

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO RIEGO Y DRENAJE.



Título Del Trabajo

EFFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE SEMILLA DE MORINGA (*Moringa oleífera*. Lam) EN LAS AGUAS RESIDUALES.

POR:

JULIETA COLÓN LÓPEZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

ING. AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Título Del Trabajo

EFFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE SEMILLA DE MORINGA
(*Moringa oleífera*. Lam) EN LAS AGUAS RESIDUALES.

POR:

JULIETA COLÓN LÓPEZ

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado examinador como
Requisito para obtener el título de:

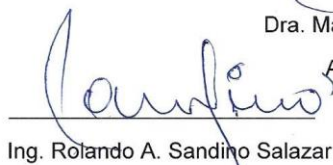
ING. AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por:



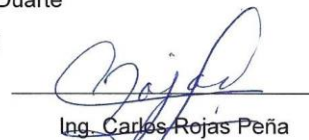
Dra. Manuela Bolívar Duarte

Asesor principal



Ing. Rolando A. Sandino Salazar

Coasesor



Ing. Carlos Rojas Peña

Coasesor



Ing. Sergio Sánchez Martínez

Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre 2019



AGRADECIMIENTOS

A Dios. Por darme la vida, por sus bendiciones a lo largo de esta maravillosa etapa y por todos mis logros obtenidos, gracias a tu bondad, sabiduría y fortaleza a tus pruebas para enfrentar la vida y ser mejor persona.

A mi Alma Terra Mater. Por darme mi segundo hogar, por cada persona especial que puso en mi camino, por darme la formación como Ingeniero Agrónomo en Irrigación, sentirme orgullosa de esta querida Universidad y formar parte de su historia.

Al Departamento de Riego y Drenaje. Por todos los conocimientos adquiridos por cada uno de los catedráticos que forman parte de él.

A la Dra. Manuela Bolívar Duarte. Por permitirme ser su tesista por cada uno de los conocimientos y experiencias que compartió conmigo, por su confianza y tiempo dedicado.

A los ingenieros Rolando A. Sandino Salazar y Carlos Rojas Peña. por ser parte de este trabajo con sus conocimientos, su confianza y tiempo dedicado.

A la Q.F.B. Paola Moreno Garza. Por su valioso tiempo y conocimientos para poder obtener mis datos para este trabajo, gracias por todo su apoyo.

A mi padre. M.C. Teodoro Colón Candela, por darme tu apoyo incondicional por permitirme llegar a esta etapa en mi vida, no tengo con que agradecerte todo lo que has hecho por mí, sin duda alguna eres mi ejemplo a seguir y de quien siempre estaré orgullosa. Me has enseñado que para alcanzar los sueños hace falta extender las alas y volar. Te amo papá.

A mi madre. Leticia López Silva, porque a pesar de las circunstancias no me has soltado de la mano, quien está conmigo en todo momento ayudándome en mis malas y buenas decisiones, por ser más que una madre, mi mejor amiga y paño de lágrimas. Gracias por haberme formado como una mujer de bien, ser la mujer que me dio la vida y me ha enseñado a vivirla. Te amo mamá.

A mis hermanos. Analeidys y Eder Teodoro, por ser mi fortaleza, mi mayor impulso para cumplir este sueño, no pido que sean como yo, si no mejores personas. Los amo pequeños.

A mis amigos. Daniel Medina Martínez, Abraham Zarazúa Arvizu, José Francisco Gómez Díaz, Cipriano Victoriano Nicolás, Ariana Citlali Mendoza Salinas y Fernando Blanco Barranco, por su sincera amistad, por sus consejos, por sus ánimos y su disposición cuando los necesite en esta bonita etapa, los quiero mucho.

DEDICATORIA

A mis padres. Como una muestra de cariño y agradecimiento, mis conceptos, valores morales y formación profesional se las debo a ustedes, he llegado a realizar uno de los anhelos más grandes de mi vida y quiero que sientan que el objetivo logrado es nuestro, gracias por darme la herencia más valiosa que pudiera recibir fruto del inmenso apoyo y confianza que en mi se depositó.

A mis hermanos. Este logro es por ustedes y para ustedes, como la unión que tendremos siempre.

A mis abuelos paternos. Fraylina Candela Mariano (+), mi entrañable abuela, que tus palabras antes de iniciar esta etapa me sirvieron de mucho para llegar a la meta, hoy puedo decirte ¡Fray lo logre!, esto es para ti hasta el cielo. Alberto Colón Sotelo, tu nieta que siempre estará para ti, gracias por tus sabias palabras y consejos.

A mis abuelos maternos. María Cristina Silva Hernández, mami gracias por tus bendiciones, consejos y apoyo en mi carrera profesional. Evaristo F. López Saguilán por la motivación de superarme.

A mis tíos. Por celebrar cada uno de mis triunfos, por sus ánimos y motivaciones esto también para ustedes.

A mis primos (as). Este triunfo es de la familia, que toda la generación se sienta con la motivación, de que aún puede haber más de familia que se superen profesionalmente.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA.....	vii
INDICE DE CONTENIDO.....	viii
INDICE DE CUADROS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Antecedentes.....	13
1.2. Objetivos.....	13
1.3. Justificación.....	13
1.4. Hipótesis.....	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
2.1. El agua en México.....	15
2.2. Uso agrícola del agua.....	16
2.3. Aguas residuales en México.....	16
2.4. Tratamiento del agua en México.....	18
2.5. Calidad de agua.....	18
2.5.1. Indicadores Físico – Químicos (Seoanez, 2005):.....	18
2.5.1.1. pH.....	18
2.5.1.2. Conductividad Eléctrica.....	18
2.5.1.3. Turbidez.....	18
2.5.1.4. Materiales en Suspensión.....	19
2.5.1.5. Olor.....	19
2.5.1.6. Color.....	19
2.5.2. Indicadores de Contaminación Orgánica.....	19
2.5.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	19
2.5.2.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	20
2.6. El Árbol de la Moringa.....	20
2.7. Origen y Distribución de la Moringa.....	20
2.8. Aplicaciones de la Moringa.....	22
2.8.1. La moringa en el tratamiento del agua residual.....	22

2.8.2.	La Moringa en la Purificación del agua	23
2.8.3.	La Moringa como Coagulante o Flocculante	23
2.9.	Coloides	24
2.10.	Coagulación.....	24
2.11.	Floculación.....	25
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1.	Localización y fecha del área de muestreo	26
3.2.	Muestreo.....	27
3.2.1.	Identificación de la muestra.....	27
3.2.2.	Preparación de las Muestras.....	27
3.3.	Parámetros evaluados.....	29
3.4.	Determinación de pH y Conductividad Eléctrica	30
3.5.	Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	30
3.6.	Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)	31
3.7.	Determinación de Sólidos	31
3.7.1	Sólidos Suspendidos Totales (SST).....	31
3.7.2.	Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	32
3.7.3.	Sólidos Totales (ST).....	32
3.7.4.	Sólidos Totales Volátiles (STV).....	33
3.8.	Determinación de Coliformes Totales y Fecales.....	34
3.9.	Determinación de Aniones y Cationes	34
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1.	pH.....	36
4.2.	Conductividad eléctrica (CE).....	37
4.3.	Sólidos	38
4.4.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	39
4.5.	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	40
4.6.	Coliformes.....	41
4.7.	Cationes y aniones	42
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
VI.	LITERATURA CITADA.....	48
VII.	PÁGINAS DE INTERNET CONSULTADAS.....	50

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 3.1. Parámetros de calidad agronómica de agua evaluados.....	29
Cuadro 4.1. Identificación de las muestras.....	36
Cuadro 4.2. Resultados de CT Y CF obtenidos.....	42
Cuadro 4.3. Resultados de pH, CE, DBO ₅ Y DQO comparados con la NOM- 003-SEMARNAT-1997.....	44
Cuadro 4.4. Resultados obtenidos de SST, SSV, ST Y STV.....	45
Cuadro 4.5. Cuadro de resultados de Aniones y Cationes comparados con la NOM-003-SEMARNAT-1997.....	45
Cuadro 4.6. Resultados de CT Y CF comparados con la NOM-003-SEMARNAT-1997.....	46

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Distribución de los usos del agua en México.....	15
Figura 2.2. Aportación de aguas residuales generadas por entidad federativa (CONAGUA, SEMARNAT, 2011)	17
Figura 2.3. Distribución mundial de la moringa.....	21
Figura 2.4. Estados donde se ha registrado <i>Moringa oleífera</i> en México (Mark E. & Leonardo O. 2016)	21
Figura 3.1. Localización geográfica del sitio de muestreo.....	26
Figura 3.2. Momento en que se está tomando la muestra del efluente.....	27
Figura 3.3. Dosis de semilla molida de <i>Moringa oleífera</i> utilizadas.....	28
Figura 3.4. Vasos con un lt de muestra con las diferentes dosis de semilla de Moringa molida.....	28
Figura 3.5. Aparato ORION VERSASTAR utilizado para medir CE y pH.....	30
Figura 3.6. Medición de OD inicial y final.....	30
Figura 3.7. Muestras en el aparato de reflujo.....	31
Figura 3.8. Titulación de las muestras.....	31
Figura 3.9. Resultados de DQO.....	31
Figura 3.10. SST	32
Figura 3.11. Calcinación de los SST.....	32
Figura 3.12. Pesado de crisoles.....	32
Figura 3.13. Evaporación de muestras	33
Figura 3.14. Estufa de secado a 105°C.....	33
Figura 3.15. Determinación de STV.....	33

Figura 3.16. Tubos de ensayo para determinar CT	34
Figura 3.17. Tubos de ensayo para determinar CF.....	34
Figura 3.18. Determinación de aniones y cationes.....	35
Figura 4.1. Resultados de pH por número de muestra.....	36
Figura 4.2. Resultados de pH por tiempo de agitación y gramos de semilla de Moringa.....	37
Figura 4.3. Resultados de CE por número de muestra.....	37
Figura 4.4. Resultados de CE por tiempo de agitación y gramos de semilla de Moringa.....	38
Figura 4.5. Datos obtenidos de Solidos por muestra.....	39
Figura 4.7. Datos de Oxígeno Disuelto inicial y final con resultados de DBO ₅	39
Figura 4.8. Resultados de DBO ₅ por tiempo de agitación y gramos de semilla de Moringa.....	40
Figura 4.9. Resultado de DQO por número de muestra.....	41
Figura 4.10. Resultados de DQO por tiempo de agitación y gramos de semilla de Moringa.....	41
Figura 4.11. Resultados de aniones y cationes en el agua residual doméstica.....	42

RESUMEN

El agua de la cual se abastece la población humana en general proviene principalmente de fuentes superficiales y subterráneas, estas contienen una serie de partículas suspendidas y disueltas conocidas como coloides que deben ser removidas para considerar un agua potable. Para este fin se utilizan sustancias conocidas como coagulantes o floculantes (coagulantes inorgánicos y polímeros orgánicos naturales).

Uno de los coagulantes naturales más conocidos es el obtenido a partir de semillas de *Moringa oleífera*, que remueve los coloides de aguas crudas y contaminadas; el uso de este compuesto natural es considerada una alternativa para sustituir productos químicos de desinfección que afectan la salud humana.

Este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar diferentes dosis de semilla de *moringa oleífera* y tiempos de agitación en el agua residual y cómo influye en la calidad del agua.

El agua residual utilizada es de efluente que conduce agua residual de la colonia Eulalio Gutiérrez Treviño, Saltillo, Coahuila, donde se utilizaron 4 lts de agua colocadas en la prueba de jarras a 100 rpm a una temperatura de 20°C, con tiempos de agitación de 30 minutos, 60 minutos y 90 minutos.

Las dosis de semilla molida de *moringa oleífera* utilizadas fueron 5 g, 10 g y 15 g por litro de agua residual y 1 lt fue utilizado como testigo. Para determinar cómo influye la semilla molida en la calidad de agua se evaluaron los siguientes parámetros: pH, Conductividad Eléctrica (CE), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV), Sólidos Totales (ST), Sólidos Totales Volátiles (STV), Coliformes Totales y Fecales (CT Y CF) y aniones y cationes (Calcio, Magnesio, Carbonatos, Bicarbonatos y Cloruros).

Con los análisis realizados se obtuvo que la mejor dosis de semilla de *moringa oleífera* fue la de 5 g con un tiempo de agitación de 30 minutos, debido a que mejora el pH, la CE, logra mayor clarificación del agua utilizando un litro de la muestra (SST) pero considerando la NOM-003-SEMARNAT-1997, los resultados son elevados por lo que afectaría el sistema de riego utilizado (aspersión o goteo), disminuye significativamente los coliformes de 1600 NMP a <1.8 NMP y si se muestran cambios en los Meq/lt de aniones y cationes.

Palabras clave: Coagulantes, Floculantes, Agua residual, Coloides, *moringa oleífera*

I. INTRODUCCIÓN

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA,2011), nos dice que la disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de km³, de los cuales alrededor del 97.5 por ciento es agua salada y sólo el 2.5 por ciento, es decir 35 millones de km³, es agua dulce, de esta cantidad alrededor del 70 por ciento no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo. Alrededor del 30 por ciento del agua dulce es subterránea de difícil acceso, de ahí menos del 1 por ciento se encuentra en lagos, ríos, humedad en el suelo y aire, humedales, plantas y animales.

Mismo autor señala que del agua disponible para consumo humano en México el 76.7 por ciento es ocupado por el sector agropecuario, el 9.20 por ciento por el sector industrial y el 14.1 por ciento para abastecimiento público.

La calidad del agua, es un estado de esta, caracterizado por su composición físico-química y biológica. Este estado deberá permitir su empleo sin causar daño, para lo cual deberá reunir dos características (http://www.elaguapotable.com/calidad_del_agua.htm):

- 1.- Estar exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores.
- 2.- Estar exenta de sustancias que le comuniquen sensaciones sensoriales desagradables para el consumo (color, turbiedad, olor, sabor).

Actualmente en México se dispone de una producción de 348.1 metros cúbicos por segundo, de los cuales se desinfectan 339.2, es decir el 97.5 por ciento; y se potabilizan 97.9 metros cúbicos por segundo. Es importante destacar que de 348.1 metros cúbicos de agua producida en el país, se estima que 210.6 metros cúbicos son de origen subterráneo, de los cuales, se desinfectan 201.7, y 8.9 no se depuran, 137.5 metros cúbicos por segundo, provienen de fuentes superficiales, de este caudal, se potabilizan 90.9 metros cúbicos por segundo y se desinfectan 46.6 metros cúbicos (CONAGUA,2016).

1.1. Antecedentes

La moringa (*Moringa oleífera*), es un árbol originario del Sur del Himalaya, el Noreste de la India, Bangladesh, Afganistán y Pakistán. Se encuentra diseminado en una gran parte del planeta, y en América Central fue introducida en los años 1920 como planta ornamental y para cercas vivas (Foidl *et al.*, 1999).

Los autores anteriores reportan que en América Central fue introducido como planta ornamental y como cercas vivas. Los romanos, los griegos y los egipcios extrajeron aceite comestible de las semillas y lo usaron para perfume y lociones. En el Siglo XIX, a partir de plantaciones de Moringa en el Caribe exportaron el aceite extraído de la semilla hacia Europa para perfumes y lubricantes para maquinaria. Desde hace muchos años los investigadores han estado examinando el potencial de la semilla de *M. oleífera* en el tratamiento de aguas, mediante la recolección de muestras provenientes de recipientes para almacenamiento de agua, tratados con semilla de moringa triturada para una mejor sedimentación. Sus hallazgos muestran que la semilla de *M. oleífera* 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.

1.2. Objetivos

- a) Evaluar la calidad agronómica del agua residual domestica tratada con la semilla molida de *Moringa oleífera*.
- b) Determinar la dosis óptima de la semilla de *Moringa oleífera* en el tratamiento del agua residual doméstica.

1.3. Justificación

Se ha comprobado que la moringa no sólo tiene propiedades coagulantes, sino también acción bactericida (Folkard y Sutherland, 1996), lo que avala su uso en la potabilización de agua. En una investigación realizada con aguas turbias del Nilo, en dos horas de tratamiento se logró hasta un 99.5 por ciento de reducción de la turbidez y la eliminación de hasta el 99.99 por ciento de las bacterias (Madsen, Schlundt y El Fadil, 1987).

Asimismo, se ha indicado que la acción coagulante es realizada por determinadas proteínas floculantes que han sido extraídas de las semillas de *M. oleífera*. El mecanismo de coagulación está vinculado a la adsorción y neutralización de las cargas coloidales (Bhuptawat, Folkard y Chaudhari, 2007).

Mismos autores indican que las semillas de *Moringa oleífera*, son las que remueven los coloides de aguas crudas y contaminadas; el uso de este compuesto natural es ampliamente conocido en regiones rurales de India y África por ser una alternativa al sulfato de aluminio, que es comúnmente usado para el tratamiento del agua.

1.4. Hipótesis

- a) Tratar el agua residual domestica con la semilla de *Moringa oleífera* mejora la calidad agronómica del agua residual.
- b) A menor dosis de semilla de *Moringa oleífera* mejora la calidad agronómica del agua residual doméstica.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El agua en México

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT,2011), señala que en el registro Público de Derechos de Agua se tienen clasificados los usos del agua en 12 rubros, mismos que para fines prácticos se han agrupado en cinco grandes grupos; cuatro de ellos corresponden a usos consuntivos, el agrícola, el abastecimiento público, la industria autoabastecida y la generación de energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad, y por último el hidroeléctrico, que se contabiliza aparte por corresponder a un uso no consuntivo.

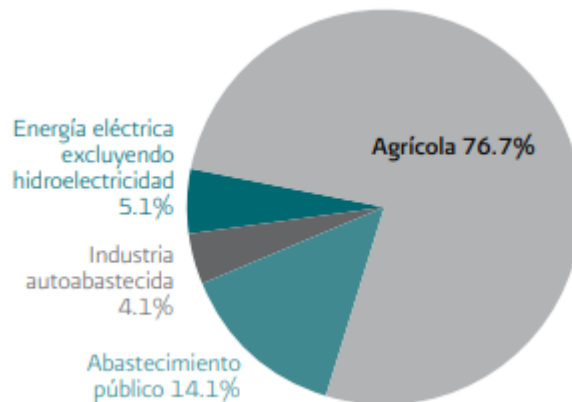


Figura 2.1. Distribución de los usos del agua en México.

Mismo autor define los usos del agua de esta forma:

Agrícola. El principal uso agrupado del agua en México, el cual en términos de uso de aguas nacionales se refiere principalmente al agua utilizada para el riego de cultivos.

Abastecimiento público. Consiste en el agua entregada a través de las redes de agua potable, las cuales abastecen a los usuarios domésticos (domicilios), así como a las diversas industrias y servicios conectados a dichas redes. El disponer de agua

Industria autoabastecida. En este rubro se incluye la industria que toma el agua que requiere directamente de los ríos, arroyos, lagos o acuíferos del país.

Energía eléctrica. El agua incluida en este rubro se refiere a la utilizada en generación de energía excepto la hidroelectricidad, por lo que contempla centrales de vapor duales, carboeléctricas, de ciclo combinado, de turbogas y de combustión interna.

La disponibilidad de agua se refiere al volumen total de líquido que hay en una región. Para saber la cantidad existente para cada habitante se divide el volumen de agua entre el número de personas de una población. (<http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/que.aspx?tema=T>).

2.2. Uso agrícola del agua

El mayor uso del agua es el agrícola, con el 76.04 por ciento del volumen concesionado para uso consuntivo. La fuente predominante es la superficial, con el 63.6 por ciento del volumen concesionado para este uso. La superficie sembrada varía entre 21.4 y 21.6 millones de hectáreas durante el periodo 2006-2017. Al año 2016, la superficie sembrada bajo riego en México fue de 6.5 millones de hectáreas, de las cuales un poco más de la mitad se ubican en 86 distritos de riego, y el restante en más de 40 mil unidades de riego (CONAGUA, 2018).

2.3. Aguas residuales en México

Según (Conagua, Semarnat, 2014), la descarga de aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas y pecuarias sin tratamiento provoca la contaminación de los cuerpos de agua receptores disminuyendo la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, poniendo en riesgo la salud de la población y la integridad de los ecosistemas.

Las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales y no municipales. Las municipales son generadas en los núcleos de población y colectadas en los sistemas de alcantarillado urbanos y rurales, las no municipales son aquellas generadas por otros usos, como puede ser la industria autoabastecida y que se descargan directamente a cuerpos de agua nacionales sin ser colectadas por sistemas de alcantarillado (CONAGUA, 2018).

La descarga de aguas residuales de origen urbano proviene de viviendas, edificios públicos y de la escorrentía urbana que se colecta en el drenaje. Sus principales contaminantes son el nitrógeno y fósforo, compuestos orgánicos, bacterias coliformes fecales, materia orgánica, entre muchos otros (Jiménez, *et al.*, 2010).

En la siguiente figura se muestra la aportación de aguas residuales generadas por entidad federativa (CONAGUA, SEMARNAT, 2011).

Mapa 6.2.3.1 Aguas residuales municipales generadas por entidad federativa, 2012

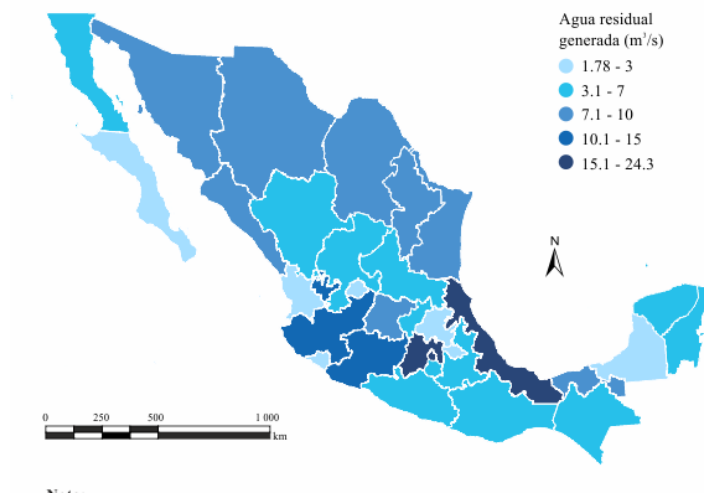


Figura 2.2. Aportación de aguas residuales generadas por entidad federativa (CONAGUA, SEMARNAT, 2011).

Según CONAGUA (2012), para la remoción de los contaminantes en las aguas residuales municipales existen diversos procesos de tratamiento. En el país los procesos de tratamiento de aguas residuales municipales incluyen:

- Lodos activados
- Lagunas de estabilización
- Primario avanzado
- Lagunas aireadas
- Filtros biológicos, dual y otros.

2.4. Tratamiento del agua en México

Datos de CONAGUA (2018), señalan que en México se cuenta con 932 plantas potabilizadoras, con 100.1 m³/s de agua potabilizadas. Dentro del tratamiento se tiene 2526 plantas municipales que generan 135.6 m³/s tratados, 3025 plantas industriales con 83.7 m³/s tratados. Las plantas potabilizadoras municipales mejoran la calidad del agua de las fuentes superficiales o subterráneas para adecuarlas al consumo humano.

2.5. Calidad de agua

2.5.1. Indicadores Físico – Químicos (Seoanez, 2005):

2.5.1.1. pH

Mide la concentración de los iones Hidrógeno en el agua. Un pH de 8 es elevado, indica una baja concentración de iones H⁺ y por lo tanto una alcalinización del medio. Un pH de 5 es bajo, indica una acidificación del medio. El pH ideal para la retención de la mayoría de los componentes del agua residual es el comprendido entre 6 y 7.

2.5.1.2. Conductividad Eléctrica

La conductividad, que varía en función de la temperatura, está ligada a la concentración de sustancias disueltas y a su naturaleza. La salinidad medida por la conductividad eléctrica, indica un nivel elevado de salinidad implicando interacciones y perturbaciones en la vegetación.

2.5.1.3. Turbidez

La turbidez del agua es debida a la presencia de materiales en suspensión finamente divididas: arcillas, limos, granos de sílice, materia orgánica, etc. La turbidez es el efecto óptico causado por la dispersión y la interferencia del rayo luminoso que pasan a través del agua que contiene pequeñas partículas en la suspensión.

2.5.1.4. Materiales en Suspensión

Las aguas residuales están cargadas casi siempre con materiales en suspensión. Esos materiales, según su densidad y las características del medio receptor, son depositados en distintas zonas produciendo una contaminación mecánica.

2.5.1.5. Olor

Las aguas residuales tienen olores característicos generados por los materiales volátiles que contienen y por los procesos de degradación de la materia orgánica presente.

2.5.1.6. Color

Los desechos de las industrias alteran considerablemente el color de las aguas. Esto tiene como consecuencia una grave contaminación estética, además de dificultar los procesos de fotosíntesis e intercambios de oxígeno. El color del agua es de dos tipos: el “color verdadero” es el que está presente en el agua después de haberse removido la materia suspendida y el “color aparente” es el color verdadero más cualquiera otro color que produzca la substancias en suspensión.

2.5.1.7. Temperatura

La temperatura que tienen las aguas residuales es mayor que la de un suministro. En su tratamiento la temperatura tiene un proceso biológico. Este parámetro afecta directamente las reacciones químicas y la velocidad de reacción, también la vida acuática.

2.5.2. Indicadores de Contaminación Orgánica

Metcalf y Eddy (1996) definen estos indicadores de la siguiente manera:

2.5.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Expresa la cantidad de Oxígeno necesaria para biodegradar la materia orgánica (degradación por microorganismos). La DBO₅ en la práctica permite apreciar la carga del agua en materias putrescibles y su poder autodepurador y de ello se puede deducir la carga máxima aceptable.

2.5.2.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico o mineral. Es usada para medir el material orgánico presente en las aguas residuales, como naturales, susceptible de ser oxidado químicamente con una solución de dicromato en medio ácido.

2.6. El Árbol de la Moringa

Según la clasificación más actualizada (2009) del APG III (Angiosperm Phylogeny Group), la situación taxonómica de la moringa es:

Reino: Plantae

Clase: Eudicotyledoneae (Doyle y Hotton, 1991)

Orden: Brassicales (Bromhead, 1838)

Familia: Moringaceae (Martinov, 1820)

Género: *Moringa* (Adans., 1763)

Especie: *Moringa oleifera* (Lam., 1785)

Nombre científico: *Moringa Oleífera*. Lam

2.7. Origen y Distribución de la Moringa

Es un árbol originario del sur del Himalaya, el Noreste de la India, Bangladesh, Afganistán y Pakistán. Se encuentra diseminado en una gran parte del planeta, y en América Central fue introducida en los años 1920 como planta ornamental y para cercas vivas (Foidl *et al.*, 1999). En América Central fue introducido como planta ornamental y como cercas vivas. Los romanos, los griegos y los egipcios extrajeron aceite comestible de las semillas y lo usaron para perfume y lociones. En el Siglo XIX, a partir de plantaciones de Moringa en el Caribe exportaron el aceite extraído de la semilla hacia Europa para perfumes y lubricantes para maquinaria.

En la figura (2.3) se muestra la distribución mundial de la moringa http://oa.upm.es/23094/1/PFCARIAS_SABIN.pdf.



Figura 2.3. Distribución mundial de la moringa

Los principales estados según datos bibliográficos son Baja California, Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Durango, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (Mark E. Olsona y Leonardo O. Alvarado-Cárdenas, 2016)



Figura 2.4. Estados donde se ha registrado *Moringa oleífera* en México (Mark E. & Leonardo O. 2016).

2.8. Aplicaciones de la Moringa

Prácticamente todas las partes de la planta tienen uso alimenticio. Las frutas, las hojas, las flores, las raíces y el aceite son altamente apreciados por su valor nutritivo y se utilizan para la elaboración de diferentes platos en la India, Indonesia, Filipinas, Malasia, el Caribe y en varios países africanos (Foidl *et al.*, 2001; Ghazali y Mohammed, 2011).

Se dice que las hojas, frutos, raíces y semillas son útiles para combatir: anemia, ansiedad, asma, ataques de parálisis, bronquitis, catarro, cólera, congestión del pecho, conjuntivitis, deficiencia de esperma, déficit de leche en madres lactantes, diabetes, diarrea, disfunción eréctil, dolor en las articulaciones, dolores de cabeza, dolor de garganta, escorbuto, esguince, espinillas, falta de deseo sexual femenino, fiebre, gonorrea, hinchazón glandular, hipertensión arterial, histeria, impurezas en la sangre, infecciones cutáneas, llagas, malaria, otitis, parasitismo intestinal, picaduras venenosas, problemas de la vejiga y la próstata, soriasis, trastornos respiratorios, tos, tuberculosis, tumores abdominales, úlceras, etc. (Fuglie, 2001).

2.8.1. La moringa en el tratamiento del agua residual

Existen varios tipos de procesos fisicoquímicos que se han empleado con éxito en los tratamientos de aguas residuales, tales como los de coagulación-floculación, adsorción con carbón activado, oxidación intensiva, entre otros. Uno de estos procesos que ha sido utilizado en la potabilización y tratamiento de aguas residuales es el uso de semillas de *Moringa oleifera* Lam, como coagulante (Kalogo *et al.*, 2001).

Una fracción del contenido proteico de las semillas, cercana al 1 por ciento, está constituida por proteínas catiónicas activas que neutralizan y precipitan los coloides del agua igual que como lo hacen los coagulantes industriales, como el sulfato de aluminio (sulfam), sólo que a menor costo (Foidl *et al.*, 2001).

En el trópico, muchas personas utilizan los ríos como su principal fuente de agua. El agua de los ríos puede estar turbia y muy contaminada, sobre todo durante la estación lluviosa, cuando se remueven los sedimentos fluviales y quedan en suspensión, junto con las aguas de escorrentía de los campos y otras superficies que transportan materiales sólidos, bacterias y otros microorganismos. Es esencial que los procesos de purificación eliminen la mayor cantidad posible de este material suspendido, antes de que el agua pase a la etapa de desinfección. Desde hace muchos años los investigadores han estado examinando el potencial de la semilla de *M. oleífera* en el tratamiento de aguas, mediante la recolección de muestras provenientes de recipientes para almacenamiento de agua, tratados

con semilla de moringa triturada para una mejor sedimentación. Sus hallazgos muestran que la semilla de *M. oleífera* 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).

Mismo autor señala que 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.

Asimismo, se ha indicado que la acción coagulante es realizada por determinadas proteínas floculantes que han sido extraídas de las semillas de *M. oleífera* y caracterizadas por diferentes autores (Bhuptawat, Folkard y Chaudhari, 2007). El mecanismo de coagulación está vinculado a la adsorción y neutralización de las cargas coloidales.

Teniendo en cuenta además que la moringa es biodegradable, no es tóxica, no afecta el pH ni la conductividad del agua, y el lodo producido por la coagulación es inocuo y poco voluminoso. (Bhuptawat, et al., 2007)

2.8.2. La Moringa en la Purificación del agua

Se ha comprobado que la moringa no solo tiene propiedades coagulantes, sino también acción bactericida (Folkard y Sutherland, 1996), lo que avala su uso en la potabilización de agua. En una investigación realizada con aguas turbias del Nilo, en dos horas de tratamiento se logró hasta un 99.5 por ciento de reducción de la turbidez y la eliminación de hasta el 99.99 por ciento de las bacterias (Madsen, Schlundt y El Fadil, 1987).

2.8.3. La Moringa como Coagulante o Floculante

Se denomina coagulación o floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas, con peso específico superior al del agua, llamadas flóculos. Dicho proceso, se usa para la remoción de turbiedad orgánica o inorgánica del agua, remoción de color verdadero y aparente y la eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación. (Guzmán, et al., 2013).

El agua potable de la cual se abastece la población humana en general proviene principalmente de fuentes superficiales y subterráneas, estas contienen una serie

de partículas suspendidas y disueltas conocidas como coloides que deben ser removidas para considerar un agua potable, ya que le confieren características como turbidez, color, sabor y olor, que en algunos casos pueden afectar la salud de los consumidores (Mendoza, et al., 2000).

Para este fin se utilizan sustancias conocidas como coagulantes o floculantes, que se dividen en dos grandes grupos, los coagulantes inorgánicos (sales de Aluminio y Fierro), y polímeros orgánicos naturales. (Hoyos, et al., 2017).

Según Lea (2014), indica que uno de los coagulantes naturales más conocidos es el obtenido a partir de semillas de *Moringa oleifera*, que remueve los coloides de aguas crudas y contaminadas; el uso de este compuesto natural es ampliamente conocido en regiones rurales de India y África por ser una alternativa al sulfato de aluminio, que es comúnmente usado para el tratamiento del agua. También cabe destacar que, si bien algunos autores como Folkar y Shutherland (1996) expresan que *Moringa oleifera* posee diversos compuestos que pueden actuar como antibacteriales, desinfectando el agua que tratan, está comprobado que el uso de estas semillas como floculante no puede garantizar agua 100 por ciento libre de virus y/o bacterias inmediatamente después del tratamiento. Por lo tanto, se recomienda utilizar algún método de desinfección secundario como la cloración, técnicas SODIS, ebullición, ozonización, entre otros.

2.9. Coloides

Suspensiones estables, por lo que es imposible su sedimentación natural, son sustancias responsables de la turbiedad y del color del agua.

Las partículas coloidales se caracterizan por ser hidrofílicos (tienen afinidad por el agua) e hidrófobos (es decir que rechazan al agua), los primeros se dispersan espontáneamente dentro del agua y son rodeados de moléculas de agua que previenen todo contacto posterior entre estas partículas; las partículas hidrofóbicas no son rodeados de moléculas de agua, su dispersión dentro del agua no es espontáneo por lo que requiere de la ayuda de medios químicos y físicos (SEDAPAL,200).

2.10. Coagulación

El Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL,2000), lo define como un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio

de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas:

Sulfato de Aluminio

Aluminato de Sodio

Cloruro de Aluminio

Cloruro Férrico

Sulfato Férrico

Sulfato Ferroso

Polielectrolitos (Como ayudantes de floculación)

2.11. Floculación

Es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar (SEDAPAL,2000).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización y fecha del área de muestreo

El trabajo de investigación se inició el 29 de abril del 2019, donde se tomó la muestra de un efluente ubicado en la colonia Eulalio Gutiérrez Treviño, Saltillo, Coahuila, ubicada dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), dicho efluente está ubicado en las coordenadas geográficas latitud $25^{\circ}21'00.39''$ N y longitud $101^{\circ}02'10.39''$ O con una altitud de 1773 msnm;(google earth) como se observa en la figura ().



Figura 3.1. Localización geográfica del sitio de muestreo.

3.2. Muestreo

La muestra se tomó siguiendo la norma mexicana "Aguas residuales- muestreo" (NMX-AA-3-1980). Figura (3.2).



Figura 3.2. Momento en que se está tomando la muestra del efluente.

3.2.1. Identificación de la muestra

La muestra se etiquetó con los siguientes datos:

- Identificación y localización de la muestra
- Lugar de muestreo
- Fecha y hora
- Temperatura
- Responsable del muestreo

3.2.2. Preparación de las Muestras

La muestra de agua residual tomada se transportó al Laboratorio de Calidad de Aguas Residuales del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), para llevar a cabo el análisis.

Se utilizaron 4 lt de la muestra para los tratamientos a probar en el equipo llamado Prueba de Jarras modelo ET 740 a 100 rpm y con una temperatura de 20°C, 1 lt utilizado como testigo, el tratamiento uno con 5 g de semilla, el tratamiento dos

con 10 g de semilla y el tratamiento tres con 15 g de semilla, siendo estos tratamientos utilizados para el análisis físico- químico del agua residual muestreada. Figuras (3.3. y 3.4.).



Figura 3.3. Dosis de semilla molida de *Moringa oleífera* utilizadas.

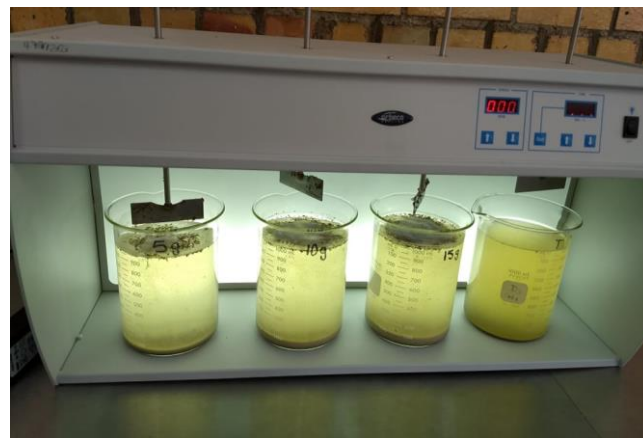


Figura 3.4. Vasos con un lt de muestra con las diferentes dosis de semilla de *Moringa* molida.

3.3. Parámetros evaluados

En el cuadro 3.1 se observan los parámetros evaluados en cada uno de los tratamientos, así como la norma mexicana correspondiente.

Parámetro	Método	Norma
Temperatura	Termómetro	NMX-AA-007-SCFI-2013
Ph	Potenciómetro	NMX-AA-008-SCFI-2000
Conductividad Eléctrica (CE)	Conductivímetro	NMX-AA-093-SCFI-2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).	DBO ₅	NMX-AA-028-SCFI-2001
Demanda Química de oxígeno (DQO).	Método de reflujo abierto	NMX-AA-030/1-SCFI-2012
Sólidos suspendidos totales (SST).	Gravimétrico	NMX-AA-034-SCFI-2015
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV).	Gravimétrico	NMX-AA-034-SCFI-2015
Sólidos Totales (ST).	Gravimétrico	NMX-AA-034-SCFI-2015
Sólidos Totales Volátiles (STV).	Gravimétrico	NMX-AA-034-SCFI-2015
Coliformes Totales y Fecales.	Número más probable (NMP).	NMX-AA-042-SCFI-2015
Cationes y Aniones	Colorimétrico	

Cuadro 3.1. Parámetros de calidad agronómica de agua evaluados.

3.4. Determinación de pH y Conductividad Eléctrica

Para medir el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia y la conductividad eléctrica se utilizó el aparato ORION VERSASTAR que tiene la función de medir ambos parámetros (potenciómetro y conductivímetro). Figura (3.5).



Figura 3.5. Aparato ORION VERSASTAR utilizado para medir CE y pH.

3.5. Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Para medir la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días, se determinó por diferencia el Oxígeno Disuelto (OD) inicial y el Oxígeno disuelto final al quinto día de incubación a 20°C.



Figura 3.6. Medición de OD inicial y final.

3.6. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La determinación de la cantidad de Oxígeno requerido para oxidar bajo condiciones específicas, la materia orgánica (m.o.) e inorgánica contenida en el agua residual, lo hice por medio del método de reflujo abierto.



Figura 3.7. Muestras en el aparato de reflujo.



Figura 3.8. Titulación de las muestras.



Figura 3.9. Resultados de DQO.

3.7. Determinación de Sólidos

3.7.1 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Para su determinación se utilizaron crisoles con un filtro de fibra de vidrio con poro de $1,5 \mu\text{m}$ que fue secado y llevado a masa constante a una temperatura de $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, donde es retenido el material constituido por los sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y coloidales (Figura 3.10).

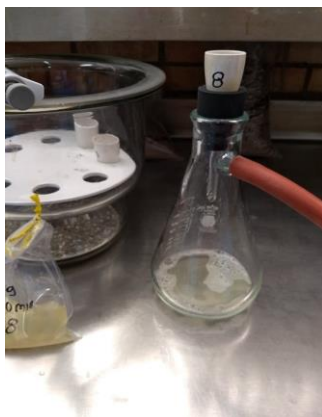


Figura 3.10. SST

3.7.2. Solidos suspendidos volátiles (SSV)

Los SST que se volatilizan se hacen por calcinación a $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figuras 3.11 y 3.12).



Figura 3.11. Calcinación de los SST.



Figura 3.12. Pesado de crisoles.

3.7.3. Solidos Totales (ST)

Para obtener el residuo que permanece en una cápsula después de evaporar y secar una muestra a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en una estufa (Figuras 3.13 y 3.14).



Figura 3.13. Evaporación de muestras.



Figura 3.14. Estufa de secado a 105°C.

3.7.4. Solidos Totales Volátiles (STV)

La cantidad de m.o. e inorgánica que se volatiliza por el efecto de la calcinación a $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figura 3.15. Determinación de STV.

3.8. Determinación de Coliformes Totales y Fecales

El método que utilizado para determinar organismos Coliformes Totales y Fecales mediante el cultivo en un medio liquido en tubos múltiples y cálculo de sus números más probables (NMP).



Figura 3.16. Tubos de ensayo para determinar los CT.



Figura 3.17. Tubos de ensayo para determinar CF.

3.9. Determinación de Aniones y Cationes

Para la determinación de los aniones (Carbonatos, Bicarbonatos y Cloruros), y cationes (Calcio y Magnesio) se hizo por el método colorímetro (Figura 3.18).







Magnesio	
Carbonatos	
Bicarbonatos	
Cloruros	

Figura 3.18. Determinación de aniones y cationes.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 4.1 se muestran los tratamientos como son los gramos de Moringa molida, así como el tiempo de agitación con su respectivo número de muestra con el que se identificó cada una de ellas.

4.1. pH

De acuerdo a los datos obtenidos en laboratorio a mayor concentración de semilla molida de moringa (*Moringa oleífera*. Lam) disminuye el pH del agua residual, las dosis de 10 g y 15 g se encuentran en un rango de pH ácido, obteniéndose un pH óptimo con una concentración de 5g, con un tiempo de agitación de 30 minutos, pudiendo observarse en las figuras 4.2 y 4.3.

Identificación de las muestras		
Número de muestra	Gramos de semilla utilizada.	Tiempo de agitación
Testigo (0)		
1	5 g	30 minutos
2	10 g	60 minutos
3	15 g	90 minutos
4	5 g	30 minutos
5	10 g	60 minutos
6	15 g	90 minutos
7	5 g	30 minutos
8	10 g	60 minutos
9	15 g	90 minutos

Cuadro 4.1. Identificación de las muestras

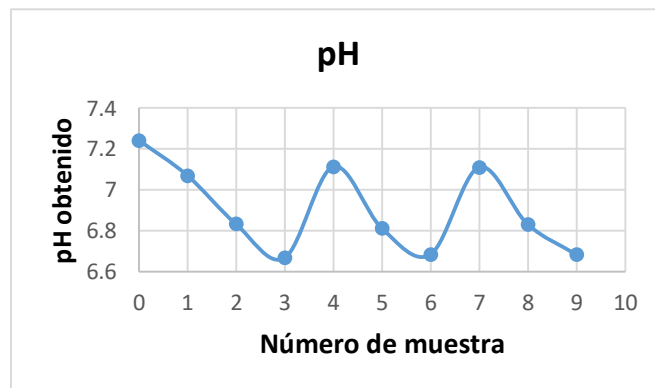


Figura 4.1. Resultados de pH por número de muestra.

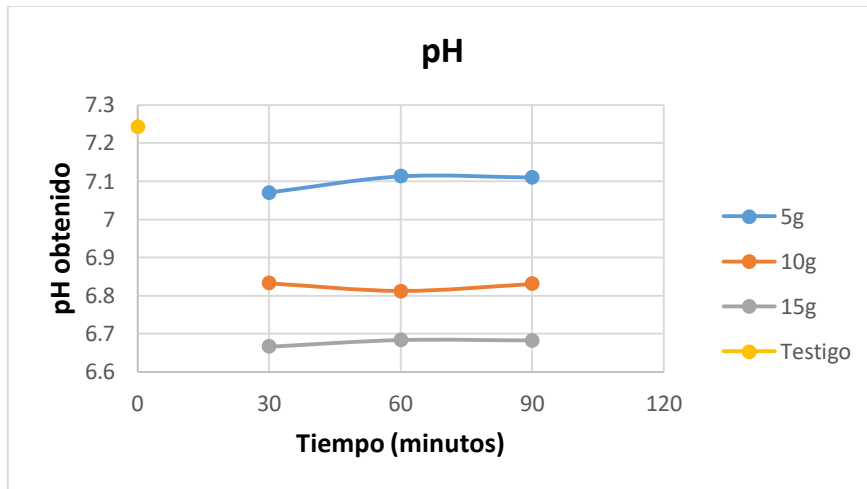


Figura 4.2. Resultados de pH por tiempo de agitación y gramos de semilla de Moringa.

4.2. Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica aumenta con las diferentes concentraciones de moringa, quedando en un rango optimo la dosis de 5 g con un tiempo de agitación de 30 minutos.

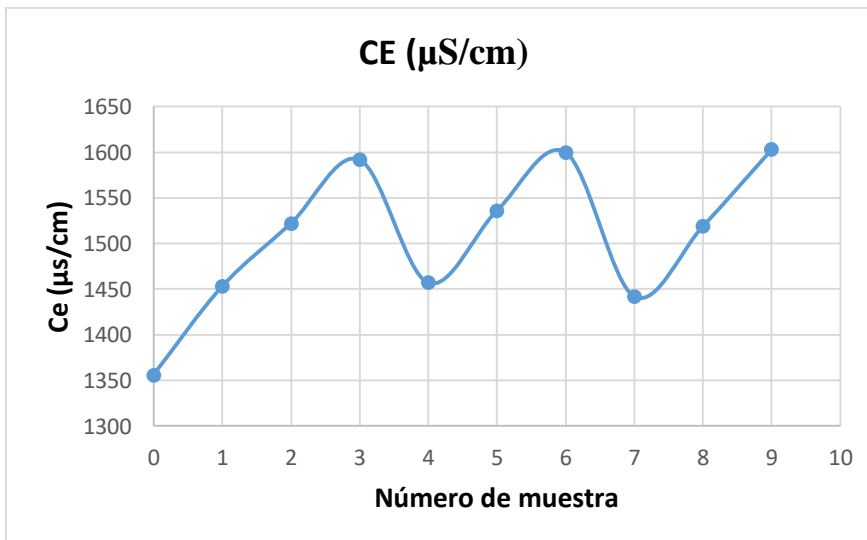


Figura 4.3. Resultados de CE por número de muestra.

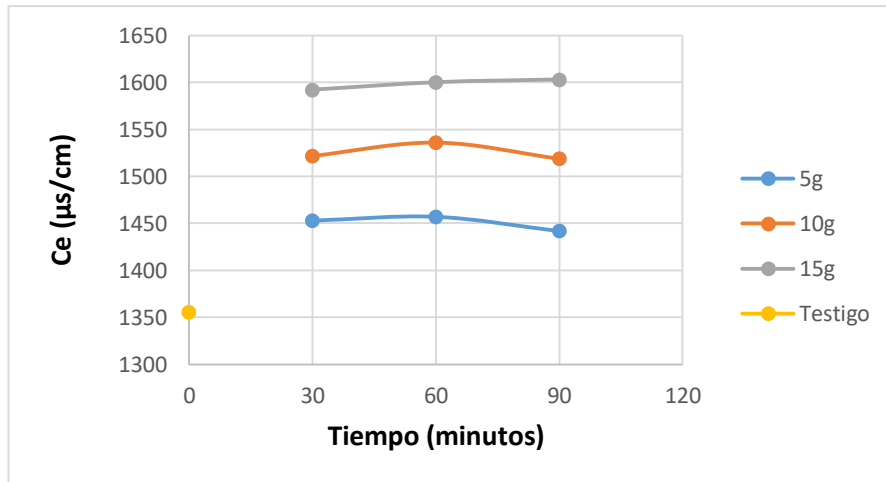


Figura 4.4. Resultados de CE por tiempo de agitación y gramos de semilla de Moringa.

4.3. Sólidos

De acuerdo a los datos obtenidos la semilla de moringa con una concentración de 5g logra mayor clarificación del agua utilizando un litro de la muestra, como puede observarse en las figuras 4.6 y 4.7.

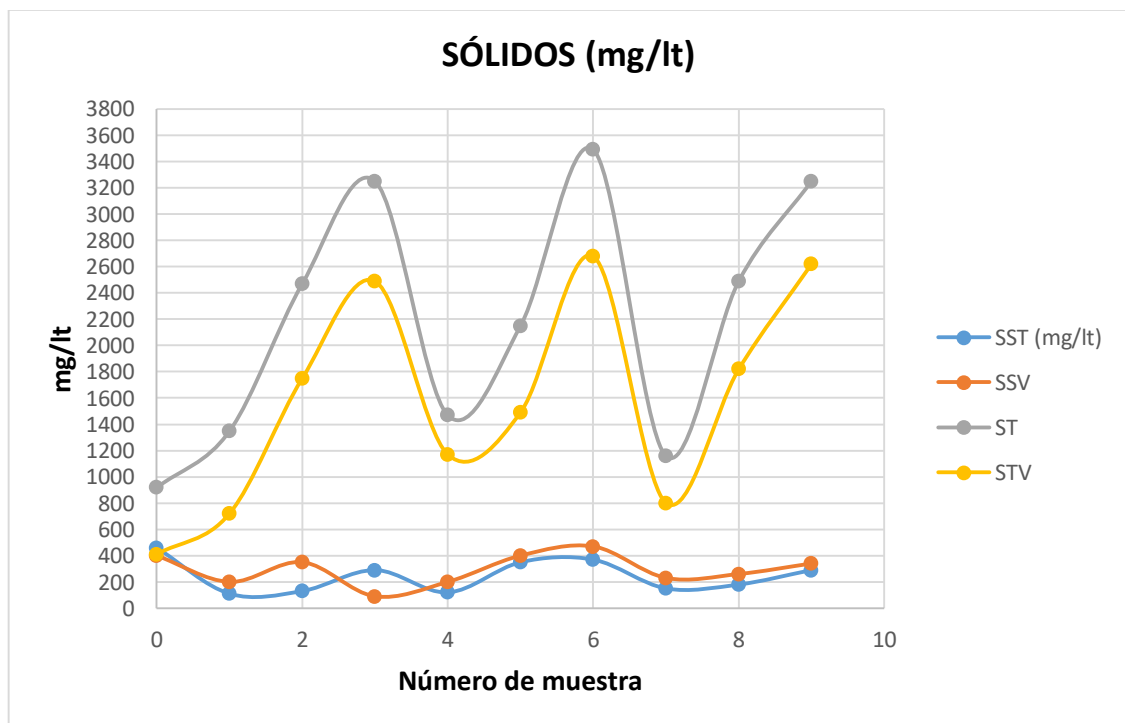


Figura 4.5. Datos obtenidos de Solidos por muestra.

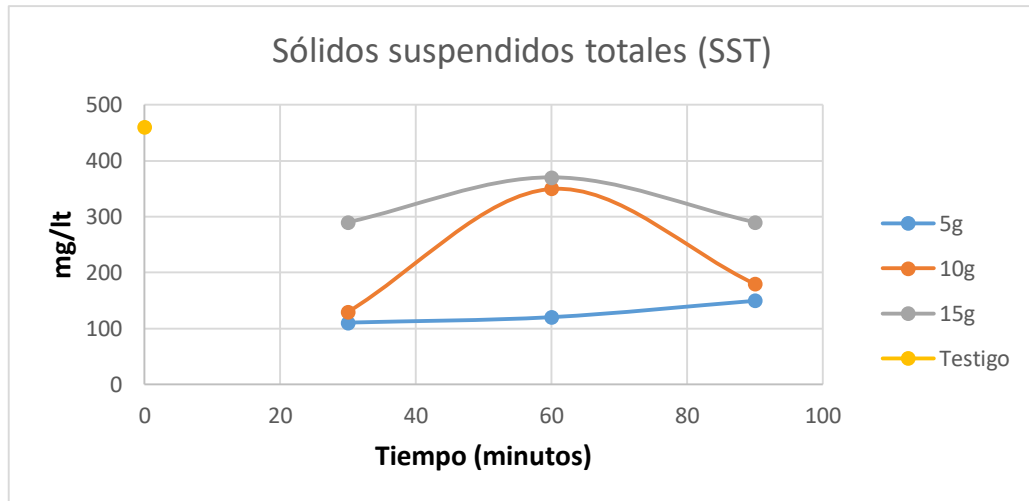


Figura 4.6. Resultados de SST por tiempo de agitación y gramos de semilla de Moringa.

4.4. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

De acuerdo a el análisis con las diferentes dosis de semilla aumento la DBO₅, como se muestra en las figuras 4.8 y 4.9.

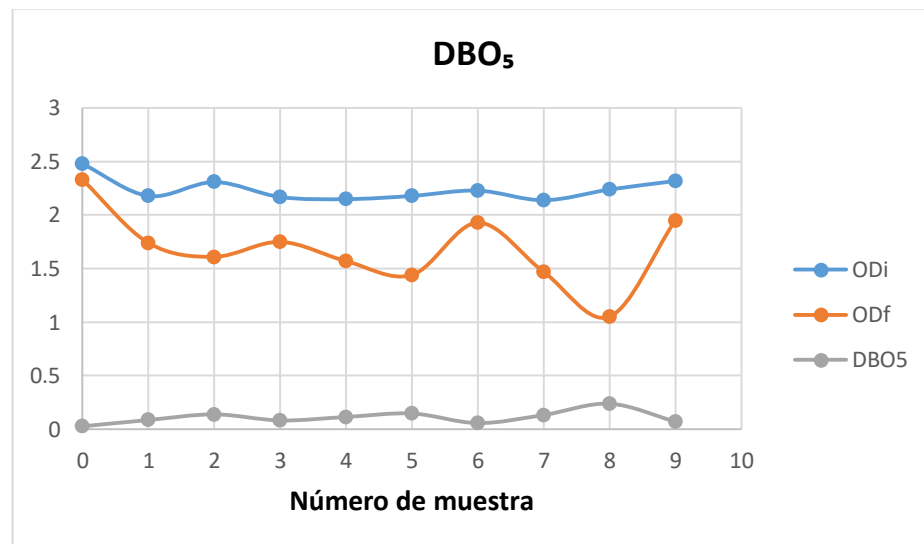


Figura 4.7. Datos de Oxígeno Disuelto inicial y final con resultados de DBO₅.

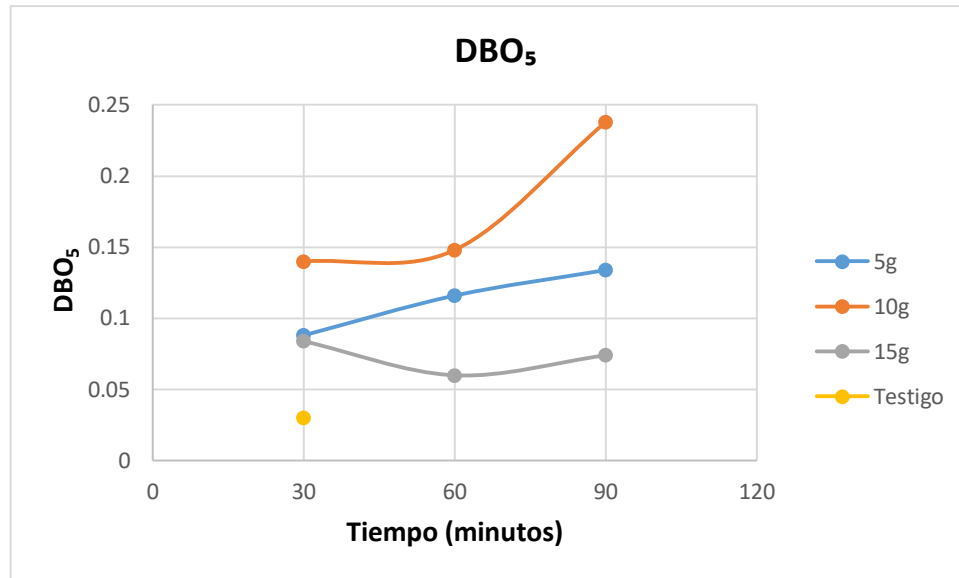


Figura 4.8. Resultados de DBO_5 por tiempo de agitación y gramos de semilla de Moringa.

4.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Considerando los datos obtenidos en laboratorio a menor concentración de semilla de moringa disminuye la DQO en el agua, siendo la de 5 g la que redujo el contenido de materia orgánica en el agua residual.

Cabe mencionar que para determinar DQO, se utilizó 10 ml de alícuota diluida en 10 ml de agua destilada, porque al utilizar 20 ml de alícuota no se podía determinar DQO por el alto contenido de materia orgánica. (Figuras 4.10 y 4.11).

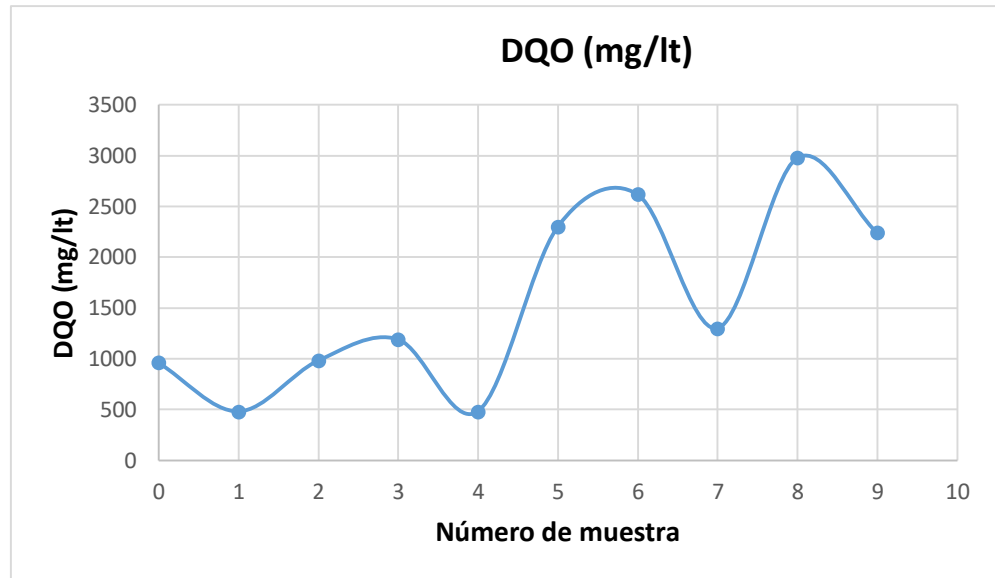


Figura 4.9. Resultado de DQO por número de muestra.

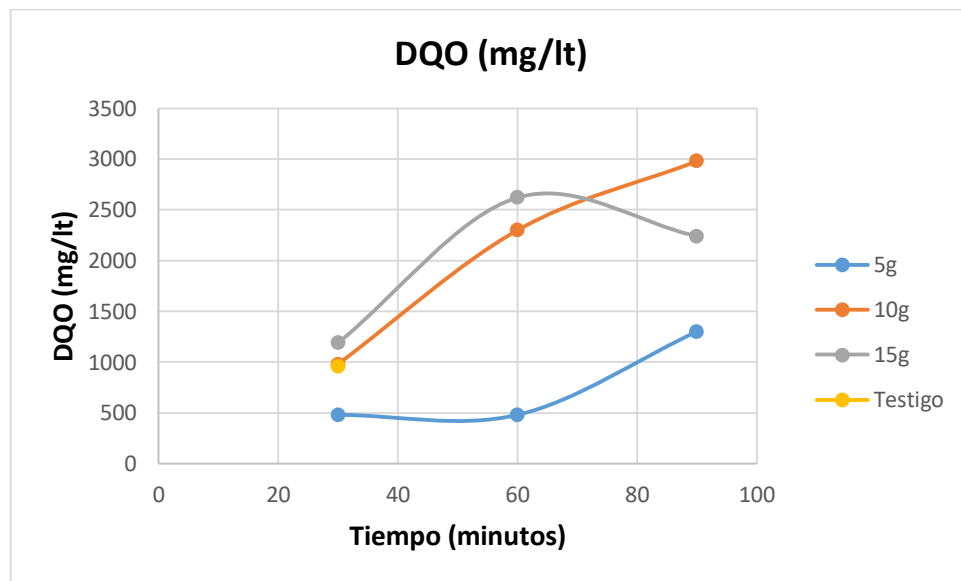


Figura 4.10. Resultados de DQO por tiempo de agitación y gramos de semilla de Moringa.

4.6. Coliformes

De acuerdo a los análisis de laboratorio y determinación por el método de número más probable existe cambio en el NMP/100 ml con respecto a coliformes fecales y totales. Los resultados se observan en el cuadro 4.2.

COLIFORMES				
TIEMPO	g de semilla	n° muestra	Coliformes totales Presuntiva	Coliformes fecales NMP/100 ml
		Testigo	>1600	>1600
30 min	5 g	1	>1600	<1.8
	10 g	2	430	1.8
	15 g	3	24	14
60 min	5 g	4	24	6.8
	10 g	5	47	4
	15 g	6	130	1.8
90 min	5 g	7	25	9.1
	10 g	8	350	3.6
	15 g	9	280	3.6

Cuadro 4.2. Resultados de CT Y CF obtenidos.

4.7. Cationes y aniones

Se realizó este análisis para ver que tanto influye la semilla de moringa en los contenidos de Calcio, Magnesio, Carbonatos, Bicarbonatos y Cloruros, donde en la presente grafica descriptiva se muestra que influye significativamente en los contenidos de los compuestos. (Figura 4.12).

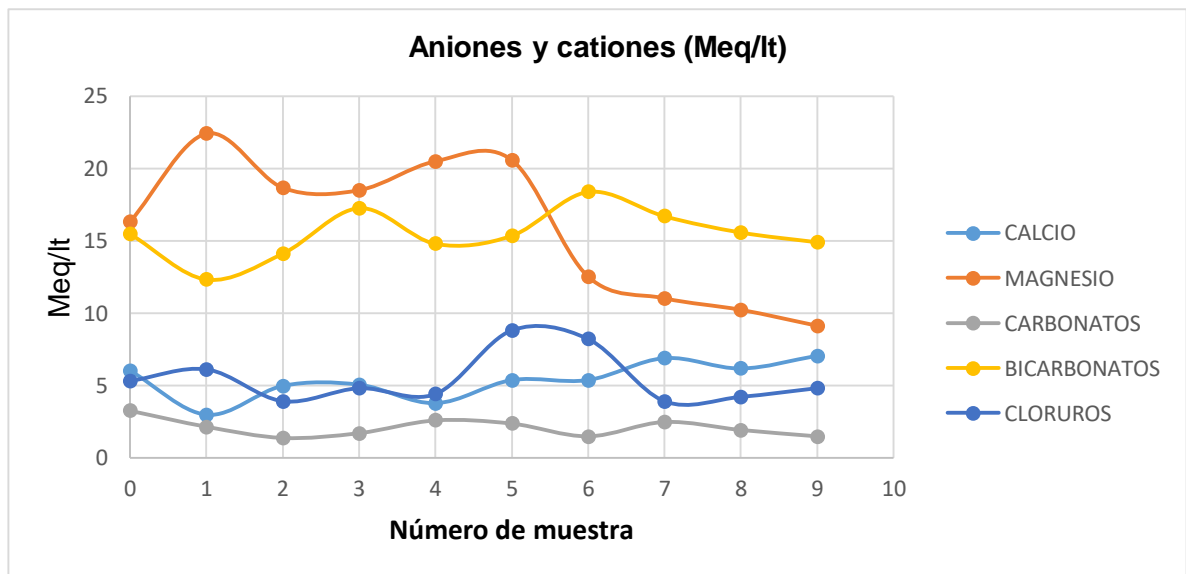


Figura 4.11. Resultados de aniones y cationes en el agua residual doméstica.

Calcio. En las muestras analizadas los Meq/lit de calcio disminuyeron, en tiempos de agitación de 30 y 60 minutos, a mayor tiempo de agitación en este caso 90 minutos aumentó.

Magnesio. A menor tiempo de agitación (30 y 60 minutos) aumentaron los Mequ/lit de Magnesio comparados con el testigo a partir de 15 g en 60 minutos a los análisis en tiempo de agitación de 90 minutos los valores disminuyeron, contrariamente al catión calcio.

Carbonatos, la semilla de Moringa disminuyó la cantidad de Meq/lit de Carbonatos en el agua residual doméstica.

En los cuadros 4.3,4.4 y 4.5 se comparan los resultados de los parámetros con los mostrados en la NOM-003-SEMARNAT-1997.

TIEMPO	g de semilla	n° muestra	pH	NOM-003-SEMARNAT-1997.	CE $\mu\text{S/cm}$	NOM-003-SEMARNAT-1997.	DBO ₅ mg/lit	NOM-003-SEMARNAT-1997.	DQO mg/lit	NOM-003-SEMARNAT-1997.
		Testigo	7.242		1356		0.15		480	
30 min	5 g	1	7.07		1453		0.44		980	
	10 g	2	6.833		1522		0.7		1190	
	15 g	3	6.667		1592		0.42		480	
60 min	5 g	4	7.113		1457		0.58		2300	
	10 g	5	6.812		1536		0.74		2620	
	15 g	6	6.684		1600		0.3		1300	
90 min	5 g	7	7.11		1442		0.67		2980	
	10 g	8	6.831		1519		1.19		2240	
	15 g	9	6.683	N/A	1603	N/A	0.37	20 mg/lit	960	N/A

Cuadro 4.3. Resultados de pH, CE, DBO₅ Y DQO comparados con la NOM-003-SEMARNAT-1997.

TIEMPO	g de semilla	n° muestra	SST (mg/lit)	NOM-003-SEMARNAT-1997.	SSV (mg/lit)	NOM-003-SEMARNAT-1997.	ST (mg/lit)	NOM-003-SEMARNAT-1997.	STV (mg/lit)	NOM-003-SEMARNAT-1997.
		Testigo	460	20 mg/lit	400	N/A	920	N/A	410	N/A
30 min	5 g	1	110		200		1350		720	
	10 g	2	130		350		2470		1750	
	15 g	3	290		90		3250		2490	
60 min	5 g	4	120		200		1470		1170	
	10 g	5	350		400		2150		1490	
	15 g	6	370		470		3490		2680	
90 min	5 g	7	150		230		1160		800	
	10 g	8	180		260		2490		1820	
	15 g	9	290	340	3250	2620				

Cuadro 4.4. Resultados obtenidos de SST, SSV, ST Y STV.

TIEMPO	g de semilla	n° muestra	Calcio Meq/lit	Magnesio Meq/lit	Carbonatos Meq/lit	Bicarbonatos Meq/lit	Cloruros Meq/lit	NOM-003-SEMARNAT-1997.
		Testigo	6	16.32	3.248	15.456	5.3	N/A
30 min	5 g	1	2.96	22.4	2.128	12.32	6.1	
	10 g	2	4.96	18.64	1.344	14.112	3.9	
	15 g	3	5.04	18.48	1.68	17.248	4.8	
60 min	5 g	4	3.76	20.48	2.576	14.784	4.4	
	10 g	5	5.36	20.56	2.352	15.344	8.8	
	15 g	6	5.36	12.5	1.456	18.368	8.2	
90 min	5 g	7	6.88	11	2.464	16.688	3.9	
	10 g	8	6.16	10.2	1.904	15.568	4.2	
	15 g	9	7.04	9.1	1.456	14.896	4.8	

Cuadro 4.5. Cuadro de resultados de Aniones y Cationes comparados con la NOM-003-SEMARNAT-1997.

En el cuadro 4.6 se comparan los resultados de CT y CF comparados con los límites máximos presentados en la NOM-003- SEMARNAT-1997, donde se observa que bajo de >1600 de NMP a <1.8.

COLIFORMES					NOM-003- SEMARNAT- 1997.
TIEMPO	g de semilla	n° muestra	Presuntiva	NMP/100 ml	
		Testigo	>1600	>1600	240 NMP/100 ML
30 min	5 g	1	>1600	<1.8	
	10 g	2	430	1.8	
	15 g	3	24	14	
60 min	5 g	4	24	6.8	
	10 g	5	47	4	
	15 g	6	130	1.8	
90 min	5 g	7	25	9.1	
	10 g	8	350	3.6	
	15 g	9	280	3.6	

Cuadro 4.6. Resultados de CT Y CF comparados con la
NOM-003-SEMARNAT-1997.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para determinar la dosis óptima para el tratamiento de aguas residual doméstica se utilizó la prueba de Jarras modelo ET 740, ya que desde que fue añadida la semilla de *Moringa oleífera* se vio la clarificación del agua.

De acuerdo a los análisis se requiere de 5 g de semilla de Moringa para tener una mejor clarificación del agua, menos SST, pero se requiere de una filtración para eliminar más sólidos y evitar taponamiento del sistema de riego (goteo o aspersor), y elimina más del 90 por ciento de CT y CF.

Se recomienda utilizar dosis a menor escala para obtener mejor clarificación y resultados con una mejor calidad de riego para uso agrícola, así como dejar por más de 90 minutos de agitación para obtener un sobrenadante más claro.

VI. LITERATURA CITADA

- APG (Angiosperm Phylogeny Group). 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*.
- Bhuptawat, H.; Folkard, G.K. & Chaudhari, S. 2007. Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating *M. oleifera* seed coagulant. *J. Hazardous Mat.* 142:477.
- Comisión Nacional del Agua (2012). *Estadísticas del Agua en México, 2011*. Agua en el Mundo.
- Comisión Nacional del Agua (2016). Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.
- Comisión Nacional del Agua (2018): *Estadísticas del Agua en México, 2017*. Agua en el Mundo.
- Comisión Nacional Del Agua (2018). Usos del agua.
- Comisión Nacional del agua, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2011. Situación del Subsector Agua Potable, alcantarillado y Saneamiento, Edición 2011. México.
- Comisión Nacional del agua, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2014. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2013*. México.
- Foidl, N. Mayorga, L y Cásquez, W. 1999. Utilización del marango (*Moringa oleifera*) como forraje fresco para ganado. En: *Agroforestería para la alimentación animal en Latinoamérica*. (Eds. M.D. Sánchez y M. Rosales). Estudio FAO: Producción y Sanidad Animal No. 143, p. 341.
- Foidl, N., Makkar, H.P.S., and Becker, K. 2001. The potential of *Moringa olifera* for agricultural and industrial uses. In: *The miracle tree. The multiple attributes of moringa*. L.J. Fuglie (Ed). Church World Service, Dakar, Senegal. Pp: 45 – 76.
- Folkard, G.K. & Sutherland, J.P. 1996. *Moringa oleifera*-a tree and a litany of potential. *Agroforestry Today*.
- Fuglie, L.J. 2001. Combating malnutrition with *Moringa*. In: *The miracle tree: the multiple attributes of Moringa*. (Ed. L.J. Fuglie). CTA Publication. Wageningen, The Netherlands. p. 117.
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. 2013. Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión. *U.D.C.A Actualidad y divulgación científica*, 16(1), 253-262.

- Hoyos, A., Hernández, J., Castro, A., & Sánchez, N. 2017. Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la m. oleífera como coagulante natural. 1.
- Jahn, S.A.A.1988. Using Moringa seeds as coagulants in developing countries. *J. Am. Water Works Assoc.* 80:43.
- Jiménez C., B.; J.C. Durán, J. M. Méndez C. *Calidad. En: Jiménez C., M.L. Torregrosa y L. Aboites (Eds.). 2010. El Agua en México: cauces y encauces.* AMC-Conagua. México.
- Kalogo, Y., M'Bassiguié Séka, A., and Verstraete, W. 2001. Enhancing the start-up of a UASB reactor treating domestic wastewater by adding a water extract of Moringa oleifera seeds. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 55: 644 – 651.
- Lea, M. 2014. Bioremediation of Turbid Surface Water Using Seed Extract from the Moringa oleifera Lam. (Drumstick) Tree. *Current Protocols in Microbiology*.
- Madsen, M.; Schlundt, J. & El Fadil E.O. 1987. Effect of water coagulated by seeds of *Moringa oleifera* on bacterial concentrations. *J. Trop. Med. Hygiene.* 90:101.
- Mark E. Olsona y Leonardo O. Alvarado-Cárdenas, 2016. ¿Dónde cultivar el árbol milagro, *Moringa oleífera* en México? Un análisis de su distribución potencial.
- Mendoza, I., Fernández, N., Ettiene, G., & Díaz, A. 2000. Uso de la Moringa oleifera como coagulante en la potabilización de aguas. 8(2).
- Metcalf & Eddy, Inc. 1996. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento vertido y reutilización. Tomo 1. 3a Edición. Editorial McGraw-Hill. México. 1459 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.2011. Estadísticas del agua en México 2011.
- Seoanez C. M. 2005. Depuración de las aguas residuales por Tecnologías Ecológicas y de bajo costo. Colección Ingeniería medioambiental. Ediciones Mundi—Prensa. Madrid España.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL).2000. Tratamiento de agua, coagulación y floculación.
- Sutherland, J.P.; Folkard, G.K.; Grant, W.D. 1990. Natural coagulants for appropriate water treatment -a novel approach. *Waterlines* 8(4):30-32.

VII. PÁGINAS DE INTERNET CONSULTADAS

<http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/que.aspx?tema=T>

http://www.elaguapotable.com/calidad_del_agua.htm

http://oa.upm.es/23094/1/PFCARIAS_SABIN.pdf