 g de polvo seco de semillas de <i>Moringa oleífera</i>	10 g de polvo seco de semillas de <i>Moringa oleífera</i>
1 litro de agua destilada	1 litro de cloruro de sodio 1N	1 litro de agua de mar filtrada
Agitación por 10 min a 60 rpm	Agitación por 10 min a 60 rpm	Agitación por 10 min a 60 rpm
Filtración al vacío en papel filtro Whatman 40	Filtración al vacío en papel filtro Whatman 40f	Filtración al vacío en papel filtro Whatman 40

Fuente: Arreola & Canepa, 2013.

En este cuadro se muestra las soluciones de extracto de *Moringa oleífera* con una concentración de 10,000 mg/L, tomando en cuenta la cantidad inicial de polvo de semilla seca. Luego se realizó la solución de sulfato de aluminio. La preparación de la solución madre se realizó con 2 g de sulfato de aluminio grado reactivo disuelto en un litro de agua destilada. Con una concentración de 2,000 mg/L.

Se hizo una obtención de la dosis óptima de coagulación con el sulfato de aluminio. Una vez que se recolecto el agua del río, se agregó un litro de agua a cada uno de los 6 vasos del equipo de prueba de jarras marca PhippsbirdMR. A cada vaso, se le agregó la solución de sulfato de aluminio en concentraciones de 0, 10, 15, 20, 30, 40 y mg/L, y se procedió al mezclado usando la propuesta de Okuda et al (2001), una mezcla rápida a 150 rpm durante 2 minutos, una mezcla lenta a 30 rpm por 30 minutos y se dejó sedimentar 30 minutos. Se midieron los valores finales de turbiedad, color, pH, conductividad, salinidad y sólidos disueltos totales empleando 4 repeticiones para fines estadísticos. La dosis óptima seleccionada, fue aquella que proporcionó los mejores resultados de remoción de turbiedad y color.

Prueba de comparación del poder coagulante de la *Moringa oleífera*, Las mezclas que se utilizaron fueron Moringa en agua destilada (MOAD), *Moringa oleífera* en Cloruro de sodio (MONA) y *Moringa oleífera* en agua de mar (MOAM). Los tiempos de coagulación, floculación y sedimentación de la prueba de jarras, al finalizar se realizaron pruebas de laboratorio valores de turbiedad, color, pH, conductividad, salinidad y sólidos disueltos totales para evaluar la calidad del agua obtenida en cada caso.

Se hizo un análisis estadístico al igual una prueba de medias Turkey para determinar la diferencia de tratamiento.

**Cuadro XXIX. Características fisicoquímicas del agua del río Samaria**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de medida</b>
Turbidez	36 NTU
Color	46.6 UC
Alcalinidad	116 mg de CaCO <sub>3</sub> /L
Materia orgánica	3.31 µg/L de O <sub>2</sub>
pH	7.81
Temperatura	27.67 °C
Conductividad eléctrica	336 µS/cm
SDT	0.168 ppt
Salinidad	0.16%
SDT: Sólidos disueltos totales	

Fuente: Arreola & Canepa, 2013.

Esta es una comparación obtenida tomando en cuenta la normatividad vigente para aguas superficiales, con la remoción de turbiedad aquí el análisis de varianza de una vía indica que existen diferencias estadísticas significativa (P= 0.00001) entre los valores promedios de turbiedad de los 4 tratamientos evaluados con un 95% de confianza. Las medias obtenidas son: 15.83±0.73; 3.34±0.55; 2.87±0.30 y 1.59 ±0.26 para MOAD (*Moringa oleífera* en agua destilada), MONA, (*Moringa oleífera* en solución de cloruro de sodio 1N) MOAM (*Moringa oleífera* en agua de mar)

y S de Al (solución de sulfato de aluminio) (Cuadro XXXIV) respectivamente. El contraste múltiple de media de Tukey indica que los tratamientos MONA, MOAM y S de Al son iguales y diferentes al tratamiento MOAD.

El cuadro XXIX nos muestra los resultados obtenidos que se realizó la remoción de turbiedad.

**Cuadro XXX. Resultados de remoción de turbiedad en los diferentes tratamientos**

Tratamiento	Turbiedad de entrada (NTU)	Turbiedad de salida (NTU)	Remoción (%)
MOAD	36.0	15.83	56.02
MOAM	36.0	3.34	90.72
MONA	36.0	2.87	92.03
S de Al	36.0	1.59	95.60

Fuente: Arreola & Canepa, 2013.

Para la remoción de color, el análisis de varianza de una vía indica que existen diferencias estadísticas significativas ( $P= 0.00001$ ) entre los valores medios de color de los tratamientos evaluados con un 95% de confianza. Las medias obtenidas de los 4 tratamientos fueron  $23.75 \pm 0.29$ ;  $1.78 \pm 0.63$ ,  $2.2 \pm 0.48$  y  $0.78 \pm 0.54$ , para MOAD, MONA, MOAM y S de Al, donde los 3 últimos cumplen con las normas establecidas (Cuadro XXX). El tratamiento más eficiente en la remoción de color es el del sulfato de aluminio (98.32%). De los tratamientos con *Moringa oleífera* la mejor remoción se logra cuando se utiliza *Moringa oleífera* en agua de mar (96.18%).

**Cuadro XXXI. Resultados de remoción de color en los diferentes tratamientos**

Tratamiento	Color de entrada (UPC)	Color de salida (UPC)	Remoción (%)
MOAD	46.6	23.75	49.03
MOAM	46.6	1.78	96.18
MONA	46.6	2.2	95.27
S de Al	46.6	0.78	98.32

Fuente: Arreola & Canepa, 2013.

En el comportamiento estadístico del pH de los distintos tratamientos, se observó que los tratamientos a base de *Moringa oleífera* tienden a mantener el valor inicial del pH del agua (7.85), mientras que las aguas tratadas con sulfato de aluminio bajan el pH (7.39). El contraste múltiple de media de Tukey indica que los tratamientos MONA, MOAM y MOAD son iguales y diferentes al tratamiento S de Al.

Comportamiento de la conductividad eléctrica. La conductividad en el tratamiento a base de *Moringa oleífera* disuelto en agua de mar presenta el mayor valor de conductividad ( $498 \mu\text{S}/\text{cm} \pm 4.50$ ), resultado esperado por la gran cantidad de sales que se aportan en esta solución, mientras que el valor más bajo lo tiene el tratamiento con sulfato de aluminio ( $367 \mu\text{S}/\text{cm} \pm 21.78$ ), valores que se encuentran por debajo del valor típico de conductividad para agua potable (rango de 5-50 mS/m).

Comportamiento del % de salinidad Los datos obtenidos en % de salinidad, no son normales, por lo que se utiliza la mediana como medida de tendencia central y para su comparación se utilizó el método de Kruskal Wallis. Puesto que el valor de  $P < 0.05$  se asume que hay diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95%.

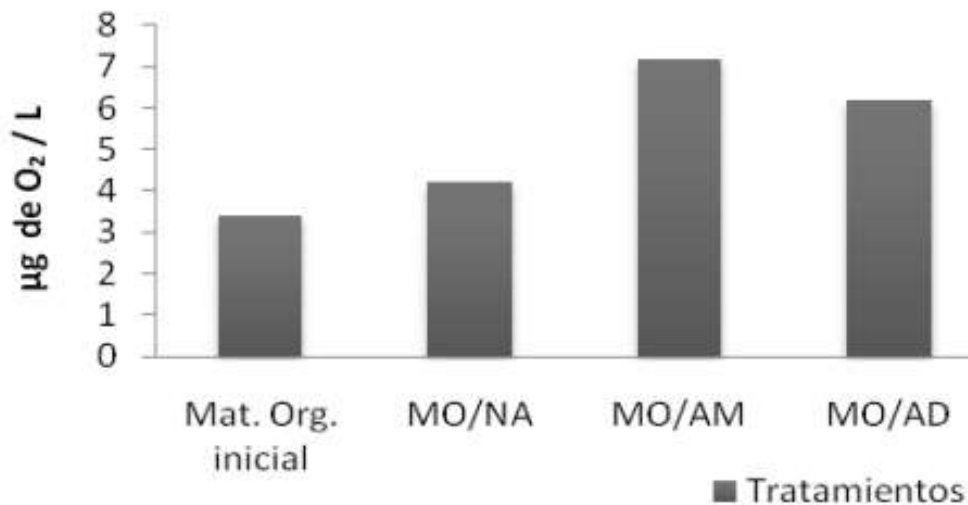
Comportamiento de sólidos disueltos totales (TDS), los sólidos disueltos totales en los tratamientos en donde se utilizan como disolventes el agua de mar ( $0.22 \pm 0.002$ ) y la solución de cloruro de sodio 1N ( $0.21 \pm 0.0009$ ); valores muy debajo de los establecidos en la norma ( $\leq 500$  ppm).

Comportamiento del % de salinidad Los datos obtenidos en % de salinidad, no son normales, por lo que se utiliza la mediana como medida de tendencia central y para su comparación

se utilizó el método de Kruskall Wallis. Puesto que el valor de  $P < 0.05$  se asume que hay diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95%.

La alcalinidad. Los resultados obtenidos en la determinación de alcalinidad muestran que no existe una disminución de ésta en los tratamientos a base de *Moringa Oleifera*, en cambio a la materia orgánica se ha incrementado en el contenido de materia orgánica cuando se usa *Moringa oleifera* en el tratamiento. El valor más alto se obtiene cuando se utiliza agua de mar como disolvente (7.2 mg de  $O_2/L$ ).

Los resultados obtenidos de turbiedad residual en los tratamientos a base de semillas de *Moringa oleifera* indican que el coagulante extraído, usando como solución cloruro de sodio 1N y agua de mar presentan una capacidad de remoción similar a la del sulfato de aluminio grado comercial por lo que resulta una excelente alternativa en la remoción de turbiedad en aguas superficiales.



**Fig IV. Resultados de turbiedad residual en los tratamientos**

Se hizo una comparación donde se vio que utilizando semillas de *Moringa oleifera* con y sin aceite preparadas con agua destilada y con agua de la llave, concluyen que la mejor remoción se logra cuando se utiliza agua de la llave obteniendo valores de 1.85 NTU de turbidez residual para 15 NTU de entrada y de 1.3 para 50 NTU con dosis óptimas de 33 mg/L, luego se pudo observar donde la turbidez más baja se presenta cuando se utilizan soluciones salinas como disolvente y la menor remoción se tiene cuando se utiliza agua destilada como disolvente.

Obteniendo valores de turbidez residual de 4.9 NTU. En esta investigación la dosis óptima fue de 15 mg/L, obteniendo en los tratamientos salinos valores menores de 3 NTU de turbidez residual.

#### Resultados y conclusión

Color, se utilizó agua potable como disolvente se reportaron porcentajes de remoción de color del 83% para los valores de turbiedad de 29 y 49 NTU alcanzando un 83% de remoción de color. En el presente estudio la remoción se realizó con agua destilada, por lo que da un valor inferior al obtenido en Mendoza et al., (2000) y superior a éste cuando se utilizan soluciones salinas.

Efectos en la calidad del agua tratada, El uso del sulfato de aluminio como coagulante, produce un descenso del pH y la alcalinidad en el agua tratada, En algunos casos donde estos parámetros están por debajo de los indicados en la norma. El coagulante extraído de la *Moringa oleifera* no cambia sus valores iniciales

De cuatro tratamientos que se llevaron a cabo, presentaron más eficiencia de remoción con MONA, MOAM y S de Al, éstas mostraron valores superiores al 90%. La extracción del coagulante con agua destilada no representa un método adecuado para el tratamiento de agua

superficial por su baja eficiencia de remoción (49.94% y 49.03 % para turbidez y color respectivamente).

Se confirma que el coagulante obtenido de las semillas de *Moringa Oleífera* extraídas con soluciones salinas representa una alternativa en la remoción de turbidez y color de aguas superficiales. La eficiencia de remoción utilizando *Moringa Oleífera* constituye un método de tratamiento competitivo con las sales metálicas de sulfato de aluminio, con esto se dio a conocer sobre la alternativa de usar el sulfato de aluminio.

**En el artículo titulado *Moringa oleífera*; Importancia, Funcionalidad y Estudios Involucrados, trabajo que se elaboró en 2013, sus autores son Sánchez-Peña, Y.A., Martínez-Avila, G.C.G, Sinagawa-García, S.R, Vázquez-Rodríguez, J.A. De la universidad Autónoma de Coahuila.**

#### **Hago referencia la Tabla XX**

Donde hacen un estudio de Impacto ambiental, estudios establecidos con *Moringa oleífera* y nuevas alternativas para la problemática del agua dan un enfoque muy general sobre sus beneficios, pero es necesario enfatizar la gran problemática que hay detrás de todo esto, y por qué se buscan nuevos recursos sustentables. El enfoque que se da en esta revisión es el uso potencial de las semillas de esta planta como un nuevo método de tratamiento de aguas.

Se observaron diversos estudios a nivel laboratorio y en planta piloto sobre la aplicación de estas proteínas coagulantes de moringa, en algunos casos la utilizan en conjunto con el sulfato de aluminio o alumbre, siendo este el coagulante más utilizado en el tratamiento o potabilización del agua. Sin embargo, se ha reportado que las proteínas de la *Moringa oleífera* pueden presentar ventajas sobre el sulfato de aluminio

Se hicieron estudios demostrando que al utilizar este coagulante natural no quedan residuos tóxicos en el agua que pudieran afectar el organismo humano, pero se ha visto que, aunque no deja residuos tóxicos la potabilización del agua es más costosa debido a los materiales utilizados en el proceso.

Hay algunas cepas patógenas de *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus faecalis*, *Salmonella typhi* y *Shigella dysenteriae*. (Oluduro, et al 2010).

La *Moringa oleífera* se mostró la presencia de 3 compuestos:

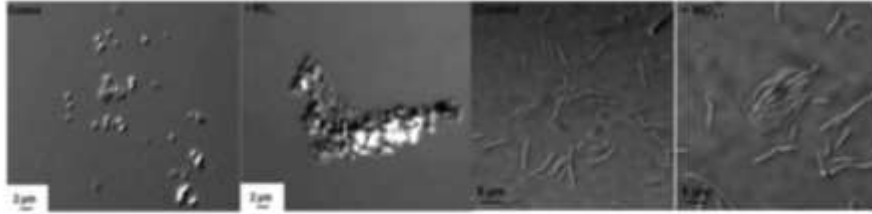
- 4-(L-ramnopiranosiloxi) isotiocinato de bencilo,
- Metil N-4-(L-ramnopiranosil-oxi) bencil carbamato
- 4-(D-glucopiranosil-1 4-L-ramnopiranosiloxi)- tiocarbozamida bencilo,

todos tuvieron actividad bactericida muy alta contra los patógenos mencionados anteriormente, en especial el último ya que presenta una potente inhibición de 99.2% hacia *Shigella dysenteriae* y un 100% para *Bacillus cereus*, *E. coli* y *Salmonella typhi*.

Sin embargo, existen varios estudios donde la *Moringa oleífera* actuó como mecanismo de acción de las proteínas coagulantes tal es el caso de la proteína y que estos actúan en forma de enredadera a causa de la unión de iones bivalentes que conectan cada molécula de componente activo y forman una red atrapando la materia orgánica.

Otros estudios que se realizaron son los que se mostró la habilidad de una proteína recombinante con una capacidad floculante de arcilla y bacterias (*Paenibacillus*) expresando niveles de floculación por medio de microscopía electrónica.





*Fig V. Mecanismo de Flocculación de MOC-SC-PC con Kaolina (Okud,a et a, 2001)*

## CONCLUSIONES

Después de la revisión que se realizó da como conclusión que la *Moringa oleífera* fue una alternativa muy efectiva para el tratamiento de aguas, es eficiente el resultado utilizando las proteínas de la *Moringa oleífera* sin embargo no se debe descartar el uso de los métodos de potabilización: floculación, filtración ya que se forman precipitados o coágulos de materia orgánica que tienen que ser retirados así como también la desinfección con cloro la cual es complementada con la propiedad antimicrobiana de la *Moringa oleífera* la cual elimina en su totalidad patógenos presentes. Al igual que la utilización de este tratamiento trae también como beneficio de ahorrar dinero, tomando en cuenta que la *Moringa oleífera* tiene muchas propiedades con esto se terminó este estudio.

En el artículo Titulado Uso de la *Moringa oleífera* como coagulante alternativo en la potabilización de agua en zonas rurales de Colombia, en el cual se elaboró un informe donde se desarrolló estudios sobre la utilización de *Moringa oleífera* como coagulante en las diferentes regiones de Colombia.

Sintetizaron cada uno de los artículos científicos uno de ellos nos hace la mención donde ponen mucho interés sobre los mecanismos coagulantes y mejorando las técnicas de aislamiento sobre este proceso.

Se ha utilizado el polvo de semillas de *Moringa oleífera* para la purificación de agua de río con el propósito de aclarar el agua turbia y el cobre, como agente antibacteriano para destruir patógenos como E. coli, evidenciándose cumplimiento de parámetros de calidad para el agua potable este trabajo fue sacado de (Varquey, 2020).

De acuerdo con Sánchez-Peña et al (2013):

- Se ha demostrado que el polvo de las semillas de *Moringa oleífera* tiene el potencial de reducir la turbidez corregir el pH y el total de sólidos disueltos según los estándares establecidos por las pautas de la Organización Mundial de la Salud, también tiene la propiedad de eliminar los patógenos.
- El polvo de semillas de *Moringa oleífera* no garantiza que el agua cruda termine completamente libre de gérmenes patógenos, pero el agua se limpia y se hace más segura para fines domésticos que la situación actual sin tratar.
- Los coagulantes naturales deben aplicarse eficazmente al proceso de coagulación y tratamiento del agua a escala solo debe efectuarse después de someterse a pruebas que certifiquen su no toxicidad, biodegradabilidad y viabilidad.
- valoraron muestras provenientes de la planta de tratamiento Pueblo Viejo, estado Zulia, Venezuela. A las muestras se acondicionaron agregando caolín hasta alcanzar los valores de turbidez inicial deseados. Los resultados demostraron la eficiencia de las semillas de *M. oleífera* para remover la turbidez desde 75 y 150 NTU a valores mínimos de 14.9 y 8.5 NTU, respectivamente.
- Realizó con muestras de agua del río Neteapa el cual abastece el casco urbano del municipio de Morocelí y con semillas de *Moringa oleífera* provenientes de la zona sur de Honduras. Se realizaron ensayos con cuatro dosis de la semilla de *Moringa oleífera* obteniendo una reducción en la turbidez de hasta el 98%.
- Realizaron una investigación en el departamento de Córdoba, cerca al río Sinú. En esta investigación se evaluó el uso de las semillas de la *Moringa oleífera* como coagulante natural usada en el mismo río, donde se hace una preparación de las semillas de dos formas diferentes, inicialmente ambas preparaciones llevan un secado inicial de las semillas en un

horno por espacio de 1 hora a 105°C, donde son molidas y maceradas (diámetro de 0.25 mm).

- Finalmente, el aspecto más diferenciador entre ambas preparaciones es la extracción tipo Soxhlet que posee una de ellas, mientras que la otra no la tiene. El método de evaluación es el test de jarras, en el cual se pudo observar que el resultado entre ambas soluciones no tuvo una diferencia significativa, lo que determina así que el proceso de extracción no es sensible para mejorar el desempeño en el proceso de coagulación.
- Buscaron el tratamiento alternativo en el río Magdalena a la altura del corregimiento de Palermo, en este estudio se busca evaluar el potencial que poseen las semillas de *Moringa oleífera* como coagulante natural. En este caso las semillas son secadas a la intemperie por espacio de un día, donde luego son molidas y tamizadas utilizando una malla de diámetro de 0.5 mm. Luego se prepara una solución de diferentes concentraciones con el polvo de la *Moringa oleífera*, con el fin de hallar la fórmula óptima de dosificación. El solvente utilizado, es una solución preparada con cloruro de sodio al 0.5%, y se realizan ensayos en un test de jarras, donde se obtuvo una remoción del 96.7% de material orgánico, pasado de 126.6 NTU a una turbidez final de 4.1 NTU, sin afectaciones las condiciones de pH. La concentración del extracto de las semillas es de 1000 mg/l. Los resultados de este ensayo cumplen con los parámetros de turbiedad y pH exigidos por la resolución 2115 del 2007.
- En este trabajo se evaluó los procesos de tratamiento no convencionales de bajo costo en pueblos de la zona de Ciénaga Grande de Santa Marta. Entre los procesos se tuvieron en cuenta uso de dos coagulantes naturales, *Moringa oleífera* y *Cassia Fistula* con la ayuda

de otros tratamientos físicos adicionales. Utilizando estos dos coagulantes naturales, tanto la turbidez como los coliformes totales lograron reducciones significativas.

- Se llevaron a cabo la construcción y evaluación de un filtro de agua potable para su aplicación en la comunidad rural de la vereda de vallado parte alta en el municipio de Monguí en el departamento de Boyacá brindando una alternativa económica y sostenible a la población.

Para finalizar se hace mención los artículos mencionados anteriormente son de mucha ayuda para conocer el potencial que tiene la *Moringa oleifera* en la potabilización cabe mencionar que ha sido de mucha ayuda conocer sobre los trabajos científicos que se han realizado sobre el tema.

Por otro lado, podemos ver que la *Moringa oleifera* es una excelente alternativa para la potabilización de agua, también tiene muchos beneficios para otras cosas que nos pueden ser útiles tanto para la salud, tratamiento de agua, es una alternativa nueva no es muy costosa podemos aprovechar al máximo la *Moringa oleifera* como coagulante natural y así evitar los químicos.

# BIBLIOGRAFÍA

- Arreola, M. M. S., & Canepa, J. R. L. (2013). Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería*, 17(2), 93-101.
- Borràs, Xavier. (2010). *Sustancias para el tratamiento de aguas para el consumo humano*. Interempresas. <https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/45745-Sustancias-para-el-tratamiento-de-aguas-para-el-consumo-humano.html>
- Campos, J., G. Colina, N. Fernández, G. Torres, B. Sulbarán Y G. Ojeda. (2003). Caracterización del agente coagulante activo de las semillas de Moringa oleifera mediante HPLC. *Bol. Centro Invest. Biol.* 37: 35–43
- Castrillón Bedoya, D., & Giraldo, M. D. L. Á. (2012). Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo b en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de Villa Santana.
- Chedoba, Juan, Menéndez, Carlos & Pérez Olmo, J. (1996). Fundamentos teóricos de algunos procesos para la purificación en aguas residuales.
- Choque-Quispe, David, Choque-Quispe, Yudith, Solano-Reynoso, Aydeé M., & Ramos-Pacheco, Betsy S.. (2018). Capacity flocculant of natural coagulants in water treatment. *Tecnología Química*, 38(2), 298-309. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852018000200008&lng=es&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200008&lng=es&tlng=en).
- De Márquez, B. F. (2018). Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Módulo I). iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias->



- Marquez, C. Eduardo. (1994). Uso de floculantes nacionales en la potabilización de aguas superficiales. *Revista ingeniería hidráulica*, Vol. XV, No.2.
- Martín, C, Martín, G, García, A, Fernández, Teresa, Hernández, Ena, & Puls, Jürgen. (2013). Potenciales aplicaciones de *Moringa oleifera*. Una revisión crítica. *Pastos y Forrajes*, 36(2), 137-149. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942013000200001&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942013000200001&lng=es&tlng=es).
- Mathur, B. (2005). Trees for life Trees for life : [http://www.treesforlife.org/sites/default/files/documents/Moringa\\_Book\\_Sp\(screen\).pdf](http://www.treesforlife.org/sites/default/files/documents/Moringa_Book_Sp(screen).pdf)
- Mazille, Félicien & Spuhler, Dorothee. (s. f.). Coagulación, floculación y separación. SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management! <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulaci%C3%B3n-floculaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n#>
- Mercado-Martínez, I., Meza-Leones, M., Riaños-Donado, K., Jurado-Eraso, M., & Olivero-Verbel, R. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de *Moringa oleifera* en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95-103.
- Metcalf & Eddy, & Montsoriu, J. D. D. T. (1995). *Ingeniería de aguas residuales*. McGraw Hill.
- Montenegro Benalcázar, Verónica Estefanía. (2017). Rediseño de la planta potabilizadora de agua para consumo humano en el Terminal de Productos Limpios (EP-PETROECUADOR), cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.



- Navas Panadero, A. (2019). Bancos forrajeros de Moringa oleifera, en condiciones de bosque húmedo tropical. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 207-230.
- Ndabigengesere A., Narasiah K.S., Talbot B.G. (1995). Active Agents and Mechanism of Coagulation of Turbid Waters Using Moringa oleifera. *Water Research*: 29 (2), 703-710.
- Normas del sector agua | Comisión Técnica del Agua del Estado de México. (s.f.).  
[https://ctaem.edomex.gob.mx/normas\\_sector\\_agua](https://ctaem.edomex.gob.mx/normas_sector_agua)
- Okuda, T., Baes, A., Nishijima, W., & Okada, M. (2001). Mecanismo de coagulación del componente activo extraído en solución salina en semillas de Moringa oleifera. *Revista Investigación del agua*, 35(3), 830-834.
- Oluduro, O., Aderiye, B., Conolly, J., Akintayo, E., & Famurewa, O. (2010). Characterization and Antimicrobial Activity of 4-( $\beta$ -D-Glucopyranosyl $\rightarrow$ 4--L-rhamnopyranosyloxy)- benzyl thiocarboxamide; a Novel Bioactive Compound from Moringa oleifera Seed Extract. *Folia Microbiol* , 55 (5), 422-426.
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías para la calidad del agua potable (3.a ed., Vol. 1).  
[https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/OMS%202006.%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20calidad%20dl%20agua%20potable.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OMS%202006.%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20calidad%20dl%20agua%20potable.pdf)
- Organización Mundial de la Salud. (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano (cuarta edición). Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- PANIAGUA, Antonio & CHORA, José. (2016). Elaboración de Aceite de semillas de Moringa Oleífera para diferentes usos. *Revista de Ciencias de la Salud*. 2016. 3-9: 36-46.
- Parrotta, J. A. (1993). Moringa oleifera Lam. 366-370.

- Pérez, A. G., & Vargas, A. R. (2006). Comparación de los floculantes CHEMADD A-41, 42 Y 43 de la Firma CHEMATEK, el IP-600 de la Firma ZAR CIA y el PERCOL, versión canadiense del MAGNAFLOC R-155. *Tecnología Química*, 26(3), 41-47.
- Pérez, J. (2010). *Manual de Potabilización del Agua*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Recuperado el 02 de 07 de 2017
- Quiroz, S., Menéndez, C., & Izquierdo, E. (2019). Tratamiento de agua y aguas residuales. [https://www.researchgate.net/publication/338490931\\_Tratamiento\\_de\\_aguas\\_y\\_aguas\\_residuales](https://www.researchgate.net/publication/338490931_Tratamiento_de_aguas_y_aguas_residuales)
- Romero Rojas, Jairo Alberto. *Calidad del Agua* (1ª. Ed.). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia. 2002.
- Romero Rojas, J. A. (2000). *CALIDAD DEL AGUA* (2a. ed.). MEXICO: ALFAOMEGA.
- Sánchez-Peña, Y. A., Martínez-Avila, G. C., Sinagawa-García, S. R., & Vázquez-Rodríguez, J. A. (2013). Moringa oleífera; importancia, funcionalidad y estudios involucrados. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(9), 25-30.
- Sanghi, R., Bhattacharya, B., & Singh, V. (2002). Cassia angustifolia seed gum as an effective natural coagulant for decolourisation of dye solutions. *Green Chemistry*, 4(3), 252-254.
- Secretaría de salud. (2019). PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-127-SSA1-2017, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN.** [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5581179&fecha=06/12/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5581179&fecha=06/12/2019)

- Solis Silvan, R., Laines Canepa, J. R., & Hernandez Barajas, J. R. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(3), 229-236.
- Sutherland, J. P., Folkard, G. K., Mtawali, M. A., & Grant, W. D. (1994). Moringa oleifera as a natural coagulant.
- UNESCO. (2015). Abordar la problemática de la calidad y la contaminación del agua en. UNESCO. <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/escasez-calidad/calidad-contaminacion>
- United Nations. (s. f.). Agua | Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- Valencia, J. A. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*.
- Water quality treatment. (s.f.). A Handbook of public water supplies, 3er edition, Cap. 6.J. 8. Wat
- World Health Organization: WHO. (2023). Agua para consumo humano. [www.who.int](http://www.who.int). <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Zambrano, A., & Liliana, D. (2008). Modelo de correlación entre las variables medibles en línea que afectan el proceso de determinación de la dosis óptima de coagulante en la planta de tratamiento de agua potable de Bosconia, del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga SAESP.