

Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de las aguas

Iván Mendoza¹, Nola Fernández², Gretty Ettiene^{3*} y Altamira Díaz²

¹Departamento de Química, Ciclo Básico, Facultad de Ingeniería.

²Departamento de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería.

³Laboratorio Ambiental, Instituto para la Conservación del Lago de Maracaibo (ICLAM).
Maracaibo-Venezuela.

Recibido: 02-12-98. Aceptado: 25-04-2000

Resumen

En este trabajo se evaluó la eficiencia de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de aguas crudas sintéticas con valores de turbidez entre 7 y 49 NTU. Se estudiaron los parámetros turbidez, color, pH y alcalinidad. Los resultados indican que el extracto acuoso de *Moringa* utilizado en el proceso de coagulación a dosis entre 10 y 20 ppm remueve la turbidez de 49, 29, 20, 15, 11 y 7 NTU a valores iguales o por debajo de los establecidos por las Normas de Calidad del Agua de Venezuela (5 NTU) en el proceso de sedimentación. Los valores de turbidez del agua filtrada oscilaron entre 0,5 y 1,5 NTU. El color disminuyó de 30, 25 y 15 UC a valores entre 5 y 10 UC. Se observó una variación mínima en el pH y la alcalinidad de las aguas tratadas con *Moringa oleifera*.

Palabras clave: Coagulante; *Moringa oleifera*; potabilización.

Use of *Moringa oleifera* as coagulant in the water treatment

Abstract

In this research the *Moringa oleifera* efficiency was evaluated as a coagulant to water treatment using synthetic raw water with 7 and 49 NTU turbidity. The parameters turbidity, color and alkalinity were studied. The results indicated that the *Moringa* aqueous extract used in the process of coagulation for dose between 10 and 20 ppm to removes turbidity from 49, 29, 20, 15, 11, and 7 NTU to equal values or under the established ones by the Water Quality Criteria of Venezuela (5 NTU) during the sedimentation process. The values of turbidity obtained for filtered water were between 0.5 and 1.5 NTU. The color values decreased from 30, 25 and 15 UC to 5 and 10 UC. A minimum variation was observed in the pH and alkalinity from waters tried with *Moringa oleifera*.

Key words: Coagulant; *Moringa oleifera*; water treatment.

Introducción

El agua cruda proveniente de fuentes superficiales o subterráneas contiene una

serie de partículas suspendidas y disueltas que deben ser removidas en la potabilización, ya que le confieren al agua turbidez,

* Autor para la correspondencia. Teléfonos: (061) 307217, 307215. Fax: (061) 643709. E-mail: cid.iclam@gov.ve

color, sabor y olor, haciendo que sea poco atractiva y desagradable para el consumidor. En este proceso de potabilización el coagulante comúnmente utilizado es el sulfato de aluminio, el cual ha demostrado ser un buen coagulante en lo que a remoción de turbidez y color se refiere (1, 2). Sin embargo, el uso de las sales de aluminio debe ser controlado ya que podrían dejar en el agua tratada cierta cantidad de aluminio residual, que puede ser significativa si se considera el volumen de agua que se consume diariamente y los problemas de salud que puede ocasionar (3). El aluminio residual en el agua de consumo humano puede ser peligroso para la salud ya que puede afectar gravemente el sistema nervioso central (3, 4). Estudios realizados indican que existe relación entre los agentes etiológicos del mal de Alzheimer y la concentración de aluminio en el organismo humano, afirmando además, que ocasiona envejecimiento prematuro (3, 4).

En los últimos años se ha incrementado el interés hacia ciertos desórdenes típicos presentados por los pacientes con insuficiencia renal crónica y sometidos a tratamientos periódicos de hemodiálisis; los dos síndromes más prominentes que pueden sufrir estos individuos son la encefalopatía dialítica y osteodistrofia osteomaláca dialítica los cuales están relacionados con la intoxicación por aluminio (3).

La Planta de Tratamiento Alonso de Ojeda ubicada en Maracaibo, Venezuela, posee un caudal de 8000 L/seg e incurre en gastos diarios en el orden de los 2.677.248 bolívares por el uso de sulfato de aluminio como coagulante a razón de 83.000 Bs/ton, para tratar agua con valores de turbidez de 20 NTU (5). Considerando el alto costo que implica la potabilización y, más aún, el residual de aluminio que pudiera presentar el agua tratada, se justifica la evaluación de la efectividad de especies vegetales como coagulantes en la potabilización. Una de estas especies es la *Moringa oleifera*, que ha sido

usada con éxito como coagulante en el tratamiento de aguas en otros países (6-8). Por otra parte, esta planta está ampliamente distribuida en las zonas de bosque seco tropical y se reproduce con facilidad, inclusive, en los lugares en los cuales la reproducción de otras especies es limitada. En consecuencia, se estudia como una posible alternativa de coagulación en sustitución del sulfato de aluminio.

En este estudio se determinó la dosis óptima del coagulante extraído de *Moringa oleifera* para la disminución de diferentes valores de turbidez del agua cruda, evaluando su eficiencia en el tratamiento de potabilización. Se midieron los parámetros turbidez, color, pH y alcalinidad del agua antes y después del tratamiento; el Test de Jarro se aplicó para determinar la dosis del coagulante de *Moringa oleifera* óptima para disminuir la turbidez a valores iguales o menores que el establecido por las Normas de Calidad de Agua de Venezuela (9). Este test es un procedimiento práctico que se aplica para simular en el laboratorio las etapas del proceso de potabilización de las aguas (coagulación, floculación, sedimentación y filtración), con la ventaja de que los resultados obtenidos pueden ser extrapolados a los sistemas de tratamiento convencionales (10, 11).

Por otra parte se comparó las eficiencias de remoción del coagulante de *Moringa oleifera* y Sulfato de Aluminio y los costos generados por su utilización.

Materiales y Métodos

Evaluación de los parámetros físicoquímicos del agua cruda (sin tratar) en la Planta Alonso de Ojeda de la Ciudad de Maracaibo

Se hizo un estudio de la base de datos correspondiente al período 1991-1995 de la Planta de Tratamiento Alonso de Ojeda ubicada en la zona noroeste de la ciudad de Maracaibo y se extrajo la información de los valores de turbidez, color, alcalinidad y pH con

Tabla 1
Estudio de la base de datos de la Planta de Tratamiento Alonso de Ojeda, de Maracaibo, Venezuela, en el período 1991-1995

Parámetro	Valores
Fisicoquímico	(Modas, mínimo y máximo)
Turbidez (NTU)	7, 11, 15, 20, 29, 49
Color (UC)	20, 20, 30, 30, 30, 30
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	80-110
pH	6,90-8,15

mayor frecuencia de repetición diaria (moda). Esta base de datos se analizó para estimar los valores de turbidez de las aguas tratadas en la planta y considerarlos para la preparación de las aguas crudas sintéticas a usarse en los ensayos de coagulación con *Moringa oleifera*. La Tabla 1 muestra las modas de turbidez y color y los valores mínimo y máximo de alcalinidad y pH extraídos de la información analizada de la Planta de Tratamiento Alonso de Ojeda.

Preparación del agua cruda sintética

El agua cruda sintética se preparó tomando para la dilución agua de la Planta de Tratamiento Alonso de Ojeda, con la finalidad de reproducir sus características fisicoquímicas y biológicas y garantizar la representatividad de las muestras. Se realizaron quince muestreos en la Planta, captando en cada uno 100 L de agua cruda que fueron acondicionadas en el laboratorio para obtener los siguientes valores de turbidez: 7, 11, 15, 20, 29 y 49 NTU, de color: 20 y 30 UC, de alcalinidad: 80 y 110 mg/L y de pH: 6,90 y 8,15.

El agua cruda de la Planta de Tratamiento presentó valores de turbidez bajos (5-7 NTU), que facilitó la preparación del agua sintética (7-49 NTU) con adición de solución de Caolín, preparada al 5% en agua.

La disolución de Caolín (Baker) se preparó 24 horas antes de su uso para garantizar la hidratación de las partículas (12).

Recolección de semillas de *Moringa oleifera*

Las semillas de *Moringa oleifera* se recolectaron en diversas zonas, especialmente en el noroeste de la Ciudad de Maracaibo, donde la planta se reproduce en abundancia, facilitando su obtención. Se trasladaron al laboratorio aproximadamente 500 cápsulas secas, sin uniformidad de tamaño, provenientes de varias plantas, para extraer los cotiledones de las semillas y pulverizarlos finamente en un molino industrial (Grindring Mill) hasta obtener aproximadamente 700 g de harina de color blanco amarillento, de aspecto bastante grasoso y de olor particular.

Extracción de la grasa

La semilla de *Moringa oleifera* posee, aproximadamente, un 40% de su peso de un tipo de grasa (13, 10) que no posee propiedades coagulantes y deja un residual lipídico en el agua tratada (6). Por esta razón se eliminó la grasa de la harina a través de un proceso de extracción, empleando 400 mL de éter de petróleo (Baker) y 200 mL de alcohol isopropílico (Baker), siguiendo el procedimiento descrito por Jahn y colaboradores (10). Se hicieron cuatro extracciones con éter de petróleo (100 mL por extracción) y dos con alcohol isopropílico (100 mL por extracción). Después de la extracción se obtuvo, aproximadamente, 500 g de harina blanca de olor agradable.

Extracción de la parte coagulante activa de la semilla

La extracción del componente activo de la semilla se hizo según la metodología empleada por Ndabigengesere y colaboradores (12) quienes reportan que por cada g de *Moringa* disuelto (1%) en agua se extrae, aproximadamente, 1000 ppm de la proteína catiónica responsable de la coagulación de las partículas coloidales presentes en el agua.

Resultados y Discusión

El Test de Jarro permitió determinar la dosis del coagulante *Moringa oleifera* óptima para llegar a valores de turbidez iguales o menores que el establecido por las Normas de Calidad del Agua de Venezuela (9). Se estableció como dosis óptima la que permitió obtener la menor turbidez con la menor concentración del coagulante.

La Figura 1 presenta la dosis óptima de *Moringa oleifera* para cada uno de los valores de turbidez estudiados, se aprecia que para una turbidez inicial baja (7 NTU) el mejor resultado lo arroja la dosis de coagulante de 20 mg/L, con la que se obtiene la menor turbidez decantada y filtrada (5,2 y 1,5 NTU, respectivamente); pero a partir de 11 y hasta 20 NTU la dosis que más reduce la turbidez (tanto decantada como filtrada) es la de 15 mg/L, excepto en el caso de 15 NTU de reducción filtrada, en el cual la dosis de coagulante de *Moringa* de 20 mg/L reduce la turbidez a 0,3 NTU, que es el menor valor

obtenido en todos los casos. De 29 NTU en adelante es la dosis de 10 mg/L de *Moringa* la que promueve un mejor proceso de reducción de turbidez, lográndose llegar en la decantación a un valor de 4,9 NTU en el agua y en la filtración hasta 0,8 NTU. Estos resultados muestran un comportamiento similar a los obtenidos por Ndabigengesere y colaboradores (12), quienes reportan que la dosis óptima del coagulante disminuyó proporcionalmente con el incremento de la turbidez para valores entre 200 y 1500 NTU.

En el caso específico de la turbidez filtrada, se observa que en todos los casos la turbidez del agua disminuyó a valores por debajo de 1,5 NTU, lo cual indica que la turbidez presente en el agua decantada se debe a partículas suspendidas de gran tamaño que no sedimentaron, pero quedaron retenidas en el filtro. Estos resultados garantizan que el agua al salir de la planta de tratamiento, después de utilizar *Moringa oleifera* como coagulante, presente valores de turbidez que oscilen entre 0,5 y 1,5 NTU, para

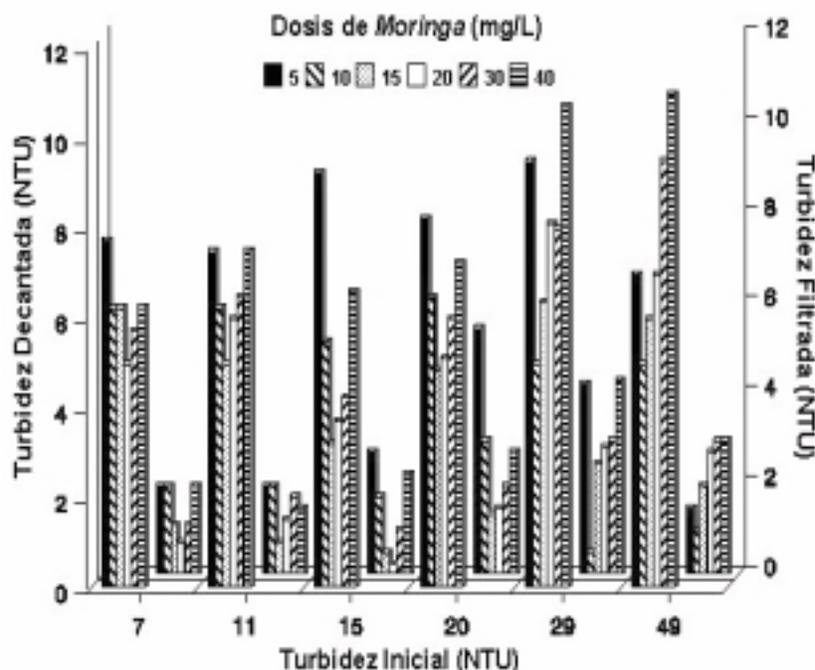


Figura 1. Variación de la turbidez de aguas crudas por efecto de la aplicación de distintas dosis de *Moringa oleifera*.

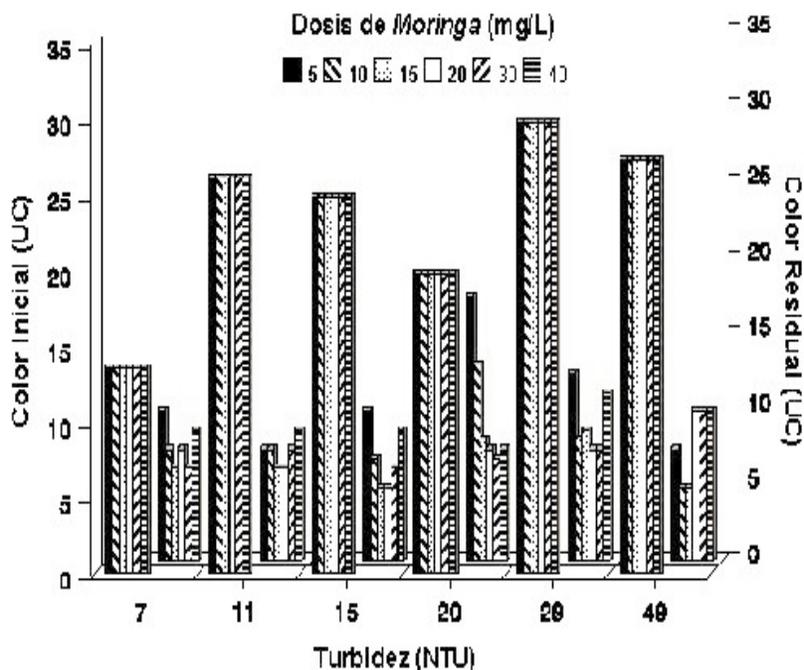


Figura 2. Variación del color de aguas crudas de diferentes turbiedades por efecto de la aplicación de distintas dosis de *Moringa oleifera*.

muestras de agua con turbiedad inicial en el intervalo de 7,0 y 49,0 NTU.

La Figura 2 muestra la variación del color con la adición de las diferentes dosis del coagulante. Se aprecia que todas las dosis de *Moringa* remueven el color inicial a valores iguales o menores que los establecidos por las Normas de Calidad de Agua de Venezuela, 15 UC (9). Los valores presentados corresponden a unidades de color sin filtrar, es decir, color aparente. Puede observarse que para una turbiedad inicial de 15 y 49 NTU el menor valor de color residual (5 NTU) se logra con una dosis de *Moringa* de 15 y 20 mg/L y de 10 y 15 mg/L, respectivamente. Estos resultados son similares a los presentados por Jahn *et al.* (7, 10), quienes demostraron que al disminuir la turbiedad presente en el agua, los valores de color disminuyeron significativamente.

Los valores de alcalinidad encontrados en las aguas crudas de la Planta Alonso de Ojeda se ubicaron en el intervalo de 80 y 110

mg de CaCO_3 /L. Estos valores resultaron óptimos para la actividad coagulante de la *Moringa oleifera*.

La Figura 3 presenta los valores de alcalinidad obtenidos para cada una de las dosis del coagulante. Se aprecia que la variación de alcalinidad en las aguas tratadas fue muy baja, a pesar que los valores óptimos obtenidos para cada valor de turbiedad son iguales o menores que los de la Norma de Calidad del agua de Venezuela (250 mg de CaCO_3 / L).

En la Figura 4 se muestra la variación de pH en las muestras de agua cruda con la adición de las diferentes dosis del coagulante *Moringa oleifera*. Se puede observar que no hubo una variación significativa en el pH, excepto para la turbiedad inicial de 20 NTU, con la que se obtuvo una ligera disminución de los valores de pH iniciales al adicionar las diferentes dosis del coagulante *Moringa oleifera*. Es importante destacar que en los procesos de potabilización de las aguas crudas

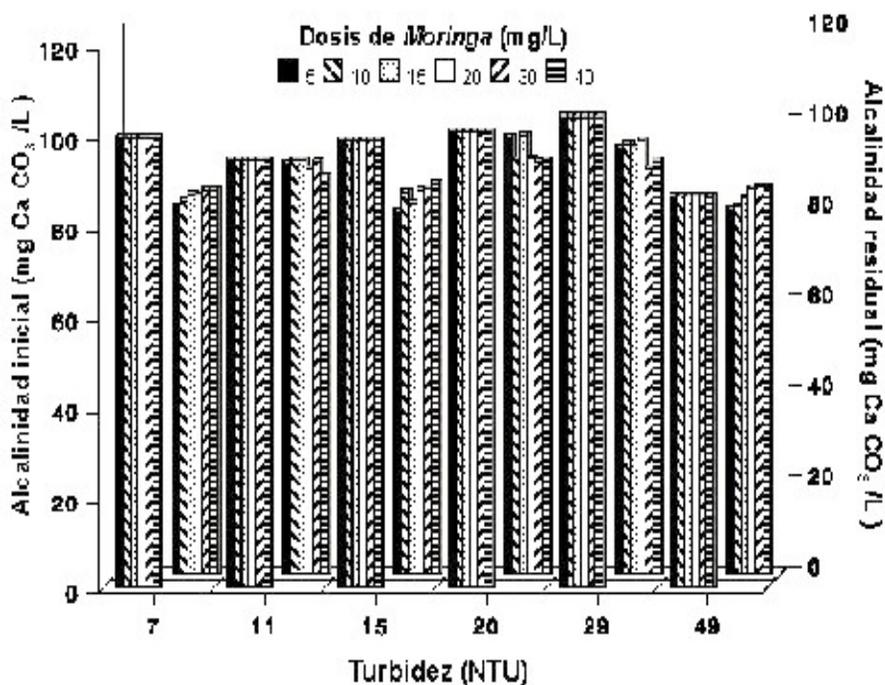


Figura 3. Variación de la alcalinidad de aguas crudas de diferentes valores de turbidez por efecto de la aplicación de distintas dosis de *Moringa oleifera*.

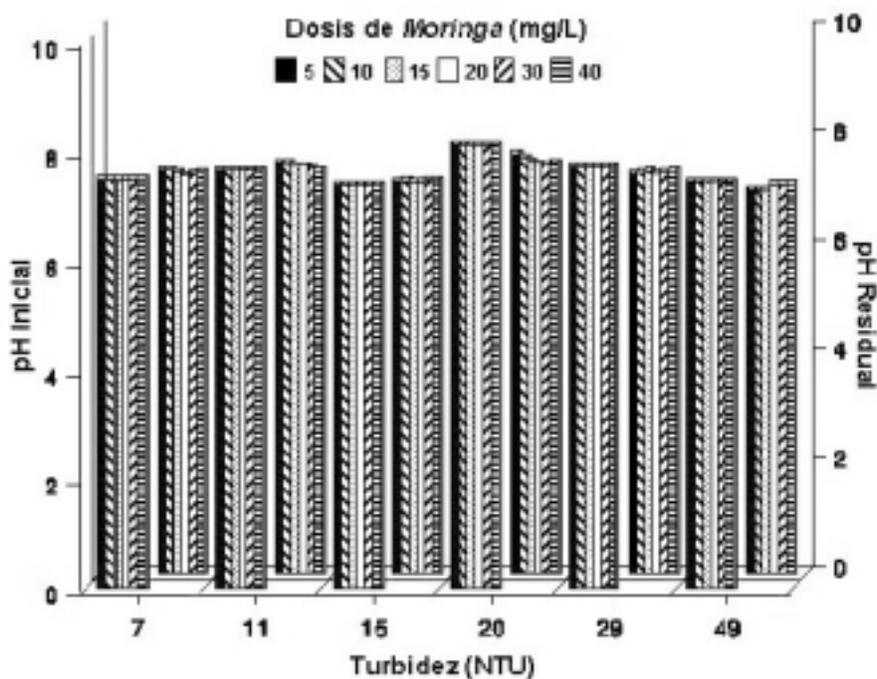


Figura 4. Variación del pH de aguas crudas de diferentes turbiedades por efecto de la aplicación de distintas dosis de *Moringa oleifera*.

se requiere que los valores iniciales de pH y alcalinidad se encuentren en el intervalo óptimo, para que el coagulante presente mayor efectividad (8, 12). El intervalo de pH en el cual resultó más efectivo el coagulante *Moringa* es 7,00-8,00.

La efectividad de los coagulantes *Moringa oleifera* y sulfato de aluminio se comparó para turbiedades iniciales de 7, 11, 15, 20, 29, y 49 NTU. Para cada coagulante se aplicó la dosis óptima. Las dosis aplicadas de ambos coagulantes fueron similares para cada valor de turbidez inicial a excepción de la muestra con turbidez inicial de 20 NTU que requirió 35 mg/L de sulfato de aluminio y 15 mg/L de *Moringa oleifera*. La Tabla 2 demuestra que la efectividad en la remoción de turbidez de ambos coagulantes es equiparable, sin embargo, la *Moringa* pudiera presentar ventajas sobre el sulfato de aluminio ya que estudios realizados (7) han demostrado que al utilizar *Moringa oleifera* no quedan residuos tóxicos en el agua tratada que pudieran afectar el organismo humano.

Estos resultados avalan a la *Moringa oleifera* como una posible alternativa natural en la potabilización de las aguas, ya que garantiza no sólo lograr con éxito el proceso de coagulación, sino también, la ausencia de residuos. Sin embargo, al hacer un análisis

de costo para la coagulación de $6,912 \times 10^8$ litros de agua por día no se obtuvo ventaja económica de la *Moringa oleifera* sobre el sulfato de aluminio.

Los cálculos correspondientes al caudal de agua que se potabiliza diariamente en la planta de tratamiento Alonso de Ojeda (Tabla 2) indican que los costos de tratamiento con *Moringa oleifera* son excesivamente altos en comparación con los del sulfato de aluminio. Estos costos tan altos se deben al empleo de éter de petróleo y alcohol isopropílico para la eliminación de la grasa presente en las semillas. El costo que genera la utilización de papel de filtro en la etapa de extracción de la grasa resultó insignificante.

Si bien es cierto que los costos de producción del constituyente activo del coagulante de *Moringa oleifera* son elevados, es también necesario destacar que la *Moringa*, además de ser un coagulante altamente efectivo, como se ha demostrado en este trabajo, presenta propiedades desinfectantes (6, 7, 10), siendo capaz de eliminar efectivamente microorganismos presentes en las aguas crudas (coliformes totales y fecales), por otra parte, como ya se ha dicho, no deja residuos tóxicos como el sulfato de aluminio (3). Todas estas consideraciones validan la potencialidad de esta especie vegetal en el

Tabla 2
Comparación de la Efectividad y los Costos Generados por Tratamiento de los Coagulantes *Moringa Oleifera* y Sulfato de Aluminio

Turbidez Inicial (NTU)	Dosis Óptima de <i>Moringa Oleifera</i> (mg/L)	Porcentaje de Remoción (%)	Costo del Tratamiento (Bs/Día)	Dosis Óptima de $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	Porcentaje de Remoción (%)	Costo del Tratamiento (Bs/Día)
7	20	29	$6,62 \times 10^7$	20	30	$1,6 \times 10^6$
11	15	54	$4,96 \times 10^7$	12	60	$9,2 \times 10^5$
15	15	78	$4,96 \times 10^7$	10	85	$7,7 \times 10^5$
20	15	73	$4,96 \times 10^7$	35	77	$2,7 \times 10^6$
29	10	83	$3,31 \times 10^7$	12	79	$9,2 \times 10^5$
49	10	90	$3,31 \times 10^7$	5	87	$3,8 \times 10^5$

tratamiento de las aguas, razones por las cuales se debe seguir investigando, especialmente en lo relacionado al establecimiento de un procedimiento de extracción de la grasa más económico.

Conclusiones

1. El uso de *Moringa oleifera* como coagulante natural disminuye los valores de turbidez inicial de 7, 11, 15, 20, 29 y 49 NTU a valores iguales o menores que los establecidos por las Normas de Calidad del Agua de Venezuela (5 NTU)

2. Las dosis de *Moringa* estudiadas disminuyeron los valores de color inicial de 15 y 30 UC a 5 y 8 UC, respectivamente.

3. *Moringa oleifera* resultó un coagulante efectivo y es una posible alternativa para la potabilización de las aguas.

4. El proceso de coagulación utilizando *Moringa oleifera* como coagulante resultó costoso en comparación con el Sulfato de Aluminio al realizar un análisis de costos para un caudal de $6,912 \times 10^8$ L de agua/día.

Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento a Hidrológica del Lago (HIDROLAGO), por la colaboración prestada para realizar este trabajo, al Instituto para la Conservación del Agua (ICA), a Luis Sandoval, por su excelente ayuda en el tratamiento de los datos experimentales, y al personal del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de La Universidad del Zulia (LISA).

Referencias Bibliográficas

1. CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS). **Teoría, diseño y control de los de los procesos de clarificación del agua**, Lima (Perú), pp. 85-623. 1983.
2. AMIRTHARAJAH A., O'MELIA C. **Coagulación Process: destabilization, mixing y flocculation**, Chapter 6. pp. 269-365, 1989.
3. ROMERO R. **Transferencia de metales en pacientes sometidos a hemodiálisis en hospitales de Maracaibo**, Universidad del Zulia, Facultad Experimental de Ciencias, Maracaibo (Venezuela), pp. 98, 1989.
4. MILLER R.G.; KOPFLER F.C., STROBER J.A. **J Am Wat Wks Assoc** 76:54-91, 1984.
5. RIVERO E.C.A. Hidrológica del Lago (HIDROLAGO). **Manual de Tratamiento de Aguas**, 1997.
6. MUYIBI S., EVISON L. **Wat Res** 29(12): 2689-2695, 1995.
7. JAHN S. **J Am Wat Wks Assoc** 80: 43-50, 1988.
8. KIRCHMER C.A., CASTRO M. **Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo**, Cap. 4. Editorial Limusa, pp. 79-379, 1990.
9. **Gaceta Oficial de Venezuela** No. 34.892. Normas sanitarias de calidad de agua potable, 29/01/1992.
10. JAHN S.A., DIRAR H. **Water S A Pretonia Sudáfrica** 5(2): 90-97, 1989.
11. BENEFIELD L.D. **Process chemistry for water and wastewater treatment**, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey (USA), pp. 420, 1992.
12. NDABIGENGESERE A., NARASIAH S. **Wat Res** 29: 703-710, 1995.
13. PRICE M. The *Moringa* tree. [Http://www.xc.org/echo/thmoring.htm](http://www.xc.org/echo/thmoring.htm), 1993.