

**LAS SEMILLAS DE *Moringa Oleífera Lam.* COMO ALTERNATIVA DE
COAGULANTE NATURAL PARA PURIFICACIÓN DE AGUA**

LUIS ALDO MOLANO MORENO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS - ESCUELA DE QUIMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2011**

**LAS SEMILLAS DE *Moringa Oleífera Lam.* COMO ALTERNATIVA DE
COAGULANTE NATURAL PARA PURIFICACIÓN DE AGUA**

LUIS ALDO MOLANO MORENO

**Monografía presentada como requisito para optar al título de:
Especialista en Química Ambiental**

**Directora
MARIANNY YAJAIRA COMBARIZA
Química, Ph. D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS - ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2011**

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres, Don Florentino y Doña Helena, mi madre quien es fuente permanente de motivación para el crecimiento personal y profesional; a mis hijos que me alientan a seguir adelante, mi esposa por su comprensión y apoyo; a mi hermana y mi sobrina; a mis tías, especialmente a la tía Pola (q.e.p.d.) con quien me hubiese gustado compartir este triunfo; a todos los demás familiares y amigos con quien Dios me ha permitido compartir el camino y que han sido Luz y compañía en el sendero de mi existir.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a:

La Universidad Industrial de Santander y su escuela de química.

Doctora, Marianny Yajaira Combariza, Directora de este Proyecto.

Doctor, Gerardo Bautista Ardila, Docente escuela de Química

Doctor, Francisco Serrano Serrano, Gerente General DISTRÁVES S.A.

Doctor, Elías Espíndola, Jefe de División Agrícola. DISTRÁVES S.A.

Señora, Elizabeth Bravo Jaramillo. Secretaria CEIAM - UIS

Señor, David Ortiz Pinto, Técnico de Laboratorio CEIAM - UIS.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 Objetivo General.....	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	17
1.3 ANTECEDENTES.....	19
2. MARCO REFERENCIAL.....	21
2.1 MARCO HISTÓRICO.....	21
2.2 MARCO TEÓRICO.....	22
2.2.1 Diagnóstico del sector Agua Potable en Colombia.....	22
2.2.2. Sustancias sólidas presentes en aguas crudas naturales.....	23
2.2.3 Potabilización de agua.....	24
2.2.3.1 Coagulación.....	24
2.2.3.2 Floculación.....	25
2.2.3.3 Productos Coagulantes.....	25
2.2.3.4 Reglamentación para uso de Coagulantes en Colombia.....	26
2.2.3.5 El sulfato de aluminio como coagulante.....	26
2.2.3.6 El sulfato de aluminio y sus efectos sobre la salud humana.....	27

2.2.4 MORINGA (Moringa oleífera Lam.)	27
2.2.4.1 Origen	27
2.2.4.2 Descripción Botánica	27
2.2.4.3 Requerimientos agronómicos de la Moringa oleífera Lam.....	30
2.2.4.4 La Moringa oleífera Lam. Como coagulante natural	30
2.2.4.5 PRUEBA DE JARRAS LABORATORIO CEIAM - UIS	35
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38
ANEXOS	43

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tasas de sedimentación para algunas partículas.....	23
Tabla 2. Efecto coagulante de las proteínas de la semilla de Moringa oleífera Lam.	34
Tabla 3. Comparación de resultados del laboratorio para la muestra tratada con Moringa oleífera Lam. versus la muestra sin tratamiento.....	35
Tabla 4. Resultados de remoción de la prueba de jarras CEIAM - UIS.....	36

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Vista general del árbol de Moringa oleífera Lam.	27
Figura 2. Imagen de la hoja, tripinnada de la Moringa oleífera Lam.....	28
Figura 3. Flores del árbol de Moringa oleífera Lam.....	29
Figura 4. Frutos de la Moringa oleífera Lam	29
Figura 5. Semillas de la Moringa oleífera Lam.	30

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Efectos del coagulante de Moringa oleífera Lam. en una muestra a un pH 6.4.....	32
Gráfica 2. Efectos del coagulante de Moringa oleífera Lam. en una muestra a un pH 7.0.....	33
Gráfica 3. Efectos del coagulante de Moringa oleífera Lam. en una muestra a un pH 8.0.....	33

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Resumen de la normatividad referente al tema del agua potable.43

GLOSARIO

Agua Segura: es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad definidas en la norma, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana.

CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Es la Unidad de Saneamiento Básico del Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (SDE) de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), Oficina Regional para las Américas de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Clarificación: proceso de separación de los sólidos del agua por acción de la gravedad.

Coagulación: aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes.

Coagulantes: sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas.

Coloides: sólidos finamente divididos (que no disuelven) que permanecen dispersos en un líquido por largo tiempo debido a su menor diámetro y a la presencia de una carga eléctrica en su superficie.

Floculación: aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

Material flotante: aquellos materiales que se sostienen en equilibrio en la superficie del agua y que influyen en su apariencia.

Mezclador: equipo para producir turbulencia en el agua.

Mezcla rápida: agitación violenta para producir dispersión instantánea de un producto químico en la masa de agua.

Mezcla lenta: agitación suave del agua con los coagulantes, con el fin de favorecer la formación de los flóculos.

Papirácea: relativo a consistencia de papiro o pergamino.

Prueba de jarras: ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta.

Sedimentación: proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad, previa adición de químicos coagulantes.

Sólidos disueltos: mezcla de un sólido (soluto) en un líquido solvente en forma homogénea.

Sólidos suspendidos: partículas de sólidos dispersas en el agua; no disueltas.

Zona de Vida: Zona de vida es la unidad básica del sistema de clasificación ecológica elaborado por L.E. Holdridge en 1978.

RESUMEN

TITULO: LAS SEMILLAS DE *Moringa Oleífera Lam.* COMO ALTERNATIVA DE COAGULANTE NATURAL PARA PURIFICACIÓN DE AGUA *

AUTORES: LUIS ALDO MOLANO MORENO **

PALABRAS CLAVES: *Moringa Oleífera Lam.*, coagulación, Floculación, Tratamiento de aguas, Clarificación de aguas, Potabilidad de aguas, Harinas de semillas de *Moringa Oleífera Lam.*, Proteína Catiónica.

Este trabajo se realizó con el propósito de recopilar, analizar y clasificar información sobre el uso de semillas de *Moringa oleífera Lam.* Como coagulante natural en potabilización de aguas. Para establecer su potencialidad como sustituto del sulfato de aluminio usado actualmente en razón a que esta asociado como causa de la enfermedad Alzheimer [5].

En Colombia el agua superficial es la principal fuente de abastecimiento, sin embargo no todas las aguas son aptas para la ingesta, por ello se hace necesaria la potabilización que requiere de la combinación de procesos físicos y químicos que requieren el uso de coagulantes como el sulfato de aluminio, sin embargo aunque esta sustancia cumple eficientemente con su función limpiadora es bioacumulada por los humanos quienes a la postre ven deteriorada su salud.

Científicos, han estudiado las propiedades de la semilla del árbol *Moringa oleífera Lam.* Miembro de la familia "*Moringáceae*" del orden *Magnoliopsidae*. De donde se obtiene una proteína estable, biodegradable y no tóxica que surte efectos coagulantes en aguas crudas, no afecta el pH ni la conductividad del agua después del tratamiento. Sus lodos son inocuos y de menor cantidad que en coagulaciones con sulfato de aluminio.

Lo anterior muestra una alternativa viable para reemplazar el uso de sulfato de aluminio inicialmente en algunas zonas rurales y periurbanas donde no es posible hacer llegar el producto coagulante. Esta acción disminuiría las enfermedades de origen hídrico como las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA). Y consecuentemente se traduce en ahorro de medicamentos y costos hospitalarios así como el mejoramiento de la calidad de agua para el consumo humano y el nivel de vida de la población [18].

* Proyecto de grado

**Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Especialización en Química Ambiental.

Director: COMBARIZA, Marianny Yajaira Química, Ph. D.

ABSTRACT

TITLE: SEEDS Moringa Oleifera Lam. As an alternative to natural coagulant for water purification*

**** AUTHORS:** LUIS ALDO MOLANO MORENO

KEY WORDS: Moringa Oleifera Lam, coagulation, flocculation, water treatment, water clarification, potability of water, flour Moringa Oleifera seed Lam, cationic proteins.

This work was carried out in order to collect, analyze and classify information on the use of seeds of Moringa oleifera Lam. As a natural coagulant in water purification. To establish its potential as a substitute for the currently used aluminum sulfate because it is associated as a cause of Alzheimer's disease [5]. In Colombia, the surface water is the main source of supply, though not all are suitable for water intake, so water treatment is needed that requires the combination of physical and chemical processes that require the use of coagulants such as sulfate aluminum, but although this substance fulfills its function efficiently cleaning is bioaccumulated by humans who are ultimately damaged their health.

Scientists have studied the properties of the seed of the tree Moringa oleifera Lam. Family member "Moringaceae" Magnoliopsidae order. From where you get a stable protein, biodegradable and nontoxic coagulants Effective raw water does not affect the pH or conductivity of the water after treatment. His sludge are less safe and that coagulated with aluminum sulfate.

This shows a viable alternative to replace the use of aluminum sulfate initially in some rural areas and where it is not possible to get the product coagulant. This action would reduce water-borne diseases such as acute diarrhea diseases (ADD). And consequently translates into saving medicines and hospital costs and improving the quality of water for human consumption and living standards of the population [18].

* Project of Grade

** Industrial University of Santander. Faculty of Science, School of Chemistry, Specialization in Environmental Chemistry

Director: COMBARIZA, Marianny Yajaira Química, Ph. D.

INTRODUCCIÓN

El agua es el líquido más importante para la humanidad ya que de él depende el desarrollo de la vida en este planeta. Su disponibilidad en cantidad y calidad está sujeta a todos los factores que afectan del ciclo hidrológico. El hombre como elemento biótico depende del agua para mantener su propio balance hídrico corporal y para desarrollos productivos como la agricultura y la industria. Sin embargo la disponibilidad y calidad del agua cada día es menor. Esta situación se agudiza en muchas regiones del mundo donde las fuentes son pocas y no contienen la cantidad necesaria para abastecer la creciente demanda. Además, la contaminación de los ríos, lagos e incluso de aguas subterráneas es cada vez mayor, lo que agrava la situación y hace que el tratamiento de potabilización del agua sea un reto cada vez más difícil [1].

El consumo humano prima sobre otros usos del agua, sin embargo no todas las aguas son aptas para la ingesta, por ello se hace necesaria la implementación de procesos para su potabilización. Estos procesos retiran impurezas y microorganismos y producen agua con características apropiadas para consumo, uso doméstico y aplicaciones industriales.

En Colombia, la potabilización requiere de la combinación de procesos físicos y químicos de acuerdo con parámetros regulatorios. (Resolución 2115 de 2007 y Decreto 1575 de 2007) para aguas destinadas al consumo humano. Estos procesos requieren del uso de sustancias químicas (como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico, entre otras) que actúan como coadyuvantes en la limpieza del agua. Sin embargo aunque estas sustancias cumplen eficientemente con su función limpiadora pueden ser nocivas. Su incorporación al agua tratada, que en su turno se ingiere por seres humanos, puede resultar en bioacumulación en el organismo con todas las consecuencias a la salud que esto conlleva.

Por otra parte, existen productos coagulantes de origen natural como las semillas de *Moringa oleífera* Lam. que presentan propiedades deseables para el proceso de potabilización del agua y pueden constituir alternativas viables para reemplazar de manera parcial y/o total el uso de coagulantes inorgánicos en el tratamiento de aguas crudas [2].

Diversos estudios han demostrado que la utilización del *Moringa oleífera* es comparable al sulfato de aluminio, y su uso como coagulante se recomienda para el tratamiento de agua en diversas aplicaciones [35]. Teniendo en cuenta estos antecedentes en esta monografía se analiza y compila la información disponible en la literatura sobre el uso y la aplicación de la *Moringa oleífera* Lam. como coagulante natural en tratamiento de aguas.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General. Realizar una revisión bibliográfica que permita identificar el uso de semillas de *Moringa oleífera Lam.* como coagulante natural para el tratamiento y clarificación de aguas.

1.1.2 Objetivos específicos.

- Recopilar, información general sobre la botánica, ecología y usos de la moringa oleífera.
- Reconocer la viabilidad del uso de las semillas de *Moringa oleífera Lam.* como coagulante natural en el proceso de potabilización de aguas.
- Realizar prueba de jarras a una muestra de agua cruda tomada de Río Frío para verificar el desempeño de la harina de moringa como floculante.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La normatividad colombiana mediante la resolución 2115 de 2007 estableció las condiciones mínimas de calidad para el agua destinada al consumo humano. En términos generales el agua potable de la mayoría de ciudades colombianas cumple con la norma, sin embargo hay muchas regiones deprimidas y áreas rurales del país donde el agua potable es un bien muy escaso. En estos casos las comunidades deben acudir al uso de fuentes hídricas con aguas de baja calidad no aptas para consumo directo. Esta situación afecta la salud humana especialmente en la población más vulnerable como los niños y adultos mayores, que son propensos a contraer enfermedades tipo Infecciones Diarreicas Agudas (IDA).

En América Latina y el Caribe, las enfermedades de origen hídrico resultantes de la contaminación microbiológica de las aguas de consumo humano son comunes. Por ejemplo, en 1997 la epidemia de cólera con 1.207.000 casos, se extendió a 21 países. En los países en desarrollo, la diarrea causa la muerte de un niño menor de 5 años cada 8 segundos [3].

Para evitar este tipo de enfermedades se recomienda someter el agua destinada al consumo humano a un tratamiento físico químico de purificación y acondicionamiento que garanticen la inocuidad del producto. Sin embargo en la potabilización del agua se utilizan varios productos químicos, entre los cuales el sulfato de aluminio se destaca como el de mayor uso a nivel nacional. Esta

sustancia, aplicada en las dosis correctas promueve la aglutinación de partículas y elementos ajenos al agua en partículas más grandes para su posterior remoción mediante métodos físicos. Sin embargo en muchos municipios y comunidades colombianas se aplica este producto sin la dosificación adecuada.

Como consecuencia, después del proceso de remoción de materiales suspendidos, quedan pequeñas cantidades de sulfato de aluminio en el agua. La ingesta constante del líquido, en estas condiciones, se traduce en una acumulación sistemática de aluminio en el organismo humano. Esta situación es potencialmente nociva, pues estudios epidemiológicos sugieren que existe una asociación entre el aluminio y enfermedades degenerativas como Alzheimer y Parkinson para poblaciones que consumen agua con concentraciones de Aluminio mayores de 0,1 mg/l [4].

Aunque no haya efectos neurológicos agudos mientras se incorpora el aluminio al organismo, una exposición a largo plazo causa alteraciones y daño de las células cerebrales. La ingesta de aluminio, el daño neuronal en humanos, y el deterioro de las redes neurofibrilares están correlacionados con la enfermedad de Alzheimer [5].

Ante ese panorama es necesario buscar productos alternativos para remover la turbidez del agua, que sean económicamente viables, ambientalmente amigables, inocuos y cuya producción se pueda masificar.

Las nuevas tecnologías para tratamiento y potabilización de aguas apuntan al uso de productos que permitan obtener el máximo beneficio con mínimos impactos al ambiente y a la salud humana. Recientemente se ha introducido en nuestro medio una planta originaria del Sudeste asiático (India) denominado "***Moringa oleífera Lam.***". Algunos reportes bibliográficos mencionan múltiples beneficios y gran variedad de aplicaciones en nutrición animal, nutrición humana, cosmética, medicina, protección de cuencas, usos forestales y hasta ornamentales, que hacen de esta planta una especie promisoría para la humanidad [6]. Dentro de sus bondades también se reportan beneficios ambientales no solo desde el punto de vista ecológico sino también químico ya que se indica que las semillas presentan propiedades coagulantes potencialmente útiles en el tratamiento y potabilización de aguas.

Con base en el análisis de la información bibliográfica existente en las bases de datos de la biblioteca UIS se pretende demostrar la validez del uso de semillas de *Moringa oleífera Lam.* como insumo para el tratamiento y potabilización de aguas en Santander.

1.3 ANTECEDENTES

La empresa santandereana "DISTRÁVES S.A."¹ adelanta siembras piloto de *Moringa oleífera Lam.*, arbusto que presenta, características agronómicas deseables como la rusticidad². Esta propiedad facilita la adaptación a las condiciones agroecológicas de zonas áridas como las que presentan algunas áreas influenciadas directamente por los cañones áridos de los ríos Suárez y Chicamocha en el departamento de Santander. Esta especie también presenta gran capacidad reproductiva, que le permite generar frutos en forma casi permanente con altos rendimientos en producción de semillas [6]. Las semillas de *Moringa oleífera Lam.* son utilizadas como coagulante natural para tratamiento de aguas en algunas regiones deprimidas de Asia y de África [2].

Los nombres comunes que recibe la *Moringa oleífera Lam.* hacen mención específica a la capacidad de la planta para purificar agua, por ejemplo en el valle del río Nilo, la *Moringa oleífera Lam.* es conocida como "*Shagara al Rauwaq*" que textualmente significa "árbol que purifica" [2].

Existen experiencias a nivel internacional que ilustran el uso de *Moringa oleífera Lam.* en el proceso de potabilización de aguas. Por una parte, el grupo de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Leicester, Inglaterra, ha estado estudiando las propiedades naturales de la semilla triturada del árbol *Moringa oleífera Lam.* y el uso potencial a gran escala como coagulante natural en centros depuradores de agua [2]. Estudios realizados por el Gobierno de Malawi, en una planta piloto para la purificación de agua del río Thyolo, demostraron la viabilidad del uso de semillas de *Moringa oleífera Lam.* como coagulante. Los niveles de turbiedad del agua del río, en la estación lluviosa de 1992 cuando la planta inició operación, excedían los 400 NTU³. En la guía de la Organización Mundial de la Salud, el valor de turbidez para el agua potable en los países en desarrollo debe ser de 5 NTU. Durante el funcionamiento de la planta se logró una eliminación de sólidos superior al 90%, después de una etapa de floculación con *Moringa oleífera Lam.* en un lecho de grava y sedimentación plana de flujo horizontal. Una filtración posterior de rápida gravedad con arena dio una turbidez final por debajo de 5 NTU. La dosis de *Moringa oleífera Lam.* Utilizada en la planta piloto osciló entre 50 y 250 mg/L, dependiendo de la turbidez inicial del agua [7]. En comparación con el alumbre, la dosis óptima de semillas de *Moringa oleífera Lam.* fue prácticamente la misma (50 mg/L) para procesos de coagulación en aguas de baja turbidez [8]. Además la *Moringa oleífera Lam.* se desempeña bien independientemente del pH del agua. Esta característica es ventajosa para sitios

¹ Empresa avícola santandereana ampliamente reconocida en la región.

² Resistencia a condiciones extremas de cultivo, en términos de baja calidad de suelos, agua, plagas.

³ NTU. Unidades Nefelométricas de Turbiedad; son una medida óptica de la cantidad de material suspendido utilizadas para medir la contaminación del agua.

donde a veces no es posible controlar adecuadamente el pH previo a la coagulación. Dos años más tarde en Malawi se pasó de la planta piloto a la planta principal para probar la solución de *Moringa oleífera Lam.* como coagulante a gran escala. La planta consta de clarificadores de contacto de flujo ascendente, seguidos de filtros de gravedad y cloración. En este caso el desempeño del tratamiento con *Moringa oleífera Lam.* fue comparable con el alumbre. La turbidez en el acceso de 270-380 NTU se redujo a menos de 4 NTU. Esta fue la primera vez que la *Moringa oleífera Lam.* se utilizó en forma exitosa como coagulante principal a gran escala, con el agua tratada entrando al distribuidor [7].

Otra experiencia reporta en el lago Hayare de Zimbabwe, que alimenta una planta de tratamiento para agua de consumo humano. El agua del lago presenta elevados niveles de materia orgánica ligera en suspensión causada por el crecimiento de algas. Generalmente el agua se mantiene turbia durante todo el año; debido a ello, el tratamiento requiere grandes cantidades de alumbre, que es el coagulante usado. El floculo del alumbre se desborda de los clarificadores y genera gran cantidad de sedimentos que regularmente obstruyen los filtros. Este sedimento representa una fuente de contaminación cuando se descarga en los cuerpos de agua. En este caso el uso de *Moringa oleífera Lam.* combinado con bentonita de sodio como agente de contrapeso produjo una calidad de agua equivalente a la obtenida cuando se utiliza alumbre. Adicionalmente el residuo de sedimento fue menor y en vez de ser un agente contaminante se utilizó como acondicionador y fertilizante de suelos [7].

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO HISTÓRICO

La vida tiene una estrecha e indisoluble relación con el agua ya que en ella se originó y es ella quien le da sustento. El hombre como ser vivo, no es ajeno a esta situación y requiere de este líquido para sobrevivir por ello siempre ha procurado tener a su alcance agua de buena calidad.

Las grandes civilizaciones y en general las poblaciones se han desarrollado a orillas de los ríos y quebradas, con el propósito de abastecerse del vital líquido. Sin embargo, no todas las fuentes hídricas proveen agua permanente y de buena calidad, de tal forma que el hombre ha tenido que ingeniárselas para acondicionar y aprovechar la que este a su alcance y convertirla en agua apta para su consumo. La historia del agua potable es muy remota, en Siria y Babilonia se construyeron conducciones de albañilería y acueductos para acercar el agua desde sus fuentes a lugares próximos a las viviendas [9]. Los antiguos pueblos orientales usaban arena y barro poroso para filtrar el agua. También en Europa los romanos construyeron una red de acueductos y estanques e instalaron filtros para obtener agua de mayor calidad. En el antiguo Egipto dejaban reposar el agua del río Nilo en vasijas de barro durante varios meses, para precipitar las partículas e impurezas y mediante un sifón extraían el agua de la parte superior. En otras ocasiones incorporaban ciertas sustancias minerales y extractos vegetales para facilitar la precipitación de partículas y clarificar el agua [9].

A finales del siglo XIX, después de las siete epidemias mundiales (pandemias) se detectó una estrecha relación entre los microorganismos presentes en el agua y algunas enfermedades como el cólera, la disentería y hepatitis "B". Estas enfermedades, que causaron la muerte a miles de personas, impulsaron la construcción de las primeras plantas de tratamiento para potabilización del agua [10].

En el siglo XIX ya se utilizaba el sulfato de aluminio como coagulante en la purificación de agua. En 1880, en la población de Groningen - Holanda, el ingeniero alemán B. Salbach, construyó un sistema de sedimentadores para coagulación con sulfato de aluminio como pretratamiento para un sistema de potabilización de agua [10]. En el siglo XX se difundió mucho más este coagulante y su utilización era cada vez más frecuente. En Argentina por ejemplo, su uso empezó en junio de 1901; en Colombia en 1955; en Ecuador (Quito) en el año de 1952. Actualmente el uso de sulfato de aluminio está difundido en todo el mundo.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Diagnóstico del sector Agua Potable en Colombia. En los países subdesarrollados las enfermedades causadas por la falta de agua o su mala calidad ocasionan la muerte anual de aproximadamente 5 millones de personas, de las cuales cerca de 1,8 millones mueren por enfermedades diarreicas. El 90% de estas personas son niños menores de cinco años, lo que equivale a la muerte de 4.500 niños/día (OMS) [11].

La cobertura de agua potable en Colombia es del 70%, pero de solo 17,5 % en poblaciones que oscilan entre 2.500 y 10.000 habitantes y de 9,6% en poblaciones de menos de 2.500 habitantes (Ministerio de Salud, 1998). Más de una tercera parte de la población rural no tiene acceso a agua potable suficiente y segura, no cuenta con sistemas de tratamiento y no está en capacidad de invertir recursos en mejoramiento de la calidad del agua [3].

El agua superficial es la principal fuente de abastecimiento en la región andina. Pero la protección de las fuentes hídricas es deficiente debido a la topografía montañosa, deforestación y las prácticas inadecuadas de manejo de aguas residuales y residuos sólidos. Actualmente se calcula que la fracción de aguas residuales domiciliarias que reciben algún tipo de tratamiento en la región andina, está por debajo de 4% del volumen total producido. Como consecuencia existen altos niveles de contaminación microbiológica de las fuentes de agua superficial. Estos hechos indican que el tratamiento del agua superficial es un asunto complejo y costoso [12].

Según informe elaborado en el año 2007 por la Defensoría del Pueblo, la calidad del agua en Colombia no es apta para el consumo humano [13].

De 955 Municipios analizados 801, no se surten de agua apta para el consumo humano; solo en 82 se está suministrando agua segura y 72 se encuentran cercanos a cumplir con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos señalados en el Decreto 1575 de 2007.⁴ Esto significa que aproximadamente 13 millones 400 mil Colombianos no consumen agua segura [13].

El agua tiene un amplio marco normativo que incluye la Declaración Universal de Derechos Humanos. Que expresa el derecho a al consumo de agua segura. Este aspecto está contemplado en la Constitución Nacional Colombiana. Y en diferentes normas específicas que tratan la calidad y control de la contaminación de las fuentes hídricas.

En el anexo 1 se resume la normatividad que agrupa los aspectos concernientes al uso y manejo del agua en Colombia.

⁴ DECRETO 1575 de 2007. Calidad del Agua para consumo humano.

2.2.2. Sustancias sólidas presentes en aguas crudas naturales. El agua puede contener una variedad de impurezas solubles e insolubles, entre estas últimas destacan las partículas coloidales, las sustancias húmicas y los microorganismos. En general las impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa que impide su coagulación y precipitación. Para remover estas impurezas es necesario adicionar electrolitos que promuevan procesos de coagulación y floculación [14].

En aguas naturales generalmente se presentan dos grandes grupos de sólidos categorizados por su tamaño. Los mas grandes, mayores de 0.01mm, se precipitan rápidamente y son denominados sólidos sedimentables [15]. Típicamente, son transportados por la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua y su remoción se hace mediante un proceso físico de sedimentación. Las partículas mas pequeñas, menores de 0,01mm, se consideran sólidos no sedimentables y se clasifican en sólidos coloidales y sólidos disueltos. (Ver tabla 1).

Tabla 1. Tasas de sedimentación para algunas partículas

TASAS DE SEDIMENTACIÓN PARA ALGUNAS PARTICULAS		
Diámetro partícula, mm	Partícula Representativa	Tiempo requerido para una profundidad de asentamiento de 0.3 m
Partículas SEDIMENTABLES		
10	Grava	0,3 s
1	Arena Gruesa	3 s
0.1	Arena fina	38 s
0.01	Limo	33 min
Partículas NO SEDIMENTABLES		
0.001	Bacterias	55 horas
0.0001	Color	230 días
0.00001	Coloides	6,3 años
0.000001	Coloides	63 años

Fuente: ROMERO. [15]

Los sólidos coloidales son partículas dinámicas, generadas continuamente por la erosión y la precipitación; consisten en limo fino y otras partículas causantes de color, los cuáles no sedimentan sino después de periodos muy prolongados; su efecto se traduce en el color y la turbiedad de aguas [16].

Los sólidos disueltos son sustancias inorgánicas (como cationes y aniones) y sustancias orgánicas (como ácidos, alcoholes y aldehídos) que causan efectos de olor, sabor, color y eventualmente alteraciones a la salud [15].

Si el agua no esta contaminada, los coloides son retirados por decantación o por filtración lenta si se adhieren a los granos del medio a través del cual pasa la solución (suelos, aguas subterráneas, filtros tecnológicos) [16]. En caso de aguas con muy baja calidad donde la materia coloidal y otras impurezas no se pueden remover por filtración rápida o lenta, se deben aplicar los procesos de coagulación-floculación [17].

2.2.3 Potabilización de agua. El agua potable es aquella que se ajusta a los parámetros organolépticos, fisicoquímicos y microbiológicos, establecidos en la normatividad.

El agua cruda natural siempre contiene partículas e impurezas de diversos orígenes. Con carga superficial negativa que les impide aproximarse unas a otras confiriéndoles estabilidad y permitiéndoles permanecer indefinidamente en el medio acuático. Para que estas impurezas puedan ser removidas, se deben aplicar sustancias capaces de romper la estabilidad electronegativa de las partículas presentes en el agua [14].

Para lograr la potabilización del agua es preciso combinar varios tratamientos cuyas bases pueden ser físicas, químicas o biológicas. El objetivo de la potabilización es retirar las partículas en suspensión, las sustancias coloidales y las sustancias disueltas [18]. Este tratamiento en conjunto se denomina clarificación y consta de coagulación - floculación.

Posteriormente se realizan procesos unitarios de sedimentación, filtración y desinfección. De esta manera se obtiene como resultado el agua potable.

2.2.3.1 Coagulación. Se define como el proceso por el cual una suspensión coloidal se vuelve inestable mediante la adición de sustancias coagulantes para someterla a sedimentación gravitacional [16]. Este efecto se da por el aglutinamiento de las partículas en pequeñas masas, con un peso específico superior al del agua [18].

La coagulación comprende la aplicación de un reactivo (coagulante) y la disolución del mismo en forma violenta. Luego se da una dispersión rápida del coagulante en el agua. Este proceso busca desestabilizar los coloides en suspensión y está dado en función de las características químicas del agua. Las partículas presentes en el agua son responsables del pH, alcalinidad, color verdadero, turbiedad, entre otras [10].

La estabilidad coloidal es afectada por los electrolitos que alteran la carga superficial de los coloides. Esto puede influir en la interacción de partículas mediante la formación de puentes entre ellas [16]. Consecuentemente se

consolidan agregados de mayor tamaño que se precipitan por efecto de la gravedad. De esta manera se obtiene remoción de: turbiedad; color. También se da la eliminación de algas, bacterias, virus y organismos patógenos; así como de sustancias productoras de sabor y olor [18].

Para optimizar el proceso de coagulación se deben realizar ensayos de laboratorio denominados "pruebas de jarras" o "*jar-test*". Este test permite determinar las condiciones óptimas del gradiente de velocidad, tiempo de mezcla, dosis del coagulante y la concentración de su solución.

2.2.3.2 Floculación. Es un proceso unitario usado para causar la coalescencia o agregación de material suspendido no sedimentable y partículas coloidales del agua. En este proceso se reducen las fuerzas repelentes existentes entre partículas coloidales para formar sólidos de mayor tamaño [15]. La agitación del agua a baja velocidad (mezcla lenta) genera colisiones entre las partículas. Ello induce la adsorción entre partículas, consolidando flóculos o copos hidratados. Los "Floc" deben adquirir un tamaño y peso específico suficiente para precipitarse y facilitar su remoción mediante sedimentación y/ filtración.

Coagulación y floculación son procesos de mezcla. Su diferencia radica en la velocidad con que actúan. La energía aplicada en dichos procesos, podrá efectuarse por medios hidráulicos, mecánicos o neumáticos [16].

2.2.3.3 Productos Coagulantes. En la práctica del tratamiento del agua, el término coagulante indica un agente agregado al agua para facilitar el asentamiento de materias coloidales o finamente divididas que se encuentran en suspensión [9].

Teóricamente, coagulantes son todos los compuestos químicos u orgánicos potencialmente capaces de formar un "floc" y que pueden efectuar coagulación al ser añadidos al agua; también hay ayudantes de coagulación que son sustancias que producen poco o ningún "floc" al ser usadas solas, pero mejoran los resultados obtenidos al adicionarlos con coagulantes simples [15].

Los coagulantes usados actualmente en potabilización de aguas se pueden clasificar en: coagulantes metálicos y polímeros orgánicos e inorgánicos.

- **Coagulantes metálicos:** los hay de tres tipos: Sales de aluminio (sulfato de aluminio, sulfato de aluminio amoniacal y aluminato de sodio); sales de hierro (cloruro férrico, sulfato férrico y el sulfato ferroso); y compuestos varios (carbonato de magnesio).

- **Polímeros:** entre los inorgánicos están los polímeros de hierro (III) y aluminio. Los orgánicos están compuestos de sustancias naturales y polielectrolitos sintéticos. Entre los compuestos naturales esta el almidón y derivados de la celulosa, material proteico y sustancias compuestas de polisacáridos. También existen los floculantes orgánicos como el alginato de sodio, originado del ácido alginico extraído de algas marinas, que se puede utilizar para mejorar el tratamiento con cloruro de hierro y sulfato de aluminio. Otros floculantes orgánicos son los almidones extraídos de la papa, yuca y extractos de semillas de plantas. [38]

Los extractos de las semillas de la planta *Moringa oleifera Lam.*, cuyo ingrediente activo es un polielectrolito orgánico, también se clasifican dentro de los compuestos naturales [18]. Dentro de la extensa gama de productos estudiados hasta la actualidad en el mundo, uno de los que mejores resultados ha dado en el tratamiento de aguas superficiales es, la *Moringa oleifera Lam.* Las semillas de esta planta, son utilizadas comúnmente en áreas rurales de países africanos como Nigeria, Malí, Kenia, Senegal y Sudán para clarificación de agua [18].

2.2.3.4 Reglamentación para uso de Coagulantes en Colombia. En Colombia el uso de coagulantes para el tratamiento de aguas esta reglamentada mediante protocolos NTC⁵ y/o AWWA.⁶

Para el uso de los polímeros orgánicos e inorgánicos debe obtenerse la dosis adecuada y las condiciones óptimas de operación mediante ensayos de jarras y en planta (Norma Técnica Colombiana 3903).

2.2.3.5 El sulfato de aluminio como coagulante. La eliminación de los sólidos coloidales del agua por lo general requiere de la coagulación. Las sales de aluminio y de hierro son los coagulantes más utilizados en el tratamiento del agua; y entre ellos el sulfato de aluminio hidratado, es el de mayor aplicación [19].

El aluminio es utilizado ampliamente en el tratamiento del agua, normalmente, los niveles de esta sustancia en el agua potable deben estar por debajo de 100µg/litro, aunque el valor guía de la OMS para el Al en el agua potable esta en 200 µg/litro [20].

Un estudio comparativo entre el sulfato de aluminio y la moringa oleífera adelantado en Brasil encontró que la eficiencia en remoción de turbiedad usando las semillas de *Moringa oleifera Lam.* es ligeramente inferior a la observada con el

⁵ NTC. Norma Técnica Colombiana.

⁶ AWWA, American Water Works Association. organización internacional de educación científica y la sociedad dedicada a la mejora de la calidad del agua potable y el suministro.

sulfato de aluminio [35]. Los investigadores afirman que el efecto coagulante de la *Moringa oleifera* es comparable al del sulfato de aluminio y concluyen que puede ser utilizado como coagulante eficaz para la depuración de agua con baja turbiedad [35].

2.2.3.6 El sulfato de aluminio y sus efectos sobre la salud humana. Los estudios sugieren que existe una asociación entre el aluminio y la etiología de la enfermedad de Alzheimer. Existen riesgos relativos para poblaciones con exposiciones a concentraciones de Aluminio en el agua mayores de 0,1 mg/l [4]. La evidencia científica demuestra que durante los últimos años, el Aluminio viene siendo asociado con el desarrollo de la EA⁷. Por lo tanto, prevenir la exposición al Aluminio podría disminuir la incidencia de enfermedades crónicas y degenerativas como la EA, que en los últimos años ha adquirido gran importancia para la salud en todo el mundo [22].

2.2.4 MORINGA (*Moringa oleifera* Lam.)

2.2.4.1 Origen. Planta originaria de Agra y Oudh en el región noroeste de la India, al sur del sur del Himalaya, noreste de India, Pakistán, Bangladesh y Afganistán. En América Latina y Centroamérica se introdujo en 1920 como un árbol ornamental y fue utilizado como cerca viva y cortinas rompevientos [24].

2.2.4.2 Descripción Botánica

Figura 1. Vista general del árbol de *Moringa oleifera* Lam. (Fuente: el autor)

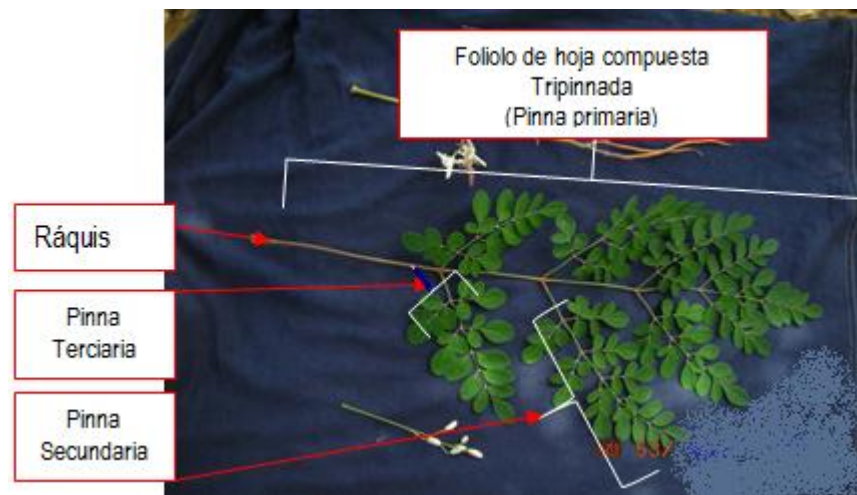


⁷ E A, Enfermedad de Alzheimer.

Moringa oleífera Lam. es un árbol de la familia *Moringáceae*; orden *Magnoliopsidae* con 14 especies conocidas de las cuales *Moringa oleífera* Lam. Es el más conocido y utilizado. Crece en el trópico [25], [6]. El género *Moringa* es el único en la familia *Moringáceae* [26].

El árbol alcanza de 7 a 12 m de altura y de 20 a 40 cm. de diámetro, fuste generalmente recto [27]. Sus principales características morfológicas son:

Figura 2. Imagen de la hoja, tripinnada de la *Moringa oleífera* Lam. (Fuente: el autor).



Hojas compuestas⁸ con longitud de 30 a 70 cm. Conformadas por grupos de folíolos⁹ dispuestos en tres subniveles (foliolo primario, foliolo secundario y foliolo terciario) opuestos impares (imparipinada) distribuidos en un eje central llamado ráquis [28].

⁸ Cuando el limbo foliar está dividido en folíolos (pinnas) se dice que es hoja compuesta.; según el número de folíolos que presente la hoja esta puede ser hoja *paripinada* que poseen un número par de pinnas u *hojas imparipinadas* por que tienen un número impar de pinnas.

⁹ En botánica, se llama pinna o foliolo a cada una de las piezas separadas en que a veces se encuentra dividido el limbo de una hoja.

Figura 3. Flores del árbol de *Moringa oleífera* Lam. (Fuente: el autor)



Flores pentámeras que aparecen unos seis meses después de la siembra y alcanzan tamaños de 1 cm de largo y 2 cm de ancho son de color blanco-amarillentos [26].

Figura 4. Frutos de la *Moringa oleífera* Lam. (Fuente el autor)



Los frutos son vainas de sección triangular, color pardo, de 30 - 45 cm de longitud, de 2 a 2.5 cm de ancho. Alcanzan la madurez aproximadamente 3 meses después de la floración [29].

Figura 5. Semillas de la *Moringa oleífera* Lam. (Fuente el autor)



Las semillas son de color pardo, con tres alas de consistencia papirácea¹⁰, alcanzan 1cm de diámetro y un peso promedio de 0,3 gramos cada una; se extraen directamente de las vainas maduras y secas en el árbol [29].

Las semillas se trituran y tamizan para obtener harina que contiene proteínas solubles con propiedades coagulantes útiles para tratamiento de aguas [27].

2.2.4.3 Requerimientos agronómicos de la *Moringa oleífera* Lam.

Se desarrolla en todo tipo de suelos, pero el mejor crecimiento ocurre en suelos francos arenosos, bien drenados con pH entre 5,5 y 7,5 [26].

Puede prosperar en las siguientes provincias de humedad según clasificación L.E. Holdridge: Bosque seco tropical (bs-T); Bosque muy seco tropical (bms-T); Bosque seco Premontano (bs-PM); Bosque húmedo Premontano (bh-PM) [31]. Todas ellas se encuentran en territorio Santandereano. Altitudinalmente se ubica desde el nivel del mar hasta 1800 msnm [30].

2.2.4.4 La *Moringa oleífera* Lam. Como coagulante natural. La autora Samia Al Asaría Jahn, destaca la coagulación que se realiza usando las semillas de la *Moringa oleífera* Lam. Como el método más importante para obtener agua clara, de buen sabor y libre de microbios [36].

¹⁰ Papirácea: textura similar al papiro o pergamino.

En ese mismo sentido se manifiestan Appleton y Likkaracan mencionando las técnicas de purificación de aguas en Sudan, mediante el uso de semillas maceradas de moringa oleífera que colocadas dentro de un talego o un recipiente de barro se sumergen y se dejan reposar durante dos horas dentro del agua a tratar, luego el agua es filtrada y queda lista para su consumo [37]. Los autores afirman que las semillas de moringa pueden compararse con el alumbre y otros purificadores de agua comúnmente usados, debido a que la disminución de la turbidez del agua tratada con alumbre es sólo del 1% mayor que la purificación obtenida con las semillas de moringa [37].

Asimismo, la FAO afirma que todas las suspensiones del polvo obtenido de las semillas de árboles y arbustos de la familia *Moringáceae* pueden emplearse eficazmente para aclarar el agua [32].

Las semillas de *Moringa oleífera Lam.* Contienen 40% w/w de aceite con el 73% de ácido oleico, composición similar al aceite de oliva [2]. Según pruebas de laboratorio realizadas en la Universidad de Leicester Inglaterra, la torta residual del proceso de extracción del aceite de moringa conserva las propiedades coagulantes requeridas para el tratamiento de aguas [25].

Las semillas maceradas de *Moringa oleífera* se han usado en comunidades rurales de Sudán e Indonesia para reducir la turbidez y la carga bacteriana del agua; ya que también presentan actividad antibacterial [2], [32].

Estudio realizado por Ghebremichael *et al.* en el año 2004 con semillas de *Moringa oleífera Lam.* Demostró la presencia de proteínas con puntos isoeléctricos alrededor de pH 9.6 y peso molecular de 6,5 kDa [35].

Rodríguez y Núñez en 2008 realizaron la caracterizaron de un péptido catiónico de peso molecular aproximado a 13 kDa y punto isoeléctrico a pH 10 Extraído de las semillas de *Moringa oleífera Lam.*, SMO que fue evaluado como coagulante primario mediante prueba de jarras en aguas de la laguna del Nainari (Cd. Obregón, Sonora, México) [41].

Estos investigadores reportan datos de remoción de turbidez del 88,9% con dosis de 250mg/l de solución de SMO en un tiempo de sedimentación de 10 minutos [41].

En otra investigación sobre los componentes de la semilla de *Moringa oleífera Lam.* y las moléculas responsables del proceso de coagulación fue aislada y caracterizada por cromatografía de intercambio catiónico una proteína cuya masa molecular determinada por SDS-PAGE fue alrededor de 6,5 kDa con un punto isoeléctrico por encima de pH 10 [33].

La capacidad floculante de esta molécula es comparable a la de un polímero catiónico sintético y su actividad coagulante está basada en la adsorción selectiva del material en suspensión sobre la superficie de la molécula, debido a su alta densidad de carga positiva [33].

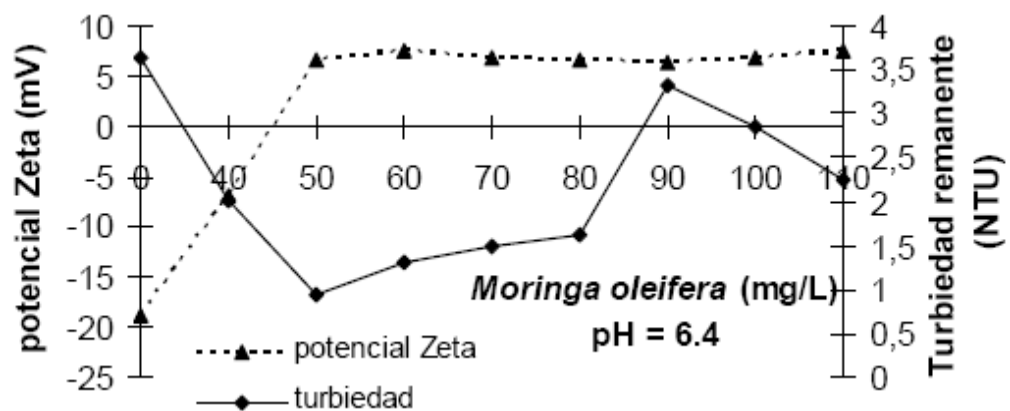
Otras investigaciones reportan trabajos a nivel molecular mediante el aislamiento de una proteína coagulante presente en las semillas de *Moringa oleifera* Lam. Después de ensayarla sobre arcillas y bacterias, se demostró que dicha proteína es capaz de adsorber arcilla montmorillonita, así como bacterias gram positivas y gram-negativas [34].

La universidad Federal de Río Grande del Norte realizó una investigación donde evaluó la capacidad coagulante de las semillas de *Moringa oleifera* Lam., en muestras del agua provenientes de la Laguna "Jiquí", estado Río Grande del Norte, Brasil [35].

Los investigadores, seleccionaron, pelaron y maceraron manualmente semillas secas de *Moringa oleifera* Lam. Para obtener una pasta que fue mezclada (licuada) durante 15 minutos con agua destilada en proporción de 25g por litro y filtrada en papel de (28µm). La dosificación final de la suspensión fue de 25 g/l [35].

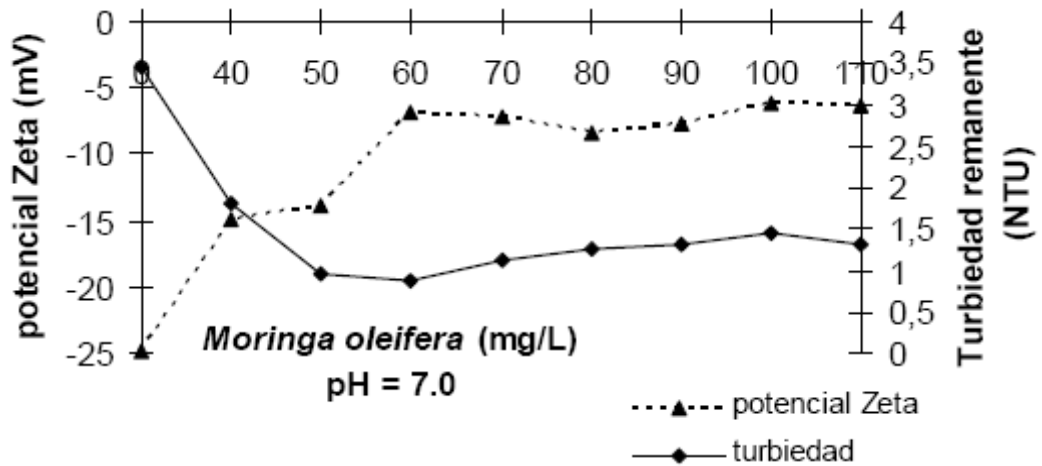
Las siguientes tres gráficas presentan curvas sobre la incidencia del pH de la muestra, en diferentes dosis de coagulante a base de *Moringa oleifera* Lam. señalando el punto isoeléctrico (potencial Zeta) y la eficiencia en remoción de turbiedad en tres muestras con tres pH preestablecidos.

Gráfica 1. Efectos del coagulante de *Moringa oleifera* Lam. en una muestra a un pH 6.4



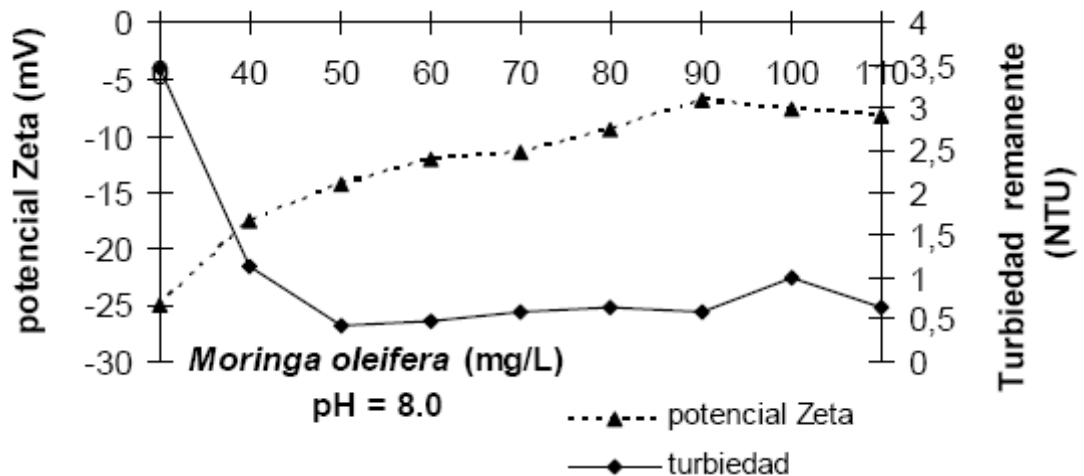
Fuente: LEDO [35].

Gráfica 2. Efectos del coagulante de *Moringa oleífera* Lam. en una muestra a un pH 7.0.



Fuente: LEDO [35].

Gráfica 3. Efectos del coagulante de *Moringa oleífera* Lam. en una muestra a un pH 8.0.



Fuente: LEDO [35].

En los tres tratamientos se observan remociones de turbidez entre el 74 y el 88%, con una dosificación óptima de 50 mg/l de solución coagulante [35].

Ratificando los resultados obtenidos en 1995 por Ndabigengesere et. al. que demostraron la capacidad coagulante de la harina de semillas de *Moringa oleífera*, estableciendo como dosis óptima 50 mg/L. En el año 2000 Schwarz, determino que para aguas con turbiedad menor de 50 NTU las dosis de semillas de *Moringa Oleífera* Lam. pueden variar entre 10- 50 mg/l [35].

Los resultados del procedimiento electroforético en los pH 7.0 y 8.0, les permitió a los investigadores inferir que la coagulación con semillas de *Moringa oleifera* no es controlada por fuerzas electrostáticas, sino por adsorción y formación de puentes [35]. Ello permite sugerir su aplicación directa en una planta de tratamiento de aguas, sin necesidad de ajustar el pH del agua durante el proceso [35].

Un grupo de investigadores Cubanos realizaron un estudio con aguas del río Arroyo Arenas de la ciudad de Lisa, para evaluar mediante pruebas de jarras los efectos coagulantes de las proteínas catiónicas (eluato) y las proteínas aniónicas (pass) obtenidas de las semillas de *Moringa Oleifera Lam.* En la tabla No 2 se muestran resultados en remoción de turbidez hasta del 94,7% con dosificaciones de 0,8 ml para el caso del Eluato y del 15,8 % para el Pass incluso con una dosificación mayor de 9,4ml [40].

Tabla 2. Efecto coagulante de las proteínas de la semilla de *Moringa oleifera Lam.*

Sustancia	Dosis mL	% Remoción
PASS	9,4	12,3
		15,8
ELUATO	0,8	94,4
		94,7
		94,7

Fuente: RODRIGUÉZ [40].

Con esta investigación se demuestra que las proteínas catiónicas (Eluato) presentes en los cotiledones de la semilla de la *Moringa Oleifera Lam* constituyen el principio activo responsable del proceso de coagulación del agua [40].

Los investigadores también demostraron que la solución coagulante es estable hasta los 90 días la solución obtenida mantiene su efecto coagulante y no se decanta, su olor y color no varían. Por lo que concluyen que dicha solución se mantiene estable durante 90 días después de obtenido siempre y cuando se almacene a una temperatura de 4°C [40].

Ndabigengesere y Narasiah en el año 1998 establecieron que el empleo de las semillas en el tratamiento de aguas no produce cambios significativos en los valores de pH y conductividad, pero manifiestan que se evidencia un incremento del carbono orgánico disuelto (COD), lo que aumenta la demanda de cloro durante la desinfección, situación que puede inducir la formación de trihalometanos. Además el incremento en COD puede constituir una fuente adicional de olor y sabor al agua tratada [35].

Diversos investigadores han reportado que las semillas de *Moringa oleifera Lam.* también presenta propiedades bactericidas [35].

Las propiedades antibacteriales se atribuyen a la presencia del (4-L-Ramnosiloxibencil isotiocianato). Se ha comprobado que en el proceso de purificación, la carga de bacterias se puede reducir hasta en un 97% en poco tiempo debido a la acción de este componente [39].

Silva en 2008 realizo ensayos de validación aplicando una solución de 8g/L de pasta obtenida a partir de cotiledones de las semillas de *Moringa oleífera Lam* en muestras de leche [39]. En la muestra tratada con pasta de *Moringa oleífera Lam*. se logro eliminación del grupo de mohos y levaduras en un 98,18% de [39].

La tabla 3. muestra la distribución de algunos microorganismos en muestras de leche con y sin la aplicación de *Moringa oleífera Lam*.

Tabla 3. Comparación de resultados del laboratorio para la muestra tratada con *Moringa oleífera* versus la muestra sin tratamiento.

ANÁLISIS	RESULTADOS	
	Muestra Pura	Muestra con <i>M. oleífera Lam</i> .
Coliformes totales	≥ 2400 NMP CT/ml	≥ 2400 NMP CT/ml
Coliformes Termotolerantes	≥ 2400 NMP CF/ml	≥ 2400 NMP CF/ml
<i>Staphylococcus aureus</i>	$2,9 \times 10^2$ UFC/ml	$1,3 \times 10^2$ UFC/ml
Aeróbios mesófilos	$> 6,5 \times 10^6$ UFC/ml	$> 6,5 \times 10^6$ UFC/ml
Hongos y levaduras	$2,2 \times 10^2$ UFC/ml	$0,4 \times 10^1$ UFC/ml

Fuente: SILVA [39].

2.2.4.5 PRUEBA DE JARRAS LABORATORIO CEIAM - UIS

En el laboratorio CEIAM de la Universidad Industrial de Santander UIS Se realizó una prueba de jarras con agua tomada de Río Frío en zona urbana del municipio de Floridablanca, para verificar la capacidad coagulante de la moringa oleífera Lam., tomando la turbidez inicial y la turbidez final de la prueba para hallar porcentaje de remoción.

- Para ello se procedió de la siguiente forma, primero se tomó la lectura de turbidez y pH para la muestra virgen siendo de **689 UNT** y pH de **7,54**.
- Se preparó un litro de solución floculante mezclando 25 gramos de harina obtenida de las semillas de moringa oleífera Lam. y aforando a 1000 ml con agua destilada; mezcla que fue agitada durante 15 minutos.

- A cada recipiente del equipo de jarras se le agrego 1 litro del agua traída de Río Frío, y se le adicionó una dosis de la solución floculante (ver tabla 4).
- El equipo de jarras se programó para una agitación de 3 minutos a 100 rpm y luego agitación durante 15 minutos a 40 rpm.
- Después de ello se permitió la sedimentación durante 30 minutos [35].

Transcurrido el tiempo de agitación se tomó lectura de pH y turbidez en cada jarra; posteriormente se realizó una réplica de la prueba y se consignaron los valores en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de remoción de la prueba de jarras CEIAM - UIS.

Prueba de jarras	Jarras Parámetros	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Prueba Número 1	Dosis de solución	1,2	1,6	2,1	2,5	2,9	3,3
	pH	7,55	7,24	7,09	7,42	7,36	7,45
	Turbidez	309	316	286	280	300	282
	% de remoción	55,2	54,1	58,5	59,4	56,5	59,1
Prueba Número 2	Dosis de solución	1,2	1,6	2,1	2,5	2,9	3,3
	pH	7,62	7,38	7,64	7,36	7,34	7,41
	Turbidez	341	339	300	296	314	306
	% de remoción	50,5	50,8	56,5	57,0	54,4	55,6

Fuente: Autor.

Del ensayo se puede inferir que la turbidez más baja se obtiene en el tratamiento "jarra 4", donde se aplicó la dosis de 2,5 ml de solución por litro de muestra. También se observó un comportamiento irregular en los valores finales de turbidez con respecto al incremento en la dosis del coagulante, evidenciándose que no necesariamente a mayor dosis de solución coagulante se da un mayor nivel de remoción en la turbidez.

Respecto al pH cuyo valor inicial fue de 7,54 podría decirse que se mantuvo relativamente estable ya que su variación no fue significativa entre los diferentes tratamientos y dosificaciones.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La obtención de un coagulante natural a partir de las semillas de *Moringa oleífera Lam.*, para clarificar agua cruda y el diseño de una tecnología para su aplicación constituye una buena alternativa para algunas zonas rurales y periurbanas donde no es posible hacer llegar el producto coagulante (sulfato de aluminio). Esta sola acción permitiría disminuir las enfermedades de origen hídrico como las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA) y la parasitosis, de esta manera se puede también obtener un ahorro de medicamentos y costos hospitalarios e incrementándose además la calidad de agua para el consumo humano y el nivel de vida de la población [18].

Los extractos de las semillas de *Moringa oleífera Lam.* Son muy efectivas para el tratamiento de aguas con baja, mediana y alta turbidez. Por tanto, los extractos de *Moringa oleífera Lam.*, se recomiendan como una alternativa para el tratamiento del agua en países en desarrollo [17].

Se estableció que en los cotiledones de las semillas de *Moringa oleífera Lam.* Hay una proteína estable, que surte efectos coagulantes en aguas crudas, y es capaz de sustituir el Sulfato de Aluminio; por lo cuál se debe proponer la tecnología para obtener dicho el coagulante a nivel industrial y lograr su uso masivo.

El coagulante de la *Moringa oleífera Lam* es biodegradable y no tóxico para el medio ambiente, a diferencia del alumbre, no afecta significativamente el pH y la conductividad del agua después del tratamiento. Los lodos producidos por coagulación con *Moringa oleífera Lam.* no sólo son inocuos, sino también cuatro o cinco veces menos en volumen que el lodo químico producido por la coagulación de alumbre. De tal forma que la *Moringa oleífera Lam.*, puede ser un sustituto potencial para el alumbre [8].

Frente al gran potencial que ofrece este vegetal se hace necesario realizar estudios de investigación y experimentación que permitan validar en condiciones locales y regionales la verdadera capacidad coagulante de las semillas de *Moringa oleífera Lam.*

Se recomienda la realización de una caracterización de la proteína coagulante presente en los cotiledones de la *Moringa oleífera Lam.*

Las proteínas catiónicas presentes en los cotiledones de las semillas de las plantas de *Moringa Oleífera Lam.* constituyen el principio activo responsable de la coagulación del agua.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] RINNE, Tuomas. Superación sanitaria y ambiental: El reto. XXII congreso de Centroamérica y Panamá de ingeniería sanitaria y ambiental. AIDIS: asociación interamericana de ingeniería sanitaria y ambiental - capítulo Honduras: 2001.
- [2] FOLKARD, Geoff. SUTHERLAND, John. *Moringa oleífera Lam.* Un árbol de mil usos. Grupo de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Leicester. Leicester, LE1 7RH, Inglaterra: 1994.
- [3] CADENA, Lezama Amparo. Epidemiología y toxicología del agua y su incidencia en la salud pública: artículo: El agua fuente de vida, equidad y calidad en los servicios. Compilado en el libro: Agua eje articulador de Vida por Edgar Fernando Castillo Monroy. Universidad Industrial de Santander UIS. Cátedra Low Maus. ISBN 958-8187-52-4. 2006.
- [4] SUAY, Llopis, Loreto. BALLESTER, Díez Ferran. Revisión de los Estudios sobre Exposición al Aluminio y Enfermedad de Alzheimer. Revista Española de Salud Pública ISSN 1135-5727 Rev. Esp. Salud Publica vol. 76 no. 6 Madrid: 2002.
- [5] BJORKSTEIN, J.A. Dietary aluminium and Alzheimer's disease. *The Science of the Total Environment* 25: 81 - 84. 1982. Consultado en: <http://www.inmunotec.com.ar/index.php>. 2006.
- [6] RAMACHANDRAN, C. y GOPALAKRISHNAN, P.K. (1980). *Moringa oleífera Lam.* a multipurpose Indian vegetable. *Economic Botany*. Vol 34 No 3, 276 - 283. 1980.
- [7] FOLKARD, Geoff. SUTHERLAND, John. *Moringa oleífera Lam.* Un árbol con enormes potencialidades. Traducido de *Agroforestry Today*. 1996 Vol. 8 No 3. P. 5-8 por Ariadne Jiménez U.C.R., Turrialba, Costa Rica: 1996.
- [8] NDABIGENGESERE, Anselme. NARASIAH, K. Subba. TALBOT, G. Brian. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleífera Lam.* Seminario Nacional sobre tendencias recientes en edificios altos y sostenibilidad ambiental. Departamento de Ingeniería Civil y Departamento de Biología Universidad de Sherbrooke. Québec Canadá. 2000.
- [9] PEREZ, José. Selección de procesos de tratamiento de agua. Documento CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente: 2001.

- [10] AHUMADA, de V. Inés. Uso Apropiado de Coagulantes Naturales Africanos Para el abastecimiento de agua en el medio Rural. Documento CEPIS/OPS/OMS: 1989.
- [11] PÉREZ, V. Andrea. TORRES, L. Patricia y CRUZ V. Camilo Hernán. Planes de seguridad del agua. Fundamentos y perspectivas de implementación en Colombia. Revista Ingeniería e Investigación Vol. 29 No. 3, Diciembre de 2009.
- [12] PARDÓN, Mauricio; GALVIS, Gerardo; LLOYD, Barry. La Seguridad de la Desinfección del Agua, Ponderación de los Riesgos Químicos y Microbiológicos. Cinara; Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico, Cali: Ponencia presentada a la Organización Panamericana de la Salud. 1997.
- [13] PERALTA, Martha Lucia. El Agua en Colombia. Corporación para el desarrollo sostenible del Archipiélago de San Andrés. Providencia y Santa Catalina: 2007
- [14] BARRENECHEA, Martel Ada. Aspectos Fisicoquímicos de la Calidad del Agua. CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 2005.
- [15] ROMERO, Rojas Jairo Alberto. Acuiquímica. Santafé de Bogotá, Colombia: 1996. p. 145.
- [16] STUMM, Werner. MORGAN, James J. Aquatic Chemistry. Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters. Tercera Edición. 1996. p. 818.
- [17] VARGAS, Camareno, Maricruz; ROMERO Esquivel, Luis Guillermo. Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. Revista científica "Tecnología en Marcha". Vol. 19. No 4. 2006.
- [18] MUÑOZ, Rodríguez Susana. GARCIA, Roque Osnel, MUÑOZ Martínez Rosario. Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua. Revista CENIC Ciencias Químicas. Cuba. Vol. 36, No. Especial. 2005.
- [19] MANAHAN, Stanley E. Environmental chemistry. Seventh edition. Ed, Lewis publishers: 2000. p. 238.
- [20] B. J. ALLOWAY; D. C. Ayres Chemical principles of environmental pollution. Ed. Blackie Academic & Professional. Second edition. 1997.

- [21] TREJO, Vázquez, Rodolfo. HERNÁNDEZ Montoya, Virginia. Riesgos a la Salud por Presencia del Aluminio en el Agua Potable. Revista, Conciencia Tecnológica. Número 025. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Redalyc. México: 2004.
- [22] COSTA, Ferreira Priscila. DE ALMEIDA, Piai Kamila. MAGOSSO, Ângela Maria. SEGURA, Muñoz Susana Inés. Aluminio como factor de riesgo para la enfermedad de Alzheimer. Revista científica. Latino americana de Enfermagem, No 16. Escuela de Enfermería de Ribeirão Preto, de la Universidad de São Paulo, Brasil. 2008.
- [23] M. FUSARO, Ángel Alberto. Sustancias Químicas Tóxicas. Déficit atencional y desorden hiperactivo. Comunidad científica virtual, Inmunotec. Argentina: 2001.
- [24] REYES, Sánchez. g Nadir. MARANGO Cultivo y utilización en la alimentación animal. Serie técnica N° 5. UNA, Universidad Nacional Agraria Nicaragua. Dirección de Investigación, Extensión y Postgrado (DIEP). 2004.
- [25] AL ANWAR, Farooq. NAHID, Zafar. RASHID, Umer. Caracterización del aceite de semillas de Moringa oleífera Lam, obtenidas en las regiones de secano y de regadío del Punjab, Pakistán. Departamento de Química agrícola de la Universidad de Faisalabad. Revista Grasas y Aceites, 57 (2), Abril - Junio, P 160-168, ISSN: 0017-3495. 2006.
- [26] PARROTTA John A. Resedá, árbol de rábano, Moringa oleífera Lam. Fruit-bearing forest trees: technical notes. FAO. For. Pap. 34. Lahje, AM; Seibert, B. 1987. Kelor or horse radish tree (*Moringa oleífera Lam.*). A report from East Kalimantan. German Forestry Group, Mulawarman University; GFG Rep. 2003.
- [27] FALASCA, Silvia. BERNABÉ, Maria Angelica. Potenciales usos y delimitación del área de cultivo de Moringa oleífera Lam. En Argentina. Revista virtual REDESMA, (Red de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente). Vol. 3. 2008.
- [28] BECERRA, Núbia. CHAPARRO, Martha. Morfología y Anatomía vegetal. Primera Edición. Santafé de Bogotá. Facultad de Ciencias Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia: 1999. p. 69.
- [29] ESPÍNDOLA, Elías. Adaptación de la Moringa en la zona de Galán, Santander. Proyecto de grado 2007, UNIPAZ. Ingeniero Agrónomo Jefe División Agrícola Distraves S. A.

- [30] GARCÍA, Roa. Mario. Producción de semillas forestales de especies forrajeras enfatizadas en sistemas silvopastoriles. INAFOR, Instituto Nacional Forestal Nicaragua: 2003.
- [31] PARENT, Guy. Guía de Reforestación. Primera Edición. Bucaramanga. Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB. Bucaramanga. 1989.
- [32] AL AZHARIA, Jahn. Samia, A. Musnad Hassan y Burgstaller Heinz. Un árbol que purifica el agua: Cultivo de Moringáceae para usos múltiples en el Sudán. Deposito de documentos de la FAO, Departamento de Montes. La genética y los bosques del futuro: 1996.
- [33] GASSENSCHMIDT, Ursula. JANY, Klaus D. TAUSCHER, Bernhard. Isolation and characterization of a flocculating protein from *Moringa oleífera Lam.* Centro Federal de Investigación para la Nutrición, Engesser Strasse Karlsruhe, Alemania. Instituto de Química de Alimentos, Universidad de Karlsruhe: 1999.
- [34] M, BROIN. C, Santaella. S, Cuine. K, Kokou. Flocculent activity of a recombinant from *Moringa oleífera Lam.* Seeds. Département d'Ecophysiologie Végétale et Microbiologie, Laboratoire d'Ecophysiologie de la Photosynthèse, Univ- Méditerranée. Springer – Verlag : 2002.
- [35] LEDO, Patricia. LIMA, Raquel. PAULO, Joao. DUARTE, Marco. Estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de *Moringa oleífera* para la depuración de Aguas con baja turbiedad. Universidad Federal de Río Grande del Norte. Revista información tecnológica, Vol. 20 (5) 3-12. Brasil: 2009.
- [36] AL AZHARIA, Jahn. Samia, A. Uso apropiado de coagulantes naturales africanos para el abastecimiento de agua en el medio rural. 1989.
- [37] APPLETON, Helen. Likkaracan. El Rol de la mujer en la innovación tecnológica. Traducido de la obra original en 1994 "Women's roles in technical innovation" ISBN 9972 47 040 7 Vol.9: 1994.
- [38] VARGAS, Camareno, Maricruz; ROMERO, Esquivel, Luis Guillermo. Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. Revista on line. Tecnología en Marcha. Vol. 19-4-2006.

- [39] SILVA, Pereira, Luiz Faustino. *et al.* Uso de *Moringa oleifera* Lam. Como purificador natural de alimentos. Escola Agrotécnica Federal de Uberlândia-(EAF-UDI). Universidade Federal de Uberlândia. 5ª Semana Académica: Brasil: 2008.
- [40] RODRÍGUEZ Muñoz, Susana. GARCÍA Roque, Osnel. MUÑOZ Martínez, Rosario. Evaluación de la *Moringa oleifera* tropicalizada en Cuba como insumo potencial para el tratamiento de aguas. Revista Betsime. La Habana Cuba. 2007.
- [41] RODRIGUÉZ, Jesús R. *et al.* Efecto del extracto de semillas de *Moringa oleifera* en la clarificación de aguas superficiales. Ponencia del XIII Congreso Mejjicano de Biotecnología y Bioingeniería Instituto Tecnológico de Sonora. México. 2009.

ANEXOS

Anexo A. Resumen de la normatividad referente al tema del agua potable.

Decreto 2105 de 1983	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título II de la Ley 09 de 1979 en cuanto a potabilización del Agua.
Decreto 1594 de 1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
Resolución 822 de 1989	Por la cual se crea la Comisión Nacional de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS98.
Decreto 901 de 1997	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se establecen las tarifas de éstas.
Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Resolución 250 de 1997	Por la cual se fijan tasas para el aprovechamiento de aguas subterráneas.
Resolución 273 de 1997	Por la cual se fijan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y sólido Suspendidos Totales (SST).
Resolución 815 de 1997	Por la cual se fija un término para la implementación de medidores en los pozos de extracción de aguas subterráneas.
Decreto 3102 de 1997	Por el cual se reglamenta el artículo 15 de la Ley 373/97 en relación con la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua.
Decreto 475 de 1998	Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable.
Resolución 1096 de 2000	Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento básico RAS.
Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
Resolución 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.