

**EFICIENCIA DE LAS SEMILLAS DE *MORINGA*  
*OLEIFERA* COMO COAGULANTE ALTERNATIVO EN LA  
POTABILIZACIÓN DEL AGUA**

YAXCELYS CALDERA, IVÁN MENDOZA, LIGIA BRICEÑO,  
JUAN GARCÍA Y LORENA FUENTES

*Laboratorio de Investigaciones Ambientales,  
Núcleo Costa Oriental del Lago (LIANCOL), Programa de Ingeniería,  
Universidad del Zulia, Cabimas, Estado Zulia, Venezuela  
yaxcelys@hotmail.com*

*Resumen.* Las semillas de *Moringa oleifera* (Moringaceae) muestran propiedades coagulantes, constituyendo una alternativa para la potabilización de las aguas. En esta investigación se evaluó la eficiencia de las semillas de *M. oleifera* como coagulante natural en la potabilización de aguas sintéticas con valores de turbidez de 75 y 150 NTU. Las muestras de agua, provenientes de la planta de tratamiento Pueblo Viejo, estado Zulia, Venezuela, se acondicionaron agregando caolín hasta alcanzar los valores de turbidez inicial deseados. Los ensayos se efectuaron a escala de laboratorio y se midieron los parámetros turbidez, color, pH y alcalinidad. Las concentraciones de *M. oleifera* aplicadas durante el tratamiento de las aguas sintéticas fueron 300, 400, 500, 600 y 700 ppm. Los resultados demostraron la eficiencia de las semillas de *M. oleifera* para remover la turbidez desde 75 y 150 NTU a valores mínimos de 14,9 y 8,5 NTU, respectivamente. Las concentraciones óptimas del coagulante *M. oleifera* para valores de turbidez inicial de 75 y 150 NTU, fueron de 500 ppm y 400 ppm, respectivamente. Los porcentajes de remoción para dichas concentraciones fueron de 80,1% y 94,3%. El coagulante mostró mayor eficiencia a un valor mayor de turbidez inicial. El proceso de filtración mejoró la eficiencia del coagulante. *Recibido: 03 noviembre 2006, aceptado: 24 abril 2007.*

*Palabras clave:* *Moringa oleifera*, coagulante natural, turbidez, potabilización del agua, concentración óptima.

EFFICIENCY OF *MORINGA OLEIFERA* SEEDS AS AN ALTERNATIVE COAGULANT TO PRODUCE POTABLE WATER

*Abstract.* *Moringa oleifera* seeds (Moringaceae) have coagulant properties, constituting an alternative in producing potable water. We evaluated the efficiency of the seeds as a natural coagulant in the treatment of synthetic waters with initial turbidities of 75 and 150 NTU. Water samples, from Pueblo Viejo treatment plant, Zulia State, Venezuela, were prepared by adding kaolin, to obtain the desired turbidity. The parameters pH, alkalinity, turbidity, and color, were determined on a laboratory scale basis: *Moringa oleifera* concentrations of 300, 400, 500, 600 and 700 ppm were used during the synthetic water treatment. *Moringa oleifera* seeds were efficient at removing turbidity from 75 NTU to 14.9 NTU, and from 150 NTU to 8.5 NTU. Optimum concentrations of *M. oleifera* coagulant were 500 ppm for 75 NTU turbidity (80.1% removal), and 400 ppm for 150 NTU turbidity (94.3% removal). The coagulant was more efficient when initial turbidity was greater; filtration helped improve coagulant efficiency. *Received: 03 November 2006, accepted: 24 April 2007.*

*Key words:* *Moringa oleifera*, natural coagulant, turbidity, potable water, clarification, seeds, optimum concentration.

## INTRODUCCIÓN

Las partículas de arcilla en dispersión, así como las algas o el crecimiento bacteriano constituyen los elementos que aportan la turbiedad al agua, mientras que la descomposición de la materia orgánica imparte el color (Castillo *et al.* 2000). La presencia de estas sustancias orgánicas o minerales no sedimentables causan algunos problemas durante la potabilización (Franceschi *et al.* 2002).

La coagulación es un proceso común en el tratamiento de aguas aplicado para la desestabilización de impurezas coloidales y disueltas, produciendo agregados de flóculos grandes que pueden ser removidos por subsiguientes procesos de filtración/clarificación (Gao *et al.* 2002). Este proceso se lleva a cabo agregando coagulantes, los cuales pueden ser clasificados como inorgánicos, polímeros orgánicos sintéticos y naturales (Okuda *et al.* 2001). Del amplio rango de coagulantes que pueden ser usados para el tratamiento de las aguas, los más comunes son: sulfato férrico, sulfato de aluminio y cloruro férrico (Jiang y Lloyd 2002). Sin embargo, se ha reportado que el aluminio residual presente en las aguas, como resultado del tratamiento con alumbre, está relacionado con el mal de Alzheimer (Stauber *et al.* 1999), producción de

grandes volúmenes de lodo, reacción con la alcalinidad natural presente en el agua y la baja eficiencia en la coagulación de aguas frías. Desventajas similares se han reportado para las sales de hierro y los polímeros sintéticos (Ndabigengesere *et al.* 1995).

En función de lo señalado, se hace necesario evaluar coagulantes y floculantes más efectivos, menos perjudiciales y ambientalmente inocuos para remover la turbidez de las aguas, con la finalidad de sustituir total o parcialmente las sales de hierro y aluminio y los polímeros orgánicos sintéticos. En este sentido, los coagulantes naturales constituyen una alternativa viable porque son usualmente más seguros para la salud.

Recientemente, en Venezuela se han evaluado algunos coagulantes naturales entre ellos el exudado gomoso producido por *Samanea saman* (González *et al.* 2006), la corteza del Cactus *Lefaria* (Martínez *et al.* 2003) y las semillas, sin grasa, de *Moringa oleifera* (Mendoza *et al.* 2000), los cuales han mostrado ser eficientes para la remoción de turbidez.

La familia Moringaceae involucra un solo género de arbustos y árboles cultivados en zonas tropicales. Se ha demostrado que 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 su eliminación (Campos *et al.* 2003). También, se ha evaluado el poder coagulante de las cáscaras y el aceite de las semillas de *M. oleifera* (Muyibi *et al.* 2001). Muyibi y Evison (1999) reportaron sobre la formación y sedimentación del flóculo cuando se trabaja con semillas de *M. oleifera*, mientras que Okuda *et al.* (2001), purificaron el componente activo de *M. oleifera* y evaluaron su efectividad en aguas de baja turbidez. Por otra parte, Muyibi *et al.* (2002) evaluaron el efecto del aceite extraído de las semillas de *M. oleifera* sobre la coagulación de aguas, con turbidez inicial entre 56 y 451 NTU, reportando valores de remoción superiores al 87%.

En los últimos cinco años el agua que llega a la planta de potabilización de Pueblo Viejo, encargada de tratar las aguas que consumen los habitantes de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, ha presentado valores máximos de turbidez de 75 y 150 NTU, haciendo necesario su tratamiento para cumplir con la Normativa Venezolana para agua potable. En esta investigación se evalúa la eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la clarificación de aguas sintéticas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

## PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN COAGULANTE

Las cápsulas de *Moringa oleifera* se recolectaron en diversas zonas de la ciudad de Maracaibo, Venezuela, donde la especie se reproduce en abundancia; luego las cápsulas colectadas (50), de tamaño uniforme, procedentes de diversas plantas, se trasladaron al laboratorio. Posteriormente las semillas se extrajeron de las cápsulas y molieron (molino tradicional) hasta obtener un polvo fino de color blanco amarillento. El polvo fino (2,5 g) se disolvió en 250 mL de agua destilada; la solución se filtró y se utilizó como coagulante. Se prepararon concentraciones de 300, 400, 500, 600 y 700 ppm, a partir de la solución madre obtenida (10.000 ppm) de *M. oleifera*.

## PREPARACIÓN DEL AGUA SINTÉTICA

Las muestras de agua cruda (20 L) se colectaron en el tanque de almacenamiento de la planta de tratamiento Pueblo Viejo, el cual es surtido por Embalse Pueblo Viejo, ubicado en el Parque Nacional de Burro Negro, estado Zulia, Venezuela. Las muestras colectadas se trasladaron al laboratorio y se almacenaron para su posterior caracterización.

El agua sintética se preparó a partir del agua cruda que llega a la Planta, la cual presentaba valores de turbidez y pH por debajo de los valores requeridos en este estudio. El agua se acondicionó agregando una disolución de caolín (grado analítico) al 1% en agua destilada, preparada 24 horas antes de su utilización para garantizar la hidratación de las partículas, y se obtuvieron los valores de turbidez deseados (75 y 150 NTU). Los valores de pH se ajustaron adicionando hidróxido de sodio (0,25% en agua destilada) hasta alcanzar el pH requerido (7,0–8,0).

## PROCESO DE COAGULACIÓN

La evaluación de la coagulación se llevó a cabo utilizando un aparato de Prueba de Jarro modelo JLT6; se agregó 1 L de agua cruda sintética, a cada uno de los vasos de 1.000 mL, tomando uno de estos como patrón. Posteriormente, se procedió a agregar el coagulante, al iniciar el mezclado rápido (100 rpm, 1 min); las diferentes dosis de coagulante (30, 40, 50, 60 y 70 mL) se agregaron en cada vaso usando una pipeta y luego se procedió al mezclado lento (30 rpm, 20 min), para finalizar con la fase de sedimentación (30 min). Los ensayos se realizaron por triplicado ( $25 \pm 1$  °C), para los valores de turbidez inicial de 75 y 150 NTU a las diferentes dosis del coagulante. Los

parámetros físicoquímicos, de cada una de las muestras, se midieron antes y después del tratamiento. Después del proceso de sedimentación, las muestras se filtraron (Whatmann No. 1) con la finalidad de simular el proceso de la planta de tratamiento. Para determinar la concentración óptima se consideró la menor concentración del coagulante que removi6 el mayor valor de turbidez.

#### PARÁMETROS ANALIZADOS

La turbidez, color, alcalinidad y pH de las muestras se determinaron según lo establecido en los métodos estándar (APHA *et al.* 1998). La turbidez se midió en un turbidímetro digital Scientific, Inc. Modelo Micro 100HF, calibrado con estándares de formazina. Para medir la variación de color se empleó un comparador colorimétrico de Hellige No. 605-A, mientras que el pH y la alcalinidad se determinaron en un potenciómetro BOECO tipo BT-500 y mediante una titulación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, respectivamente.

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros físicoquímicos iniciales de las muestras de agua cruda se muestran en la Tabla 1. Debido a que los valores de turbidez (11,6–71,7 NTU) y pH (6,14–6,98) del agua cruda se encontraban por debajo de los valores iniciales requeridos para este estudio, se preparó agua sintética (agregando caolín y regulando el pH con hidróxido de sodio). Los parámetros físicoquímicos del agua sintética utilizada para realizar el proceso de coagulación-floculación, se presentan en la Tabla 2. Los valores de pH se ajustaron entre 7,0 y 8,0, rango más efectivo del coagulante *Moringa oleifera*, mientras que los valores de turbidez oscilaron entre 75 y 150 NTU, intervalo en el cual el agua que llega a la Planta presenta la mayor turbidez, según datos suministrados por Hidrolago.

Tabla 1. Valores iniciales de los parámetros físicoquímicos del agua cruda.

Parámetros Físicoquímicos	Valores iniciales
Turbidez (NTU)	11,6 – 71,7
Color (UC)	5 - 10
pH	6,14 – 6,98
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	60 - 106

En la Figura 1 se muestra el comportamiento de la turbidez residual después del tratamiento con *M. oleifera* a concentraciones de 300, 400, 500, 600 y 700 ppm. Para una turbidez inicial de 75 NTU, el valor mínimo de turbidez residual (14,9 NTU) se obtuvo a una concentración de 500 ppm, mientras que los valores se incrementaron a concentraciones de 600 y 700 ppm. Para la turbidez de 150 NTU, se observó el mismo comportamiento, obteniéndose el valor mínimo (8,5 NTU) a una concentración de 400 ppm y el valor máximo (15,7 NTU) a 700 ppm.

Tabla 2. Valores promedios ( $\pm$  DE) de los parámetros físicoquímicos del agua sintética.

Turbidez inicial (NTU)	Color (UC)	pH	Alcalinidad (mgCaCO <sub>3</sub> /L)
75 $\pm$ 0,0	10 $\pm$ 0,0	7,61 $\pm$ 0,09	80 $\pm$ 7,2
150 $\pm$ 0,0	10 $\pm$ 0,0	7,53 $\pm$ 0,09	64 $\pm$ 5,3

La concentración más baja del coagulante que remueve la mayor cantidad de turbidez, es decir donde se obtuvo el menor valor de turbidez residual, se consideró como la concentración óptima. Las concentraciones óptimas para valores de turbidez inicial de 75 y 150 NTU, corresponden a 500 y 400 ppm, respectivamente. A estas concentraciones se obtuvieron valores de turbidez residual mínimos (14,9 y 8,5 NTU) (Tabla 3). Se observa que al incrementarse la turbidez inicial (Figura 1), las concentraciones óptimas del coagulante y la turbidez residual disminuyen, indicando una mayor eficiencia del coagulante a mayores valores de turbidez inicial. Muyibi y Evison (1995) reportaron que a la concentración óptima de *M. oleifera* la turbidez residual disminuye cuando se incrementa la turbidez inicial, e indicaron que el incremento de las dosis del coagulante *M. oleifera* conduce a revertir las cargas, lo cual lleva a la reestabilización de las partículas desestabilizadas. Por otra parte, después del proceso de coagulación, la turbidez residual no cumple con los valores máximos aceptables exigidos por la Normativa Venezolana para agua potable (Tabla 3), cuyo valor es de 5 NTU (Gaceta Oficial 1998). Es importante destacar que en la planta de tratamiento Pueblo Viejo, el criterio para seleccionar la concentración óptima del coagulante Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> se corresponde

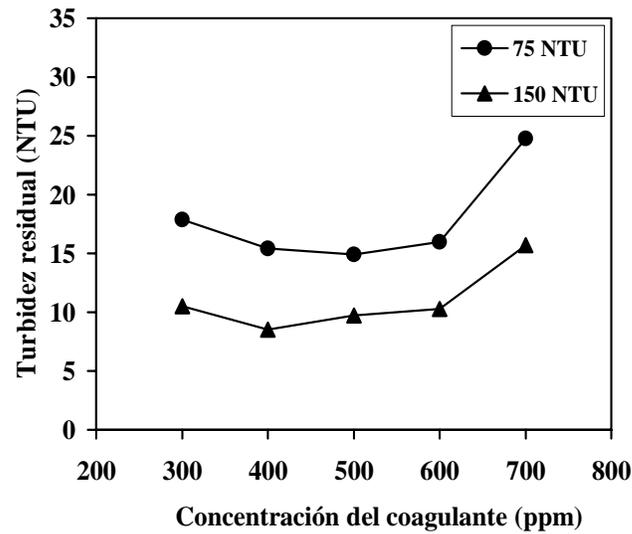


Figura 1. Variación de la turbidez residual para el agua sintética después del tratamiento con *Moringa oleifera*.

con la menor concentración que permita obtener una menor turbidez y menor residual de aluminio, ya que la ingesta en altas concentraciones de este metal es perjudicial para la salud. El coagulante *M. oleifera*, por el contrario, no deja residuos tóxicos en el agua tratada que pudieran afectar el organismo, dado su origen vegetal (Jahn 1988).

Después del proceso de coagulación se removió más del 65% de la turbidez inicial (75 y 150 NTU) presente en el agua sintética, para las concentraciones óptimas del coagulante se obtuvieron porcentajes de remoción de 80,1% y 94,3%, respectivamente; estos resultados indican que las semillas de *M. oleifera* constituyen una alternativa para minimizar la turbidez presente en el agua que llega a la planta de tratamiento de Pueblo Viejo, que ha registrado valores de turbidez de 75 y 150 NTU. Otros investigadores han reportado que, usando diferentes dosis de *M. oleifera* como coagulante en la potabilización de las aguas, con valores bajos, moderados y altos de turbidez inicial, se obtienen porcentajes de remoción superiores al 50% (Muyibi y Okuofu 1995).

Los valores de color para las dos concentraciones óptimas son iguales y menores a los máximos aceptables por la Normativa Venezolana para agua

potable; se alcanzó una disminución de 50% para aguas con color inicial de 10 UC (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros físicoquímicos de las aguas sintéticas tratadas con *Moringa oleifera* (promedio  $\pm$  DE) y los exigidos por la Normativa Venezolana.

Parámetros Físicoquímicos	Valores para la Concentración Óptima		Valor Máximo Aceptable*
	75 NTU	150 NTU	
Turbidez (NTU)	14,9 $\pm$ 3,0	8,5 $\pm$ 2,1	5 (10)
Color (UC)	5 $\pm$ 0,0	5 $\pm$ 0,0	15 (25)
pH	6,7 $\pm$ 0,3	7,5 $\pm$ 0,2	6,5 – 8,5
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	58 $\pm$ 7,0	78 $\pm$ 2,0	-----

\*Gaceta Oficial de la República de Venezuela (13/02/98). Los valores entre paréntesis son aceptados provisionalmente en casos excepcionales, plenamente justificados ante la autoridad sanitaria.

Los valores de pH y alcalinidad, variaron durante el tratamiento del agua sintética con las diferentes concentraciones de *M.oleifera* (Tabla 3), en comparación con los valores presentados antes del tratamiento (Tabla 2). Los valores de alcalinidad variaron en un rango de 58 a 78 mg CaCO<sub>3</sub>/L, mientras que el pH se mantuvo en el rango aceptable para agua potable (6,5–8,5). Estos resultados contrastan con los reportados por Gómez (2002).

El agua que sale de la planta de tratamiento Pueblo Viejo, después del proceso de coagulación, se filtra. Por esta razón se simuló este proceso filtrando las muestras. En la Figura 2 se presenta la variación de la turbidez filtrada con respecto a las concentraciones de *M. oleifera* evaluadas. Los valores mayores se observaron para la turbidez inicial de 150 NTU. Sin embargo, todos los valores obtenidos son menores a 5 NTU, encontrándose dentro de los establecidos por la Normativa Venezolana. Para todas las concentraciones evaluadas los porcentajes de remoción de turbidez superaron el 97,0%. Estos valores evidencian la importancia del proceso de filtración después de la coagulación, cuando se use el coagulante *M. oleifera*, para valores de turbidez inicial de 75 y 150 NTU. Estos resultados son similares a los encontrados por Mendoza *et al.* (2000) quienes reportaron valores de turbidez inferiores a 1,5 NTU al utilizar el coagulante *M. oleifera* para aguas sintéticas, después del proceso de filtración. Este hecho indica que la turbidez presente en el agua sedimentada se debe a partículas suspendidas que no sedi-

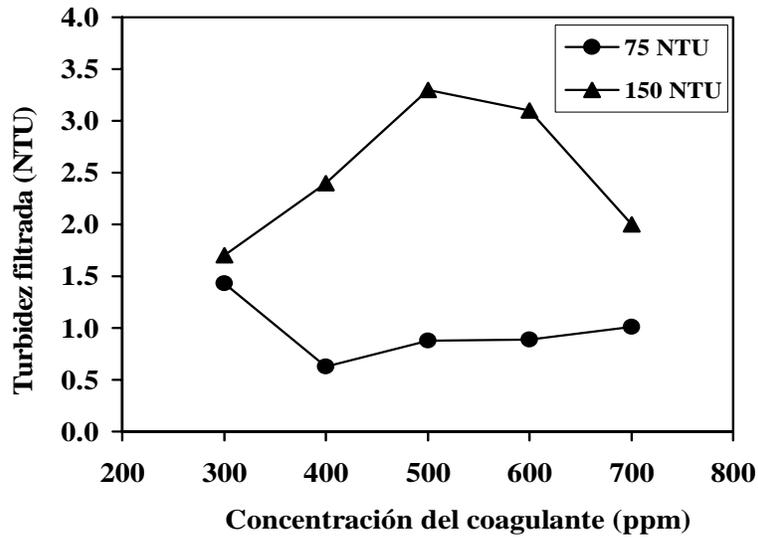


Figura 2. Variación de la turbidez filtrada para el agua sintética después del tratamiento con *Moringa oleifera*.

mentaron en el tiempo establecido en la investigación y sin embargo fueron removidas durante un proceso de filtración.

#### CONCLUSIONES

Las semillas de *Moringa oleifera* representan una alternativa como coagulante durante la potabilización de las aguas con valores de turbidez de 75 y 150 NTU. El coagulante presentó mayor eficiencia a mayores valores de turbidez inicial y después del proceso de filtración.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con financiamiento del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES) y con el aporte de equipos por la Oficina de Planificación del Sector Universitario (OPSU). Los autores agradecen a Hidrolago y a la Planta de Tratamiento Pueblo Viejo por la colaboración.

## LITERATURA CITADA

- APHA, AWWA, WCF. 1998. Standard methods for examination of water and wastewater (18 ed.). Washington, DC, USA, 1207 pp.
- CAMPOS, J., G. COLINA, N. FERNÁNDEZ, G. TORRES, B. SULBARÁN Y G. OJEDA. 2003. Caracterización del agente coagulante activo de las semillas de *Moringa oleifera* mediante HPLC. Bol. Centro Invest. Biol. 37: 35–43.
- CASTILLO, J., N. BRACHO, L. VARGAS, N. ROMERO Y G. ALDANA. 2000. Coagulant selection for water treatment process in plant “C” Maracaibo, Venezuela. Rev. Técnica Fac. Ingeniería Univ. del Zulia 23: 169–178.
- FRANCESCHI, M., A. GIROU, A. CARRO-DÍAZ, M. MAURETTE Y E. PUEECH-COSTES. 2002. Optimisation of the coagulation-flocculation process of raw water by optical design method. Water Research 36: 3561–3575.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE VENEZUELA. 1998. Sobre las Normas Sanitarias de calidad del agua potable. No. 36.395 del 13 de Febrero de 1998, 5 pp.
- GAO, B., H. HAHN Y E. HOFFMANN. 2002. Evaluation of aluminum-silicate polymer composite as a coagulant for water treatment. Water Research 36: 3573–3581.
- GÓMEZ, E. 2002. Desinfección y coagulación del agua potable con el uso de la *Moringa oleifera*. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ingeniería, Univ. del Zulia, Maracaibo, Venezuela, 79 pp.
- GONZÁLEZ, G., M. CHÁVEZ, D. MEJIAS, M. MAS Y. RUBÍ, N. FERNÁNDEZ Y G. LEÓN DE PINTO. 2006. Uso del exudado gomoso producido por *Samanea saman* en la potabilización de las aguas. Rev. Técnica Fac. Ingeniería Univ. del Zulia 29: 14–22.
- JAHN, S. 1988. Using *Moringa oleifera* seeds as coagulants in developing countries. J. American Water Works Assoc. 80: 43–50.
- JIANG, J. Y B. LLOYD. 2002. Progress in the development and use of ferrate (VI) salt as an oxidant and coagulant for water and wastewater treatment. Water Research 36: 1397–1408.
- MARTÍNEZ, D., M. CHÁVEZ, A. DÍAZ, E. CHACÍN Y N. FERNÁNDEZ. 2003. Eficiencia del Cactus Lefaria para su uso como coagulante en la clarificación de las aguas. Rev. Técnica Fac. Ingeniería Univ. del Zulia 26: 27–33.
- MENDOZA, I., N. FERNÁNDEZ, G. ETTIENE Y A. DÍAZ. 2000. Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de las aguas. Ciencia 8: 243–254.
- MUYIBI, S. Y C. OKUOFU. 1995. Coagulation of low turbidity surface water with *Moringa oleifera* seeds. Intern. J. Environ. Studies 48: 263–273.
- MUYIBI, S. Y L. EIVSON. 1995. Optimizing physical parameter affecting coagulation of turbid water with *Moringa oleifera* seeds. Water Research 29: 2689–2695.
- MUYIBI, S. Y L. EIVSON. 1999. Floc settling characteristic of turbid water coagulated with *Moringa oleifera* seeds. Intern. J. Environ. Studies. 56: 483–495.
- MUYIBI, S., M. NOOR, D. ONG Y K. KAI. 2001. *Moringa oleifera* seeds as a flocculant waste sludge treatment. Intern. J. Environ. Studies 58: 185–195.

- MUYIBI, S., M. NOOR, T. LEONG Y L. LOON. 2002. Effects of oil extraction from *Moringa oleifera* seeds on coagulation of turbid water. *J. Environ. Studies* 59: 243–254.
- NDABIGENGESERE, A., S. NARASIAH Y B. TALBOT. 1995. Active agents and mechanism of coagulation of turbid water using *Moringa oleifera* seed. *Water Research* 29: 703–710.
- OKUDA, T., A. BAES, W. NISHIJIMA Y M. OKADA. 2001. Insolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. *Water Research* 35: 405–410.
- STAUBER, J., L. FLORENCE, C. DAVIES, M. ADAMS Y S. BUCHANAN. 1999. Bioavailability of alin alum treatment drinking water. *J. American Water Works Assoc.* 91: 84–93.