E.A.P.
0350(47)
C 2

Escuela Agrícola Panamericana, EAP-Zamorano
Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente

Programa de Investigación para el Desarrollo - PRIDE

BIBLIOTECA WILSON POPENOE
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
APARTADO 93
TEGUCIGALPA HONDURAS

INVESTIGACIÓN:

Validación de la aplicación de la semilla de *Moringa oleifera* producida en el sur de Honduras como coagulante natural del agua destinada a consumo humano en la Región del Yeguare, Honduras.

Marzo, 2008

BIBLIOTECA
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
APARTADO 93
TEGUCIGALPA HONDURAS

Equipo Investigador
Investigadora Principal: Erika Tenorio M.Sc.[1]
Asistentes de Investigación:
Ing. Eliana Núñez
Ing. Reyna Guzmán

Revisión del Documento:
Ing. Marlon Pineda[2]

Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano
Apartado Postal 93. Tegucigalpa, Honduras, C.A.
Teléfono: 776-6140 / 50 extensión 2447, Fax: 776-6062
Correo electrónico: etenorio@zamorano.edu
www.zamorano.edu

[1] Profesora Asociada de Recursos Hídricos - Encargada del Laboratorio de Calidad de Agua.
[2] Coordinador del Programa de Investigación para el Desarrollo (PRIDE)

212254

Este trabajo se llevo a cabo con la ayuda de fondos asignados por el Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo, Ottawa, Canadá.

RESUMEN

Semillas de *Moringa oleifera* cosechadas en Choluteca, Honduras fueron aplicados a muestras artificiales y naturales de agua de la Región del Yeguare con el propósito de evaluar sus propiedades coagulantes y su eficiencia en la reducción de la turbiedad. Muestras de agua artificiales manipuladas con Kaolin fueron preparadas a diferentes turbiedades entre 0 – 450 UNT. Cuatro diferentes dosis entre 0.1- 0.4 g L^{-1} y tres tratamientos (semilla con testa, sin testa, y extracto de semilla con testa) fueron aplicadas a las muestras preparadas junto con un tratamiento comparativo de sulfato de aluminio. Junto con la turbiedad se midieron el pH, la conductividad, nitratos, fosfatos y bacterias coliformes termotolerantes y totales antes y después de los diferentes tratamientos. Durante los diferentes ensayos se logró obtener una eficiencia de hasta 98.92 % en agua artificial con una turbiedad inicial de 212 UNT, aplicando 0.1 g L^{-1} de semilla con testa; de 98.96% en agua de la comunidad de Carboncito con una turbiedad inicial de 346 UNT aplicando una dosis de 0.1 g L^{-1} de semilla diluida en agua y de 98.41% con agua proveniente del Río Neteapa, Morocelí aplicando 0.2 g L^{-1} de semilla con testa a una turbiedad inicial de 355 UNT. Las mejores eficiencias promedio se obtuvieron al aplicar semilla con testa y dosis de 0.2 g L^{-1} para turbiedades mayores a 100 UNT. Ninguno de los otros parámetros se vio afectado significativamente con la aplicación de la semilla. Se observó de forma paralela a la reducción de la turbiedad, una reducción significativa de indicadores de contaminación bacteriológica en muestras artificiales, no así en muestras de agua de las comunidades vecinas. Debido a que se ha validado la eficiencia de la semilla en la reducción de la turbiedad, se recomienda la diseminación de esta alternativa de pre-tratamiento del agua a nivel domiciliar en zonas rurales de la región.

Palabras claves: turbiedad, *Moringa oleifera*, coagulantes naturales, UNT, Tratamiento de agua, Yeguare

ABSTRACT

Moringa oleifera seeds harvested in Choluteca, Honduras, were applied to model turbid water and natural waters from the communities of the Yeguare region in order to assess its coagulation properties and its effectiveness in turbidity removal. Model water manipulated with Kaolin was prepared at different initial turbidities from 0 – 450 NTU. Four dosages from 0.1 – 0.4 g L^{-1} and three treatments (shelled, non–shelled and a water extract from non-shelled seeds) were applied to the water samples along with a fourth comparative treatment of Aluminum sulfate. Electrical conductance, pH, nitrates, phosphates, fecal and total coliform bacteria were quantified before and after treatments. An efficiency of up to 98.92% was obtained with model turbid water with an initial turbidity of 212 NTU by an application of 0.1 g L^{-1} of non-shelled seed; of 98.96% in water from the Village of El Carboncito with initial turbidity of 346 NTU and a dosage of 0.1 g L^{-1} of the Moringa water extract. Efficiency of up to 98.41% was obtained in water from the Neteapa River in Morocelí with a dosage of 0.2 g L^{-1} of non-shelled seed and an initial turbidity of 355 NTU. The best average efficiencies were obtained with non-shelled seeds and dosages of 0.2 g L^{-1} for turbidities above 100 NTU. Results from the various parameters showed that the quality of water is not significantly affected by any of the Moringa treatments. Along with turbidity removal, a significant reduction of feacal and total coliformes was observed in the model water, whereas water from neighboring communities showed no significant reduction. Since the effectiveness of this seed for turbidity removal has been validated, it is recommended the promotion of this method as an alternative for water pre-treatment in rural households of the region.

Key words: Turbidity, *Moringa oleifera*, natural coagulants, NTU, Water treatment, Yeguare.

AGRADECIMIENTOS

El equipo investigador agradece el apoyo financiero para la realización de la presente investigación proporcionado por el Proyecto de Investigación para el Desarrollo (PRIDE) a través de la Federación de Organizaciones para el Desarrollo de Honduras (FOPRIDEH) y el Consejo Hondureño de Ciencia y Tecnología (COHCIT).

Adicionalmente agradece el apoyo administrativo proporcionado por el personal de la Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, la colaboración de las Licenciadas Estela Aguilar y Débora Casco del laboratorio de Biología Molecular de Zamorano, así como el apoyo brindado por el Lic. Gilberto Padilla y la Dra. Danelia Sabillón, del Centro de Estudio y Control de Contaminantes (CESCCO) de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente de Honduras.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I **1**
Introducción 1
Justificación 1
Objetivos 3
Objetivo General 3
Objetivos Específicos 3
Revisión de Literatura 3
Coagulación y floculación en el tratamiento de aguas 3
Moringa oleifera 4
Moringa en el tratamiento del agua 5
CAPITULO 2 ..... **6**
Metodología del Estudio 6
Preguntas de Investigación 6
Análisis proximal de la semilla 6
Dosificación 7
Preparación de las muestras 8
Aplicación 8
Mediciones 9
Ensayos Bacteriológicos 10
Validación del método en comunidades piloto. 10
CAPÍTULO 3 ..... **11**
Resultados y Discusión 11
Caracterización de la Semilla de M. oleifera 11
Moringa en la reducción de la turbiedad 11
Resultados Agua sintética No 1: 12
Resultados Agua sintética No 2: 12
Resultados del Río Neteapa, Morocelí 18
Resultados de Nitratos y Fosfatos en agua. 19
Resultados de Análisis Bacteriológicos 21
Resultados de los Talleres Comunitarios 23
CAPITULO 4 ..... **24**
Conclusiones 24
Recomendaciones 25
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA **27**

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Resultados del análisis proximal de la semilla de *M. oleifera*.	11
Tabla 2	Eficiencias promedio de la aplicación de *M. oleifera* al agua sintética No.1	12
Tabla 3	Resumen de los datos estadísticos generales (Agua Artificial No. 2)	12
Tabla 4	Turbiedad final y eficiencia en el rango bajo	13
Tabla 5	Turbiedad final y eficiencia en el rango medio	14
Tabla 6	Turbiedad final y eficiencia en el rango alto	16
Tabla 7	Turbiedad final y eficiencia Comunidad de El Carboncito	18
Tabla 8	Resultados de análisis bacteriológicos	22

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Fotos del árbol y semilla de *Moringa oleifera*.	4
Figura 2	Trituración de la semilla con testa en molino de piedra (Aplicación 1)	7
Figura 3	Dilución de la semilla triturada en agua (Aplicación 3)	7
Figura 4	Preparación de la solución madre de Kaolin	7
Figura 5	Secuencia de la preparación de los ensayos con *M. oleifera* y $Al_2(SO_4)_3$	9
Figura 6	Resultados de la aplicación de *M. oleifera* en agua de La Laguna, Maraita.	11
Figura 7	Promedios de eficiencia por tratamiento	13
Figura 8	Resultados promedio de turbiedad (Rango bajo)	14
Figura 9	Resultados promedio de turbiedad (Rango medio)	15
Figura 10	Resultados promedio de turbiedad (Rango alto)	16
Figura 11	Resultados promedio de turbiedad. Comunidad El Carboncito.	18
Figura 12	Ensayo de coagulación con *M. oleifera* con testa	20
Figura 13	Resultados de Análisis bacteriológicos con agua artificial inoculada	21
Figura 14	Taller sobre el uso de Moringa para el pre-tratamiento del agua	23

CAPITULO I

Introducción

Los procesos acelerados de degradación en cuencas hidrográficas a lo largo del territorio nacional tienen como resultado, entre muchos otros, el aumento de la erosión, el arrastre de suelos y el consecuente deterioro de las fuentes de agua para las poblaciones. Las partículas en suspensión que arrastra el agua y la turbiedad que estas ocasionan, no solamente constituyen un problema estético para los consumidores sino que restringen la efectividad de procesos de desinfección y se encuentran asociados al incremento de otros contaminantes en el agua, tales como compuestos fosforados, pesticidas, metales y patógenos, entre otros.

Ante la necesidad de contar con agua de buena calidad para el consumo humano a nivel comunitario, se han investigado y desarrollado una serie de tecnologías y mecanismos para el tratamiento del agua, con el fin de eliminar aquellos compuestos que pueden representar un riesgo para la salud humana y cumplir así con la normativa vigente de calidad de agua para consumo. Muchas de estas tecnologías, sin embargo, representan costos de inversión y operación elevados y muy pocas veces al alcance de comunidades rurales en países en desarrollo como Honduras.

Una de las alternativas naturales para la reducción de la turbiedad promovida en algunas regiones de Asia y África en las últimas décadas, es la aplicación de semillas de *Moringa oleifera*, un árbol con múltiples propiedades alimenticias y medicinales y muy adaptable al territorio nacional pero hasta ahora muy poco estudiado en la región Centroamericana. El presente estudio, busca la validación de las propiedades coagulantes de las semillas de *Moringa oleifera* cosechada en el sur de Honduras mediante ensayos de laboratorio con agua artificial y posteriormente mediante ensayos con agua destinada para el consumo en comunidades rurales de la Región del Yeguare. El fin de la investigación es conocer las pautas para recomendar esta alternativa de pre-tratamiento del agua en comunidades rurales pobres con problemas de turbiedad en sus fuentes de agua.

Justificación

En Honduras, el 88.3% del total de las captaciones de agua para consumo son obtenidas de fuentes superficiales (OPS/OMS, 2003 citado por SERNA, 2005), muchas de ellas expuestas a problemas de degradación de zonas de recarga y a contaminación por arrastre durante las épocas lluviosas.

Estudios realizados por el SANAA en el 2002 demuestran que en un 56% de 41 cabeceras municipales sometidas a análisis de calidad de agua, se detectaron indicadores de contaminación fecal; que el 23% de las muestras infringen los valores máximos permisibles para turbiedad (5 UNT[3]); y que solamente en 3 de los 41 sitios se reportan valores de cloro residual en concentraciones adecuadas para garantizar desinfección residual del agua.

3 UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad

Estos resultados son clara evidencia tanto de una falta de prevención de la contaminación en fuentes de agua, como de un inadecuado tratamiento y manejo de la misma por parte de los prestadores del servicio.

Lo anterior incuestionablemente tiene repercusiones en la salud comunitaria. Estimaciones de la Organización Panamericana de la Salud (2004), señalan que en Honduras el 77% de las diarreas agudas que se reportan anualmente, muchas de ellas hidro-transportadas corresponden a niños menores de 5 años, siendo ésta la segunda causa de mortalidad infantil en el país, lo que representa un reflejo, entre otros factores relacionados a la higiene domiciliaria, de la mala calidad del agua disponible para el consumo.

En nuestro país, debido a estas condiciones de degradación de cuencas hidrográficas y al poco acceso a mecanismos y tecnologías para la potabilización de agua, se hace necesaria la validación de alternativas de pre-tratamiento para reducción de la turbiedad que puedan ser implementadas a nivel de hogar y comunitario, que reduzcan la dependencia de proveedores externos, que sean de bajo costo, fácil acceso y de sencilla aplicación y que puedan contribuir de manera significativa al mejoramiento del agua para consumo en comunidades rurales del país.

En este sentido, las propiedades coagulantes de la semilla de Moringa han sido estudiadas en varios países de Asia, y se han recomendado una serie de dosis y métodos de aplicación, sin embargo, se hacen necesarios estudios locales con semillas producidas en el país, con el fin de validar la eficiencia, conocer los métodos de aplicación más prácticos para el contexto nacional y sus dosis de aplicación, todo esto previo a su promoción en contextos rurales hondureños. La aplicación de las semillas de *Moringa oleifera* ofrece una alternativa de pre-tratamiento de agua que amerita ser investigada dentro del contexto local, así como evaluada y diseminada.

Objetivos

Objetivo General

Validar la utilización de *Moringa oleifera* cultivada en Honduras como método para la reducción de la turbiedad y mejoramiento de la calidad bacteriológica del agua destinada a consumo humano, con el fin de establecer las pautas para su promoción en comunidades rurales hondureñas.

Objetivos Específicos

- Validar las dosificaciones de *Moringa oleifera* propuestas por estudios en África y Asia, utilizando semillas producidas en la zona sur de Honduras y comercializadas localmente con el fin de establecer la dosificación adecuada de *M. oleif*era requerida, por familia, para el tratamiento del agua para consumo de acuerdo a diferentes niveles de turbiedad inicial.
- Comprobar el método de extracción del compuesto químico que cumple la función de coagulante en la semilla *M. oleifera* más práctico y eficiente, para luego recomendar su implementación.
- Investigar sobre las propiedades antimicrobianas que puede ejercer la aplicación de *M. oleifera* en agua destinada a consumo humano.

Revisión de Literatura

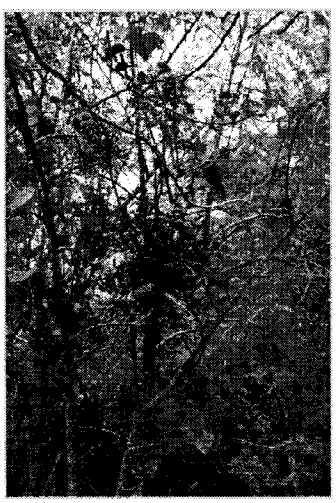
Coagulación y floculación en el tratamiento de aguas

Los materiales en suspensión presentes en aguas superficiales y de interés en el tratamiento de agua destinada al consumo se derivan de la erosión del suelo, la descomposición de la vegetación, la disolución de minerales y otras fuentes de origen humano. Este material presente en el agua está compuesto de partículas en suspensión, de origen tanto orgánico como inorgánico y puede también contener numerosas formas biológicas como bacterias, algas y virus.

Algunas de estas partículas, por su peso, tienden a sedimentarse en condiciones de reposo, sin embargo, partículas coloidales y en disolución (de tamaños menores de 10-5 mm) tienden a permanecer dispersas debido a condiciones inherentes que promueven su estabilidad. Se hacen por lo tanto necesarios mecanismos que conviertan el material coloidal en formas que promuevan su separación de la solución que las contiene. Esta conversión de un estado estable en una dispersión dada a un estado inestable se conoce como desestabilización. El proceso que permite obtener esta desestabilización de partículas en el agua o material en disolución se define como coagulación y floculación (Bratby, 2006).

Los procesos de coagulación y floculación son esenciales en el tratamiento de aguas, habiéndose practicado desde épocas remotas por diferentes civilizaciones antiguas, incluso hay registros de esta práctica desde el año 2000 A.C (Cohen et al. 1958 citado por Bratby, 2006). Para fines de coagulación y floculación se utilizan frecuentemente compuestos metálicos como ser el sulfato de aluminio [$Al_2(SO_4)_3$] y cloruro férrico ($FeCl_3$) entre otros, y

como ayudantes en la coagulación se utilizan polielectrolitos aniónicos. En algunas regiones y desde hace muchos años se han utilizado otros elementos naturales para propiciar la coagulación, como ser la savia del cactus del género Opuntia, las semillas de *Hibiscus sabdariffa*, el Chitosan, que se obtiene del esqueleto de algunos crustáceos y las semillas de la planta de *Moringa oleifera*, objeto del presente estudio.



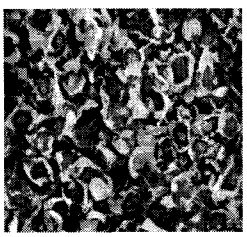


Figura 1:
Foto izquierda.- Árbol de *Moringa oleifera*. Campus Zamorano, Honduras.
Foto derecha.- Semillas del árbol de *Moringa oleifera* con testa fuera de la vaina.

Moringa oleifera

La *Moringa oleifera* es un árbol caducifolio, de rápido crecimiento que pertenece a la familia Moringaceae. Se han identificado 14 diferentes especies pertenecientes a esta familia, cada una de las cuales poseen diferentes propiedades.
En Centroamérica se le conoce comúnmente como: Marango, Paraíso o Paraíso Blanco. Es nativo del noreste de la India pero ha sido introducido a Centroamérica donde es utilizado a partir de los años 20 del siglo pasado como árbol ornamental, cerca viva y como cortina rompevientos (Parrotta J.A. 1993).

La Moringa se desarrolla en zonas con temperaturas promedio que van desde los 6 a los 38 °C y en rangos altitudinales que van desde el nivel del mar hasta los 1,800 msnm (INAFOR, 2003). La Moringa se adapta fácilmente a condiciones semiáridas (precipitación media anual desde 250 – 1500 mm), y ha demostrado adaptarse bien a condiciones húmedas de hasta más de 3,000 mm (Folkard et al, 1993 y 1999). El árbol es de fácil cultivo, puede llegar a alcanzar cuatro metros y producir frutos en un año (Folkard et al., 1999). En especimenes del sur de Honduras se pueden realizar dos cosechas de semillas en un año.

"Por las características que presenta, en Honduras la *Moringa oleifera* puede encontrarse en tres ecosistemas según la clasificación de zonas de vida de Holdrige (1947): i) Bosque seco tropical, transición a subtropical (bs-T), ii) Bosque seco subtropical (bs-S) y iii) Bosque húmedo subtropical cálido (bh-s(c)). Según el mapa de ecosistemas vegetales de Honduras desarrollado en el 2002, siguiendo el sistema de la UNESCO, la Moringa puede encontrarse en el bosque tropical semi-deciduo latifoliado, submontano, asociado con las especies: Acacia spp, Albizia niopoides, Agondara loranthoides, Calophyllum candissimum, Caesalpinia coriaria, Calotropis procera, Ceiba pentandra, Citharexylum caudatum, entre otras".[4]

[4] Comunicación personal con el Ing. Nelson Agudelo. Profesor de Ecología y Silvicultura, Escuela Agrícola Panamericana.

Moringa en el tratamiento del agua

El árbol de Moringa produce semillas con contenidos elevados de proteínas catiónicas diméricas cuyo peso molecular es de 13kDa y cuyo punto isoeléctrico se encuentra entre los 10 y 11 (Ndabigengesere et al., 1995). Estas proteínas solubles en agua, con carga neta positiva y de bajo peso, actúan como los polímeros sintéticos utilizados industrialmente para el tratamiento de aguas (Sutherland, et al,. 1990 y 1995), las cuales al ser agregadas a agua no tratada neutralizan y desestabilizan las cargas negativas de las partículas coloidales en suspensión, aglutinándolas y favoreciendo su posterior remoción mediante sedimentación o filtración (Ndabigengesere et al., 1995).

Estas propiedades de la semilla de Moringa han sido investigadas más a fondo en la última década e incluso aplicadas para el tratamiento de aguas en plantas potabilizadoras en Malawi, en el sureste de África, obteniendo reducción en la turbiedad del agua desde 380 hasta 4 Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT) (Sutherland et al., 1995). Ndabigengesere y Narasiah (1997) encontraron las mejores eficiencias en reducción de turbiedad en semillas sin testa a través de extracciones del coagulante mediante trituración y dilución en agua.

Estudios realizados en Suecia, demuestran que las proteínas coagulantes de la Moringa no solamente reducen la turbiedad, sino que también tiene propiedades anti-microbianas (Ghebremichael et al., 2005 y Nantachit, 2006), de reducción de metales en el agua (Mataka et al., 2006) y de reducción de la dureza en agua destinada a consumo (Muyibi y Evison, 1994). Asimismo, en lo que respecta al tratamiento de aguas residuales, estudios realizados en Mumbai, India, comprueban que la aplicación de *M. oleifera* en aguas residuales puede contribuir a una reducción de hasta 50% en la Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Bhuptawat et al, 2007).

Por otro lado, estudios toxicológicos realizados desde 1988 por Jahn et al, Grabow et al. 1985 y más recientemente por Pinheiro P. et al., 2007, demuestran que tanto la semilla, como el extracto acuoso de la misma, no presenta factores de toxicidad con base a exámenes biológicos, hematológicos y bioquímicos. Lo anterior representa una consideración importante en la promoción de esta alternativa para el tratamiento de agua para consumo humano.

CAPITULO 2

Metodología del Estudio

Con el fin de validar la efectividad del coagulante en semillas cosechadas en el sur de Honduras, encontrar las dosis óptimas de clarificación y recomendar un método eficiente y de fácil aplicación, se realizaron ensayos con semillas de *M. oleifera* a diferentes muestras de agua (naturales y sintéticas) con valores de turbiedad entre 0 y 450 UNT, con cuatro distintas dosificaciones y tres métodos de aplicación.

Contrario a los estudios realizados en otros países, en este caso se buscó la evaluación de métodos de aplicación de la semilla muy consistentes con el contexto rural y aquellos que requirieran el menor esfuerzo por parte de quienes lo implementasen. Esto debido a que el interés del mismo no es identificar los mayores valores de eficiencia en condiciones estrictas de laboratorio, sino bajo condiciones de aplicación afines a las prácticas de hogares en zonas rurales.

Preguntas de Investigación

- ¿Qué método de extracción y aplicación del coagulante de la semilla *M. oleifera* puede ser recomendado de acuerdo a su eficiencia y fácil manejo, para su uso en el tratamiento de agua para consumo en Honduras?
- ¿Cuáles son las dosis de *M. oleifera* adecuadas para el tratamiento de agua de fuentes naturales destinada para consumo en la región del Yeguare bajo diferentes condiciones iniciales de turbiedad, aplicando semilla de *M. oleifera* cultivada en el sur de Honduras?
- ¿Qué porcentaje de reducción de indicadores de contaminación fecal (bacterias coliformes) puede obtenerse mediante la aplicación de la semilla de *M. oleifera* en agua destinada para consumo?

Las pruebas de extracción y aplicación descritas a continuación se llevaron a cabo en el laboratorio de Calidad de Aguas de la Carrera de Desarrollo Socioeconómico Ambiente, los análisis bacteriológicos en el Laboratorio de Biología Molecular y los análisis proximales de las semillas en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Análisis proximal de la semilla

Con el fin de caracterizar la semilla de *M. oleifera* cosechada en el sur de Honduras y de forma adjunta al objetivo central de este estudio, se llevó a cabo un análisis proximal de la semilla que incluyó: contenido de humedad, proteínas, grasas, carbohidratos y fibra cruda. Estos análisis se realizaron mediante procedimientos estándar de la AOAC (Association of Oficial Analytical Chemists).

BIBLIOTECA WILSON POPENOE
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
APARTADO 93
TEGUCIGALPA, HONDURAS

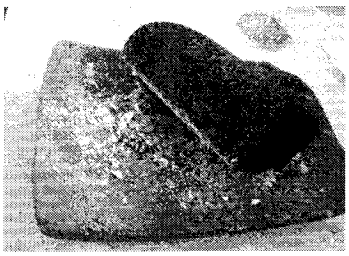


Figura 2. Trituración de la semilla con testa en molino de piedra (Tratamiento 1)

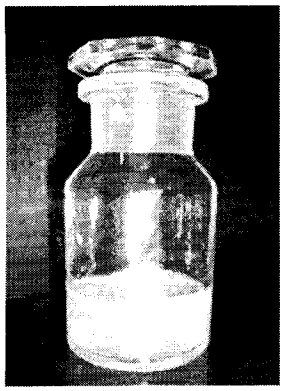


Figura 3. Dilución de la semilla triturada en agua (Tratamiento 3)

Figura 4. Preparación de la solución madre de Kaolin en Conos Imhoff.

Preparación de las Semillas: Las semillas utilizadas para este estudio fueron cosechadas entre los meses de marzo a abril del 2007 en los municipios de Namasigüe, El Triunfo y Concepción de María en la zona sur de Honduras[5], en donde esta planta es utilizada mayormente como cerca viva. El polímero coagulante de la semilla fue aplicado a las muestras mediante los siguientes tratamientos:

Tratamiento 1: Triturada con testa mediante un molino de piedra tradicional de las zonas rurales hondureñas (Figura 2).
Tratamiento 2: Sin testa y luego triturada mediante un molino de piedra.
Tratamiento 3: Triturada con testa y diluida en 30 ml. de agua mediante agitación vigorosa dentro de un recipiente de vidrio por un minuto. La mezcla resultante se hizo pasar mediante papel filtro comercial antes de ser aplicada (tamaño de poro aproximadamente 100 μm).
Tratamiento 4: Adicionalmente y para fines comparativos una cuarta aplicación consistió en la aplicación de una solución de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en las misma dosificaciones aplicadas de Moringa. Para ello se preparó una solución madre de 300 mg L^{-1} $Al_2(SO_4)_3$ marca EMScience® .

La preparación de la semilla se realizó inmediatamente previa a la aplicación a las muestras para garantizar que la semilla no perdiera sus propiedades coagulantes (Katayon, et al., 2006).

Dosificación: Se tomaron como base tres rangos de turbiedad: De 0 a 150 UNT, de 150.1 a 300 UNT y de 300.1 a 450 UNT y dentro de cada rango se prepararon al menos 4 muestras. Las dosificaciones aplicadas fueron de 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 g L^{-1} para cada muestra y cada aplicación. Para las mediciones de las dosis tanto de Moringa como de Sulfato de aluminio se utilizó una balanza de precisión marca Mettler Toledo®.

[5] Información proporcionada por el Sr. Darío Pineda, intermediario de semillas en Choluteca para SETRO, S. de R.L.

Preparación de las muestras: Para el estudio se realizaron ensayos con tres tipos de agua y mezclas de arcillas. La manipulación del agua con arcilla en polvo permite obtener turbiedades deseadas de acuerdo a los rangos previstos.

Agua sintética 1: Obtenida mediante la mezcla de agua purificada (Agua Azul ®) y una arcilla comercial utilizada para la confección de artesanías.

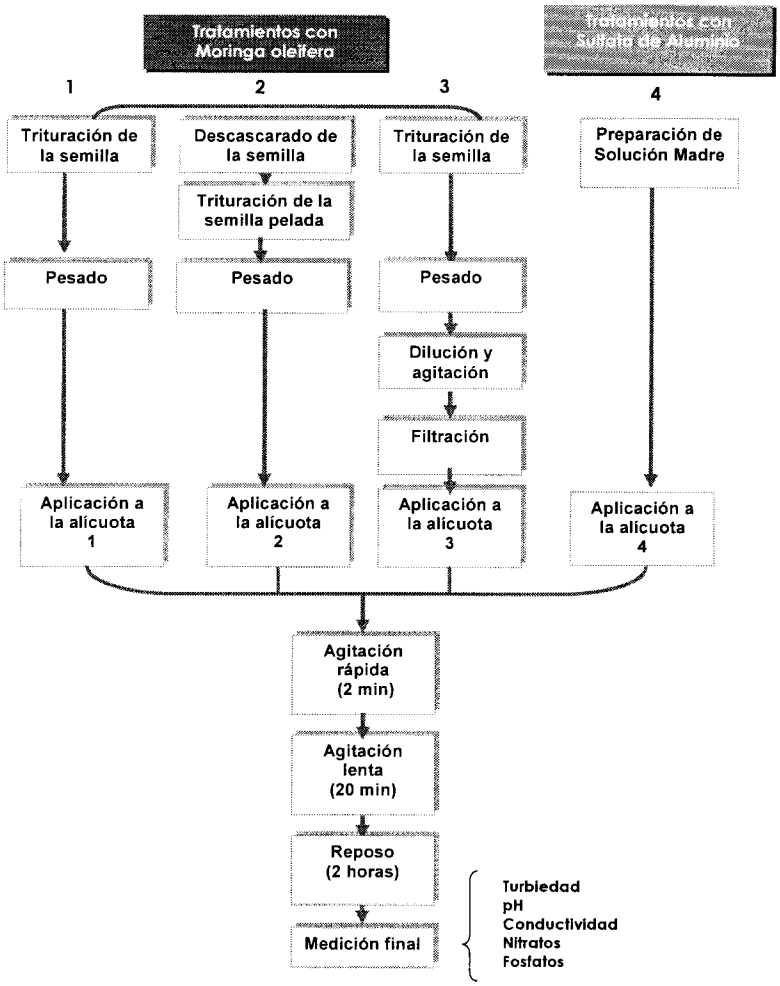
Agua sintética 2: obtenida mediante la mezcla de agua purificada del sistema de agua de la Escuela Agrícola Panamericana más Silicato de Aluminio o Kaolin Marca ACROS ORGANIC ®. Para cada conjunto de muestras a ser tratadas se preparó una solución madre con 5 gramos de Kaolin y 1 litro de agua, la cual fue sometida a agitación rápida por una hora y reposo durante 24 horas en conos Imhoff (Muyibi y Evison, 1995 y 2002, Ghebremichael, et al., 2005 entre otros) (Figura 4). Lo anterior con el fin de aislar los procesos de sedimentación en las partículas en suspensión en el agua, de los de coagulación objeto del presente estudio. El flotante fue extraído mediante pipetas y utilizado para la preparación del agua sintética con diferentes turbiedades iniciales. Para cada tipo de ensayo se prepararon aproximadamente 12 litros de agua con una turbiedad inicial homogénea.

Agua natural de las comunidades vecinas: Previo a la selección de sitios se llevó a cabo una gira de muestreo e identificación de problemas de turbiedad en la región. A partir de ella se seleccionaron y colectaron muestras de las Comunidades de El Carboncillo, Río Yeguare y Aldea de San Francisco en el Municipio de San Antonio de Oriente, del Casco urbano de Morocelí en el Municipio de su mismo nombre, y de la Aldea de La Laguna en el Municipio de Maraita).

Aplicación: En cada caso, la aplicación de la semilla triturada se hizo de forma directa a alícuotas de 500 ml. de las muestras de agua preparadas. La dosificación requiere agitación ya sea manual o mecánica para promover el contacto del coagulante de *la M. oleifera* con las partículas en suspensión y facilitar la floculación. Este proceso se realizó mediante una agitación inicial rápida de dos minutos (100 RPM) y una lenta por 20 minutos (60 RPM) con removedores magnéticos marca Corning®. Posteriormente las muestras se dejaron en reposo por un período de dos horas previo a su medición final (Figura 5).

Todos los ensayos se realizaron a una temperatura ambiente promedio de (22 ± 1 °C) y no se adicionó ningún otro elemento a las muestras tratadas. Adicionalmente durante los ensayos se incluyó una alícuota de control de la misma muestra preparada y se sometió a los mismos procesos de agitación que las muestras tratadas con Moringa o con sulfato de aluminio, esto con el fin de diferenciar los efectos de la coagulación de los de sedimentación después de dos horas de reposo.

Figura 5. Secuencia de la preparación de los ensayos con *M. oleifera* y $Al_2(SO_4)_3$.



Mediciones. La turbiedad inicial (Tb0) y final (Tbf) se midió en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT), mediante la utilización de un turbidímetro portátil marca LaMotte® previamente calibrado. De manera adicional y mediante la utilización de un sensor multiparámetro calibrado (SensION 156 HACH ®), se midieron el pH y la conductividad de cada una de las muestras antes y después del período de sedimentación del tratamiento para conocer los efectos de *M. oleifera* en el agua. Muestras crudas y tratadas con *M. oleifera* fueron evaluadas para nutrientes (nitratos y fosfatos) mediante la utilización de métodos colorimétricos (Reducción de Cadmio para Nitratos y Acido Ascórbico adaptados de "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" mediante un Colorímetro HACH® DR/Serie 890).

Ensayos Bacteriológicos

Ensayos para evaluar la reducción de indicadores de contaminación bacteriana y fecal en el agua mediante la aplicación de semillas de *M. oleifera* se realizaron en agua sintética y agua de algunas comunidades de la región (Aldea de El Carboncito en San Antonio de Oriente, agua de una pila en la Aldea de San Francisco y agua del Río Yeguare). En el caso de los ensayos con agua sintética que se realizaron el procedimiento a seguir fue el siguiente:

- Se siguieron los mismos pasos para la preparación del agua sintética No. 2., utilizando agua purificada (Aguazul ®) sometida a autoclavación.
- Se prepararon 4 alícuotas y un control de 500 ml cada una con la solución a una turbiedad conocida. Para cada una de estas muestras se aplicó únicamente la semilla triturada con testa.
- Cada alícuota se inoculó con una carga conocida de bacterias coliformes proveniente del efluente de la laguna de oxidación primaria de la producción de cerdos de la Escuela Agrícola Panamericana (1ml a una concentración de aproximadamente 25,000 UFC ml^{-1}).
- Se tomaron muestras de esta mezcla antes y después de la aplicación de *M. oleifera* (procedimiento anteriormente descrito) para los conteos de bacterias, por medio de los métodos filtración de membrana con m-ColiBlue® como medio de cultivo y mediante Petrifilm 3M® como método de verificación adicional.
- En el caso del agua de las comunidades no se realizó ninguna inoculación ni tratamiento adicional y se aplicó de igual manera la semilla con testa en la dosis óptima según su turbiedad inicial.

Validación del método en comunidades piloto.

En una etapa final y después de haber obtenido las dosificaciones óptimas para los rangos mencionados se llevaron a cabo dos talleres en las comunidades de El Suyate, y en la comunidad de El Carboncito. Estas comunidades se seleccionaron debido a los problemas de turbiedad en el agua de sus fuentes particularmente en la época lluviosa (La comunidad de El Suyate se abastece del Río Neteapa).

Estos talleres se impartieron con el propósito de hacer demostraciones de la aplicación de la semilla con las dosis óptimas encontradas, conocer las reacciones de amas de casa ante el nuevo método de clarificación del agua propuesto, y conocer *a priori* el grado de aceptación del mismo.

CAPÍTULO 3

Resultados y Discusión

Caracterización de la Semilla de M. oleifera

El análisis proximal de la semilla revela un alto contenido protéico y graso, concentrado mayormente en el endosperma, y de carbohidratos concentrados en la testa de la semilla. El endosperma contiene un 39% de contenido graso (un 5% más que semillas estudiadas en procesos de coagulación en Africa Central por Ndabigengesere *et al*, 1994). Esto es un factor importante en la consideración de la semilla como una fuente alternativa de aceite vegetal junto con su uso en la clarificación del agua.

Tabla 1. Resultados del análisis proximal de la semilla de *M. oleifera*.

	Semilla con Testa	**Endosperma**	
	Concentración %	Concentración %	Método de referencia
Humedad	6,66	5,15	AOAC 964.22
Masa Seca	93,34	94,85	AOAC 964.22
Carbohidratos*	32,55	16,96	21CRF101.9[1]
Proteína*	26,23	33,00	AOAC 960.52
Grasa*	29,12	39,23	AOAC 920.85
Cenizas*	3,43	3,41	AOAC 925.51
Fibra cruda*	2,01	2,25	AOAC 962.09

* Valores con base húmeda
* Límite de detección para todos los valores=0.1

Moringa en la reducción de la turbiedad

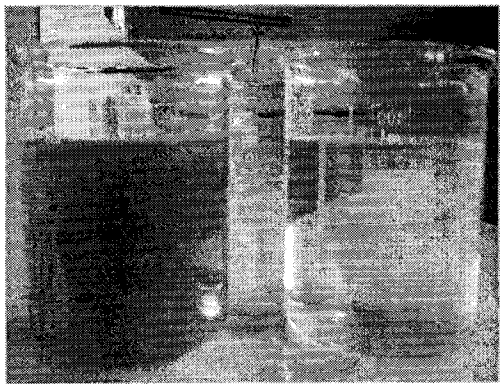


Figura 6. Frasco izquierda: Agua de La Laguna, Maraita, Francisco Morazán. Turbiedad inicial: 214 UNT. Frasco derecha: Agua tratada con 0.3 g L^{-1} de semilla de Moringa oleífera. Turbiedad final: 4.01 UNT. Foto: E.Núñez, Octubre 2007.

Se comprobó que la aplicación de la semilla de *M. oleifera* cosechada en el sur de Honduras bajo los distintos tratamientos aplicados es eficiente en la reducción de la turbiedad, obteniéndose las mejores eficiencias en los rangos medios y altos (tb0 > 150 UNT). Durante los diferentes ensayos se logró obtener una eficiencia de hasta 98.92 % en el agua sintética # 2 con una turbiedad inicial de 212 UNT, aplicando 0.1 g L^{-1} de semilla con testa, de 98.96% en agua de la comunidad de Carboncito con una turbiedad inicial de 346 UNT, aplicando una dosis de 0.1 g L^{-1} de semilla diluida en agua, de 98.10% aplicando una dosis de 0.3 g L^{-1} de semilla con testa en agua de la comunidad de La Laguna en el Municipio de Maraita

(Figura 6) y de 98.41% con agua proveniente del Río Neteapa, Morocelí aplicando semilla con testa. A continuación se detallan los resultados obtenidos con las distintas matrices y métodos de aplicación.

Resultados Agua sintética No 1:

A partir de 30 ensayos realizados con el agua sintética No 1 con semillas sin testa y con testa (78 muestras) se obtuvieron eficiencias promedio mayores con semillas con testa que con semillas sin testa y eficiencias mayores en los rangos más altos de turbiedad.

Tabla 2. Eficiencias promedio de la aplicación de M. oleifera al agua sintética No.1

Rango UNT	**Eficiencia promedio (%) con dosis óptimas (n=5 en cada rango)**	
	Semilla con testa	Semilla Sin testa
0-150	83.7	73.0
150.1-300	94.4	90.1
300.1-450	98.0	93.7

Las diferentes formas de aplicación de la semilla de Moringa resultaron en la activación de las propiedades coagulantes de la semilla, sin embargo los resultados demuestran que las mejores eficiencias en la reducción de turbiedad se obtuvieron de la aplicación de la semilla con testa y sin ningún tratamiento o manipulación posterior.

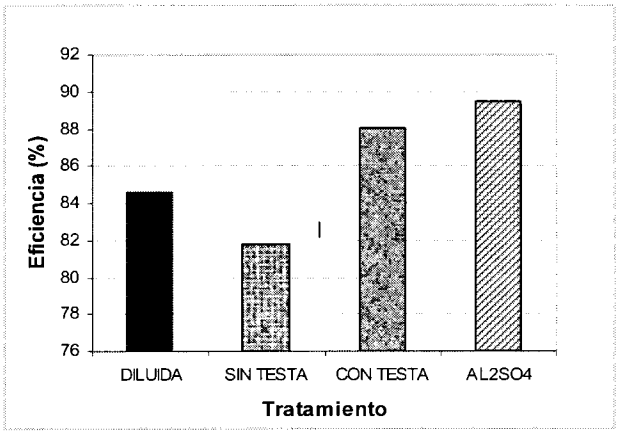
Resultados Agua sintética No 2:

A partir de los resultados de ensayos con 208 muestras preparadas con el agua sintética 2 con las diferentes combinaciones de dosis y métodos de aplicación se obtuvieron eficiencias de reducción de hasta 98.92 con semilla con testa en una dosis de 0.1 g L^{-1}. Las menores eficiencias se obtuvieron con el extracto de la semilla con testa aplicada a las muestras

Tabla 3. Resumen de los datos estadísticos generales (Agua Artificial No. 2)

		Eficiencia (%)					
	n	**Media**	**Desviación Estándar**	**Valor Mínimo**	**Trat. y Dosis**	**Valor Máximo**	**Trat. y Dosis**
Todos los ensayos	236	71.65	32.44	0.47	Control tb0=212	98.92	Con testa 0.1 g L^{-1}
Sin $Al_2(SO_4)_3$	177	70.73	32.31	0.47	Control tb0=212	98.92	Con testa 0.1 g L^{-1}
Sin Control	188	85.99	16.35	21.60	Diluída 0.3 g L^{-1}	98.92	Con testa 0.1 g L^{-1}
Solo M.0 Sin Control	141	84.8	16.99	21.60	Diluída 0.3 g L^{-1}	98.92	Con testa 0.1 g L^{-1}

Figura 7. Promedios de eficiencia por tratamiento (n=47)



En el rango bajo de turbiedad (0 – 150 UNT) se analizaron 64 muestras[6]. Las eficiencias en reducción se encontraron entre 21.6% hasta un 94.8%. Esta última eficiencia se obtuvo con una dosis de 0.2 g L^{-1} de semilla con testa aplicada directamente a la muestra (Tb0=118, Tbf=6.2). La eficiencia promedio dentro de este rango para todos los tratamientos fue de 70.52%, la más baja de los rangos en estudio (M_e=78.5, σ=20.4) y la dosis óptima fue de 0.2 g L^{-1} de semilla con testa. La turbiedad residual en función de la dosis aplicada puede observarse en las figuras que acompañan los cuadros a continuación.

Tabla 4: Turbiedad final y eficiencia en el rango bajo
(Turbiedad Inicial Promedio = 97.2 UNT, n=4)

Dosis g L^{-1}	Tratamiento							
	Semilla con testa		Semilla sin testa		Semilla diluida		$Al_2(SO_4)_3$	
	tbf UNT	%	tbf UNT	%	tbf UNT	%	tbf UNT	%
(Control)	85.2	9.8	85.2	9.8	85.2	9.8	85.2	9.8
0.10	97.2	76.8	18.8	71.9	97.2	77.4	18.8	77.8
0.20	15.5	84.5	29.3	77.1	19.1	74.1	11.2	84.5
0.30	11.2	64.8	57.8	67.3	24.1	57.2	13.5	81.2
0.40	32.6	72.2	41.3	68.5	36.1	67.8	14.8	77.5

Las mediciones de pH y Conductividad realizadas dentro de este rango demuestran que no existen alteraciones significativas de ninguno de estos parámetros como respuesta a las aplicaciones de *M. oleifera*, contrario a lo observado con la aplicación de $Al_2(SO_4)_3$. El pH

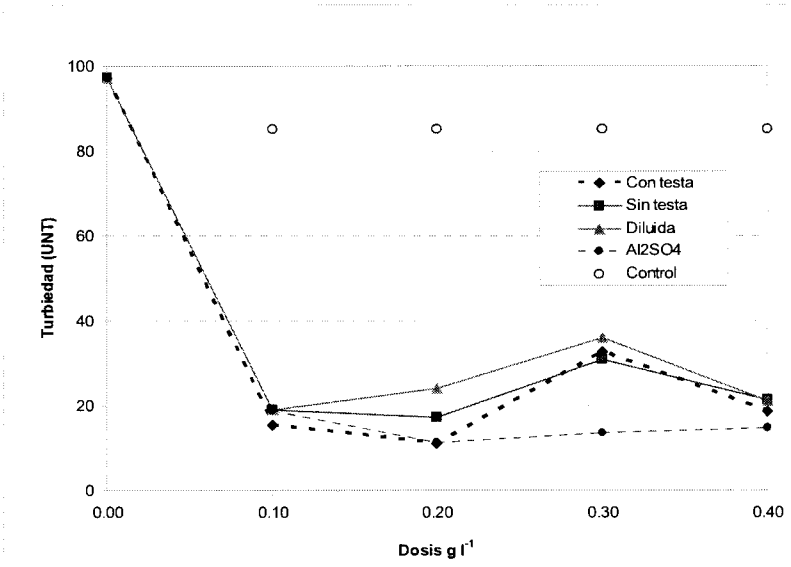
[6] Para este rango y los subsiguientes los datos obtenidos con Sulfato de Aluminio no se incorporan dentro de las estadísticas presentadas debido a que su inclusión en el estudio cumple solamente propósitos de demostrativos de comparación.

212254

inicial promedio de las muestras tratadas con Moringa fue de 6.1 y el pH final promedio fue de 6.0, mientras que el pH final promedio con el tratamiento de $Al_2(SO_4)_3$ fue de 4.8.

Por otro lado la conductividad inicial promedio de las muestras tratadas con Moringa fue de 43.4 µS/cm y la conductividad final promedio fue de 44.1µS/cm, mientras que la conductividad final promedio con el tratamiento de $Al_2(SO_4)_3$ fue de 121.8 µS/cm.

Figura 8: Resultados promedio de turbiedad (Rango bajo)

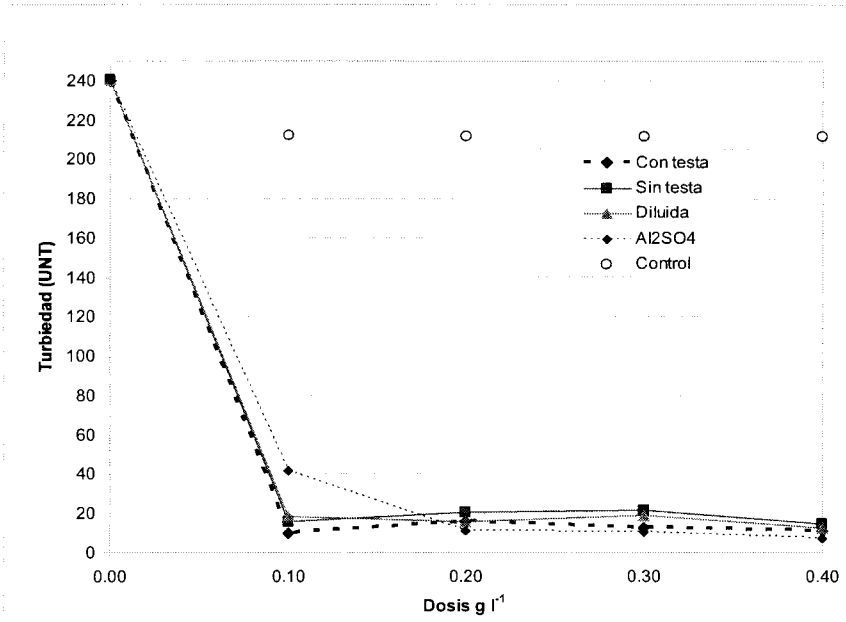


En el rango medio de turbiedad (150.1 - 300 UNT) se analizaron 64 muestras. Las eficiencias en reducción se encontraron entre un 80% hasta un 98.9% (Tb0=212, Tbf=2.3) obteniéndose esta última eficiencia con una dosis de 0.2 g L^1 de semilla con testa aplicada directamente a la muestra (Tb0=212, Tbf=2.3). La eficiencia promedio dentro de este rango fue la más alta de los rangos en estudio (92.9%) y la dosis óptima promedio fue de 0.1 g L^{-1} de semilla con testa (M_e=94.7, σ=4.34).

Tabla 5: Turbiedad final y eficiencia en el rango medio
(Turbiedad Inicial Promedio = 240 UNT, n=4)

Dosis g L^{-1}	**Tratamiento**							
	Semilla con testa		Semilla sin testa		Semilla diluida		$Al_2(SO_4)_3$	
	tbf UNT	%	tbf UNT	%	tbf UNT	%	tbf UNT	%
(Control)	212	12.1	212	12.1	212	12.1	212	12.1
0.10	10	95.6	16	92.8	18	91.8	42	79.0
0.20	16	93.4	20	90.5	16	93.0	11	95.0
0.30	13	94.2	22	90.0	19	91.4	10	95.4
0.40	11	94.9	15	93.4	13	94.4	7	96.9

Figura 9: Resultados promedio de turbiedad (Rango medio)



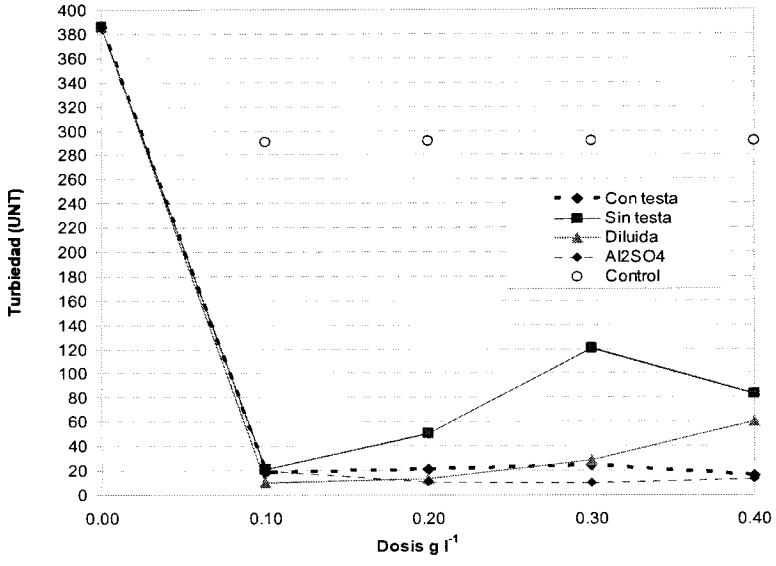
Las mediciones de pH y conductividad realizadas son consistentes con los del rango bajo. El pH inicial promedio de las muestras tratadas con Moringa fue de 6.2 y el pH final promedio fue de 6.3, mientras que el pH final promedio con el tratamiento de $Al_2(SO_4)_3$ fue de 4.9. Por otro lado la conductividad inicial promedio de las muestras tratadas con Moringa fue de 47.65 µS/cm y la conductividad final promedio fue de 48.7 µS/cm, mientras que la conductividad final promedio con el tratamiento de $Al_2(SO_4)_3$ fue de 148.9 µS/cm.

En el rango alto de turbiedad (300.1 - 450 UNT) se analizaron 64 muestras y se obtuvieron eficiencias entre 25% y 98.3%. La mejor eficiencia en reducción de turbiedad (98.3%) con una dosis de 0.2 g L^{-1} de semilla con testa aplicada directamente a la muestra (Tb0=366, Tbf=5.97). La eficiencia promedio dentro de este rango fue de 90.12 % y la dosis óptima promedio fue de 0.1 g L^{-1} de semilla con testa (M_e=94.8, σ=12.56).

Tabla 6: Turbiedad final y eficiencia en el rango alto
(Turbiedad Inicial Promedio = 386 UNT, n=4)

DOSIS g L^{-1}	Tratamiento							
	Semilla con testa		Semilla sin testa		Semilla diluida		$Al_2(SO_4)_3$	
	tbf UNT	%	tbf UNT	%	tbf UNT	%	tbf UNT	%
(Control)	291	24.6	291	0.0	291	0.0	291	0.0
0.10	18	95.2	21	94.3	10	97.3	20	94.6
0.20	21	94.5	50	87.3	14	96.4	11	97.1
0.30	24	93.7	121	69.9	29	92.9	10	97.3
0.40	16	95.9	83	79.0	61	84.9	13	96.6

Figura 10: Resultados promedio de turbiedad (Rango alto)



Las mediciones de pH y Conductividad realizadas dentro de este rango son consistentes con las observaciones en los rangos anteriores y demuestran que no existen alteraciones significativas de ninguno de estos parámetros como respuesta a las aplicaciones de *M. oleifera*, contrario a lo observado con la aplicación de $Al_2(SO_4)_3$. El pH inicial promedio de las muestras tratadas con Moringa fue de 5.7 y el pH final promedio fue de 5.9, mientras que el pH final promedio con el tratamiento de $Al_2(SO_4)_3$ fue de 4.5. Por otro lado la conductividad inicial promedio de las muestras tratadas con Moringa fue de 47.6 µS/cm y la conductividad final promedio fue de 57µS/cm, mientras que la conductividad final promedio con el tratamiento de $Al_2(SO_4)_3$ fue de 222.6 µS/cm.

Finalmente se realizó un análisis de varianza (ANOVA)[7] para identificar diferencias entre los distintos tratamientos y dosificaciones empleadas. Mediante un modelo que explica la eficiencia en la reducción de turbiedad en función de la turbiedad inicial, el tratamiento y la dosis empleada se encontró que tanto la dosis como la turbiedad inicial de la muestra a tratar determinan significativamente la eficiencia en la reducción de la turbiedad ($p<.0001$ para ambas variables). El tipo de tratamiento, por otro lado no es significativamente determinante en la eficiencia ($p= 0.84$). El modelo resultó en un $p<.0001$, un $R^2=0.85$ con un intervalo de confianza del 95% y un coeficiente de variación de 20.2. Adicionalmente se utilizó la prueba de Tukey y se identificó que las medias de los tratamientos de Moringa no son significativamente diferentes.

Lo anterior, nos hace pensar que el método de aplicación de la semilla no tiene un impacto crítico en la reducción de la turbiedad siempre y cuando la dosis es la adecuada. Sin embargo, con base en los presentes resultados es factible recomendar el método con la eficiencia promedio más baja y la menor dispersión en sus resultados, que en este caso correspondió a la semilla sin testa. En lo que respecta a la dosis, la mejor reducción en la turbiedad se encontró en los

Resultados Agua de las Comunidades de la Región de Yeguare
Comunidad de Carboncito, San Antonio de Oriente.

Se realizaron tres ensayos (42 muestras) con agua de la comunidad de El Carboncito con turbiedades de 42, 214 y 346 UNT. Se aplicaron las mismas dosis de Moringa y los tres métodos de aplicación antes mencionados, junto con un tratamiento comparativo de Sulfato de aluminio. La eficiencia promedio con los diferentes tratamientos de *M. oleifera* fue de 65%. La mejor eficiencia obtenida fue de 98.9% con una dosis de semilla diluida de 0.1 g L^{-1}. Las eficiencias más bajas en las tres muestras analizadas se obtuvieron con las dosis de 0.4 g L^{-1}, lo cual nos indica que la adición de dosis mayores a la dosis óptima encontrada puede resultar en eficiencias considerablemente menores.

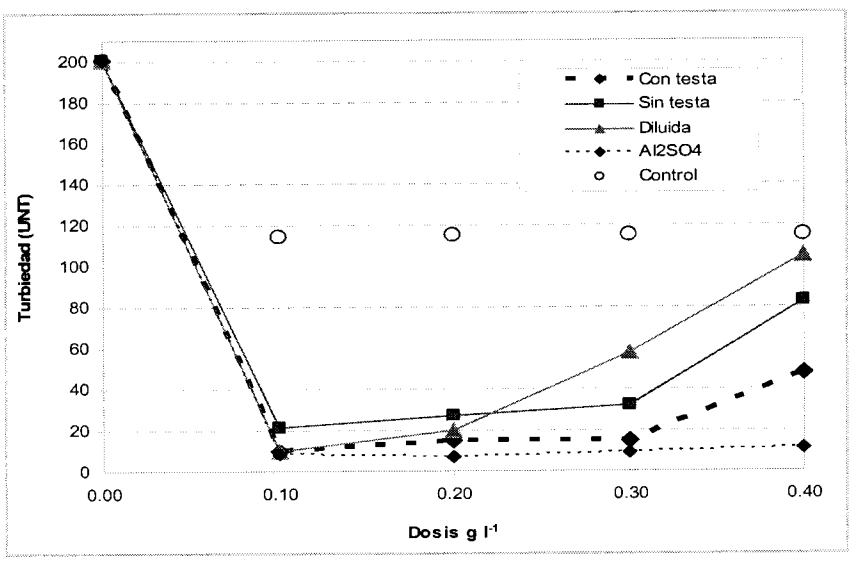
Al igual que con los resultados obtenidos con muestras artificiales, se observa que la aplicación de *M. oleifera* en cualquiera de sus tratamiento no representa alteraciones significativas para la conductividad y el pH de las muestras tratadas, contrario a los resultados obtenidos con el Sulfato de Aluminio.

[7] Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el procedimiento PROC GLM del programa estadístico SAS 9.1®

Tabla 7: Turbiedad final eficiencia
Comunidad de El Carboncito (Turbiedad Inicial Promedio = 200 UNT, n=3)

Dosis g L^{-1}	Tratamiento							
	Semilla con testa		Semilla sin testa		Semilla diluida		$Al_2(SO_4)_3$	
	tbf UNT	%	tbf UNT	%	tbf UNT	%	tbf UNT	%
(Control)	115	23	115	23	115	23	115	23
0.10	9.8	86	21.5	65	10.3	82	8.3	88
0.20	15.3	90	27.1	76	20.1	78	6.8	94
0.30	15.3	85	32.4	69	57.6	60	9.6	91
0.40	48.0	47	82.6	30	104.7	12	11.7	91

Figura 11: Resultados promedio de turbiedad (El Carboncito)



Resultados del Río Neteapa, Morocelí

Durante una primera etapa de esta investigación se utilizó como matriz de estudio el agua del Río Neteapa, el cual es la principal fuente de abastecimiento de agua para el casco urbano del Municipio de Morocelí. Se realizaron 11 ensayos con cuatro dosificaciones de la semilla de Moringa y se llevaron a cabo monitoreos diarios de turbiedad en el Río Neteapa. Mediante el monitoreo diario de turbiedad *in situ* se encontró una turbiedad máxima en el río de 198 UNT.

Los ensayos con Moringa resultaron en eficiencias en la reducción de la turbiedad de hasta 98.4% con una dosis de 0.2 g L^{-1} (Tb0= 355 UNT). Al igual que con el agua artificial y el agua de El Carboncito, las mejores eficiencias fueron obtenidas con turbiedades mayores de 150 UNT[8] y mediante la aplicación de semilla con testa.

Resultados de Nitratos y Fosfatos en agua.

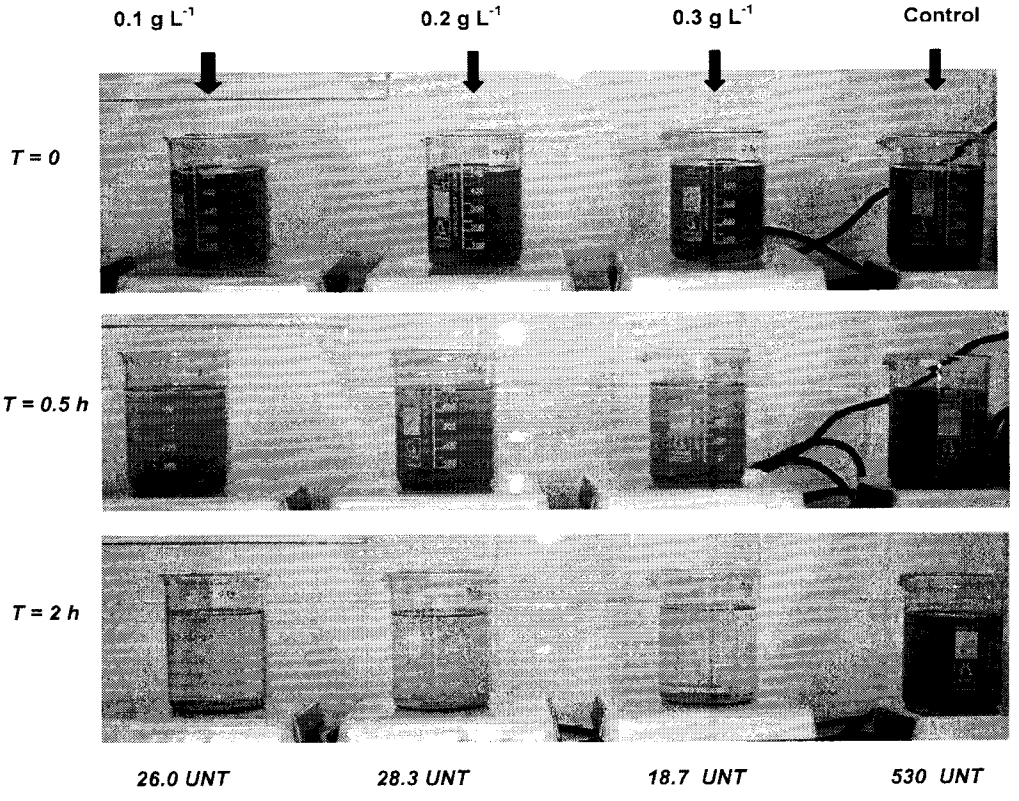
Se realizaron en total 48 análisis para nitratos y fosfatos en el agua sintética No. 2 y 48 análisis en muestras de agua tratadas de la comunidad de El Carboncito. Los resultados demuestran que existe muy poca alteración de las concentraciones de estos nutrientes entre las muestras antes y después del tratamiento con *M. oleifera* en nitratos, tanto con el agua sintética No. 2, como con el agua de El Carboncito.

En lo que respecta a Nitratos, el mayor cambio observado en agua sintética fue un incremento de 0.03 ppm de NO_3^{-2} al aplicar 0.4 g L^{-1} de semilla sin testa. En el agua de la comunidad de El Carboncito el mayor incremento fue de 0.11 ppm al aplicar la misma dosis de semilla sin testa. El incremento no es significativo para considerarlo como un riesgo directo a la salud y se mantiene muy por debajo de los 50 ppm (valor máximo permisible según la Normativa nacional).

El mayor incremento en cuanto a fosfatos fue de 1.41 ppm en agua sintética No.2 (PO_4^{-3} inicial= 0.44 ppm) y de 1.96 ppm en agua de El Carboncito (PO_4^{-3} inicial = 0.79 ppm). Estos resultados son esperados por la adición de materia orgánica de la semilla y por si mismos, tampoco pueden ser considerados como una amenaza para la salud. Sin embargo, este aumento de nitratos y fosfatos son indicadores de un incremento paralelo del carbono orgánico total (COT) en las muestras tratadas con Moringa, y por lo tanto un aumento de la posibilidad de formación de subproductos de la desinfección al utilizar cloración como una alternativa de desinfección posterior.

[8] *Los resultados del Río Neteapa formaron parte del Proyecto de Graduación de Eliana Núñez, estudiante de Zamorano, 2007.*

Figura 12: Ensayo de coagulación con M. oleifera con testa
(Agua manipulada del Río Neteapa para fines demostrativos)
Turbiedad Inicial = 570 UNT



Resultados de Análisis Bacteriológicos

Los resultados de análisis bacteriológicos antes y después del tratamiento con *M. oleifera* en muestras sintéticas con turbiedades iniciales de **94.2** y **164** UNT respectivamente demuestran una reducción significativa tanto de bacterias coliformes termotolerantes como de otras coliformes en el agua analizada.

Junto con la reducción en turbiedad, ya ampliamente discutida, en estas muestras se observaron reducciones en bacterias coliformes desde **210** UFC/ 10 ml hasta valores "No detectables"/10 ml, mientras que en los controles se observó, por el contrario un crecimiento bacteriano que puede explicarse como resultado de la agitación y el tiempo de espera.

Figura 13: Resultados de Análisis bacteriológicos con agua artificial inoculada
A: Muestra de control antes (t=0) B: Muestra de control (t=2 horas)
C: Réplica 2 antes de la aplicación de M. oleífera (t=0)
D: Réplica 2 después de la aplicación de M. oleifera (t=2 horas)

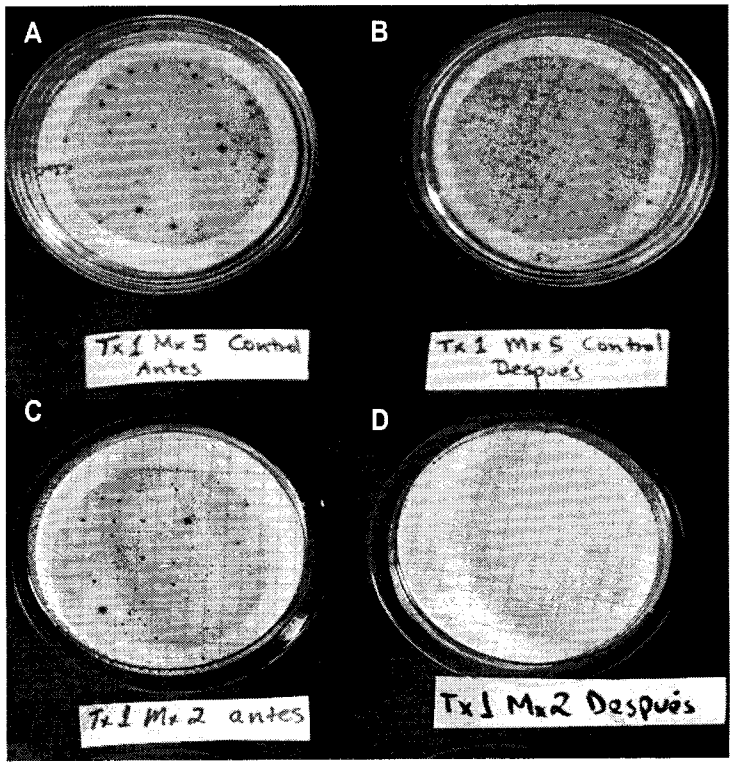


Tabla 8: Resultados de análisis bacteriológicos en muestras artificiales y naturales de la región

	ANTES (UFC 10 ml^{-1})		DESPÚES (UFC 10 ml^{-1})	
	Coli. Totales	C.Termo-tolerantes	Coli. Totales	Coli. Termo-tolerantes
Muestra 1 (TB0=94 UNT)				
Rep 1	72	2	1	1
Rep 2	210	13	ND	ND
Rep 3	92	2	ND	ND
Rep 4	107	4	ND	ND
Ctrl.	115	10	174	27
Muestra 1 (TB0=164 UNT))				
Rep 1	230	15	1	ND
Rep 2	80	3	1	ND
Rep 3	115	6	1	ND
Rep 4	66	2	1	ND
Ctrl.	73	2	81	15

	ANTES (UFC 10 ml^{-1})		DESPÚES (UFC 10 ml^{-1})	
	Coli. Total	Coli.Termo tolerantes	Coli. Totales	Coli. Termo tolerantes
Agua Río Yeguare				
Rep 1	DNC	DNC	160	10
Rep 2	DNC	DNC	270	ND
Rep 3 (Control)	DNC	DNC	DNC	30
Rep 4	DNC	DNC	250	40
Pila domiciliaria (Sn Fco)				
Rep 1	DNC	DNC	DNC	DNC
Rep 2	DNC	DNC	DNC	DNC
Rep 3 (Control)	DNC	DNC	DNC	DNC
Rep 4	DNC	DNC	DNC	DNC

ND= No Detectado, DNC= Demasiado numerosos para contar

Con las muestras de las comunidades, sin embargo, los resultados fueron variables y mostraron una reducción en coliformes termotolerantes en el agua de la Aldea El Carboncito y del Río Yeguare, sin embargo no se detectó esta reducción en el caso de otras bacterias coliformes. Por otro lado, al utilizar agua de una pila domiciliaria de la Aldea de San Francisco, no se observó una reducción de carga bacteriana para ninguna de las bacterias en estudio. En este último caso, y con base en observaciones *in situ*, se puede suponer que la carga de bacterias inicial era demasiado elevada para obtener un cambio significativo al solamente reducir la turbiedad y las bacterias asociadas a las partículas en suspensión.

Lo anterior sugiere que aunque otros estudios han identificado propiedades anti-microbianas en la semilla de Moringa, estas propiedades junto con la reducción de la

BIBLIOTECA WILSON POPENOE
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
APARTADO 93
TEGUCIGALPA HONDURAS

turbiedad no son suficientes para tratar agua con cargas bacterianas elevadas, muy frecuentes del contexto rural hondureño. Una investigación más profunda es necesaria para dar continuidad a estos hallazgos.

Resultados de los Talleres Comunitarios

Figura 14. Taller sobre el uso de Moringa para el pre-tratamiento del agua. Comunidad de El Suyate. 7-12-2007. Foto R. Guzmán.

Los talleres contaron en total con la participación de 54 personas de las comunidades (27 de la comunidad de El Carboncito y 27 de la comunidad de El Suyate) en su mayoría amas de casa y mujeres jóvenes entre 15 y 50 años de edad.
Los talleres incluyeron una jornada de capacitación sobre contaminación del agua y la importancia del tratamiento del agua previo a su consumo.

Entre las apreciaciones de las participantes se manifestaron las siguientes:

- Existen necesidades sentidas de alternativas de reducción de la turbiedad del agua para sus actividades domésticas. Este es una problemática identificada por ellas durante la época lluviosa de cada año.
- Se percibió mucha receptividad e interés de aplicar el método de tratamiento del agua con Moringa (Todas las participantes solicitaron semillas para su siembra), así como sobre la silvicultura de la especie (forma del crecimiento, época de cosecha, tipo de suelo y requerimientos de riego y clima), así como sobre la altura de la planta, cantidad de semillas que produce la planta y otros usos de la planta, entre otros.
- Existe interés de utilizar y sembrar las semillas en sus hogares durante la temporada de lluvias y por ello las participantes solicitaron apoyo de la EAP para iniciar viveros locales de Moringa.

Cabe mencionar que los talleres se realizaron a finales de la época de lluvias, en la que la problemática en mención no es tan sentida y por lo tanto se hará necesario el seguimiento con estas amas de casa una vez que inicien las lluvias con el fin de conocer la adopción del método.

CAPITULO 4

Conclusiones

- La *Moringa oleifera* cosechada en el sur de Honduras es un coagulante biodegradable, eficiente y no tóxico que puede ser utilizado, de cualquiera de las formas estudiadas en la presente investigación, en el pre-tratamiento de agua destinada a usos domiciliarios en zonas rurales hondureñas.
- La eficiencia en la coagulación de la *M. oleifera* en estudio es dependiente de la turbiedad inicial del agua a ser tratada. Las mejores eficiencias fueron obtenidas con aguas de turbiedad inicial mayor a 150 UNT con los diferentes tratamientos aplicados. Lo anterior comprueba resultados de otras investigaciones realizadas (Muyibi y Evison, 1994. Narasiah et al, 2002 entre otros) con respecto a la reducida eficiencia del coagulante de *M. oleifera* en turbiedades iniciales bajas.
- Las dosis con la que se obtuvo las mejores eficiencias en la reducción de turbiedad fueron las de 0.1 y 0.2 g L^{-1}. Con raras excepciones se obtuvieron mayores reducciones con la aplicación de 0.4 g L^{-1}, lo que permite la recomendación de la aplicación de estas primeras dosis para aguas a ser tratadas con turbiedades entre 150 y 450 UNT. Una dosis de 0.2 g L^{-1} equivale al peso de una semilla con testa por cada litro de agua a ser tratada.
- Todos los tratamientos estudiados resultan en una eficiencia significativa en la reducción de turbiedad, muy comparables con las obtenidas mediante la aplicación de Sulfato de Aluminio. Sin embargo, y contrario a los hallazgos de otros autores (Ndabigengesere y Narasiah, 1997) los mejores resultados fueron obtenidos con el tratamiento de semilla con testa aplicado directamente al agua. Lo anterior demuestra que aunque la mayor cantidad de proteínas coagulantes se encuentran en el endosperma, la interacción entre la testa y el endosperma en el agua a ser tratada, resulta en una mayor activación del coagulante de la misma. Esto representa una ventaja para la promoción del método en Honduras, puesto que implica un menor esfuerzo y tiempo invertido en pelar y procesar las semillas antes de su aplicación.
- La aplicación de las semillas de *M. oleífera* cosechadas en el sur de Honduras, contrario a la aplicación de Sulfato de Aluminio, un coagulante tradicional utilizado en el país, no afecta el pH o la conductividad del agua tratada. Esto es consistente con los hallazgos anteriores de la semilla en estudio (Ndabigengesere y Narasiah, 1997 y otros).
- Los resultados bacteriológicos demuestran que la *M. oleifera* al actuar como coagulante puede contribuir a reducir la carga de bacterias asociadas a partículas en suspensión. Sin embargo, en el contexto de la región del Yeguare, y muchas otras zonas rurales hondureñas, expuestas a cargas bacterianas muy elevadas, esta reducción no es significativa y por lo tanto la aplicación de Moringa debe ser utilizada como un pre-tratamiento del agua para consumo.

Recomendaciones

- Se recomienda a instituciones involucradas en la promoción de alternativas para el tratamiento de agua en zonas rurales de Honduras, suscitar la aplicación de la semilla de *M. oleifera* como una alternativa para la reducción de la turbiedad, particularmente en aquellas comunidades que se abastecen de fuentes superficiales y cuya turbiedad durante la época lluviosa alcanza valores superiores a las 100 UNT.
- Es importante recordar que la remoción de las partículas en suspensión es un pre-tratamiento del agua y por lo tanto otros procesos posteriores de desinfección (ebullición, SODIS, etc.) deben ser aplicados previo al consumo para garantizar la eliminación de organismos patógenos.
- La aplicación de la semilla de *M. oleifera* deberá realizarse bajo las dosis recomendadas. Los resultados obtenidos durante la presente investigación demuestran que la adición de una mayor cantidad de la semilla no rendirá una mejor eficiencia y por el contrario puede adicionar materia orgánica en exceso y resultar en un detrimento de las características organolépticas del agua a ser consumida.
- Es importante dar seguimiento a las comunidades a las cuales se les ha presentado esta alternativa de tratamiento, con el fin de conocer aquellos factores culturales, de hábitos y preferencias que pudieran favorecer o desfavorecer la adopción de esta alternativa en el país.
- Se recomienda a otras instancias académicas a realizar otras investigaciones para continuar evaluando las propiedades coagulantes de la semilla de *M. oleifera*, tanto en el tratamiento de agua para consumo, como en el tratamiento de aguas residuales, reducción de la dureza y metales en el agua.
- Se recomienda realizar investigaciones de los otros usos de esta planta (valores nutricionales, propiedades medicinales, usos forrajeros etc.) y cómo estos pueden ser aprovechados en el contexto local, de manera que la planta pueda ser promovida como una especie de usos múltiples.
- Se hace necesario realizar un estudio de la distribución geográfica de esta planta en el país. Esto ayudaría a conocer los factores climáticos que podrían determinar su adaptabilidad, con el fin de identificar sitios en los que desde ya se pueda promover esta alternativa de tratamiento de aguas.
- Se recomienda la elaboración de material informativo de fácil comprensión como apoyo en la divulgación de esta alternativa de tratamiento domiciliar del agua que explique paso a paso el proceso desde la corta de la semilla hasta la aplicación y el manejo posterior del agua tratada.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. 1999. Water Quality and Treatment. A Handbook of Community Water Supplies. 5th edition. United States.

BHUPTAWAT, HITENDRA, G.K. FOLKARD Y S.CHAUDHARI. 2007. Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating *Moringa oleifera* seed coagulant. Journal of Hazardous Materials. 142:1-2, 477-482.

BRATBY J. 2006. Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater treatment. 2nd ed. IWA Publishing. 407 pp.

FOLKARD, G.K. SUTHERLAND, J.P. & GRANT, W.D. 1993, Natural coagulants at pilot scale; In Pickford, J. ed Water, Environment and Management; Proc 18th WEDC Conference, Kathmandu, Nepal, 30 Aug-3 Sept 1992, Loughborough University Press, pp 51-54.

FOLKARD, G.K, SUTHERLAND, J.P AND SHAW, R. 1999. Water clarification using moriga seed coagulant. Technical Brief No. 60 The Worth of Water: Technical briefs on health, water, and sanitation pp 15-18.

GABROW W., J.L. SLABBERT, W.S. MORGAN, S.A.JAHN. 1985. Toxicity and mutagenicity evaluation of water coagulated with Moringa oleifera seed preparations using fish and Ames Salmonella assays. Water SA 11(1): 9-14.

GHEBREMICHAEL K.A, K.R. GUNARATNA, HONGBIN HENRIKSSON, HARRY BRUMER AND GUNNEL DALHAMMAR. 1995. A simple purification and activity assay of the coagulant protein from Moringa oleifera seed. Water Research, Volume 39, Issue 11. p. 2338-2344

KATAYON, S., M.J. MEGAT MOHD NOOR, M. ASMA, L.A. ABDUL GHANI. 2006. Effects of Storage conditions of Moringa oleifera seeds on its Performance in Coagulation. Bioresource Technology, 97(13): 1455-1460.

MATAKA, L. M., HENRY, E. M. T., MASAMBA, W. R. L. AND SAJIDU, S. M. 2006. Lead remediation of contaminated water using Moringa stenopetala and Moringa oleifera seed powder. Int. J. Environmental Science and Technology. 3 (2): 131-139.

MUYIBI Y EVISON, 1995. Moringa oleifera seeds for softening hardwater. Water Resources. 4:1099-1105.

MUYIBI S. Y L. EVISON. 1995. Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with Moringa oleifera seeds. Water Resources 49(12): 2689 – 2695.

NANTACHIT, K. 2006. Antibacterial activity of the Capsules of Moringa oleifera Lamk. CMU Journal. 5(3):365 – 368.

NDABIGENGESERE A., K. SUBBA NARASIAH AND B.G. TALBOT. 1995. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera. Water Research, Volume 29, Issue 2, p. 703-710.

NUÑEZ, E. 2007. Validación de la efectividad de la semilla Moringa oleifera como coagulante natural del agua, destinada al consumo humano, Morocelí, Honduras. Proyecto de graduación. Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Zamorano.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2004. Análisis de Situación Honduras 2004. [En línea] Disponible en: http://www.paho-who.hn/honduras2004.pdf [citado Octubre 2007].

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN (FAO). 2002. Relaciones tierra-agua en cuencas hidrográficas rurales. Boletín de Tierras y Agua de la FAO Actas del taller electrónico organizado por la Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. Roma 9. p. 89

PARROTTA, J. A. 1993. Moringa oleifera Lam., resedá, horseradish tree, Moringaceae, horseradish family. U.S. D.A., Forest Service, Int. Inst. Trop. Forestry Publ. SO-ITF-SM-61: 1-6

PINHEIRO P., A. FONTENELLE, J. FERREIRA, A. ROQUE, A. COSTA, M. GORETTI. 2007. Water extrac of Moringa oleifera seeds: a toxicological approach. Pesquisa Médica. 1(4): 45-53. [En línea] Disponible en:www.fisfar.ufc.br/pesmed/index.php/repm/article/viewFile/168/161 [citado en Febrero 2008].

SANAA. 2002. Estudios de Calidad de Agua a Nivel Nacional, Superficial y Subterránea. Departamento de Aseguramiento de la Calidad. Manuscritos no publicados.

SUTHERLAND, J.P., FOLKARD, G.K. & GRANT, W.D. 1990, Natural coagulants for appropriate water treatment - a novel approach, Waterlines, April, 8, (4), pp 30-32.

SUTHERLAND, J.P, G. FOLKARD, R. AL KHALILI. 1995. Preliminary investigations of alternative coagulat/floculant dosing regimes to treat the Morton Jaffrey source water. Report to Construction Associates s.n.t. s.p.