



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Planeación Urbana y Regional



“Aplicación de semilla de *Moringa oleifera* Lam, como alternativa coagulante de agua almacenada en el municipio de Zirándaro, Gro”.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

GEMMA ARINTZY MORENO CABRERA

DIRECTOR DE TESIS

DR. EN C. GUSTAVO ALVAREZ ARTEAGA

Toluca de Lerdo, Estado de México; Octubre de 2018.

LA CIENCIA SIN VIRTUD
FORMA TIRANOS Y LA VIRTUD
SIN CIENCIA FORMA
MAESTROS NECIOS E
INEPTOS.:

Al

G.: A.: D.: U.:

MIS PADRES

MI FAMILIA

DR. GUSTAVO

*AQUELLAS PERSONAS QUE CONFIARON
Y SIGUEN EN MI CAMINO*

¡GRACIAS!

CON AMOR ARY

ÍNDICE

Resumen	1
Abstract	3
Introducción	5
Planteamiento de la investigación	7
Justificación	7
Hipótesis	9
Objetivos	9
Capítulo 1 Marco Conceptual y Marco Referencial	10
Marco Conceptual	12
Agua	12
Ciclo hidrológico	13
Tratamiento de aguas	14
Coagulantes naturales	20
El árbol de <i>Moringa oleifera</i> Lam	20
Marco Referencial	27
Capítulo 2 Caracterización	33
Zona de estudio	34
Caracterización ambiental	34
Orografía:	34
Geología:	34
Edafología	35
Hidrografía	35
Clima:	36

Flora -----	36
Fauna -----	37
Caracterización Socioeconómica -----	37
Actividades económicas -----	38
Servicios públicos -----	38
Capítulo 3 Metodología -----	42
Procesamiento de la semilla de <i>Moringa oleifera</i> Lam-----	43
Preparación de las soluciones floculantes (Ceron & Garzon, 2015)-----	46
Localización del área de estudio -----	47
Toma de muestra -----	48
Análisis de campo -----	48
Test de jarras-----	49
Capítulo 4 Resultados y análisis -----	55
Discusión -----	71
Conclusiones -----	76
Referencias -----	79

Índice de Figuras

Figura 1. Molécula del agua. _____	13
Figura 2. Ciclo del agua _____	13
Figura 3. Procedimiento del tratamiento de agua. _____	15
Figura 4. Efecto de la Coagulación _____	16
Figura 5. Principio de floculación _____	17
Figura 6. Doble capa de una partícula coloidal _____	19
Figura 7. Árbol de <i>Moringa oleifera</i> Lam _____	23
Figura 8. Estructura taxonomica de la hoja de <i>Moringa</i> _____	24
Figura 9. Hoja del arbol de <i>Moringa</i> _____	24

Figura 11. Estructura del fruto del árbol de Moringa _____	26
Figura 12. Vaina del árbol de Moringa _____	26
Figura 10. Inflorescencia del arbol de Moringa _____	26
Figura 13. Principales problemas del municipio de Zirándaro, Gro. _____	40
Figura 14. Presa “La Calera” (Foto tomada en el mes de mayo 2018) _____	41
Figura 15. Árbol de Moringa oleifera en la Granja la Gloria Zirándaro, Gro. _____	43
Figura 16. Desvaine de las semillas de M. oleifera _____	44
Figura 17. Semillas de Moringa oleifera A (Semilla con cascara) B (semilla sin cascara) _____	44
Figura 18. Trituración de la semilla de M. oleifera _____	44
Figura 19. Tamizado de semilla de M. oleifera _____	45
Figura 20. Harina de semilla de M. oleifera _____	45
Figura 21. Harina sin presencia de grasas de semilla de Moringa oleifera _____	46
Figura 22. Soluciones floculantes _____	47
Figura 23. Estanque de la Granja la Gloria Zirándaro, Gro. _____	48
Figura 24. Diagrama de flujo del Test de jarras. _____	50
Figura 25. Comportamiento del pH en los diferentes tratamientos. _____	57
Figura 26. Comportamiento de la conductividad eléctrica vs pH en los diferentes tratamientos _____	59
Figura 27. Comportamiento de la conductividad eléctrica en los diferentes tratamientos_	60
Figura 28. Comportamiento de la turbidez en los diferentes tratamientos _____	61
Figura 29. Comportamiento de los tratamientos con respecto al oxígeno disuelto. _____	64
Figura 30. Comportamiento de la temperatura en los diferentes tratamientos _____	65
Figura 31. El comportamiento de la alcalinidad del agua _____	66
Figura 32. Regresión lineal simple entre Dureza y Alcalinidad _____	67
Figura 33. Comportamiento de la Dureza en los diferentes tratamientos. _____	68

Índice de Tablas

Tabla 1. Comparación en las hojas de <i>Moringa</i> con otros alimentos (por cada 100 g. de parte comestible). _____	25
Tabla 2. Casos de estudio sobre la semilla de <i>Moringa oleifera</i> Lam como coagulante natural. _____	32
Tabla 3. Listado de flora en Zirandaro de los Chávez, Guerrero. _____	36
Tabla 4. Fauna en Zirándaro de los Chávez, Guerrero _____	37
Tabla 5. Concentraciones de las soluciones floculantes y clave de identificación para tratamientos. _____	46
Tabla 6. Datos de la muestra de agua en campo _____	49
Tabla 7. Descripción de los tratamientos experimentales _____	50
Tabla 8. Clasificación del agua con respecto a la conductividad _____	51
Tabla 9. Clasificación de aguas con respecto a su dureza de acuerdo con la siguiente tabla, en términos de la concentración de CaCO ₃ o su equivalente. _____	54
Tabla 10. Estadísticos descriptivos de Parámetros físicos y químicos del agua almacenada en el estanque de la Granja “La Gloria”. _____	56
Tabla 11. Valores iniciales y finales de las NTU en las muestras de agua del estanque de la Granja “La Gloria”. _____	62
Tabla 12. Resultados de Alcalinidad por tratamiento. _____	65
Tabla 13. Resultados de parámetros fisicoquímicos por tratamiento. _____	69
Tabla 14. Eficiencia floculante de los tratamientos con semilla de <i>Moringa</i> y sulfato de aluminio _____	71

Resumen

En diversas regiones de México y del mundo, la obtención de agua de lluvia mediante captadores artificiales representa una de las principales alternativas para proveer de este líquido a pequeñas comunidades, sin embargo, el recurso hídrico almacenado generalmente contienen partículas suspendidas y disueltas que requieren ser removidas para disponerlas al consumo humano.

Actualmente los métodos más empleados para la remoción de estas partículas por coagulación emplean agentes químicos como el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), aunque diversos estudios sugieren posibles afectaciones a la salud por su toxicidad cuando se acumula en altas concentraciones.

Alternativamente se han propuesto tratamientos que emplean productos naturales para su saneamiento, el caso del árbol de *Moringa oleifera*, cuya semilla contiene un agente activo que cataliza la coagulación en agua.

Es un tratamiento económico, idóneo para las zonas periurbanas donde se propague este árbol. Una ventaja adicional radica en que, dada la tolerancia a condiciones de sequía y altas temperaturas, esta especie puede ser cultivada localmente, favoreciendo la disponibilidad de la semilla.

En los últimos 10 años en el municipio de Zirándaro, Estado de Guerrero, han surgido problemas con respecto a la disponibilidad de este líquido vital, la principal fuente de abastecimiento son el Río Chiquito y el Río Balsas, que en época de sequía los niveles de estos afluentes disminuyen, lo que dificulta la obtención del recurso hídrico en los meses de secas (Marzo- Mayo), partiendo de la necesidad de contar con agua de buena calidad, este trabajo pretende proporcionar alternativas de tratamiento del agua almacenada.

El presente estudio se realizó dentro de los terrenos de la granja “La Gloria” ubicada en el municipio de Zirándaro, Guerrero, que cuenta con un estanque de almacenamiento de agua del cual se obtuvo la muestra compuesta que se utilizó en laboratorio, y una parcela donde

se cultiva la especie mencionada con la finalidad de proveer un alimento orgánico y rico en nutrientes.

Previo a su aplicación, se realizaron los estudios para determinar los parámetros fisicoquímicos, los cuales son: pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, turbidez, color y olor. Posteriormente, bajo condiciones de laboratorio se implementaron tratamientos comparando la eficiencia de floculación entre el testigo con sulfato de aluminio y los tratamientos de *Moringa* en tres concentraciones.

Los resultados arrojaron que la eficiencia de la semilla de *Moringa* es del 97%, siendo así un agente coagulante sustituible de productos comerciales como el sulfato de aluminio.

Abstract

On different Mexico's region and the world, the capture of rainwater by artificial collectors represents one of the main alternatives to provide this liquid to small communities, however, the water resource usually stored. They contain suspended and dissolved particles that need to be removed for human consumption.

Currently, the most used methods for the removal of these particles by coagulation employ chemical agents such as aluminium sulphate ($Al_2(SO_4)_3$), although several studies suggest possible health effects due to their toxicity when it accumulates in high concentrations.

Alternatively, treatments have been proposed that use natural products for sanitation, the case of the Moringa Oleifera tree, whose seed contains an active agent that catalyzes coagulation in water.

It is an economic treatment, suitable for the peri-urban areas where this tree is propagated. An additional advantage is that, given the tolerance to drought conditions and high temperatures, this species can be cultivated locally, favoring the availability of the seed.

In the last 10 years in the municipality of Zirándaro, State of Guerrero, problems have arisen with regard to the availability of this vital liquid, the main source of supply are the small river and the River Balsas, which in times of drought the levels of these Tributaries decrease, making it difficult to obtain water resources in the dry months (March-May), based on the need for good quality water, this work aims to provide alternatives for the treatment of stored water.

The present study was carried out within the lands of the farm "La Gloria" located in the municipality of Zirándaro, Guerrero, which has a water storage pond from which was obtained the composite sample that was used in the laboratory, and a plot where it cultivates the mentioned species in order to provide an organic and nutrient-rich food.

Prior to its application, studies were carried out to determine the physicochemical parameters, which are: PH, electrical conductivity, total dissolved solids, turbidity, color

and odour. Subsequently, under laboratory conditions, treatments were implemented by compared the flocculation efficiency between the aluminium sulphate control and the Moringa treatments in three concentrations.

The results showed that the efficiency of the Moringa seed is 97%, thus being a replaceable coagulant agent of commercial products such as aluminium sulphate.

Introducción

En el municipio de Zirándaro, Guerrero se distribuye un árbol que cuenta con múltiples propiedades tanto en el campo nutricional como en el área ambiental, esta especie multipropósito es *Moringa oleifera*, la planta brinda diversos productos con amplios beneficios.

Para esta investigación se trabajó con las semillas las cuales poseen un componente activo floculante. Aunque existen otros productos comerciales con este efecto, éstos no están fácilmente disponibles para algunas zonas periurbanas de la región y por ello se pretende potencializar el uso de *Moringa* ya que experimentos previos han demostrado que las semillas de la planta son capaces de remover hasta el 90% de turbidez.

Esta investigación pretende demostrar que las semillas son un buen sustituto del sulfato de aluminio, en aguas alcalinas, otras ventajas en el uso de *Moringa* para este fin es que las semillas no dejan residuos tóxicos en el ambiente ni genera daños en la salud humana y es un recurso económico y eficiente.

Este árbol, originario de la India, ha logrado adaptarse a las condiciones de la región de Tierra Caliente. Aprovechando la fácil reproducción en la zona, la obtención del subproducto de la semilla se encuentra al alcance de la población lo que implica un beneficio para el municipio y sus habitantes.

La presente investigación muestra el desarrollo de un trabajo experimental que obtuvo las muestras de agua de la Granja “La Gloria” ubicada en el municipio de Zirándaro del Estado de Guerrero, el documento consta de cuatro apartados, el primero es el estado del arte de la investigación y los estudios sobre la semilla de *Moringa* en México y el mundo, el segundo es la caracterización de la zona de estudio donde comienzan las primeras pruebas de coagulación con las semillas, el tercero es la metodología empleada para la fase experimental del trabajo, el cuarto apartado son los resultado arrojados por la pruebas en laboratorio y el análisis de los datos mediante pruebas estadísticas que explique el comportamiento de dicho producto floculante, por último se presenta una discusión que

adjunta los resultados y respalda la evaluación de la semilla para el tratamiento de aguas en la Granja “La Gloria”.

En la actualidad la adquisición de productos químicos de alto costo limita el aprovechamiento máximo del recurso hídrico en la granja y el municipio por ello se ha planteado esta línea de investigación en la zona la ya expuesta con anterioridad.

Planteamiento de la investigación

Justificación

El municipio de Zirándaro, Guerrero, cuenta con una superficie total de 2,475.6 km² que representa el 21.57 % de la región de Tierra Caliente, perteneciente a la depresión de la cuenca del Balsas (Balladares & Pineda, 2004). En su origen este municipio era considerado basto en el recurso hídrico, puesto que se alimenta de dos ríos, El Balsas, que en la época de colonia se le conocía como Río Zacatula (CONACULTA, 2010) y el Río del Oro, o como lo conocen los lugareños, Río chiquito.

Un evento que contribuyó al aprovechamiento del recurso hídrico en la región, fue la construcción de la presa “La Calera”, obra impulsada por el ex presidente Lázaro Cárdenas e inaugurada en 1964 con el presidente en turno Adolfo López Mateos (Balladares & Pineda, 2004).

Su finalidad era asegurar la disponibilidad de riego del municipio y otros más que comprende el Distrito de Riego Amuco – Cutzamala. Actualmente, debido a la escasez del agua y acumulación de sedimentos dejó de funcionar, solo en temporada de lluvias sirve de almacén temporal donde el volumen captado es insuficiente en los meses de marzo – mayo. Por testimonio de los habitantes del lugar, los afluentes mencionados anteriormente han disminuido drásticamente en los últimos 10 años.

La Asociación civil “Mas las Zirandas”, es una organización dedicada al fomento y recuperación de la cultura en la región de Tierra Caliente, durante el año 2013 surge la preocupación por los alimentos que consume la población zirandarence hoy en día, y por los conflictos sociales, económicos y ambientales existentes desde hace 10 años, derivados de la poca disponibilidad del recurso agua en la zona, se crea el proyecto Granja ecológica “La Gloria”, cercana a la zona periurbana de la cabecera municipal de Zirándaro de los Chávez, cuyo objetivo principal es producir alimentos orgánicos y contar con agua de buena calidad, para lo cual se construyó un estanque que almacena aguas provenientes tanto del canal, el cual se alimenta del Río del Oro, así como de lluvia para tener reserva en la temporada de secas.

Partiendo de la preocupación que se tiene con respecto al recurso hídrico, un tema prioritario, es el tratamiento de agua para ampliar su capacidad de uso, por ello nace la idea de emplear recursos bióticos locales probados en otras latitudes como coagulantes; siendo una zona rural, la obtención de productos coagulantes comerciales como el alumbre es difícil por ello la importancia de la sustitución por las semillas de *Moringa oleifera* Lam, una especie introducida durante los años 20's conocido localmente como el árbol de "La Perla". Diversos estudios han demostrado los atributos de ese árbol para su aplicación tanto en el campo nutricional como medicinal; diversos estudios internacionales han mostrado el aporte de nutrientes, particularmente, proteínas grasas, carbohidratos, minerales y vitaminas.

En México el Dr. Mark Earl Olson del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), desde el año 2001 comenzó los estudios sobre las propiedades del género y sus 13 especies, particularmente el de *Moringa oleifera*, uno de los estudios más destacables es de (Olson & Fahey, 2011), quienes mencionan que esta planta es un alimento nutritivo y benéfico que ofrece características muy atractivas para establecer su cultivo en comunidades sostenibles en el trópico seco de México y otros países de Latinoamérica.

Otro caso mexicano es por parte de la Universidad Autónoma de Coahuila, destacan el contenido en la planta de todos los aminoácidos, vitaminas, A y C, y minerales como el calcio, potasio y hierro (Sánchez-Peña, 2013); sin embargo, el campo de interés para este trabajo es para el tratamiento de aguas, por ello se pretende mediante métodos experimentales, evaluar el comportamiento que tiene la semilla de *Moringa*, en los proceso de Coagulación – Floculación del agua, así como su efecto sobre algunos de los parámetros fisicoquímicos.

Las respuestas que genere esta investigación, permitirán establecer las dosis óptimas de aplicación de la semilla, para el tratamiento de agua almacenada en cuerpos de agua locales, mejorando su capacidad de uso por parte de la población.

Hipótesis

La aplicación de diferentes dosis, de la semilla de *Moringa oleifera* Lam permitirá establecer concentraciones óptimas de tratamiento para la floculación de sedimentos en agua estancada, de tal forma que permitan la remoción del 100% de partículas suspendidas.

Objetivos

General

Evaluar la eficiencia de la floculación de la semilla de *Moringa oleifera* Lam en el tratamiento del agua almacenada en la granja “La Gloria“, Zirándaro, Gro.

Particulares

- a. Realizar la caracterización socioambiental de la zona objetivo de la investigación.
- b. Determinar la concentración óptima de las soluciones floculantes mediante la prueba de test de jarras.
- c. Evaluar el efecto de la aplicación de los diferentes tratamientos con semilla de *Moringa oleifera* y sulfato de aluminio, sobre los parámetros fisicoquímicos del agua procedente de la zona de estudio.

Capítulo 1 Marco Conceptual y Marco Referencial

Tales de Mileto, filósofo griego del siglo VI A. C., afirmó que el agua era la sustancia original, de la cual todas las demás estaban formadas, en el agua se originó la vida y de ella sigue dependiendo (Guerrero, 2006).

La supervivencia del ser humano está fuertemente relacionada con la capacidad de adaptación y respeto a nuestra madre naturaleza; desde tiempos remotos el recurso hídrico ha sido considerado como uno de los más importantes. Es indispensable precisar que el agua ocupa gran parte de nuestro planeta, un 75% aproximadamente, del este 100%, el 2.5 % es agua dulce, del cual, solo el 1 % está disponible en la superficie, el resto está en acuíferos en 29 % y en glaciares en un 70%.

En México, para 2015 el Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública (CESOP, 2015) de la Cámara de Diputados redactó un documento que contextualiza nuestra situación hídrica, hace mención de que el país cuenta con la disponibilidad del 0.1 % de agua dulce a nivel mundial, y cerca de 6 millones de mexicanos no cuentan con agua potable.

Si bien es cierto que la tierra representa el poder fecundante, este acto de vida no se puede desarrollar sin el agua, con respecto al cuerpo humano, también somos 70% agua, la sangre, el hilo vital, es 90% agua. En esta primera parte del trabajo se exponen términos que ayudarán a entender la importancia de tal estudio y justificar el uso de alternativas amigables con el ambiente.

Este capítulo se divide en dos partes, la primera es el marco conceptual, el cual contribuye al entendimiento del lector para comprender este trabajo y la segunda parte es el marco referencial, cuya finalidad es recopilar estudios que se ha realizado en todo el mundo con respecto a las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante noble ante la salud ambiental y humana.

Marco Conceptual

Agua

El agua es un compuesto que se forma a partir de la unión, mediante enlaces covalentes, de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno; su fórmula molecular es H₂O y se trata de una molécula muy estable, se caracteriza por ser incolora, inodora e insípida (García, 2009).

Es de gran significación para la vida, el más abundante en la naturaleza y determinante en los procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan el medio natural, Los átomos de hidrógeno y oxígeno en la molécula de agua tienen cargas opuestas, y las moléculas de agua vecinas son atraídas entre ellas como pequeños imanes (Ver *Figura 1*).

La atracción electrostática entre el hidrógeno y el oxígeno en las moléculas adyacentes es llamada enlace de hidrógeno. Así, esta estructura permite a la molécula que muchas otras moléculas iguales sean atraídas y se unan con gran facilidad, formando enormes cadenas que van constituyendo el líquido que da la vida a nuestro planeta: el agua.

Dependiendo de la temperatura y la presión, el agua cambia muy fácilmente de un estado líquido a uno gaseoso o sólido. Así, a los 0 °C se produce la congelación y el agua se solidifica en hielo, nieve o granizo. En contraste, a una temperatura de 100 °C, el líquido se transforma en vapor. Por estos factores es posible que el agua pueda surgir como un líquido, como un gas en la atmósfera, o como un sólido quieto en las altas montañas o en los polos (CEMDA, 2006)

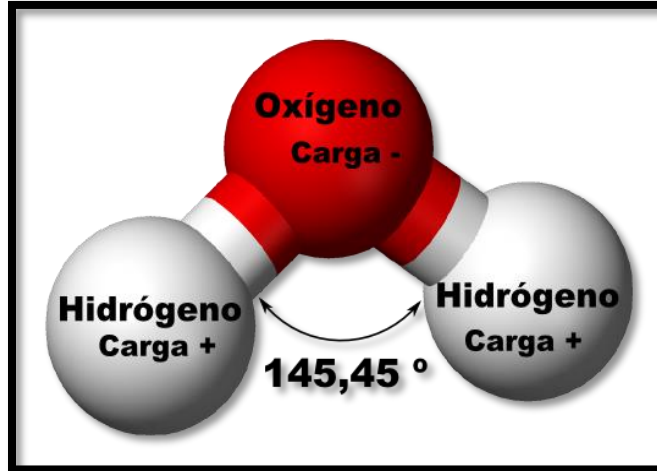


Figura 1. Molécula del agua.

Fuente: Recursostic, (2018)

Ciclo hidrológico

Se le denomina como el movimiento general del agua: ascendente por evaporación y descendente por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea (Cotler, 2006). El ciclo del agua incluye la evaporación, precipitación, condensación, transpiración e infiltración de este líquido (Ver *Figura 2*).

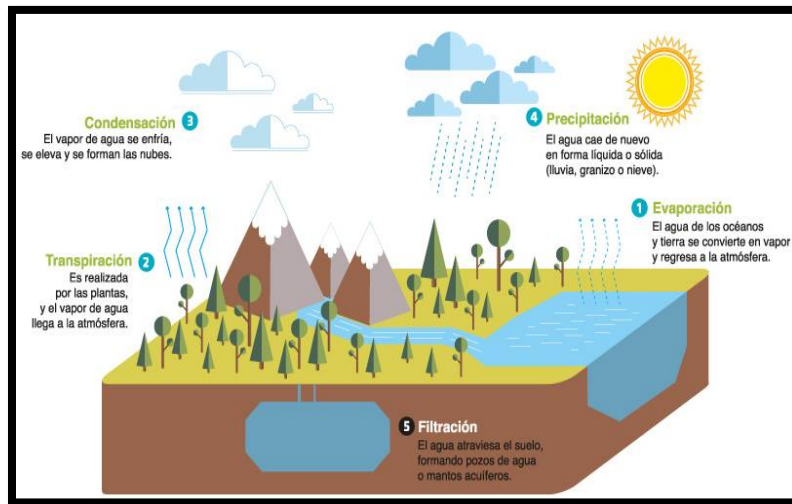


Figura 2. Ciclo del agua

Fuente: SEMARNAT, 2005

Debido a la biogeografía de México, el acceso al agua es variado, por tal razón es indispensable tener alternativas de reserva para cubrir las necesidades básicas, siempre y cuando se respeten las condiciones naturales en las que se encuentra la población según sea su ubicación en el territorio nacional.

Las aportaciones del ciclo hidrológico, no ofrecen garantías a la humanidad ya que únicamente dos tercios de la población mundial viven en zonas que reciben una cuarta parte de las precipitaciones del agua del mundo (Garduño, 2011)

Sin embargo, la cantidad de vapor atmosférico depende no solo de la evaporación local, sino también de los desplazamientos horizontales de este. Entre menor sea la temperatura habrá menos vapor y como ella desciende con la altitud, el contenido de vapor atmosférico disminuye a grandes alturas y a mayor de 8 km de altura ya no hay vapor de agua. El vapor de agua es arrastrado por las corrientes de aire atravesando capas de aire, sufre el proceso de condensación que va de fase gaseosa a fase líquida esto es porque las moléculas se agrupan por el efecto de su atracción y posteriormente se genera la precipitación (Guerrero, 2006)

Por otro lado, los sistemas de captación de agua pluvial se remontan a épocas históricas, como en la región de Mesopotamia, donde se tienen registros con más de 5000 años, a principios del siglo XXI, estos sistemas para uso doméstico perdieron su importancia debido al rápido crecimiento de las ciudades y a los sistemas de distribución del agua a nivel domiciliario (Garduño, 2011).

Tratamiento de aguas

La palabra tratamiento nace del vocablo latín *tractare* que se traduce al verbo tratar, lo cual significa tomar o tener algo y darle cierto uso, manejo o empleo, el sufijo *miento* hace mención al sinónimo de instrumento o resultado, por lo tanto esta palabra es asertiva en el proceso de mejoramiento del recurso hídrico, lo que implica la evolución constante de los modelos que se crean y modifican para obtener agua de buena calidad para satisfacer las necesidades que la naturaleza y el mismo hombre requieren día tras día (Ver *Figura 3*).

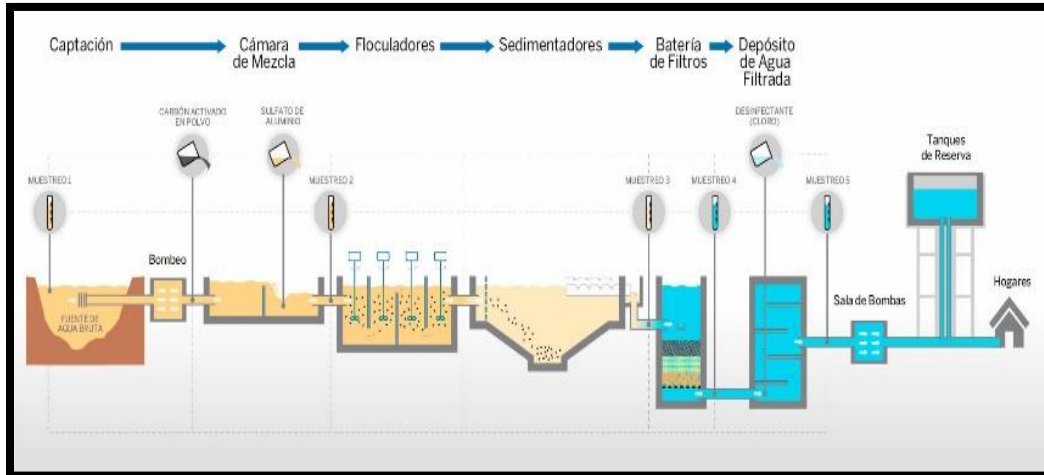


Figura 3. Procedimiento del tratamiento de agua.

Fuente. SPENA, 2018

Procesos del tratamiento de aguas

La calidad del agua depende de donde provenga y para ello se realizan pruebas fisicoquímicas para determinar el estado en el que se encuentra. Para simplificar el modelo, se reduce a tres simple pasos, los cuales son los siguientes:

1. Pre cloración: Es la primera parte de todo el tratamiento y se hace con la finalidad de poder dar control del crecimiento de algas y para detener cualquier otro crecimiento biológico, y en conjunto con la aireación se logra la eliminación de hierro disuelto y manganeso
2. La coagulación, floculación y filtración: En este segundo paso se agregan los polielectrolitos que son los responsables de la pronta coagulación de aquellas partículas suspendidas en el agua y una vez precipitados los coloides la filtración contribuye a la eliminación del sedimento, se logra la clarificación del líquido.
3. Desinfección: En esta tercera etapa el agua debe ser sometida a una desinfección para eliminar bacterias, virus y otros patógenos (SPENA, 2018)

Coagulación y Floculación

Coagulación

Es 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.

La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos (Andia, 2000).

Coagulación química.

Procedimiento que consiste en agregar un producto químico (el coagulante) destinado a la desestabilización del material coloidal disperso y a su agregación bajo la forma de flóculos (Feria, *et al.*, 2014), (Ver Figura 12).

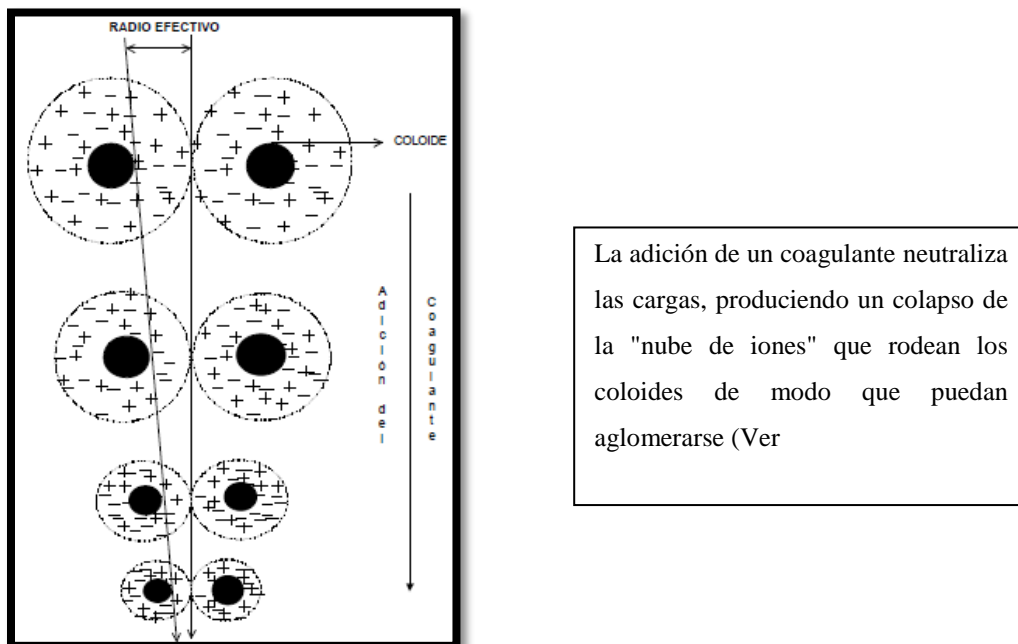


Figura 4. Efecto de la Coagulación

Fuente: Andia, 2000

Floculación

Es el proceso hidrodinámico en el que se efectúan las colisiones de partículas desestabilizadas favoreciendo la agregación (cohesión) entre ellas, logrando formar aglomerados de partículas coloidales que unidas entre sí alcanzan un peso que las hace sedimentables por gravedad (Melo & Turriago, 2012)

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos (Ver *Figura 5*); un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del floculo, sino que también aumenta su peso (Andia, 2000).

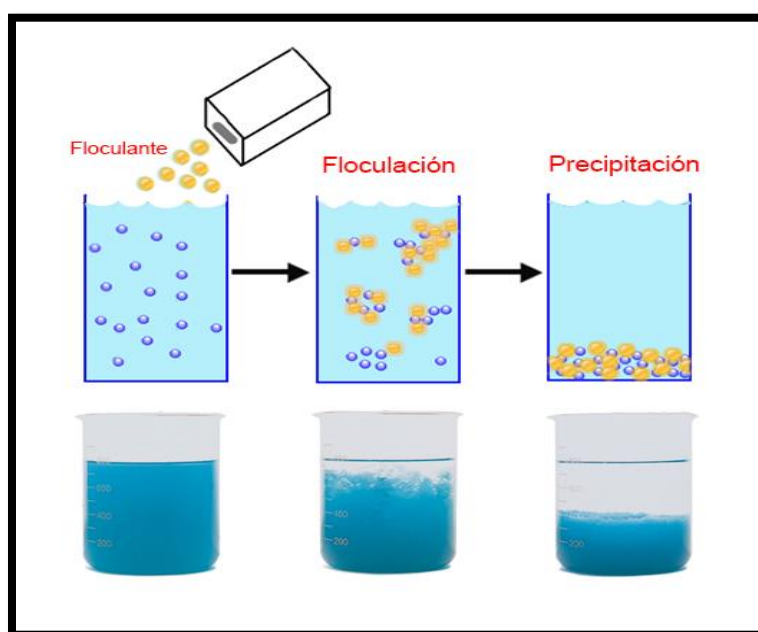


Figura 5. Principio de floculación

Fuente: Gudinio 2015

La floculación puede ser mejorada por la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación, que para este caso de estudio se trabajara con el alumbre ($\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$) y con las semillas de *Moringa oleifera*.

Coloides

Son suspensiones estables, por lo que es imposible su sedimentación natural, son sustancias responsables de la turbiedad y del color del agua. Los sistemas coloidales presentan una superficie de contacto inmensa entre la fase sólida y la fase líquida, por ejemplo 1 cubo de 1 cm^3 , tiene una superficie total de 6 cm^2 ; si está dividido en pequeños cubos elementales, la superficie total de todos aquellos es mucho más grande (Andia, 2000).

Las partículas coloidales se caracterizan por ser hidrofílicas (tienen afinidad por el agua) e hidrófobas (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.

Las partículas hidrófobas son en general partículas de materia inorgánica mientras que las hidrófilas son materia orgánica. La carga eléctrica y la capa de agua que rodean las partículas hidrófilas tienden a desplazar las partículas unas de otras y, en consecuencia, los estabiliza dentro de la solución (Andia, 2000).

Potencial “Z”

Es una medida de la magnitud de la repulsión o atracción entre las partículas, su medida proporciona una idea detallada de los mecanismos de dispersión y es la clave del control de dispersión electrostático. El potencial Z puede ser usado para optimizar el uso de floculantes excesivamente caros y la velocidad del proceso de floculación (Melo & Turriago, 2012)

Dentro del agua superficial, las partículas coloidales, son las causantes de la turbiedad y del color por lo que el tratamiento del agua está orientado a la remoción de estas partículas; estas poseen normalmente una carga eléctrica negativa situada sobre su superficie. Estas cargas llamadas cargas primarias, atraen los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos (Andia, 2000)

Los iones que se adhieren fuertemente a la partícula y se desplazan con ella, forman la capa adherida o comprimida, mientras que los iones que se adhieren débilmente constituyen la capa difusa, por lo tanto, hay un gradiente o potencial electrostático entre la superficie de la partícula y la solución (Ver *Figura 6*), llamado Potencial Zeta (Andia, 2000).

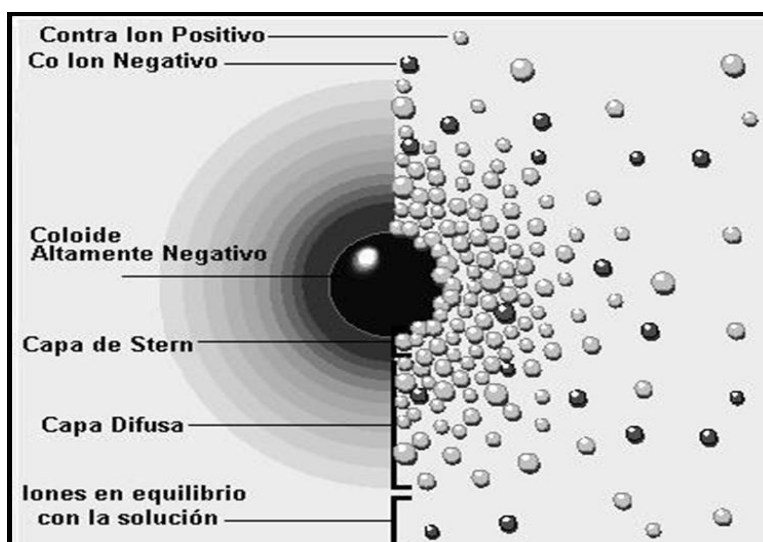


Figura 6. Doble capa de una partícula coloidal

Fuente: UNAM

El potencial zeta es una manera adecuada de optimizar la dosificación de coagulante en el agua y en tratamientos de desague por coagulación. Los sólidos suspendidos más difíciles de remover son los coloides. Por su diminuto tamaño, ellos escapan fácilmente tanto a la sedimentación como a la filtración.

El método para remover el coloide es mediante la disminución del potencial zeta con coagulantes tales como el alumbre, cloruro férrico y/o polímeros catiónicos. Una vez reducida o eliminada la carga no existirán fuerzas repulsivas y la ligera agitación del estanque de floculación causará numerosos choques entre los coloides. Esto resulta primero en la formación de sistemas microfloculados los cuales crecen hasta llegar a ser sistemas floculados visibles que se acomodan rápidamente y pueden ser filtrados fácilmente (UNAM, 2014)

Las semillas de *Moringa oleifera* contienen cantidades importantes de aminoácidos polares, con carga neta positiva y negativa, que podrían interactuar con las partículas coloidales

responsables de la turbidez y el color, durante el proceso de clarificación de las aguas, contribuyendo a la eliminación de las mismas (Campos, *et al.*, 2003).

Coagulantes naturales

El creciente desarrollo y uso de coagulantes naturales, extraídos a partir de microorganismos, tejidos de plantas o animales; son biodegradables y seguros para la salud humana, producen menos volumen de lodos, obteniéndose cantidades que van entre el 20-30 % inferior a las generadas por el empleo de agentes coagulantes metálicos, como el alumbre (Sciban, *et al.*, 2009)

Los agentes coagulantes y floculantes naturales, principalmente polisacáridos, son considerados ambientalmente amigables en comparación con los agentes orgánicos e inorgánicos debido a su biodegradabilidad (Diamadopoulos, *et al.*, 2009). Los sacáridos más empleados son de dos tipos: los exopolisacáridos como los mucílago provenientes de *Cactus lefaria*, *Opuntia ficus-indica*, *Plantago psyllium*, *Malva sylvestris* e *Hibiscus esculentus* (Diamadopoulos, *et al.*, 2009). Aunque se han reportado muchos coagulantes de origen vegetal, solamente cuatro tipos son bien conocidos entre la comunidad científica: semillas de Nirmali (*Strychnos potatorum*), *Moringa oleifera*, taninos, y cactus (Yin, 2010)

Para el proceso de coagulación de partículas suspendidas en el agua, se han empleado compuestos alternativos de origen natural que han resultado eficientes, tal es el caso de las semillas *Eritrina americana*, *Quercus ilex*, *Acacia farnesiana*, *Viscum album* y *Senna candolleana* (Vazquez, 2007) y la *Moringa oleifera*, esta última es una alternativa viable puesto que el uso de sus semillas tiene un efecto clarificante ya conocido por las mujeres rurales de Sudán y era usado para tratar aguas de alta turbidez del Nilo (Jahn, 1986)

El árbol de *Moringa oleifera* Lam

Moringa oleifera Lam es originario del norte de la India, pero se ha expandido por toda la zona tropical, conociéndose de diferentes formas alrededor del mundo: en África y Asia le llaman “palo de tambor” por la singular forma de sus vainas (Folkard & Sutherland, 1996) utilizándose principalmente como alimento. También ha sido materia prima en la elaboración de medicamentos para el colesterol y diabetes entre otros. De manera más

reciente, se ha explorado la aplicación de sus semillas como un medio eficiente y económico para potabilizar el agua.

En México, al igual que lo ha hecho en varias partes de América Latina, el árbol de *Moringa oleifera* Lam se ha logrado adaptar a las condiciones regionales gracias a la combinación de sus propiedades físicas y químicas y la compatibilidad con las características ambientales de su procedencia, de tal forma que se le puede encontrar de forma abundante en la costa del Pacífico, desde el sur de Sonora hasta Chiapas, incluyendo el sur de la península de Baja California. La planta también se cultiva en los poblados de las depresiones tropicales secas del país, como la del Balsas y la depresión central de Chiapas (Olson & Fahey, 2011).

De acuerdo estos autores, la planta debió llegar al territorio mexicano en forma de semilla, traída por marineros filipinos durante los viajes de la Nao de China, que cubría la ruta entre Manila y Acapulco. Los tripulantes de estas embarcaciones tenían el hábito de consumir plantas, así que durante sus viajes traían consigo su alimento y entre éstos se encontraba la *Moringa*.

En el año 2015, el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), emitió un listado de 13 estados de la República que cuentan con las condiciones óptimas para el desarrollo de este árbol, de los cuales destaca, Guerrero, Michoacán, Oaxaca y Jalisco, en el municipio de Zirándaro, la presencia de este árbol tiene más de 100 años, su propagación de ha dado de forma natural en las calles y traspatios, recientemente la asociación encargada de la granja y el centro cultural se dedica al cultivo de este árbol con técnicas controladas.

Descripción del árbol *Moringa oleifera* Lam

Taxonomía.

Moringa oleifera Lam, se ubica taxonómicamente en el reino *Plantae*, división *Magnoliophyta*, de clase *Eudicotyledoneae*, de orden *Brassicales*, ubicada en la familia *Moringaceae*, el epíteto genérico *Moringa* y el epíteto específico *oleifera*, finalmente adquiere el nombre binomial de *Moringa oleifera* Lam en 1783 (Molano, 2011).

Origen.

Es originaria del Norte de la India, no existen reportes de *Moringa oleifera* como una planta invasora en hábitats naturales en ninguna parte del mundo (Olson, 2010). Sin embargo, como con cualquier planta exótica, es importante mantener una vigilancia estricta para detectar cualquier tendencia invasora en cuanto aparezca.

A pesar de que la moringa ha estado en México desde hace varios siglos, y que se cultiva ampliamente en las zonas del país con clima propicio, nunca se ha observado una tendencia invasora en esta planta, lo que hace muy poco probable que esto pueda presentarse en el futuro cercano (Olson & Alvarado, 2016).

Distribución.

El árbol crece abundantemente en zonas tropicales, en América se da en México, Centroamérica y parte de Sudamérica excluyendo a Chile y Argentina, en África se propaga en más del 80% de todo el continente descartado solo a Marruecos, Argelia, Túnez, Libia y Sáhara Occidental, en Asia se da en países del sur como China, India, Turquía, Irán, Irak, Mongolia, Nepal, Tailandia, Vietnam, Corea del Norte y del Sur, entre otros excepto Japón; países donde los niveles de desnutrición esta entre el 5 y 40 %, justo donde más se necesita.

Moringa oleifera prospera preferentemente en zonas tropicales con temperaturas mínimas por encima de los 15°C, con una precipitación menor a los 1,000 mm y altitudes de hasta 600 msnm. Esta combinación de características climáticas se encuentra principalmente en el trópico seco de la depresión del Balsas y en la costa del Pacífico. Un total de 13 estados presentan localidades óptimas para el cultivo de la moringa, destacando por su área Guerrero, Michoacán, Oaxaca y Jalisco. Se ofrece una lista de 222 municipios con el clima adecuado para el cultivo de la *Moringa* (Olson & Alvarado, 2016).

Este árbol tiene un gran potencial para su cultivo en México, así como en muchas partes de América tropical por su combinación singular de propiedades. Esta especie llegó a América Latina y Centroamérica alrededor de los años 20`s como un árbol ornamental, comenzó como cortinas rompe vientos y cercas vivas, en el municipio de Zirándaro se encuentra en los traspatios con esta misma función (Olson & Fahey, 2011).

Fenología.

Es un árbol de zonas tropicales y bajas latitudes, donde la precipitación se concentra en una época del año. Esta combinación de condiciones se obtiene esencialmente en las zonas tropicales secas, popularmente denominadas «tierra caliente» en México. La costa tropical del Pacífico y la depresión del río Balsas son regiones ideales para el cultivo de la moringa.

Es claro que la moringa requiere de temperaturas altas. Sin embargo, probablemente el factor más importante para limitar la distribución de la planta, y por ende su cultivo, es la temperatura mínima absoluta, es decir, la más baja que se experimenta a lo largo del año (material suplementario). Esto tiene sentido, pues esta última variable climática es la que lleva a las plantas a sus límites de tolerancia y no las temperaturas promedio (Olson & Alvarado, 2016).

La *Moringa* es un árbol de crecimiento rápido que puede alcanzar hasta los 12 metros de altura, con un promedio de vida de 20 años, es perennifolio en climas tropicales y de hoja caduca en climas subtropicales, perdiendo la hoja por estrés hídrico (Muhl, *et al.*, 2014). La raíz principal es de tipo pivotante y globosa, mide varios metros lo que le permite tener cierta resistencia a la sequía (Ver *Figura 7*).



Figura 7. Árbol de *Moringa oleifera* Lam

Fuente: Esteve J. 2016

La reproducción del árbol de *Moringa* en el municipio de Zirándaro es exitosa debido a las condiciones ambientales de la zona, puesto que la especie resiste a las sequías y por su estructura radicular logra mantener la humedad por más tiempo, en un año logra una altura de tres hasta los cinco metros de altura, la copa no es muy densa y cuando el árbol entra en estrés hídrico pierde hoja, es de tronco único con 20 a 40 cm de diámetro, el árbol es poco longevo pues llega a durar hasta 20 años, su reproducción se da a temperaturas de entre 25° y 35° C.

La moringa (*Moringa oleifera*) se identifica por su combinación de caracteres.

Las hojas (Ver *Figura 8*), grandes, pinnadas, que pueden alcanzar unos 60 cm de longitud; están divididas en folíolos dispuestos sobre un raquis. En la articulación de cada raquis se encuentran pequeñas glándulas de 1 mm de longitud (Olson & Fahey, 2011).

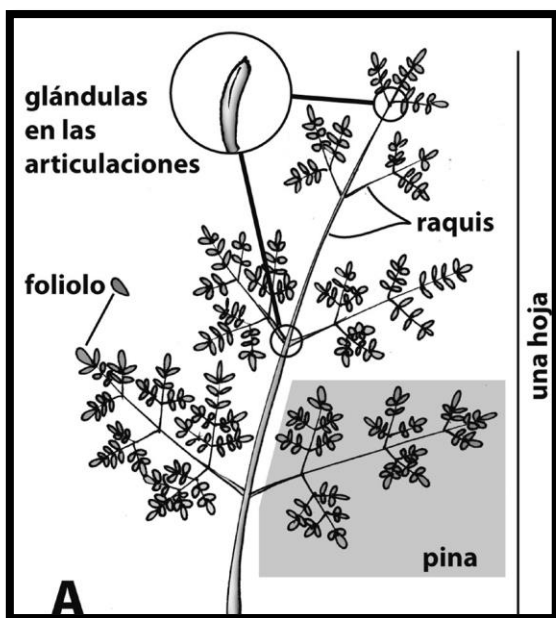


Figura 8. Estructura taxonomica de la hoja de *Moringa*

Fuente: Olson y Fahey. 2011



Figura 9. Hoja del árbol de *Moringa*

Fuente: Fuente: Moreno A. 2017

Es comestible tanto de manera fresca como seca, de la primera forma se puede incluir en las comidas como una especie de vegetal, y de la segunda manera es ideal para consumirse en forma de infusión.

Tabla 1. Comparación en las hojas de *Moringa* con otros alimentos (por cada 100 g. de parte comestible).

Nutriente	Hojas de <i>Moringa</i>	Otros alimentos	Contenido en mg
Vitamina A (mg)	1130	Zanahorias	315
Vitamina C (mg)	220	Naranja	30
Calcio (mg)	440	Leche de vaca	120
Potasio (mg)	259	Plátanos	88
Proteínas (mg)	6700	Leche de vaca	3200

Fuente: SAGAR, 2001

Es un recurso local que puede ser aprovechado en las zonas más vulnerables de México y el mundo, se podrían enfrentar los problemas de desnutrición de forma eficiente si se ejecuta los planes propuestos por organizaciones que promueven la seguridad alimentaria.

Frutos y semillas. El fruto, una cápsula ligera, leñosa y seca, que en la madurez mide de 10 a 30 o hasta 50 cm; C, el fruto se abre en 3 partes o valvas (Ver *Figura 10*), es de forma triangular, una vez que el fruto se seca esta listo para desvainarse y se extraen las semillas que son carnosas de color pardo (Ver *Figura 11*).

Las semillas de 1.5-3 cm de diámetro con un centro de color café oscuro y 3 alas de color beige; la silueta muestra la configuración de las 3 alas. La moringa es la única planta en México con hojas pinnadas con glándulas en las articulaciones, frutos con 3 valvas y semillas con 3 alas (Olson & Fahey, 2011).

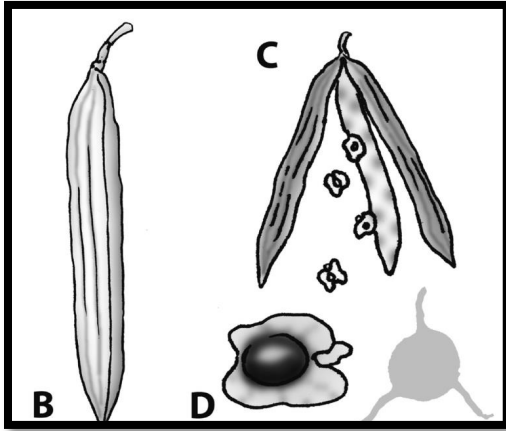


Figura 10. Estructura del fruto del árbol de *Moringa*

Fuente: Olson y Fahey. 2011



Figura 11. Vaina del árbol de *Moringa*

Fuente: Moreno A. 2017

La inflorescencia (Ver *Figura 12*), es bisexual de 1.0-3.3 x 0.4-1.0 cm, racimosas; cada flor con cinco sépalos y cinco pétalos de color blanco o cremoso, frecuentemente con pequeños matices rojizos en la base; cinco estambres fértiles con anteras amarillas, y cinco estambres estériles sin anteras; estilo delgado; peciolo verdes, que pueden tornarse en color morado, al igual que la vaina fresca (Arias, 2014).



Figura 12. Inflorescencia del árbol de *Moringa*

Fuente: Fuente: Moreno A. 2017

Marco Referencial

El agua es el elemento que más abunda en nuestro planeta y es el responsable de la vida en el mismo, los modos de vida de la humanidad han llevado a que la situación hídrica este en foco rojo por ello la importancia de su cuidado, esto implica el manejo y uso consiente del recurso, la naturaleza ofrece solo el 1 % a la humanidad, las civilizaciones antiguas han empleado mecanismos de mejoramiento, un ejemplo claro son los egipcios que utilizaban las semillas de Moringa como producto clarificante del Rio Nilo.

En diversas regiones tropicales del mundo la población local utiliza los ríos y cuerpos de agua como su principal fuente de abastecimiento, no obstante, las condiciones de este recurso no son necesariamente las adecuadas para su consumo inmediato (Folkard & Sutherland, 1996), por lo que se requiere un tratamiento previo para remover partículas suspendidas, agentes patógenos u otros componentes que pudieran alterar su calidad, especialmente cuando se utiliza para consumo humano.

Para dar solución a esta problemática existen diferentes alternativas para remover los sólidos de estos cuerpos de agua, incluyen desde métodos de tratamiento altamente sofisticados, hasta aquellos que emplean recursos tradicionales.

Los métodos de coagulación- floculación habituales, utilizados para mejorar las características fisicoquímicas y organolépticas del agua, como son, la eliminación de sólidos totales disueltos, el nitrógeno amoniacal y contenido de arsénico, requieren de coagulantes que ayuden a que estas concentraciones se mantengan en los límites de la normatividad oficial o por debajo de ellos; entre lo más utilizados destaca la cal, el cloruro férrico, el ácido sulfúrico, polielectrólitos y el sulfato de aluminio, siendo este último el más económico, eficiente, disponible y recomendado por la normatividad oficial (NOM-127-SSA1., 1994).

Sin embargo, existen evidencias de que estas sustancias generan residuos que pudieran estar relacionados con algunas enfermedades principalmente del sistema nervioso (Miller, *et al.*, 1984.); por ello es necesario experimentar con métodos alternativos, de bajo costo, alta eficiencia y que aprovechen los recursos locales.

Es importante destacar que el sulfato de aluminio es un coagulante eficiente y económico, las desventajas son que se requiere un control del pH, de lo contrario su eficiencia tiende a disminuir sensiblemente, reduciéndose la remoción de material orgánica y propiciando agua de alta turbiedad. Adicionalmente, algunos estudios sugieren la permanencia en el agua de altos contenidos de Aluminio residual (Molano, 2011) que podrían causar efectos sobre la salud, por lo que este estudio plantea sustituir este coagulante con la semilla de *Moringa oleifera*.

Desde los años 90's, las investigaciones sobre la semilla de *Moringa* como coagulante han sido cada vez más consistentes, Folkard y Sutherland (1992) mencionan la importancia que tienen las semillas como coagulante natural en el Sur de Malawi, gran parte de la población mundial se abastece de este recurso por medio de los cuerpos de agua superficiales que en época de lluvias los sedimentos se encuentran en suspensión, dando una apariencia de agua sucia, por ello 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. En los países en vías de desarrollo estos productos suelen ser importados, lo que implica un gran desembolso de divisas (Folkard & Sutherland, 1996).

Gran parte de los estudios se han realizado en América Latina, en el año 2000 en Venezuela se realizó un estudio donde se comparó la eficiencia entre el $(Al_2(SO_4)_3)$ con las semillas de *Moringa* a través de un Test de jarras para determinar la dosis optima, se determinaron parámetros fisicoquímicos, tales son, turbidez, alcalinidad y color; se menciona la preparación del agua con una solución caolín, la recolección de la semilla, la extracción de los aceites para obtener el componente activo que sirve de floculante para el agua cruda, finalmente se determina que la concentración óptima es de 10 mg/ L teniendo una eficiencia de 90% y para el caso del sulfato de aluminio se requirió 35 mg/ L teniendo una efectividad de 77 % (Mendoza, *et al.*, 2000)

En Venezuela se realizó otra investigación donde se destaca lo económico que es tratar el agua con semillas a comparación de coagulantes comerciales puesto que para países en desarrollo la importación es costosa, resultó con una eficiencia de 97 %, el pH no tuvo un cambio considerable lo que sí ocurrió con el alumbre pues el agua se acidifico, sin

embargo, se concluyó que es buena alternativa para esta región del país venezolano (Mendoza, *et al.*, 2007)

Centroamérica también ha tomado una postura proactiva sobre esta técnica de limpieza del agua para el consumo humano, entre los métodos más utilizados en los hogares rurales en tiempos pasados para desinfectar el agua estaban: la sedimentación y decantación, filtración y ebullición, etc.

Con el paso de los años se han ido desarrollando técnicas de tratamientos en todo el país alcanzando mejores y garantizadas eficiencias con productos químicos y/o fabricados, en este estudio se demostró que la mayor eficiencia en la reducción de turbidez se encontró en la combinación de $Al_2(SO_4)_3$ (ppm) como coagulante principal en un 90% y un 10% correspondiente a la *Moringa oleifera* en coagulante auxiliar; seguido por un 96% obtenido con la combinación del 70% de *Moringa oleifera* como coagulante principal y 30% correspondiente al $Al_2(SO_4)_3$ (ppm) en coagulante auxiliar (Nuñez, 2007)

La universidad politécnica de Valencia, España; a través del instituto de seguridad industrial, radiofísica y medioambiental, destaca que entre las principales ventajas que presenta el uso de esta semilla destacan su bajo coste, la biodegradación del lodo producido, así como la estabilidad del pH del agua tratada con dicha sustancia (García, 2007). Por su parte, los extractos salinos y acuosos crudos de *Moringa* han mostrado una gran eficacia como coagulante primario natural, alcanzando una reducción de la turbiedad elevada (entre 92-99 %), (Jahn, 1988) y una producción de lodo residual menor que el producido por el sulfato de aluminio (Ndabigengesere A. S. & Narasiah, 1996)

En México se realizó el primer diseño experimental sobre el tratamiento de aguas residuales de rastro, por parte de la Universidad Autónoma de Yucatán, aquí se tomó en consideración la extracción de grasas de la semilla y la preparación de la solución floculante, se demostró que se requieren 25 g/l para remover el 80% de partículas suspendidas en el agua residual del rastro, se concluye que es buen producto coagulante (Morales, *et al.*, 2009)

En 2010 el departamento de ingeniería química y química física de la universidad de Extremadura en España, menciona que las proteínas causantes de la desestabilización de los

coloides y de su retirada por sedimentación son aquellas que se comportan como polielectrolitos catiónicos y que neutralizan las materias suspendidas, puesto que la mayoría de ellos tienen carga negativa, en este trabajo se concluyó que bajas concentraciones de *Moringa oleifera* en el extracto favorecen el tratamiento con bajas dosis (alrededor de 1 mL·L⁻¹ de extracto en agua sucia), mientras que para dosis más elevadas (5-10 mL·L⁻¹) la diferencia de concentración no es apreciable (Sanchez & Beltran de Heredia, 2010).

Mediante el programa de ingeniería agroforestal en Colombia, se realizó un estudio en el sector rural del municipio de Acacias siendo el producto de biorremediación del agua las semillas de *Moringa oleifera*, se determinó que la remoción total de los sólidos suspendidos fue de 84 % pasando de 230 NTU a 36 NTU, utilizando 3 g/l, el agua resultante de acuerdo a las normas de Colombia es apta para el uso doméstico (Melo & Turriago, 2012)

En los últimos 5 años las investigaciones sobre la semilla de *Moringa* han incrementado pues la popularidad del producto se ha globalizado y es importante considerar que México ha seguido siendo parte de estos trabajos, la Universidad Autónoma de Yucatán en 2013 realizó otra investigación sobre la semilla pero aquí hizo una comparación con coagulantes comerciales en aguas superficiales, utilizaron diferentes soluciones para potencializar el efecto que tiene las semillas, dichas mezclas fueron con agua destilada, con cloruro de sodio 1N y finalmente con agua de mar, y se demuestra que existe mayor eficiencia con ayuda de sales pues ya la remoción es superior al 90 % (Arreola & Laines, 2013)

La alternativa de utilizar elementos bióticos para el mejoramiento de la calidad del agua en América latina y el Caribe se ha logrado extender, ahora poblaciones de países en vías de desarrollo pueden contar con agua de buena calidad, en el año 2017 la república cubana realizó una investigación donde destaca que la salud de la isla es prioridad, se determina que utilizaron 69.70 mg/l, obteniendo una remoción del 90%, y un 40% de la DQO, los parámetros a analizar fueron, alcalinidad, sólidos totales disueltos y contenido de fósforo (Rondon, *et al.*, 2017).

En 2018, estudios realizados en la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” probaron la biosorción de arsénico con semilla de *Moringa*, el problema es que el arsénico representa al principal contaminante en aguas subterráneas en la Comarca Lagunera, dos factores que propagan la contaminación de este químico es la sobreexplotación de los

acuíferos y la industria de la metalurgia (Mendoza, 2018). En este estudio se agregó 3.948 g/l que es equivalente a 13 semillas, se considera que es un buen biosorbente debido a que tiene la funcionalidad de absorción y neutralización de coloides como lo hace el sulfato de aluminio por este comportamiento se podría sustituir el producto floculante (Mendoza, 2018).

Tabla 2. Casos de estudio sobre la semilla de *Moringa oleifera* Lam como coagulante natural.

Tipo de agua	Lugar	Referencia	Año	Floculación 1 %	Dosis	Datos	Escala de estudio
De río	Taller de Tratamiento de Agua de Thyolo, en la Región Nsanje, en Malawi.	(Folkard y Sutherland 1996)	1992	90	5- 250mg/L de semilla	Fue la 1era vez que se utilizó el coagulante en gran escala.	Planta piloto
Agua sintética (con solución de kaolina)	Maracaibo, Venezuela	(Mendoza <i>et al.</i> 2000)	2000	90	10mg/L	pH de mejor efectividad de 7 a 8	Laboratorio
Agua contaminada	Yucatán, México	(González, 2006)	2005	97	0.751g	Se analizó el carbono orgánico total	Laboratorio
De río	Zamorano, Honduras	(Nuñez, 2007)	2007	52	De .15g - .30g /l	Se realiza una solución para activar el componente floculante	Laboratorio
Agua de rastro (fosa, laguna)	Yucatán, México	(Morales, <i>et al.</i> ; 2009)	2009	75	10-25 g/l	Remueve materia orgánica	Gran escala
De río	Acacias, Colombia	(Melo y Turriago, 2012)	2012	80	10g	Se trata con ayuda de la pasta de semilla en solución posteriormente	Laboratorio
De río	Yucatán, México	(Arreola, <i>et al.</i> ; 2013)	2013	90	10g	Se hicieron pruebas de mejor resultado con agua de mar Se extrajo el aceite de las semillas	Laboratorio
De río	Bogotá, Colombia	(Cerón y Garzon, 2015)	2015	90	20g	Mejor resultado en aguas alcalinas	Laboratorio

1: Indica la eficiencia de floculación de las partículas suspendidas en el agua.

Capítulo 2

Caracterización

Zona de estudio

El sitio de estudio es la granja “La Gloria”, se encuentra en el municipio de Zirándaro en el Estado de Guerrero, cuyas coordenadas son 18°27'29.9"N y 100°58'27.5"O. Colinda al norte y este con el estado de Michoacán de Ocampo y con este último el municipio de Coyuca de Catalán; al sur con los municipios de Coyuca de Catalán y Coahuayutla de José María Izazaga; al oeste con el municipio de Coahuayutla de José María Izazaga y el estado de Michoacán de Ocampo. El municipio ocupa el 3.36% de la superficie del estado (Balladares & Pineda, 2004).

Caracterización ambiental

Orografía:

El municipio de Zirándaro forma parte de la depresión del Balsas la cual es limitada al norte por el Sistema Septentrional, fue dominado por los últimos tramos de los desprendimientos Australes de la Cordillera Neo- Volcánica o Tarasco- Nahoá del país, que se desarrolla en la faja transversal situada entre los 19° 00' y 19° 30' de latitud Norte, al Poniente y Sur con por la Sierra Madre del Sur y al oriente por la Sierra Madre Oriental (Balladares & Pineda, 2004).

Geología:

Las andesitas, tobas ácidas, granitos y sienitas afloran hacia la zona de sierra y algunos afloramientos aislados de calizas al norte; areniscas, conglomerados y materiales aluviales están presentes en toda la porción noreste, en la Depresión del Balsas, cuyo registro estratigráfico comprende del Jurásico al Reciente; con una evolución sedimentológica independiente y relacionada ya sea por medio de fallas de cabalgadura o bien por fallas laterales inversas, mostrando la gran dinámica estructural, característica de esta región sur del país con actividad tectónica en la actualidad (DOF, 2016).

Se considera que las relaciones que guardan esta diversidad de rocas asociadas a cada terreno tectonoestratigráfico definen su evolución dentro de un régimen de deformación compresiva, con dos fases de deformación: dúctil y frágil (DOF, 2016).

La deformación dúctil está presente en las rocas, manifestándose en forma de foliación penetrativa bien definida con superficies de anisotropía plegada, con estructuras planares y de estiramiento, que reflejan zonas de cizallas regionales, relacionadas a fallas inversas o cabalgaduras. La deformación frágil está presente en las unidades cenozoicas, granitos e ignimbritas como la falla sinistral que se observa entre La Huacana a Guayameo (DOF, 2016).

Así también se observan anticlinales y sinclinales en las secuencias asociadas al arco volcánico Amangarícuaro y los anticlinales El Characo, La Estancia y Tichiqueo presentes en la secuencia de Huetamo (DOF, 2016).

Edafología:

Los tipos de suelo presentes son, Fluvisol, se encuentra en la orillas del Río Balsas, Phaeozem que ocupa la gran parte de la superficie del municipio, es importante destacar que el estanque donde se encuentra almacenada el agua a tratar es sobre este tipo de suelo, también se cuenta con el suelo tipo Leptosol y Regosol, presentes en la parte oriente del municipio (INEGI, 2016)

Hidrografía

El municipio de Zirándaro forma parte de cuencas hidrológicas que constituyen parte de la Región del Balsas, la cuenca Río Balsas – Zirándaro, se localiza en la parte centro y Noroeste del estado en la parte media del río Balsas, zona donde se encuentran 3 presas destinadas al riego, “Vicente Guerrero”, “La comunidad” y “La calera”.

El río del oro recoge los escurrimientos de la Sierra Madre del Sur y se forma por la unión de los ríos Frio y Zihuaquio en el municipio de Coyuca de Catalán, en Zirándaro los tributarios son “la Parota” o “Estancia” ubicados al oriente y “San Jose” o “Coyotl” ubicados al sur del municipio cuyas aguas se vierten al margen izquierdo del río Balsas, cercano a la cabecera municipal, Zirándaro de los Chávez. Los ríos y arroyos de esta región son temporales en su mayoría, en el tramo que corresponde a Zirándaro, el río Balsas muestra el límite con estado de Michoacán, se forman depósitos de aluvionales (meandros) que se aprovechan para instalar las llamadas “Tamacuas”, muchas de ellas han

sido borradas por el embalse provocado por la presa del infiernillo que, aguas arriba llegan hasta la ex – hacienda de San Jerónimo, también se cuenta con el manantial “El Salitre”, ubicado en una ranchería cercana a Guayameo, la característica del agua es que esta fría y salitrosa.

Clima:

De acuerdo con la según la clasificación mundial de tipos de clima, del alemán Vladimir Kóppen (1936), modificada por García (2004), Zirándaro de los Chávez tiene un clima Aw cálido subhúmedo con lluvias en verano, y sequía en invierno, % de lluvia invernal entre 5 y 10 mm, con una temperatura media anual de 28°C (INEGI, 2018)

Flora

La vegetación que predomina es la selva baja caducifolia; en el municipio se encuentran las siguientes especies, por mencionar las más abundantes en la zona:

Tabla 3. Listado de flora en Zirandaro de los Chávez, Guerrero.

Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
Anona	<i>Annona reticulata</i>	Cueramo	<i>Cordia boissieri</i>
Aparicua	<i>Urticastrum mexicana</i>	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>
Brasil	<i>Haematoxylon brasiletto</i>	Perla	<i>Moringa oleifera</i>
Bonete	<i>Pileus mexicanus</i>	Parota	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
Cirian	<i>Crescentia alata</i>	Pinzan	<i>Pithecellobium dulce</i>
Corongoro	<i>Ehretia linifolia</i>	Pochote	<i>Ceiba aesculifolia</i>
Cuachalalate	<i>Amphipterygium adstringens</i>	Tabachin	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>

Fuente: Balladares, 2004

Fauna

Tabla 4. Fauna en Zirándaro de los Chávez, Guerrero

Mamíferos	Armadillo (<i>Dasyopus novemcinctus</i>), Coyote (<i>Canis latrans</i>), Conejo (<i>Sylvilagus audobonii parvulus</i>), Mapache, Tejon (<i>Nasua narica</i>) Cuinique (<i>Spremophilus adocetus</i>).
Aves	Aguililla (<i>Buteo albonotatus</i>), Correcaminos (<i>Geococcyx velox velox</i>), Güilota (<i>Zanaida macroura</i>), Tecolote, Tórtola (<i>Culumbina inca</i>).
Ictiofauna	Mojarra, Bagre: (<i>Ictalurus duguessi</i>), Carpa, Tilapia.
Reptiles	Nopilches (<i>Ctenosaura clarki</i>), Iguana (<i>Iguana basiliscus</i>), Cocones, Cuijas (<i>Hemidctylus frenatus</i>), Escorpión (<i>Barisia imbricata</i>)
Insectos	Alacrán, moscos, avisas, arapas, cures, churupitete, cocuyos, hormigas negras, coloradas y chancharras.

Fuente: Balladares, 2004.

Caracterización Socioeconómica

El municipio de Zirándaro, tiene una población total de 18, 813 habitantes, particularmente la cabecera municipal cuenta con una población de 3254, solo 1012 habitantes son económicamente activos los cuales representan el 5% de la PEA de todo el municipio, es una población de edad avanzada, esto se debe la migración de los más jóvenes (INEGI, 2010)

Actividades económicas

Se cuentan con 309.05 ha las cuales se distribuyen en 142 para la actividad agrícola, 20 para la ganadería, 1 destinado al bosque y 35 sin uso destinado.

Agricultura

El principal cultivo es el maíz, gran parte de los sembradíos son de temporal (INEGI, 2016).

Ganadería

En el municipio se cuentan con 20 ha que están destinadas a la ganadería (INEGI, 2016), se dedican a la cría y explotación de bovinos, siendo el municipio de Zirándaro el mayor productor de ganado en la región de Tierra Caliente, solo el 18.51 % de los productores son de autoconsumo el 81.49 % restante son de venta local y nacional, (Balladares & Pineda, 2004)

Servicios públicos

Agua entubada

Este servicio surge a partir del año de 1960, fue incrementando a partir del año 2000, solo 22 localidades cuentan con el servicio de agua potable y de estas 22 localidades 6 están sin funcionar desde 2005.

Drenaje

Los habitantes que desechan sus aguas negras a cuerpos de agua o barrancas y grietas.

Volumen semanal: 27228.25 m³

Limpieza

El H. Ayuntamiento municipal es el encargado de brindar el servicio de limpieza municipal, principalmente de los caminos, el panteón, los jardines y el mercado, además proporciona el servicio de recolección de basura que solo es brindado en la cabecera municipal, es sitio de disposición final es un tiradero a cielo abierto en la colonia Emiliano Zapata, cada habitante genera 900 g /día (INEGI, 2010).

Seguridad pública

El municipio cuenta con la policía municipal, la cual se encarga de cuidar el orden en eventos sociales, fiestas religiosas y particulares, la policía estatal se encarga de investigar y darle seguimiento y solución a los delitos que sean cometidos en el municipio.

Comercio

Los comercios que mantiene esta actividad viva en el municipio son, farmacias, tiendas de abarrotes, ferreterías, materiales de construcción, tiendas de ropa y zapato, carnicerías, funerarias y un mercado local que existe desde 1982, aquí se venden artesanías como los sombreros y zapatos calentanos, así como productos de recaudo.

Alumbrado público

En el municipio existen 52 localidades que cuentan con energía eléctrica, estas son; Zirándaro de los Chávez, Los Alacranes, Aratichanguio, Calera, Carachurio, Corutzen, Garita, Guajes, Guayameo, Malinche, Pandacuareo, Parota, San Agustín, San Rafael y La Tuba.

Panteones

Cuenta con 15 campos mortuorios autorizados, localizados en las localidades de Zirándaro de los Chávez, Los Alacranes, Aratichanguio, Calera, Carachurio, Corutzen, Garita Guajes, Guayameo, Malinche, Pandacuareo, Parota San Agustín San Rafael y La Tuba (Balladares & Pineda, 2004).

Problemáticas municipales

En el municipio de Zirándaro se destacan varias problemáticas que impacta directamente al desarrollo de la población, siendo el principal problema la falta de infraestructura para el servicio del agua (Ver *Figura 13*).

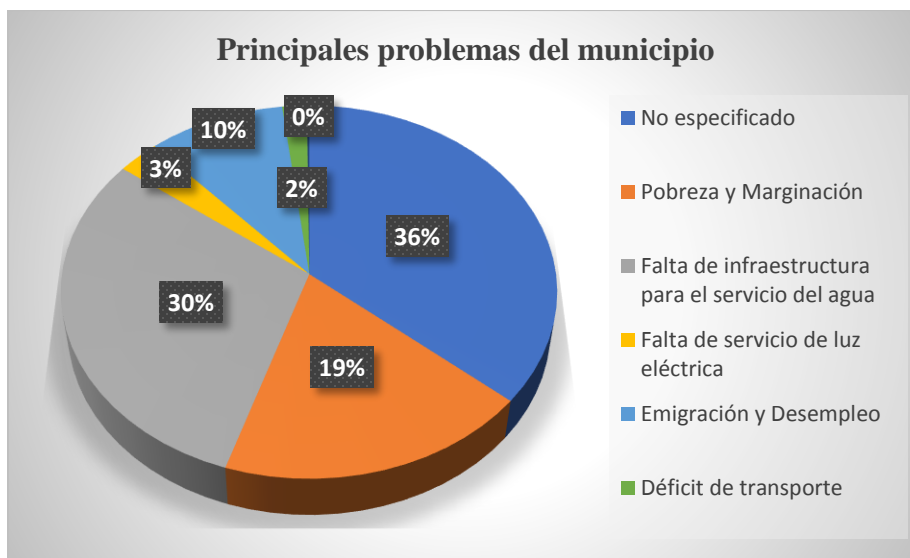


Figura 13. Principales problemas del municipio de Zirándaro, Gro.

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2010.

En segundo lugar, se tiene la pobreza y marginación, este aspecto ha dado pauta a que la emigración y el desempleo vayan en aumento en los últimos cinco años a partir del registro de 2010, por último, pero no menos importante se tiene la falta del servicio de luz eléctrica y el déficit del transporte.

Las condiciones en las que se encuentra el municipio, funciona como escenario ideal para la aplicación de este trabajo en primer lugar por el servicio de agua, en los últimos meses se han realizado pruebas en campo para utilizar el agua tratada con semillas de *Moringa*.

Si bien es cierto que para el año de 2010, la falta de infraestructura hidráulica, era la más destacable, para el 2018, la situación no ha cambiado notoriamente, ahora se le suma un aspecto más a la situación de la disponibilidad del agua, la presa “La calera” (Ver *Figura 14*), solo en temporada de lluvias puede captar agua por periodos cortos.



Figura 14. Presa “La Calera” (Foto tomada en el mes de mayo 2018)

Fuente: Toma propia

Capítulo 3

Metodología

En este apartado se describe puntualmente el diseño metodológico que se utilizó para la parte experimental de la investigación, se divide en cinco partes, la primera es en relación al procesamiento de las semillas para obtener el componente activo que funciona como coagulante, el segundo apartado es la preparación de las soluciones floculantes, la tercera parte es la localización del sitio de muestreo, toma de muestra y selección de parámetros fisicoquímicos, la cuarta partes donde se aplica la técnica de Test de jarras para determinar la concentración óptima para tratar el agua almacenada en el estanque de la granja y por último se establece la metodología para el análisis de resultados mediante pruebas estadísticas que sustenten los datos.

Procesamiento de la semilla de *Moringa oleifera* Lam

Recolección de semillas

El fruto del árbol es una vaina de aproximadamente de 20 cm de largo y se da cada año, la semilla sale cuando esta vaina se ha secado, para las pruebas realizadas de esta investigación la cosecha de semillas se dio en el mes de enero, los arboles tienen una edad de 3 años, miden en promedio 4 metros de alto (Ver *Figura 15*).



Figura 15. Árbol de *Moringa oleifera* en la Granja la Gloria Zirándaro, Gro.

Fuente: Toma propia

Desvaine

El desvaine fue de manera manual (Ver Figura 16), se extrajeron en promedio veinte semillas por vaina, para el trabajo se cosecharon 20 vainas, por lo tanto se tuvieron alrededor de 400 semillas.



Figura 16. Desvaine de las semillas de *M. oleifera*

Fuente: Toma propia

Descascarado manual

De las 400 semillas (Ver Figura 17) obtenidas (A), se les quito las cascara (B) de manera manual, al igual que el desvaine, cada semilla con cascara pesa en promedio .5 g., en total se contaba con 200 g. de semillas de *Moringa* que sin semilla quedaron 140 g.



Figura 17. Semillas de *Moringa oleifera*
A (Semilla con cascara) B (semilla sin cascara)

Fuente: toma propia

Preparación de la harina

Una vez teniendo las semillas peladas, se pesaron 50gr y se dejaron secar por 24 horas después se trituraron en un mortero de porcelana (Ver Figura 18), hasta obtener una harina ligeramente fina.



Figura 18. Trituración de la semilla de *M. oleifera*

Fuente: Toma Propia

Posteriormente se tamizaron los 44 g. restantes de las semillas en una malla de .2 mm (Ver *Figura 19*).



Figura 19. Tamizado de semilla de *M. oleifera*

Fuente: Toma propia

Extracción de grasas

Finalmente se obtuvieron 40 g. de harina de semillas de *Moringa* (Ver *Figura 20*), de los cuales quedaron 20 g. con aceite y 20 g. se llevaron al laboratorio de Servicios Externos de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México para la extracción de grasas.



Figura 20. Harina de semilla de *M. oleifera*

Fuente: Toma propia

En estudios realizados en la Universidad Autónoma de Yucatán se recomienda que para preparar las soluciones floculantes se extraigan los aceites que poseen las semillas puesto que en el agua tratada quedan residuos lipídicos que, aunque no son dañinos para la salud humana, otorgan un aspecto amarillento en el agua tratada. Para la extracción de aceites se utilizó el método soxhlet, que marca la norma oficial mexicana NMX-F 615- NORMEX-2004, de los 15.28 g. que se trataron con este método de separación, se obtuvieron 4.01g. (Ver *Figura 21*), esta cantidad se utilizara para hacer la soluciones floculantes.

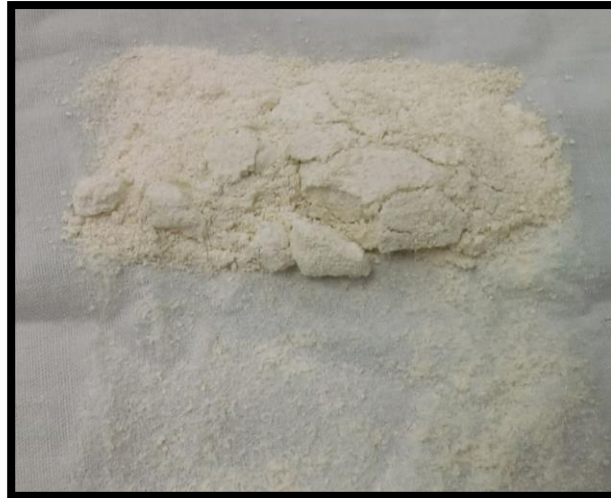


Figura 21. Harina sin presencia de grasas de semilla de *Moringa oleifera*

Fuente: Toma propia

Preparación de las soluciones floculantes (Ceron & Garzon, 2015)

La preparación de las soluciones floculantes se realizó de acuerdo a la modificación de la metodología propuesta por Cerón y Garzón (2015).

Se requirieron 4 g de harina de semillas de *Moringa* sin aceites y 4 g de $Al_2(SO_4)_3$, se prepararon 50 ml de solución coagulante en cuatro tipos con la finalidad de aplicarlos posteriormente al ensayo de test de jarras para la determinación de concentración óptima, es importante considerar que el tiempo de vida de las soluciones es de 1 mes. En la tabla 5 se describen las concentraciones de cada floculante, así como la clave de identificación para cada tratamiento.

Tabla 5. Concentraciones de las soluciones floculantes y clave de identificación para tratamientos.

<i>Moringa Oleifera</i> Lam	Sulfato de aluminio Al_2 (SO_4) ₃	Clave de ID
2 g	0	MO
1.5 g	.5 g	MO 70/30 %
.5 g	1.5 g	SA 70/30 %
0	2 g	SA

Fuente: Elaboración propia con base en Cerón y Garzón (2015)

A cada concentración se le agregaron los 50 ml de agua destilada, se agitaron por 15 minutos a 100 rpm, se filtró la mezcla y se la solución se guardó en frascos color ámbar de 250 ml rotulados respectivamente (Ver *Figura 22*).

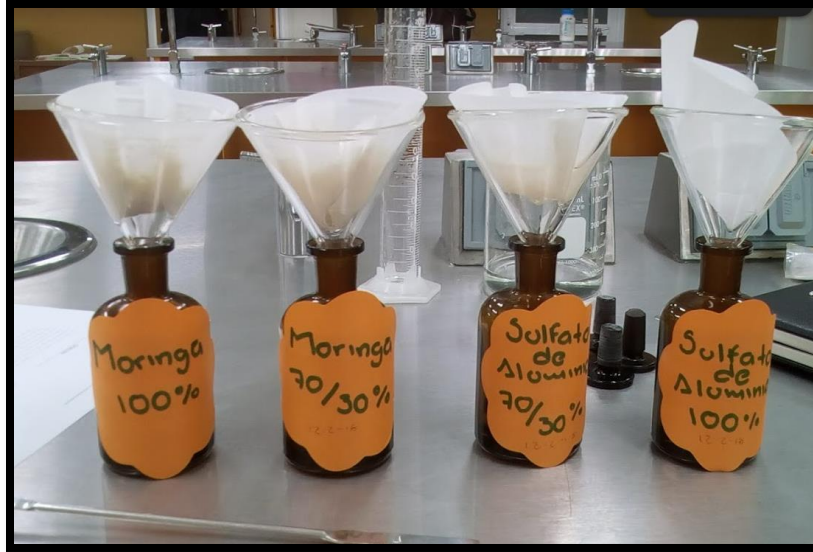


Figura 22. Soluciones floculantes

Fuente: Toma propia

Cuando la semilla de Moringa es almacenada por mucho tiempo, sin condiciones adecuadas de temperatura y humedad se pueden desarrollar alrededor de 708 aislados fúngicos, ya que la semilla es altamente propensa a contraer enfermedades o parásitos después de ser pelada o secada la vaina, pudiendo afectar la germinación e incluso matar la planta de Moringa (Martinez, *et al.*, 2013).

Localización del área de estudio

Esta investigación es de orden experimental, sin embargo, el agua que se utilizó para las pruebas de coagulación proviene del estanque de la Granja “La Gloria” en la localidad La Colonia, cercana a la zona periurbana de Zirándaro de los Chávez, cabecera municipal de Zirándaro en el Estado de Guerrero. El estanque se encuentra a 18° 27' 29.68" N y a 100° 58' 27.49" O, a 207 msnm.

Toma de muestra

El agua que se utilizó para las pruebas en laboratorio, fue tomada del estanque (Ver *Figura 23*) en el mes de febrero de 2018.



Figura 23. Estanque de la Granja la Gloria Zirándaro, Gro.

Fuente: Toma propia

Análisis de campo

Se tomaron las muestras de agua en época de sequía, durante la estancia se midieron parámetros fisicoquímicos para determinar el comportamiento del agua en el estanque, los parámetros tomados en campo, fueron, pH, conductividad eléctrica, turbidez, sólidos totales disueltos, temperatura y oxígeno disuelto.

El trabajo en campo permitió establecer un escenario de comportamiento que tendría el agua que se trabajó en el laboratorio con las diferentes concentraciones de solución floculante.

Tabla 6. Datos de la muestra de agua en campo

Parámetro	Dato medido
pH	10
Conductividad eléctrica (mS)	.22
Turbidez (FTU)	20
Solidos totales disueltos (ppm)	.30
Temperatura (°C)	28
Oxígeno disuelto (mg/L)	20

Fuente: Moreno A. 2018

Una vez que se determinaron los parámetros que a continuación se presentan, estos se fueron midiendo de manera periódica en la prueba de test de jarras para observar en comportamiento que sienten las soluciones preparadas previamente sobre al agua almacenada.

Test de jarras

Las pruebas del test de jarras es una técnica que ayuda a determinar la concentración óptima de un producto coagulante para el tratamiento de aguas, para desarrollar esta fase del experimento se prepararon soluciones madre que posteriormente se evaluarán para determinar su efectividad como floculante en el agua de estudio (Ver *Figura 24*).

En esta parte del experimento es cuando se visualiza el comportamiento del polielectrolito de las semillas de *Moringa*, para ello se realizaron 5 repeticiones de 4 tratamientos y un control, durante 4 tiempos, tiempo cero y tiempo cada hora durante tres horas. Para tener mayor control de las muestras al momento de la lectura se optó por realizar un tratamiento por día, los tratamientos son: T. Control; T.SA; T.SA 70/30; T.MO; T.MO 70/30, (Orden en que se realizaron). Se utilizó una placa de agitación marca Corning (Código: ULCA PCA1), un potenciómetro modelo pH 15 (Código: ULCA POT 9); conductímetro modelo CL 8 (Código: ULCA CON 11), oxímetro marca Oakton (Código: ULCA MOD 3) y un turbidímetro marca Hanna (Código: ULCA Tur 1).

Tabla 7. Descripción de los tratamientos experimentales

Tratamiento	Clave	Descripción
1	C= Control	Sin floculante
2	SA	100% de sulfato de aluminio
3	MO	100% de <i>Moringa oleifera</i>
4	SA 70/30	70% $(Al_2(SO_4)_3)$ 30% <i>Moringa</i>
5	MO 70/30	70% <i>M. oleifera</i> 30% $(Al_2(SO_4)_3)$

Fuente: Elaboración propia.

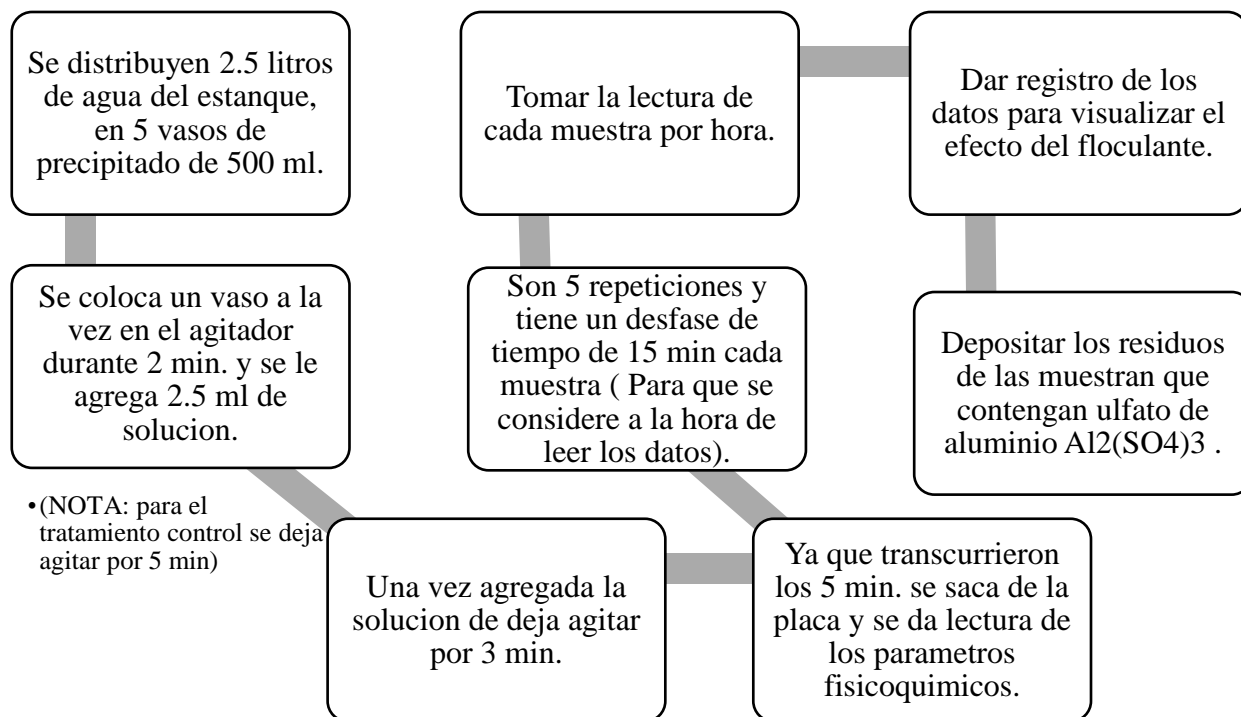


Figura 24. Diagrama de flujo del Test de jarras.

A continuación, se describen los parámetros físico y químicos que se consideraron para esta investigación, siendo la base que ayude posteriormente a su análisis final.

Potencial Hidrogeno

El pH de una solución es una medida de la concentración de los iones hidronio, el químico danés Sorensen en 1909 definió el potencial hidrogeno como el logaritmo negativo de la concentración molar de los iones hidrogeno, el cual se representa como $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$, en una escala de 0 a 14 donde un pH de 7 representa una solución neutra, esto quiere decir que las concentraciones de H^+ y OH^- tienen el mismo valor (Gomez, *et al.*, 2014)

El pH del agua depende de la geología del lugar, sus variaciones van de 7.2 a 7.6, este parámetro, en aguas estancadas tiene implicaciones por la vegetación y naturaleza química (De la Lanza, 1990), para el caso del estanque de la Granja La Gloria, las lecturas arrojaron que se posee un agua alcalina puesto que la media es de 8.5.

Conductividad eléctrica

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar o conducir una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se realice la determinación. Cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas en la movilidad de iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad, por ello el valor de este parámetro es utilizado en el tratamiento de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de solidos disueltos (Arredondo, 1986).

Tabla 8. Clasificación del agua con respecto a la conductividad

Rango ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Clasificación
≤ 500	Libre de sales
501-1000	Ligero
1001-1500	Moderado
1501-2000	Importante
2001-2500	Severo
2501-3000	Muy severo
≥ 3000	Grave

Fuente: Sutherland *et al.*, Boletín Hanna (2013)

Turbidez

La turbidez tiene una gran importancia sanitaria, ya que refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación” (Espigares & Fernández, 1999)

Los elevados niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de cloro. En muchos casos no se logra destruir los patógenos y las bacterias fecales, aglomerados o absorbidos por partículas. También diversas sustancias químicas peligrosas como metales pesados, organoclorados y otros se unen sobre todo a los ácidos húmicos y otras partículas orgánicas (Marco, *et al.*, 2004)

Sólidos totales disueltos

Es el material soluble constituido por materia inorgánica y orgánica que permanece como residuo después de evaporar y secar una muestra previamente filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5 μm a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (NMX-AA-034-SCF, 2015).

Temperatura

La temperatura del agua está influenciada por las condiciones ambientales de la zona y la incidencia de luz solar, ya que la energía luminosa es absorbida exponencialmente con respecto a la profundidad y la mayor parte del calor es retenido o absorbido en la capa superior del sistema (Torres & Garcia, 1995)

La temperatura termodinámica, también denominada temperatura absoluta, es una de las magnitudes fundamentales que definen el Sistema Internacional de Unidades (SI) y cuya unidad es el grado Kelvin simbolizado como K. Esta unidad se utiliza tanto para expresar valores de temperatura termodinámica como intervalos de temperatura. Es usual expresar la temperatura con base en la escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$), definida con relación a la temperatura termodinámica por: **$t\text{ (}^{\circ}\text{Celsius)} = T\text{ (}^{\circ}\text{Kelvin)} - 273.15\text{ K.}$**

El valor de temperatura es un criterio de calidad del agua para protección de la vida acuática y para las fuentes de abastecimiento de agua potable, también un parametro establecido como límite máximo permitido en las descargas de aguas residuales y una especificación de importancia en los cálculos de balance de energía y de calor de los procesos industriales (NMX-AA-007-SCFI, 2000)

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es otra de las determinaciones importantes del cuerpo acuático ya que este gas interviene en diferentes funciones como la respiración de los organismos y en muchas reacciones de óxido-reducción (Gomez, *et al.*, 2014)

Los niveles de oxígeno disuelto (OD) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas dependen de las actividades químicas, físicas y bioquímicas en los cuerpos de agua (NMX-AA-012-SCFI, 2001)

La concentración de oxígeno en el agua depende principalmente del proceso fotosintético de las plantas acuáticas y de su difusión con la atmosfera, su solubilidad depende de tres factores que son: la temperatura, la presión atmosférica y el contenido de sales disueltas. La concentración del oxígeno disuelto muestra variaciones estacionales resultado de las condiciones ambientales y biológicas (Gomez, *et al.*, 2014)

Los parámetros de alcalinidad y dureza se realizaron una sola vez y al final de las tres horas del efecto de las soluciones coagulantes.

Alcalinidad

La alcalinidad se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua y que como producto de hidrolisis generan el ión hidroxilo (OH^-), como son las bases fuertes y los hidróxidos de los metales alcalinotérreos. El termino alcalinidad de las aguas, se refiere generalmente a la cantidad de ácido que se requiere para titular las bases contenidas en una muestra de agua expresadas en miligramos por litro de equivalentes de carbonato de calcio.

Las aguas que contienen 40 mg/l o más de alcalinidad total, son consideradas más productivas que las de baja alcalinidad, no existe una relación directa inherente, entre la

alcalinidad y la productividad, sino un incremento en la alcalinidad, corresponde a aumentos en la disponibilidad de fosforo y otros nutrientes. Los niveles de alcalinidad total para aguas naturales pueden ir de menos 5 mg/l a más de 500 mg/l (Arredondo, 1986)

Dureza

La dureza del agua se refiere a la concentración de iones metálicos divalentes en el agua, expresados como miligramos por litro (mg/L) de equivalentes de carbonato de calcio, generalmente la dureza total se relaciona con la alcalinidad total, porque los aniones de la alcalinidad y los cationes de la dureza se derivan normalmente de carbonatos de minerales (Arredondo, 1986)

La dureza del recurso agua es el resultado de la solución de rocas y minerales alcalinotérreos del suelo y del aporte directo de desechos que contienen carbonatos del calcio y magnesio como piedras calizas y dolomita que prevalecen en la corteza terrestre.

Tabla 9. Clasificación de aguas con respecto a su dureza de acuerdo con la siguiente tabla, en términos de la concentración de CaCO_3 o su equivalente.

Dureza mg CaCO_3 / l	Clasificación
0-75	Agua blanda o suave
75-150	Agua moderadamente dura
150-300	Agua dura
300 o más	Agua muy dura

Fuente: (Boyd, 1979; Arredondo y Ponce, 1998)

Pruebas estadísticas

Se realizó el análisis estadístico descriptivo empleando medidas de tendencia central (media aritméticas, medidas de dispersión (Desviación estándar), coeficiente de correlación) y se empleó el método gráfico para describir e interpretar los resultados mediante el software SPSS (Ver. 17, 2010).

Capítulo 4

Resultados y análisis

La calidad y cantidad del agua en la región de Tierra Caliente, particularmente se ha visto alterada en la última década, por ello la finalidad de este trabajo se centra en generar una alternativa, económica, factible y que los efectos negativos sean mínimos con respecto a la salud humana y ambiental; el propósito de mantener un agua de buena calidad radica en tener disponible este recurso para cubrir las necesidades de la población, este caso particular, es darle el tratamiento al agua del estanque de la granja La Gloria, para el abastecimiento en los meses de marzo- mayo, aprovechando el recurso biótico que ayudara a tener el agua en mejores condiciones para uso doméstico, ganadero y agrícola.

Siendo este el último capítulo, se muestran los resultados arrojados por las pruebas realizadas en el mes de febrero de 2018, así mismo se hace un análisis acerca del comportamiento que tiene la semilla en su efecto coagulante sobre las aguas de la zona de estudio.

Tabla 10. Estadísticos descriptivos de Parámetros físicos y químicos del agua almacenada en el estanque de la Granja La Gloria.

Parámetro	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv.	
					típ.	Varianza
pH	100	7.08	9.90	8.55	0.94	0.88
CE (mS/cm)	100	0.13	0.44	0.34	0.07	.005
Turbidez (NTU)	100	0.94	924	61.45	124	15376
STD (ppm)	100	0.10	0.27	0.23	0.03	0.001
Tem (° C)	100	16.0	19.20	17.20	0.84	0.70
OD (mg/l)	100	0.98	30.03	14.87	5.09	25.90

Fuente: Elaboración propia con base en SPSS (Ver. 17, 2008).

En la tabla 9 se muestran las condiciones en las que se comportó el agua durante el experimento, es importante destacar que se trabajó con una agua alcalina, con una conductividad baja y con los niveles de turbidez por encima de la normatividad mexicana, en el desarrollo de este apartado se mostrará cada uno de los parámetros por separado.

Potencial de hidrogeno.

Para el funcionamiento efectivo del tratamiento de aguas y su control, en los procesos de coagulación es importante considerar el comportamiento del pH, tiene una implicación en la distribución y variabilidad de los organismos del cuerpo de agua, que para el caso de estudio es el estanque de la Granja “La Gloria”, algunos efectos sobre el pH son la fotosíntesis. En el siguiente gráfico se observa que el agua tiene una capacidad buffer, amortigua las cargas con los diferentes tratamientos (Ver *Figura 25*).

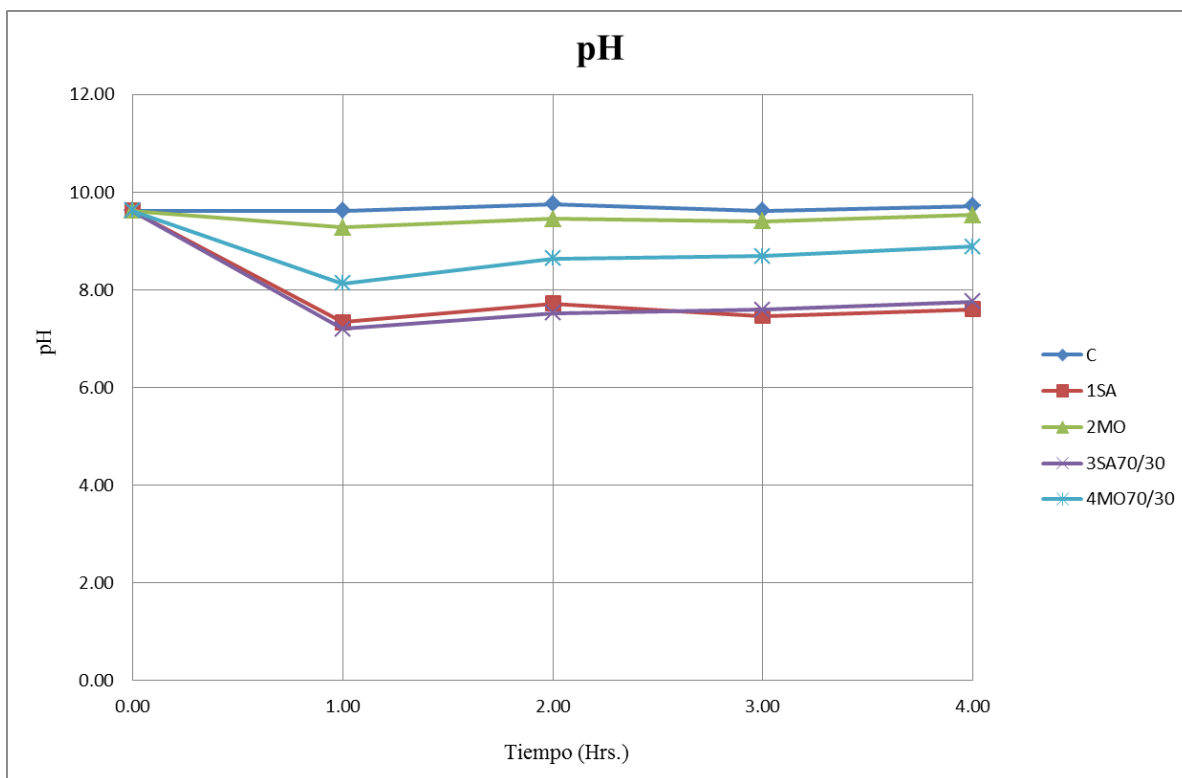


Figura 25. Comportamiento del pH en los diferentes tratamientos.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de laboratorio, 2018.

El gráfico muestra el comportamiento del pH en el agua del estanque de la Granja La Gloria, el tratamiento control actúa de manera homogénea pues la variabilidad del pH es mínima, a comparación de los tratamientos con semillas de *Moringa* y $Al_2(SO_4)_3$, el tratamiento SA y SA70/30 logran neutralizar el agua gracias al efecto acidificante que tienen el aluminio, sin embargo es importante destacar que el agua de muestreo es alcalina y logra esta condición aceptable, que a comparación de otras regiones del país y del mundo

el pH del agua se encuentra entre el 6.5 y 8.5, si se considera que el alumbre se aplica en la mayoría de los procesos de tratamiento de aguas se necesitaría tratar el agua para que el pH no se encuentre por debajo de 6.5, lo que haría más complejo mejorar las condiciones del agua.

Los tratamientos MO y MO70/30 hacen que los niveles aumenten solo una unidad, de acuerdo a la literatura empleada por Gómez (2014) se menciona que si el agua se encuentra con un pH por encima del 11, la condiciones son difíciles para el desarrollo de la biota, e incluso la asimilación del líquido para el ser humano, sin embargo las condiciones en las que queda el agua ya tratada, aun se consideran las óptimas para que exista un desarrollo de vida acuática.

Las actividades biológicas originan gradientes verticales y cambios temporales de pH, si se considera este parámetro para evaluar el agua de estudio se puede decir que es un agua de buena calidad.

Conductividad eléctrica

Este es un parámetro que se correlaciona con el pH, en el gráfico se observa que mientras una variable tiende a aumentar como es el caso del pH, la conductividad tiende a disminuir, esto ocurre en el tratamiento control el cual no tiene ningún floculante, por el contrario los tratamientos con sulfato de aluminio tienden a acidificar el agua y gracias a las sales agregadas la conductividad se estabiliza, con respecto a la *Moringa* ambos parámetros se mantienen (Ver *Figura 26*).

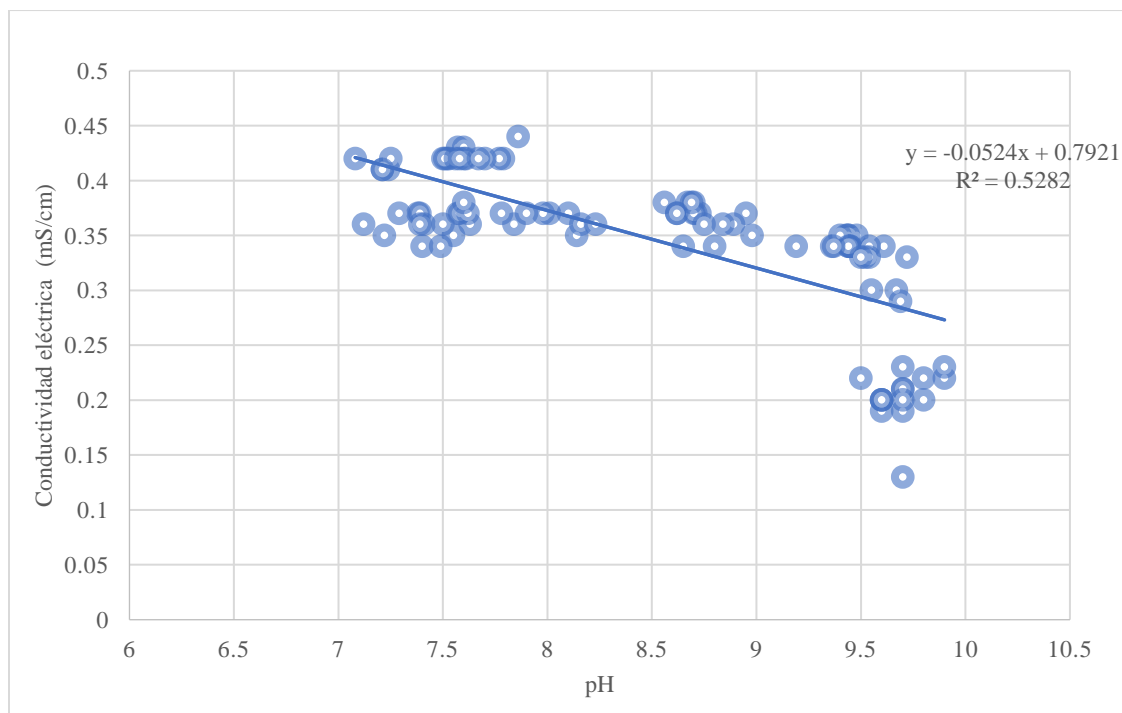


Figura 26. Comportamiento de la conductividad eléctrica vs pH en los diferentes tratamientos

Fuente: Elaboración propia con base en datos de laboratorio, 2018.

Si bien el modelo de regresión lineal simple no es altamente eficiente para explicar el comportamiento de una variable con respecto a otra, se advierte una tendencia negativa entre la disminución de la conductividad eléctrica y el incremento de los valores de pH, lo pudiera deberse a la composición de aniones y cationes disueltos en el agua de estudio; la inconsistencia del modelo se puede explicar por la presencia de sales neutras cuyo contenido no tiene fuerte relación con el pH.

La siguiente gráfica presenta el comportamiento de los cinco tratamientos empleado en laboratorio, donde destaca el control, en el tiempo inicial se mantiene al igual que los demás tratamientos sin embargo después de la hora transcurrida disminuye drásticamente debido a que los sólidos disueltos se asientan al fondo y las muestras con las soluciones floculantes se mantienen en suspensión (Ver *Figura 27*).

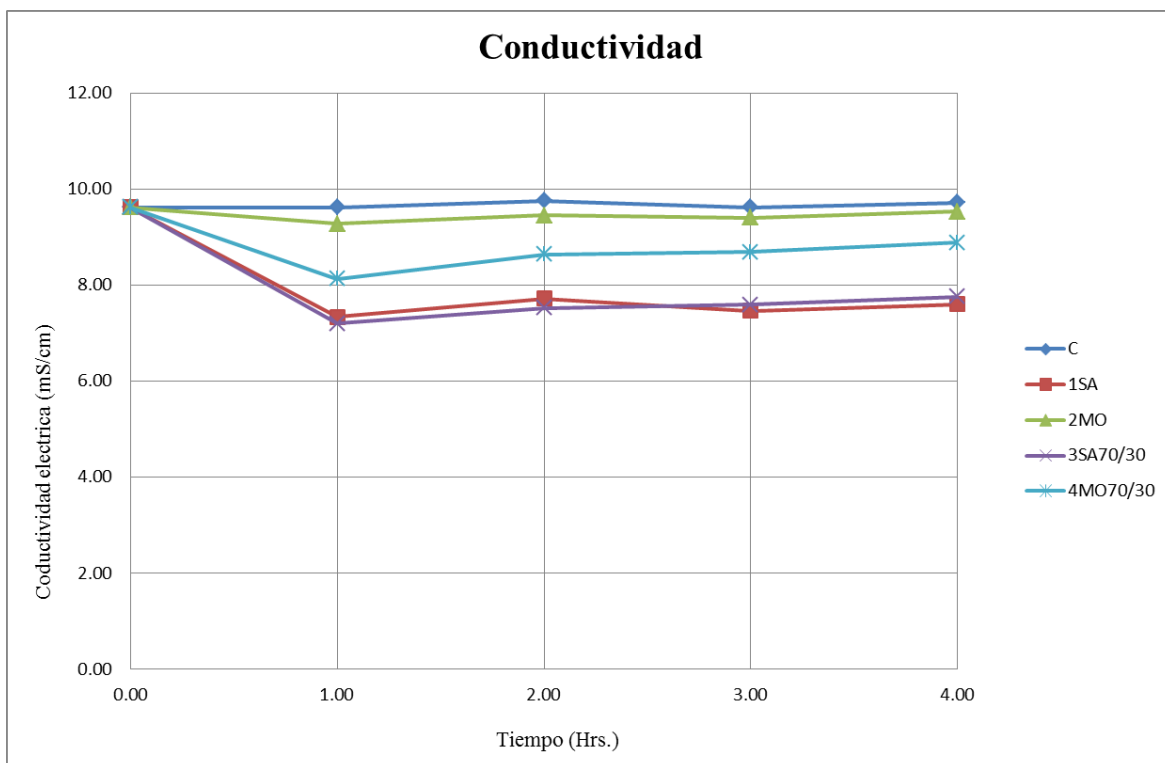


Figura 27. Comportamiento de la conductividad eléctrica en los diferentes tratamientos

Fuente: Elaboración propia con base en datos de laboratorio, 2018.

Los tratamientos muestran un comportamiento homogéneo, siendo el más alto el tratamiento 3SA70/30, en el tratamiento control hubo decremento debido a que las sustancias ionizadas se asentaron al fondo, la conductividad está relacionada con el contenido de sólidos disueltos totales, el agua del estanque está libre de sales pues los datos están por debajo del rango por lo tanto si el agua está destinada para la agricultura se considera de buena calidad. Lo que hacen los tratamientos con respecto a este parámetro es que estabilizan las partículas que se encuentran en el agua.

De todas las sales las que contienen sodio tienden a ser más adversas ya que ocasiona problemas de competencia por el agua, así como el incremento del pH y concentración de carbonatos ocasiona deficiencia en hierro y zinc (Gomez, *et al.*, 2014).

Turbidez.

La turbidez es el parámetro que mejor presenta el efecto que tiene la semilla de *Moringa* con las aguas del estanque, se observa (Ver *Figura 28*) que ningún tratamiento parte de los mismos niveles de turbidez teniendo de base al tratamiento control, esto dice que el efecto floculantes comienza desde el inicio de las pruebas de test de jarras.

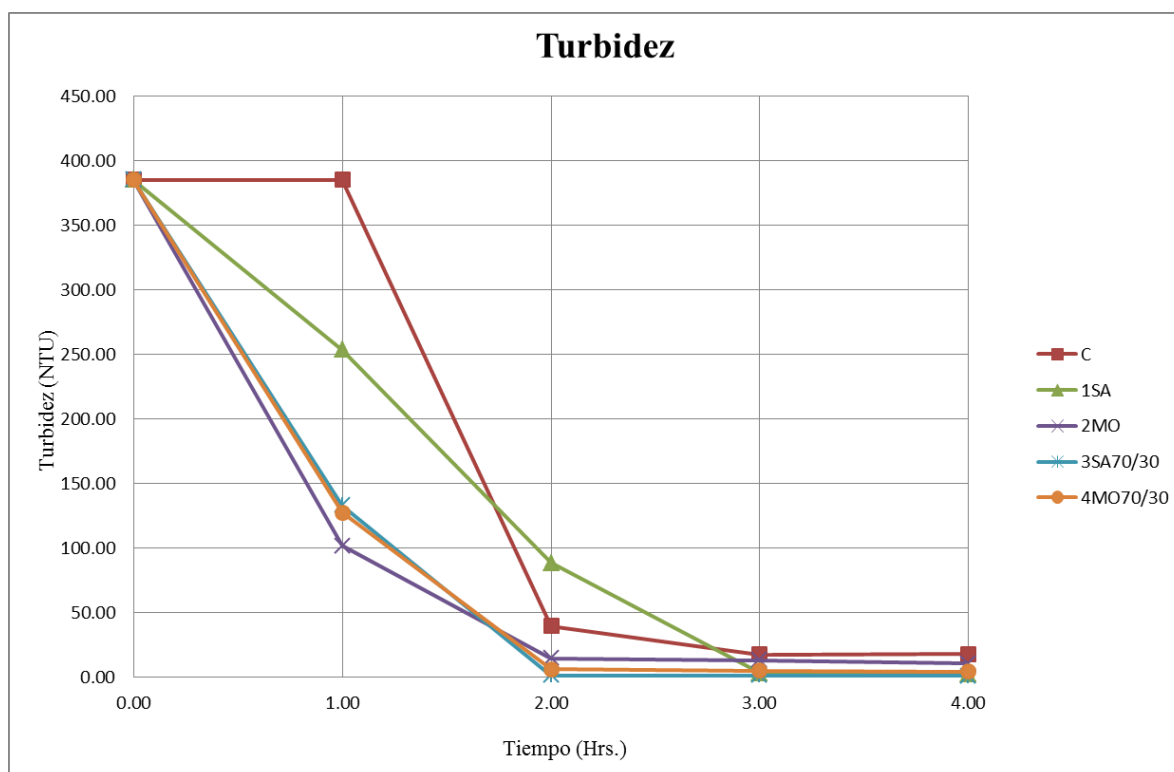


Figura 28. Comportamiento de la turbidez en los diferentes tratamientos

Fuente: Elaboración propia con base en datos de laboratorio, 2018.

Considerando lo anterior es altamente probable que el proceso de coagulación inicie al momento de que se aplican las soluciones floculantes y se incremente el efecto durante la agitación, por lo que en futuras investigaciones se debería considerar como tiempo cero el momento antes de la aplicación de las soluciones.

En el gráfico anterior se muestra que en la primera hora disminuye gran parte de los sedimentos, en la segunda hora se estabilizan, los tratamientos que resultan efectivos son 1SA, 3SA 70/30% Y 4MO 70/30%, siendo que el tratamiento tres lleva a las muestras de

agua a la casi nula presencia de NTU el tratamiento cuatro también es eficiente y se puede aplicar en la zona de estudio, el tratamiento que tiene el 100% de semillas se *Moringa* logra tener una eficiencia de reducción de 99.3 %, si bien tuvo un efecto coagulante aceptable para los usos que se destinara el agua almacenada, se recomienda que para la zona periurbana del municipio de Zirándaro se pueda mezclar con el alumbre en mínimas cantidades para ajustar el efecto de la solución floculante.

Tabla 11. Valores iniciales y finales de las NTU en las muestras de agua del estanque de la Granja La Gloria.

Tratamiento	T ₀	T _f	% de remoción
C	385.20	18.09	95
1SA	385.20	2.35	99
2MO	385.20	10.60	97
3SA70/30	385.20	1.08	99
4MO70/30	385.20	4.52	98

Fuente: Elaboración propia

La tabla 10 señala que los mejores tratamientos son con el $Al_2(SO_4)_3$, sin embargo, el aluminio residual se encuentra presente en estas aguas tratadas, por el contrario el tratamiento 4MO70/30 que contiene menos sulfato de aluminio funciona eficientemente y el resultado se encuentra dentro los límites permisibles que marca la NOM-127-SSA1-1994 de la Secretaría de Salud. La aplicación en zonas que tienen un agua con pH ácido y neutro el tratamiento de 100% de *Moringa* es el adecuado pues con el pH ácido logra neutralizarse y con el pH neutro no excede los límites de la escala y el agua es de buena calidad.

Oxígeno Disuelto

Es uno de los parámetros que se encarga de determinar las condiciones de respiración (Ver

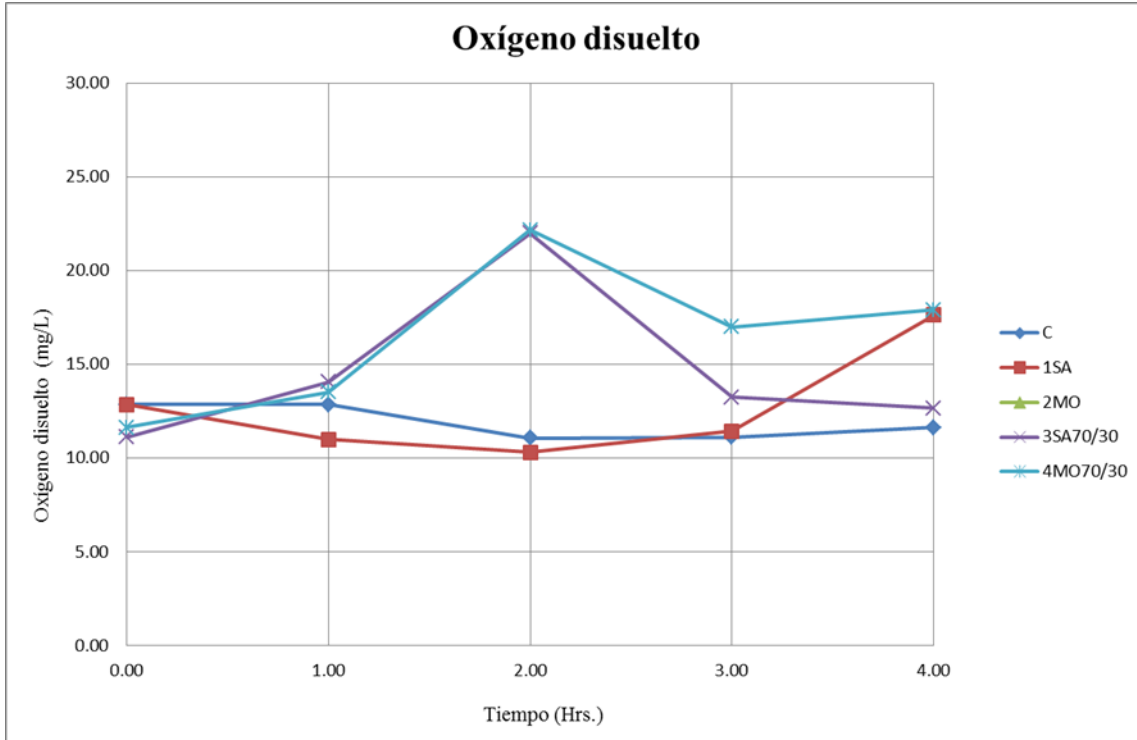


Figura 29).

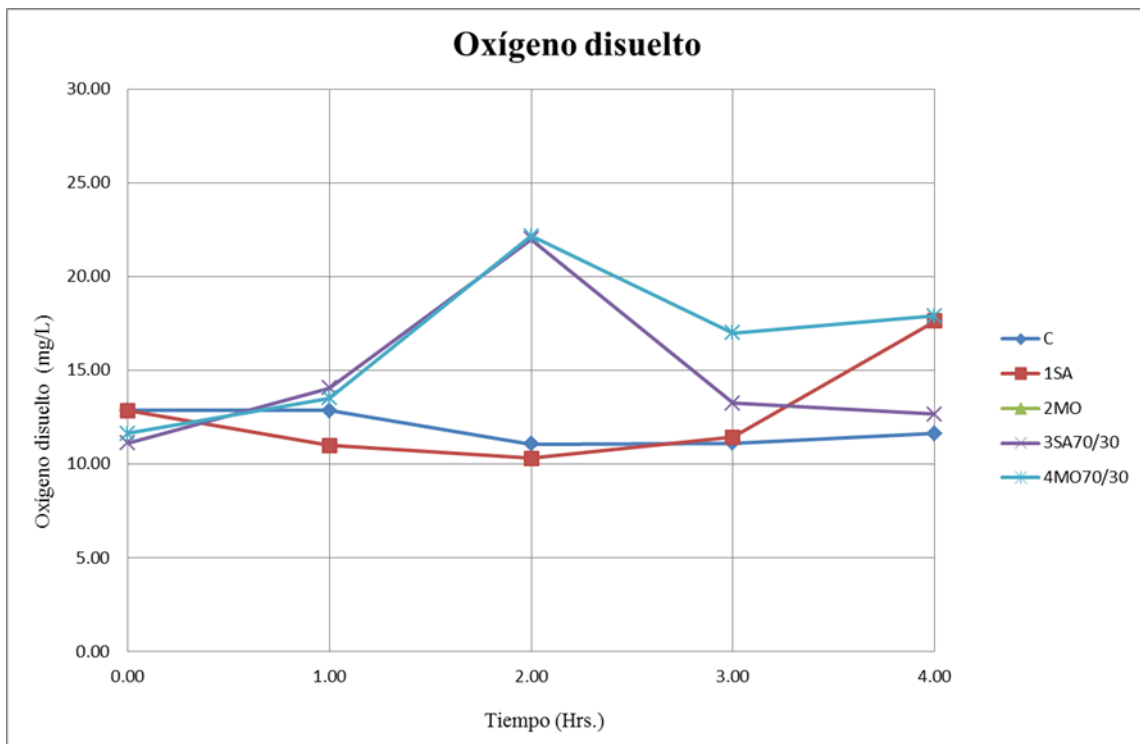


Figura 29. Comportamiento de los tratamientos con respecto al oxígeno disuelto.

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica anterior se observa, que el tratamiento con mayor oxígeno disuelto es el de *Moringa* en 100 %, el oxígeno disuelto se recomienda que la lectura sea *in situ* debido a que llegar a tener alteraciones, en campo, el oxígeno disuelto fue 20 mg/l, por lo tanto, con el tratamiento de MO se mantuvo, y con los tratamientos disminuyó considerablemente. Este parámetro es importante si en el cuerpo de agua se pretende desarrollar alguna especie de vida acuática.

Temperatura

El aspecto de temperatura está relacionado con el desarrollo de la actividad biológica del cuerpo de agua, influye en los sólidos disueltos por lo tanto se modifica la conductividad eléctrica, para el caso de estudio la temperatura del estanque superficialmente es alta a comparación de las muestras trabajadas en el laboratorio (Ver *Figura 30*).

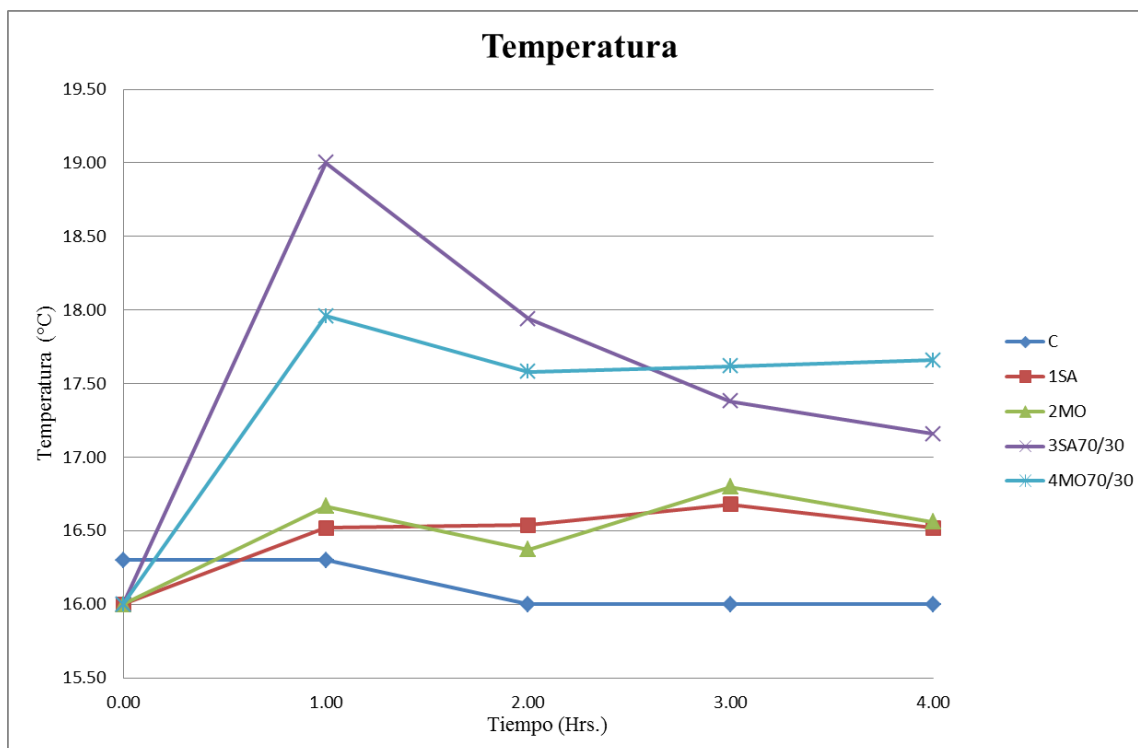


Figura 30. Comportamiento de la temperatura en los diferentes tratamientos

Fuente: Elaboración propia con base en datos de laboratorio, 2018.

Las semillas de *Moringa* no modifican la temperatura del agua, por ello, aunque si es un parámetro importante para el desarrollo de la vida acuática, el floculante no tiene implicaciones en las condiciones del agua.

Alcalinidad

De acuerdo a los resultados que se muestran en la tabla 11, es claro que el contenido de carbonatos es alto, sin embargo, para el tratamiento MO la presencia de hidroxilos si fue presente, para el tratamiento SA70/30 aunque el contenido de carbonatos no es lo suficientemente alto, en este caso no existe presencia de hidroxilos.

Tabla 12. Resultados de Alcalinidad por tratamiento.

Tratamiento	CaCO ₃ (mg/l)	DS
C	128.8	3.63
1SA	121.2	2.28

2MO	96	6.93
3SA70/30 01	72	3.16
011114MO70/30	112.8	3.03

Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico siguiente (Ver *Figura 31*) se muestra la estabilidad en general de los tratamientos con las soluciones floculantes, se encuentran dentro del rango, de acuerdo a la literatura se puede mencionar que el agua es productiva.

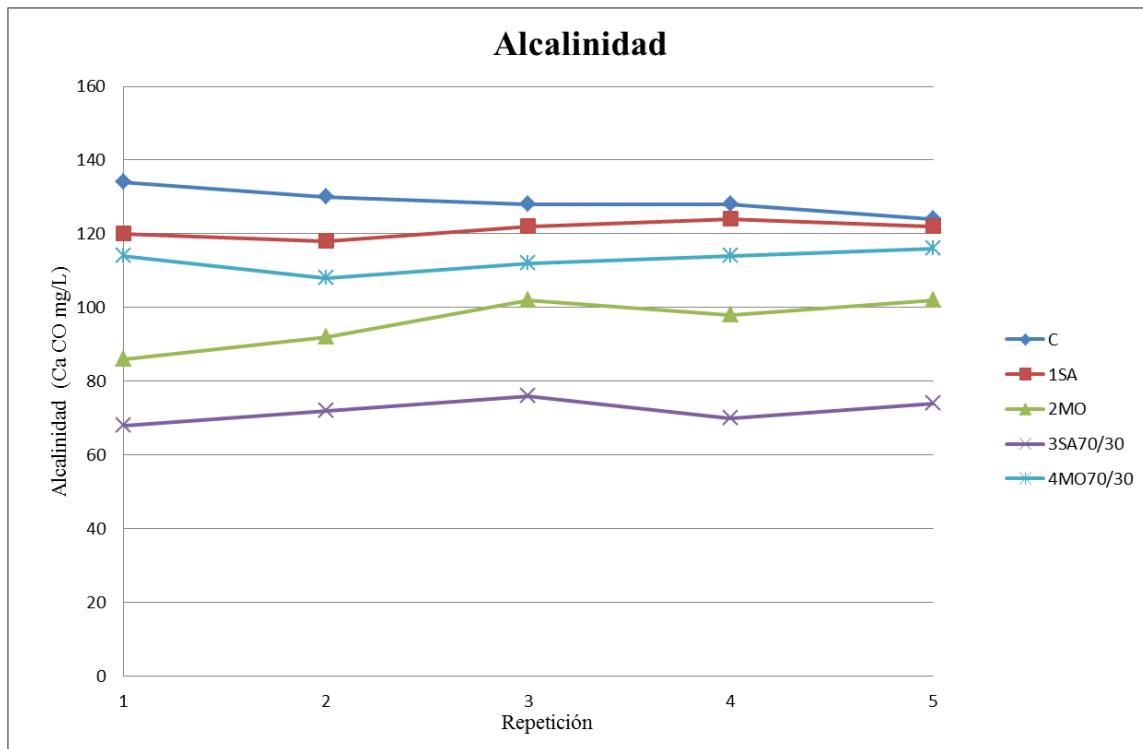


Figura 31. El comportamiento de la alcalinidad del agua

Fuente: Elaboración propia con base en datos de laboratorio, 2018

Dureza

La dureza se encuentra relacionada con la alcalinidad, se puede observar que el comportamiento de estos dos parámetros es semejante al del pH con la conductividad eléctrica, la presencia de carbonatos de calcio y magnesio el alta, la presencia de hidroxilos con el tratamiento MO, marca la diferencia en el grafico (Ver *Figura 32*).

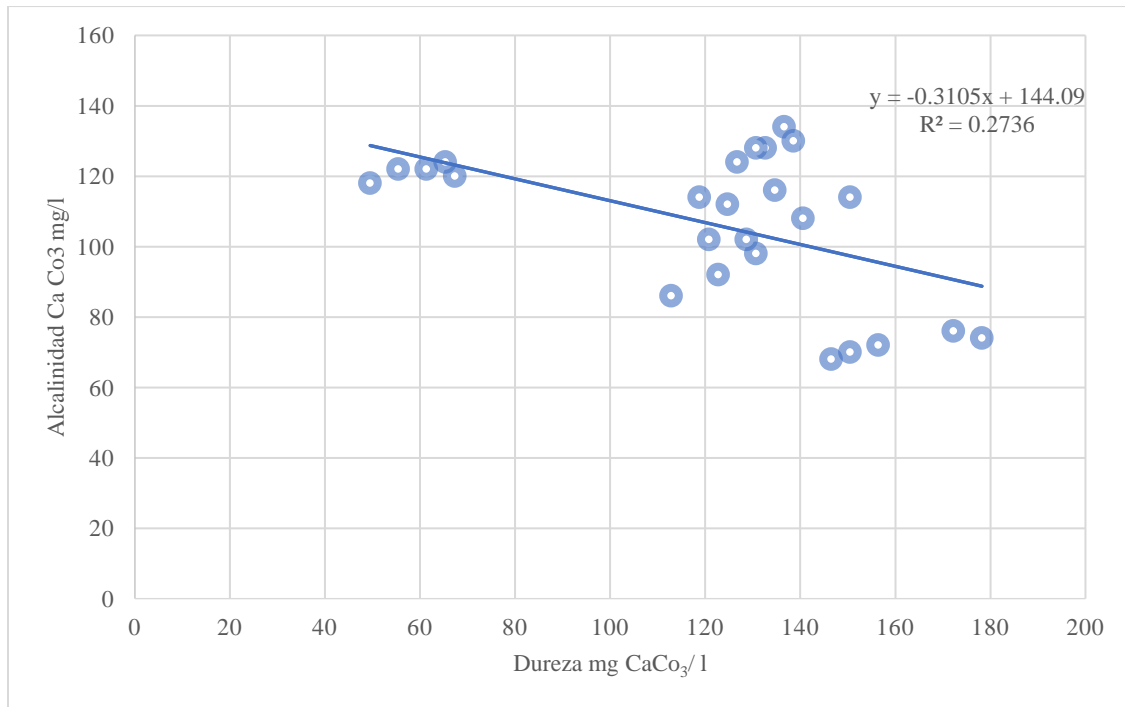


Figura 32. Regresión lineal simple entre Dureza y Alcalinidad

Fuente: Elaboración propia

La R^2 muestra que el modelo de regresión lineal es poco eficiente para establecer la relación entre la alcalinidad y la dureza. De acuerdo a la clasificación empleada por Boyd (1979), retomada por Arredondo y Ponce (1998), se tiene un agua moderadamente dura, se encuentra dentro de los parámetros permisibles para uso agrícola.

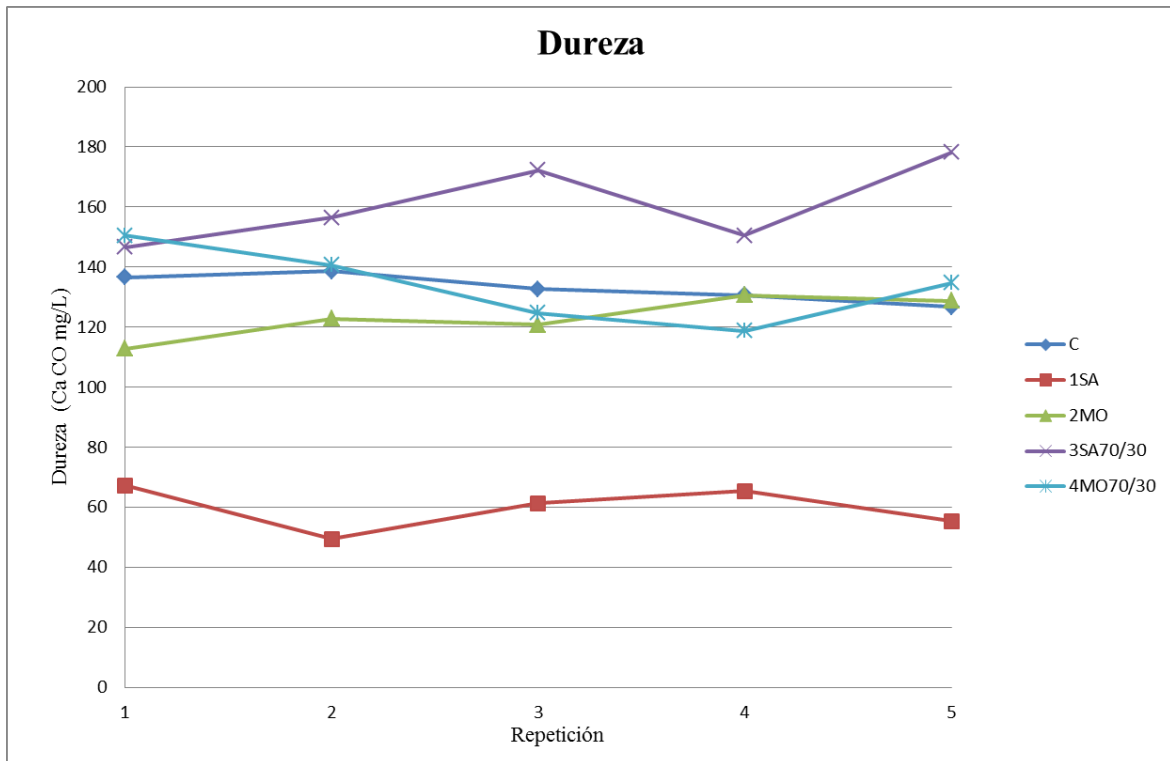


Figura 33. Comportamiento de la Dureza en los diferentes tratamientos.

Fuente: Elaboración propia

Las implicaciones que tienen los tratamientos en el agua del estanque, es que el efecto coagulante de la semilla tiene mejor eficiencia con ayuda de algunas sales las cuales deben ser controladas como lo muestra en tratamiento MO 70/30

En la tabla que se presenta a continuación da un escenario de las condiciones del agua durante el experimento.

El agua que se utilizó para este trabajo tiene un pH promedio de 10, las condiciones en las que se trabajó en el laboratorio hizo que se estabilizará a 9.6, lo cual se puede observar en la tabla 13. Los tratamientos SA Y SA 70/30 tuvieron una reducción considerable del pH, lo cual se propone es debido al efecto acidificante del sulfato de aluminio, no obstante, la naturaleza alcalina del agua utilizada, procedente del sitio de estudio debió amortiguar parcialmente este efecto.

Tabla 13. Resultados de parámetros fisicoquímicos por tratamiento.

Tratamiento	Control		SA		MO		SA 70/30		MO 70/30	
Parámetro	T₀	T_f	T₀	T_f	T₀	T_f	T₀	T_f	T₀	T_f
pH	9.6	9.7	9.6	7.6	9.6	9.5	9.6	7.8	9.6	8.9
CE (mS)	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4
OD (mg/l)	12.9	11.6	12.9	17.6	12.9	13.2	12.9	12.7	12.9	17.9
Turbidez NTU	385.2	18.1	385.2	2.4	385.2	10.6	385.2	1.1	385.2	4.5
STD	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
Alcalinidad (mg/l de CaCO₃)		128.8		121.2		96.0		72.0		112.8
Dureza (mg/l de CaCO₃)		133.1		59.8		123.2		160.8		133.9
Tem	16.3	16.0	16.3	16.5	16.3	16.6	16.3	16.3	16.3	17.7

Fuente: Elaboración propia

El segundo parámetro medido fue la conductividad eléctrica cuyo comportamiento, de manera general fue homogéneo en los cinco tratamientos. Estos valores, indican que el contenido de sales es bajo y no representa problemas en términos de la calidad del agua. El tercer parámetro es el oxígeno disuelto, su promedio es de 15 mg/l en laboratorio y en campo se tienen 20 mg/l lo cual indica que en condiciones de laboratorio, este parámetro disminuye, dado el menor intercambio gaseoso con la atmosfera, por lo que su estimación en condiciones controladas, solo se tomó como un referente.

La turbidez es un parámetro importante en el trabajo pues se pretende mostrar el efecto coagulante de las semillas de *Moringa*. En campo la turbidez fue de 20 NTU; este valor se considera como bajo, se piensa que se debe a que la lectura tomada fue con escaso movimiento del agua, sin embargo, la muestra para realizar las pruebas en laboratorio fue tomada a 1 metro, por ello los niveles de turbidez aumentaron drásticamente.

Con respecto a los parámetros de alcalinidad y dureza tenemos un agua dentro de valores adecuados de acuerdo a la normatividad para prácticamente cualquier uso, cabe mencionar que solo se realizó una lectura una vez ya finalizado el experimento, por un lado la prueba de alcalinidad nos dice que el contenido de carbonatos es alto y la presencia de hidroxilos

solo se dio en el tratamiento MO, por otra lado el aspecto de la dureza muestra que se tiene un agua moderadamente dura, esto debido al contenido de carbonatos de calcio, lo cual ocasiona una deficiencia de hierro y zinc, se logra la relación entre estas variables junto con la geología de la depresión del balsas, zona donde se encuentra el estanque, de acuerdo a la caracterización del sitio de estudio, se le atribuye a la geología la presencia de los carbonatos en el agua pues existentes en la zona algunos afloramiento de roca caliza.

La temperatura, considerada únicamente como parámetro de referencia dentro del experimento, ya que es una variable altamente fluctuante en función del manejo de las muestras. Es un parámetro importante pues de este depende la actividad biológica del cuerpo de agua, en campo la temperatura promedio es de 28 °C a medio día, sin embargo, las condiciones en laboratorio llevaron la muestra a 16 °C, la temperatura influye en la solubilidad del oxígeno disuelto, en los nutrimentos y en la descomposición de la materia orgánica.

Discusión

Para este trabajo se realizó la evaluación entre dos flocculantes, el sulfato de aluminio, un producto comercial tóxico (en altas concentraciones) y relativamente costoso; y las semillas de *Moringa*, recurso biótico, noble con el ambiente y la salud humana. A lo largo de trabajo experimental se logró determinar que efectivamente las semillas tienen un poder de coagulación eficiente, de las cuatro soluciones que se prepararon, la solución MO que contiene 2 g de semillas de *Moringa* a 50 ml de agua destilada tuvo una remoción en los niveles de turbidez de 97 %, si bien las concentraciones que tienen sulfato de aluminio también disminuyó a un 99% de NTU, los parámetros de pH, conductividad eléctrica se ven afectados, en primer lugar el pH tiende a disminuir por el efecto acidificante del $Al_2(SO_4)_3$ por ello la conductividad incrementa. En este sentido, es importante determinar las condiciones del agua, previas al tratamiento ya que son esenciales para determinar la concentración óptima de la solución flocculantes debido a que de ello dependen las variabilidades de los datos en dicho parámetros.

En la siguiente tabla se muestran las concentraciones de cada tratamiento y la remoción total que NTU, si bien es cierto que con el sulfato de aluminio se elimina el 99 % de partículas coloidales, los residuos de aluminio tienen implicaciones dañinas en la salud, y es costoso hacerlo llegar al municipio, sin embargo la eficiencia de las semillas como flocculante es la idónea y se puede sustituir el coagulante comercial por este producto local.

Tabla 14. Eficiencia flocculante de los tratamientos con semilla de *Moringa* y sulfato de aluminio

Tratamiento	Clave	Dosis	Floculación %
1	C= control	-----	95
2	SA	2.5 ml	99
3	MO	2.5 ml	97
4	SA 70/30	2.5 ml	99
5	MO 70/30	2.5 ml	98

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con García (2007), las ventajas de utilizar las semillas de *Moringa* en el tratamiento de aguas es que, en primer término, los lodos residuales que se generan son biodegradables; si bien es cierto que los lodos residuales de las plantas tratadoras municipales e industriales son considerados como altamente enriquecidos con materia orgánica y otros nutrientes potenciales y en algunas ocasiones utilizados como mejoradores de suelos.

La composición bioquímica de los flóculos que contienen *Moringa* podrían aportar nutrientes adicionales a los sustratos para uso agrícola, sin embargo y aunque ya no fue objeto de esta investigación, sería recomendable realizar análisis físicos y químicos de los lodos residuales del agua del estanque para corroborar este supuesto, lo cual, aunque en pequeña escala, podría contribuir a mejorar la eficiencia de determinados cultivos dentro de la zona de aplicación, derivado del incremento de nutrientes.

Como se mencionó en el apartado de caracterización, una de las principales actividades económicas del municipio es la agricultura, en dado caso que se fomente la utilización de los lodos residuales con *Moringa* como mejoradores de suelo, sería una área de oportunidad para el desarrollo agrícola, ya que actualmente la utilización de fertilizantes químicos ha resultado costoso y perjudicial para el productor, el consumidor y el ambiente.

Ya que la preocupación por la seguridad alimentaria e hídrica que tiene la organización “Mas las Zirandas” que apoya a este trabajo, no está demás mencionar los escenarios de oportunidad para potencializar los recursos con los que se cuenta actualmente, sin embargo esta propuesta debería ser parte de un nuevo diseño experimental que logre validar esta idea.

En el aspecto económico, la obtención de coagulantes comerciales químicos implica un costo elevado ya que para países en vías de desarrollo como lo es México, el precio de importación depende de los grandes cambios económicos mundiales ligados a los países de primer mundo.

La NOM-127-SSA1., 1994, sugiere diferentes tipos de floculantes para el tratamiento de aguas, de los más destacables que marca la norma son, el sulfato de aluminio, la cal y

polielectrólitos comerciales, estos se consideran económicos y eficientes, sin embargo en zonas rurales la adquisición de estos productos es complicada e insegura ya que si se pretende usar en hogares, debe acompañarse de instrucciones de aplicación que eviten daños a la salud humana y del ambiente.

Por ello el aprovechar un recurso biótico como lo es la semilla de *Moringa*, no implica un alto costo para el tratamiento del agua de manera doméstica, las comunidades lo pueden utilizar para mejorar las condiciones del agua que almacenan en época de secas cuando los niveles de los afluentes principales disminuyen.

Ahora bien, con respecto a la concentración óptima de solución floculante en los estudios que retoma este trabajo, se demuestra que las semillas de *Moringa* son eficientes en la remoción de partículas disueltas logrando así la disminución de la turbidez, Núñez (2007), en un estudio realizado en Zamorano, Honduras, establece que con las concentraciones de un 70 % de *Moringa* y con el 30% de $Al_2(SO_4)_3$, la solución floculantes tiene una efectividad del 96 %, dato semejante a lo que este trabajo obtuvo, en el tratamiento MO70/30, dicho tratamiento contienen 1.5 g de semilla de moringa y .5 g de sulfato de aluminio la remoción total de los niveles de turbidez fue del 98%, esto demuestra que las soluciones tienen mejor eficiencia cuando se complementa con alguna sal, como lo maneja Arreola (2013), en su estudio con soluciones en agua destilada y en agua de mar, estudio realizado en Yucatán México , esta última tiene un efecto de remoción de más de 90% en los niveles de turbidez.

Por su parte, los estudios realizados por Méndez (2009), establecen que una dosis de 1 a 3 ml/l es óptima, a comparación de dosis que superen los 5 ml/l, explicada por el hecho de que a mayor concentración de la semilla, se llega a un punto en el que las partículas ya no chocan y se quedan suspendidas en el agua, incrementando la turbidez.

En este caso de estudio, la remoción de la primera dosis es del 80%; para este estudio, la concentración óptima que resultó de la aplicación del test de jarras fue de 2.5ml/L, removiendo más del 90% en los 4 tratamientos con las diferentes concentraciones de sulfato de aluminio y semillas de *Moringa*.

No obstante los resultados, será conveniente realizar pruebas experimentales previas de acuerdo a las condiciones fisicoquímicas del agua dentro del área de aplicación, para validar su eficiencia.

En los estudios realizados en México, particularmente en el estado de Yucatán en los años 2009 y 2013, se sugiere que a la harina de semilla de *Moringa* se le extraigan las grasas debido a que en el agua quedan residuos lipídicos y dan un aspecto de suciedad en el líquido; para la fase práctica de este trabajo se optó por solicitar la colaboración del Departamento de Servicios Externos de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México, quienes se encargaron de realizar la extracción de aceites por el método Soxhlet: En el reporte que se entregó menciona que el contenido de grasas es de 35.86%, por lo que esta extracción implicó una disminución en el peso de la harina haciendo necesario estimar la cantidad adecuada de la semilla para poder realizar las pruebas correspondientes.

El trabajo pretende ofrecer la posibilidad de aplicar un tratamiento de fácil aplicación en las comunidades y evidentemente, la extracción de grasas por métodos químicos no sería opción para estas comunidades puesto que la obtención de los materiales es costoso y la finalidad es que el mejoramiento del agua sea viable y económico en las zonas rurales.

Por tal motivo, en este experimento se realizaron pruebas con la harina que contenía los aceites y el efecto coagulante fue más del un 90%, por lo que se considera que la extracción no es necesaria, considerando que el uso del agua tratada con estos métodos se destinaría principalmente para prácticas rústicas en las comunidades rurales del municipio de Zirándaro, tales como consumo de animales, uso doméstico.

El agua tratada con semillas de *Moringa* se puede utilizar para la agricultura, para ganadería y uso doméstico, particularmente se recomienda hacer un estudio a fondo para determinar si el agua logra ser apta para consumo humano, si bien este trabajo no se enfocó en la determinación de los parámetros que avalen la calidad del agua como potable de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994.

La FAO afirma que toda suspensión de polvo de semillas de árboles y arbustos de la familia *Moringácea* tienen propiedades aclarantes en el agua y el uso de las semillas de *Moringa oleifera* Lam en los procesos de coagulación para el tratamiento de aguas ha logrado ser eficiente, debido a las proteínas que contiene la semilla, poseen un efecto desestabilizante que logra la aglomeración de partículas coloidales en el agua, facilitando su precipitación. Diversas investigaciones han documentado que los polielectrolitos catiónicos que conforman el componente activo floculante logran remover el 90% de turbidez.

La investigación ha retomado aspectos puntuales que son de gran importancia para la aplicación de este método de limpieza del agua, bajo condiciones similares a las que se tienen en el sitio de estudio.

Conclusiones

La principal fuente de abastecimiento de agua son los cuerpos superficiales que por el contacto con otros elementos contiene gran cantidad de partículas disueltas que con los métodos de filtración no se logra remover en su totalidad. Este trabajo se desarrolló en la región de Tierra Caliente, particularmente en la granja La Gloria en el municipio de Zirándaro cuyo problema es la disponibilidad de agua, para cubrir esta necesidad se desarrolló un trabajo experimental que ofrezca la alternativa de solución.

Gracias al trabajo conjunto de diversos investigadores en los últimos 20 años sobre el efecto que tienen las semillas de *Moringa* como agente de biorremediación en el agua se ha aplicado en países en vías de desarrollo dando como resultado el mejoramiento de la calidad del agua y la población ha aprovechado el agua para cubrir sus necesidades. La aplicación de semillas de *Moringa* resulta una alternativa económica y ambiental viable para el tratamiento de aguas pluviales almacenadas en la zona de estudio, ya que permite mejorar la calidad de algunos de los parámetros estudiados.

Los datos obtenidos para el parámetro de turbidez resulto que de tener 101.66 NTU con el tratamiento MO al 100 % disminuyo a 10.60 NTU, su porcentaje de remoción total fue de 97% utilizando 2.5 ml de solución floculante, muestra que es una solución viable para la sustitución de otros coagulantes comerciales. El mejor tratamiento fue el de MO 70/30 que tuvo una eficiencia de 98%, dicho tratamiento responde a que en efecto las semillas de *Moringa* mejora en presencia de las sales del sulfato de aluminio.

Las semillas de *Moringa* como alternativa de los coagulantes comerciales como el sulfato de aluminio resulto ser un producto eficiente, lo cual permite que en la región se aplique para mejorar las condiciones del agua que es destinada al uso doméstico, de los cuatro tratamientos que se generaron en la parte experimental, los que contienen semilla de *Moringa* sería una posibilidad usar el tratamiento MO 70/30 ya que las NTU se encuentran por debajo de la normatividad mexicana.

Desde el momento en que la solución floculante de semillas de *Moringa* estuvo en contacto con el agua turbia comenzó inmediatamente el efecto floculante. En la primera hora logro

sedimentar la mayor parte de las partículas coloidales dispersas en el agua. Es un producto económico y altamente disponible en la región, se pretende fomentar el cultivo controlado de este árbol para la generación del producto y así tratar el agua de los hogares del municipio.

Con respecto al almacenamiento de las soluciones se debe tener cuidado pues después de un mes comienza a fermentar aunque este a bajas temperaturas por ello se recomienda que sean soluciones preparadas al momento.

El objetivo de investigación se cumplió satisfactoriamente, se evaluó el comportamiento del componente activo de la semilla de *Moringa*, resultó que el tratamiento dos, el cual contiene dos gramos en solución, la eficiencia fue de 97 %, disminuyó de 385.20 a 10.60 NTU, si bien la hipótesis marcaba que se tendría una eficiencia del 100 %, el trabajo experimental mostró otro resultado, es aceptable para que en tiempos futuros se pueda aplicar en la zona objetivo.

Se recomienda que se las investigaciones en este campo continúen para ofrecerles mejores alternativas de tratamiento de aguas a las comunidades más vulnerables de México, y promover el uso de agentes naturales que beneficien a la salud humana y ambiental, así mismo darle seguimiento a este trabajo para realizar ajustes metodológicos que esta primera fase no resultaron en su totalidad, como por ejemplo el ajuste de la prueba de test de jarras en la cual se recomienda que la lectura del tiempo cero sea antes de agregación de la solución floculante, si bien se cumplió con el objetivo de estudio, los constantes avances científicos y tecnológicos con respecto a este tema van en aumento y las actualizaciones deberán ser aprovechadas para el beneficio de la humanidad y del planeta entero.

La *Moringa* es prometedora como una herramienta para enfrentar algunos de los problemas severos del mundo en desarrollo, desnutrición, deforestación, agua impura y pobreza. El árbol rinde más en regiones secas donde estas situaciones son de alta preocupación, países en vías de desarrollo principalmente; para un desarrollo óptimo de las comunidades vulnerables se requiere del recurso hídrico ya que de él emanan las diferentes actividades antrópicas que cumplen con cubrir las necesidades humanas, por ello este trabajo logro mejorar las condiciones del agua del estanque ampliando los usos que se le daban al inicio de esta investigación.

Referencias

1. Andia, C. Y., 2000. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación. , Perú: SEDAPAL.
2. Arias, C., 2014. Estudio de las posibles zonas de introducción de la Moringa oleifera lam, en la península Iberica de las Islas Baleares e Islas Canarias. 1 ed. Madrid: Universidad politécnica de Madrid.
3. Arredondo, F. J. L., 1986. Breve descripción de los criterios y las técnicas para el manejo y la calidad de agua en estanques de piscicultura intensiva. 1 ed. Mexico: Secretaria de Pesca.
4. Arreola, S. M. & Laines, C. J., 2013. Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulante metálicos en el tratamiento de aguas. Ingeniería , 17(2), pp. 93-101-.
5. Balladares, I. & Pineda, R., 2004. Monografía del municipio de Zirandaro Guerrero. 1 ed. Ciudad de México: Artes Graficas .
6. Campos, J., G., C. & N., F., 2003. Caracterización Del Agente Coagulante Activo De Las Semillas De Moringa Oleifera Mediante HPLC. Boletín del centro de investigaciones biológicas, 37(1), pp. 35-43.
7. CEMDA, 2006. El agua en México: Lo que todos y todas debemos saber. Fondo para la comunicación y educación ambiental A.C. , Ciudad de México: Presencia ciudadana mexicana .
8. Ceron, A. I. & Garzon, M. N., 2015. Evaluación de la semilla de *Moringa oleifera* como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del río Bogotá en su paso por el municipio de Villapinzón, Cundinamarca. 1 ed. Bogotá D.C.: Departamento de ingeniería.
9. CESOP, 2015. La Crisis el Agua, Ciudad de Mexico : CESOP.
10. CONACULTA, 2010. Sentimientos de la Nación, José María Morelos y Pavón. 1 ed. Ciudad de México: Summa Mexicana.

11. Cotler, H., 2006. Atlas de la cuenca Lerma- Chapala: Una visión conjunta. 1 ed. Ciudad de Mexico: Instituto de Ecología .
12. De la Lanza, E. G., 1990. Algunos conceptos sobre hidrologia y calidad del agua. 1 ed. Mexico: Instituto de Biología, UNAM.
13. Diamadopoulos, E., Anastasakis, K. & Kalderis, D., 2009. Flocculation behavior of mallow and okra mucilage in treating wastewater, *Desalination*. ---, 249(1), pp. 786-791.
14. DOF, 2016. Estudios técnicos de las aguas nacionales subterráneas del acuífero paso de arena. [En línea] Available at: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5430934 [Último acceso: 7 Septiembre 2018].
15. Espigares, G. M. & Fernández, C. M., 1999. Calidad del agua para consumo público: Caracteres físico-químicos. En estudio sanitario del agua. 1 ed. Granada: Universidad de Granada.
16. Feria, D. J., Bermudez, R. S. & Estrada, T. A., 2014. Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Ingeniería sanitaria y ambiental*, 9(1), pp. 37-44.
17. Folkard, G. & Sutherland, J., 1996. Moringa oleífera un árbol con enormes potencialidades,. *Agroforestry Today*, Costa Rica, , 8(3), pp. 5-8.
18. Garcia, F. B., 2007. Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo. 1 ed. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia.
19. García, J., 2009. *La Guía: Biología*. [En línea] Available at: <https://biologia.laguia2000.com/bioquimica/el-agua-propiedades-quimicas> [Último acceso: 26 Septiembre 2018].
20. Garduño, A. M., 2011. Captación de Agua de lluvia: Solución caída del cielo. 1 ed. Mexico: Colegio de posgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo .

21. Gomez, M. J. L., Blancas, A. G. A., Constanzo, C. E. & Cervantes, S. A., 2014. Analisis de calidad de agua naturales y residuales con aplicacion a la microescala. 1 ed. Mexico: UNAM.
22. Guerrero, L. M., 2006 . El agua en México. 5 ed. Ciudad de México : SEP, CONACyT.
23. INEGI, 2010. ITER, Mexico: INEGI.
24. INEGI, 2016. Mapa digital clasificación de suelos, Mexico: INEGI.
25. INEGI, 2016. Marco censal agropecuario, Mexico: INEGI.
26. INEGI, 2018. Mapa digital, Clasificacion climatica, Mexico: INEGI.
27. Jahn, S., 1986. Proper use of African natural coagulants for rural water supplies.. 19 ed. Alemania: GTZ.
28. Jahn, S. A. A., 1988. Using Moringa seeds as coagulants in dveloping countries. 1 ed. USA: Journal of American Water Works Association.
29. Marco, L., Azario, R., Metzler, C. & Garcia, M., 2004. La turbidez como indicador basico de calidad de aguas potabilizadoras a partid e fuentes superficiales, Propuestas a proposito del estudio del sistema de potabilizacion y distribucion en la ciudad de Concepcion de Uruguay. Higiene y Sanidad ambiental , 4(1), pp. 72-82.
30. Martinez, E., Cantillo, T. & Garcia, D., 2013. Microbiota asociada a lotes importandos de semillas de Moringa (Moringa oleífera). *Fitosanidad* , Volumen 1, pp. 125-129.
31. Melo, V. G. & Turriago, R. F., 2012. Evaluación De La Eficiencia De La Utilización De Semillas De *Moringa Oleifera* Como Una Alternativa De Biorremediación En La Purificación De Aguas Superficiales Del Caño Cola De Pato Ubicado En El Sector Rural Del Municipio De Acacias. 1 ed. Colombia : Facultad de Ciencias Economicas .
32. Mendoza, H., 2018. *Biosorción de arsénico con semilla de Moringa oleífera*. 1 ed. Torreon: Unidad Laguna.

33. Mendoza, I. y otros, 2007. Eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua. *Boletín centro de investigaciones Biológicas*, 41(2), pp. 244-254.
34. Mendoza, I., Fernández, N. & Ettiene, G. D. A., 2000. Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de las aguas, Venezuela. *Ciencia*, 8(2), pp. 235-242.
35. Miller, R., Kopfler F. & J.A., S., 1984.. Efectos del Sulfato de Aluminio en el Cuerpo Humano. *AmWat Wks*, 76:(1), pp. 54-91.
36. Molano, M. L., 2011. Las semillas de *Moringa oleifera* Lam como alternativa coagulante natural para purificación de agua. 1 ed. Santander : Universidad de Santander.
37. Morales, A. F., Mendez Novelo, R. & Tamayo Dávila, M., 2009. Tratamiento de aguas residuales de rastro mediante semillas de *Moringa oleifera* Lam como coagulante. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(3), pp. 523-529.
38. Muhl, Q., Du Toit, E. S. & J.M., S., 2014. Irrigation amounts affect the compositional changes of *Moringa oleifera* Seeds throughout different developmental stages. *International Journal of agriculture and biology*, 16(1), pp. 201-206.
39. Ndabigengesere A. S. & Narasiah, K., 1996. Influence of operating parameters on turbidity removal by coagulation with *Moringa oleifera* seed. *Environ Tech*, 17(4), pp. 1103-1112.
40. NMX-AA-007-SCFI, 2000. Análisis de agua- determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- método de prueba , Mexico: Secretaria de comercio y fomento industrial.
41. NMX-AA-012-SCFI, 2001. Análisis de agua. determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- método de prueba, Mexico : Secretaria de comercio y fomento industrial.

42. NMX-AA-034-SCF, 2015. Analisis de agua- Medicion de solidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Metodo de prueba, Mexico : s.n.
43. NOM-127-SSA1., 1994. Agua para uso y consumo humano- limites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilizacion , Mexico: Secretaria de salud.
44. Nuñez, P. E., 2007. Validación de la efectividad de la semilla de *Moringa oleifera* como coagulante natural para el tratamiento de agua, destinada al consumo humano en Moroceli, Honduras. 1 ed. Moricelí : Zamorano.
45. Olson, M. & Alvarado, L., 2016. ¿Donde cultivar el arbol milagro, *Moringa oleifera*, en Mexico? Un analisis de su distribucion. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Volumen 87, pp. 1089-1102.
46. Olson, M. & Fahey, J., 2011. *Moringa oleifera*: un arbol multiusos para las zonas tropicales secas. Mexico. *Revista mexicana de Biodiversidad*, Volumen 82, pp. 1071-1082.
47. Rondon, M. M. y otros, 2017. Empleo de semillas de *Moringa oleifera* en el tratamiento de residuales liquidos. *Ingenieria Hidraulica y ambiental*, 28(2), pp. 87-101.
48. Sanchez, M. J. & Beltran de Heredia, A. J., 2010. La *Moringa oleifera*, un recurso agrosostenible para la potabilizacion de aguas: optimizacion de la extraccion del agente coagulante. 1 ed. Extremadura: Cuides.
49. Sánchez-Peña, Y. M.-A. G. S.-G. S. V.-R. J., 2013. *Moringa oleifera*: Importancia, Funcionalidad y Estudios involucrados. *Revista cientifica de la Universidad Autonoma de Coahuila*, pp. 25-30.
50. Sciban, M., Klansja, M., Antov, M. & Skrbic, B., 2009. Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chesnut and acorn. *Bioresource Technology*, 100(1), pp. 6639-6643.

51. SPENA, 2018. Planta de tratamiento de agua potable, Peru.. [En línea] Available at: <http://spenagroup.com/planta-tratamiento-agua-potable> [Último acceso: 23 Julio 2018].
52. Torres, O. B. R. E. & Garcia, C. J. L., 1995. *Introducción al menjo de datos limnológicos*. 1 ed. Mexico : UAM.
53. UNAM, 2014. Departamento de fisicoquímica. [En línea] Available at: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/PotencialZeta_1246.pdf [Último acceso: 23 julio 2018].
54. Vazquez, G. L., 2007. *Remoción De Turbiedad De Agua Con Coagulantes Obtenidos De Semillas (Eritrina Americana, Quercus Ilex, Acacia Farnesiana, Viscum Album Y Senna Candolleana)*. 1 ed. Mexico: Instituto de estudios ambientales, Universidad de la Sierra de Juarez.
55. Yin, C., 2010. Emering usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochem.* ---, 45(1), pp. 1437-1444.