



# Eficiencia de la semilla *Moringa Oleífera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú\*

Jhon Jairo Feria Díaz\*\*, Sixto Bermúdez Roa\*\*\*, Ana María Estrada Tordecilla\*\*\*\*

***Efficiency of Moringa Oleífera seed as a natural coagulant  
to remove turbidity from Sinú river's water***

***Eficiência da semente Moringa Oleífera como coagulante  
natural para a remoção da turbidez do rio Sinú***

## RESUMEN

**Introducción.** El río Sinú es la principal fuente de abastecimiento de agua potable en el departamento de Córdoba. Sin embargo, sus niveles de turbidez requieren de coagulación, que utiliza productos químicos costosos. Los coagulantes naturales como la *Moringa Oleífera* (*M. Oleífera*) representan una alternativa sostenible, económica y segura para la potabilización. **Objetivo.** Evaluar la eficiencia de la semilla de *M. Oleífera* como coagulante y sus efectos sobre el pH y la alcalinidad. **Materiales y métodos.** Se realizaron ocho muestreos simples en el río Sinú, entre marzo y abril de 2013. Las semillas de *M. Oleífera* se seleccionaron, descascararon, secaron, molieron y tamizaron en una malla de 250  $\mu\text{m}$  hasta obtener un polvo fino, que luego fue desengrasado usando un equipo de extracción Soxhlet. Se prepararon dosis de coagulante natural desde 2,5 mg/L hasta 30,0 mg/L en solución salina y se aplicaron a cada muestra tomada del río. Se generó un modelo cúbico de superficie de respuesta para evaluar la eficiencia de remoción de turbidez. **Resultados.** Altas eficiencias de remoción de turbidez (>90 %) se lograron con dosis entre 4,5 mg/L y 17,5 mg/L de coagulante natural para turbiedades iniciales

---

\* Artículo producto de la investigación titulada "Eficiencia de la semilla de la planta *Moringa Oleífera* como coagulante natural para la remoción de los niveles de turbidez en el Río Sinú", realizada en la ciudad de Montería, durante el año 2013. \*\*Magíster en Ciencias Ambientales. Docente Interno Facultad de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Montería. Coordinador del Grupo de Investigación CAMHA. \*\*\*Magíster Ciencias Química. Docente Ciencias Básicas, Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Montería. \*\*\*\*Ingeniera Sanitaria y Ambiental, miembro del Grupo de Investigación CAMHA. Correspondencia: Jhon Jairo Feria Díaz, e-mail: jhon.feria@gmail.com

mayores a 90,0 UNT. Sin embargo, para turbiedades iniciales menores a 66,0 UNT, las eficiencias fueron también menores (entre 70 % y 85 %). No se evidenciaron alteraciones significativas en el pH y la alcalinidad luego de los ensayos. **Conclusión.** La *M. Oleifera* es un coagulante eficaz, seguro y económico para la remoción de turbidez del agua cruda del río Sinú.

**Palabras clave:** turbidez, coagulantes naturales, río Sinú, *Moringa Oleifera*.

## ABSTRACT

**Introduction.** Sinú river is the main fresh water supplying source in the Córdoba province, but its turbidity levels require it to be coagulated, and this means costly chemical products. Natural coagulants such as *Moringa Oleifera* (*M. Oleifera*) represent a sustainable, cheap and safe alternative for water purification. **Objective.** To evaluate the *M. Oleifera* seeds as a coagulant and its effects on pH and on the alkalinity. **Materials and methods.** Eight simple samplings were performed at the Sinú river, between March and April 2013. *M. Oleifera* seeds were selected, husked, dried, minced and sifted until a fine powder was obtained. This powder was, then, degreased, by the use of a Soxhlet extraction equipment. The doses of the coagulant were prepared, from 2,5 mg/L to 30,0 mg/L in saline solution and were applied to each sample taken from the river. A cubic response surface model was generated in order to evaluate the turbidity removal. **Results.** High turbidity removal efficiency values (>90 %) were achieved with doses between 4,5 mg/L and 17,5 mg/L of natural coagulant for initial turbidities above 90,0 UNT. Nevertheless, for initial turbidities below 66,0 UNT, efficiency levels were also lower (between 70 % and 85 %). No significant pH and alkalinity alterations were found after the tests. **Conclusion.** *M. Oleifera* is an efficient, safe and economic coagulant to remove turbidity from Sinú river's water.

**Key words:** Turbidity, natural coagulants, Sinú river, *Moringa Oleifera*.

## RESUMO

**Introdução.** O rio Sinú é a principal fonte de abastecimento de água potável no departamento de Córdoba. No entanto, seus níveis de turbidez requerem de coagulação, que utiliza produtos químicos custosos. Os coagulantes naturais como a *Moringa Oleifera* (*M. Oleifera*) representam uma alternativa sustentável, econômica e segura para tornar a água potável. **Objetivo.** Avaliar a eficiência da semente de *M. Oleifera* como coagulante e seus efeitos sobre o PH e a alcalinidade. **Materiais e métodos.** Realizaram-se oito amostragens simples no rio Sinú, entre março e abril de 2013. As sementes de *M. Oleifera* se selecionaram, descascaram, secaram, moeram e peneiraram numa malha de 250 µm até obter um pó fino, que depois foi desengraxado usando uma equipe de extração Soxhlet. Prepararam-se dose de coagulante natural desde 2,5 mg/L até 30,0 mg/L em solução salina e se aplicaram a cada mostra tomada do rio. Gerou-se um modelo cúbico de superfície de resposta para avaliar a eficiência de remoção de turbidez. **Resultados.** Altas eficiências de remoção de turbidez (>90 %) conseguiram-se com dose entre 4,5 mg/L e 17,5 mg/L de coagulante natural para turbiedades iniciais maiores a 90,0 UNT. No entanto, para turbiedades iniciais menores a 66,0 UNT, as eficiências foram também menores (entre 70 % e 85 %). Não se evidenciaram alterações significativas no PH e a alcalinidade depois dos ensaios. **Conclusão.** O *M. Oleifera* é um coagulante eficaz, seguro e econômico para a remoção de turbidez do água crua do rio Sinú.

**Palavras importantes:** turbidez, coagulantes naturais, rio Sinú, *Moringa Oleifera*.

## INTRODUCCIÓN

En Colombia, el río Sinú sirve como fuente de abastecimiento a 18 sistemas de acueductos municipales en el departamento de Córdoba, pero a lo largo de su curso recibe aportes de carga orgánica y sedimentos, que hacen que sus características fisicoquímicas no sean estables y varíen constantemente, con niveles altos de turbiedad, mayores a 1200 UNT, en época de lluvia y entre 40 UNT y 60 UNT, en época seca (Feria, 2012). Durante el proceso de potabilización del agua cruda, comúnmente se utilizan coagulantes inorgánicos y/o polímeros sintéticos para la reducción de sólidos suspendidos, bacterias y virus, entre otros microorganismos. En la actualidad, hay principalmente dos productos químicos que se utilizan para el proceso de coagulación en países en vías de desarrollo: el sulfato de aluminio y el cloruro férrico (Lédo *et al.*, 2009). Debido a la limitada disponibilidad y el relativo alto costo de estos productos sintéticos para el mundo en desarrollo, hay una necesidad urgente de encontrar soluciones alternativas para la purificación de agua (ayudas de coagulación) en aldeas y zonas rurales (Pritchard *et al.*, 2010b). De otra parte, diversos investigadores (Flaten, 2001; Gauthier *et al.*, 2000; Nieboer *et al.*, 1995; Martyn *et al.*, 1989; Miller, *et al.*, 1984; Crapper *et al.*, 1973) sugieren que las sales de aluminio en el agua potable pueden inducir la enfermedad de Alzheimer, y otros estudios han reportado que sus residuos pueden ser carcinógenos (Sanghi *et al.*, 2006; Katayon *et al.*, 2006; Litherland, 1995). Por el contrario, el uso de un coagulante de origen natural, como la *Moringa Oleifera* (*M. Oleifera*) evita el uso de productos sintéticos, es más compatible con el medio ambiente (Poumaye *et al.*, 2012; Pritchard *et al.*, 2010a), resulta activo, seguro y económico (Ghebremichael *et al.*, 2005; Castro y Silva, 2004; Ndabigengesere y Narasiah, 1998), y es posible su amplia utilización en el tratamiento del agua, lo que trae beneficios económicos para los países donde se cultive el árbol de *M. Oleifera* y para las regiones de difícil acceso geográfico y con baja capacidad económica.

La *M. Oleifera* es un árbol tropical perteneciente a la familia Moringaceae. Es originario del noroeste de la India, y es conocido en Brasil como Quiabo de quina y Lirio blanco (Lopes y Silva, 2004). Este árbol es resistente a la sequedad y crece en zonas áridas y semiáridas, por lo que se le llama el árbol milagroso (Ghebremichael *et al.*, 2005; Ali *et al.*, 2004). Se ha encontrado que el componente activo de la semilla de *M. oleifera* que causa la coagulación del agua cruda turbia es una proteína soluble que actúa en el proceso como un polielectrolito catiónico natural (Barth *et al.*, 1982; Jahn, 1989). La capacidad de coagulación de las proteínas se ve incrementada cuando se emplean sales inorgánicas en su extracto (Okuda *et al.*, 2001). La extracción y purificación de los componentes activos del coagulante de *M. oleifera* obtenido con solución salina no aumenta la concentración orgánica residual del agua después de la coagulación (Okuda *et al.*, 2001). El empleo de *M. Oleifera* no induce a cambios significativos de los valores de pH y conductividad del agua después de su tratamiento (Ndabigengesere y Narasiah, 1998). Los coagulantes naturales de origen vegetal son biodegradables y económicos en países en desarrollo, ya que pueden ser cultivados localmente y tienen una gama amplia y eficaz de dosificación para la floculación de diversas suspensiones coloidales (Sanghi *et al.*, 2006). Adicionalmente, varios investigadores verificaron también la presencia de propiedades bactericidas en las semillas de *M. Oleifera* (Huda *et al.*, 2012, Ghebremichael *et al.*, 2005; Jahn, 1986) y una correlación positiva entre la reducción de la turbidez y la reducción de huevos de helmintos en agua tratada para riego, sugiriendo que se adhieren a las partículas y/o a los flóculos formados en la coagulación del agua cruda a partir de la *M. Oleifera* y se sedimentan simultáneamente (Mita *et al.*, 2012).

Investigaciones realizadas para agua cruda de los ríos Kadahokwa y Rwamamba, localizados en el sector Tumba, distrito de Huye, provincia del sur de Ruanda, reportaron reducciones del 95 %, 99 %, y 99,8 % para turbiedades de 50, 250 y 450 NTU, respectivamente. También se encontraron reducciones de color por encima del 90 % para las muestras tomadas (Nkurunziza *et al.*, 2009). Resultados similares fueron hallados para agua cruda de un arroyo turbio, en Malasia, en una planta a escala piloto, utilizando la *M. Oleifera* como coagulante, y se lograron reducciones de turbiedades entre 21 y 202 UNT a valores entre 1,9 y 4,3 UNT (Muyibi y Alfugara, 2003).

En este artículo se muestran los resultados de la eficiencia de remoción de turbidez de la semilla de *M. Oleífera*, utilizada como coagulante natural para el tratamiento del agua cruda del río Sinú y su influencia en el comportamiento de la alcalinidad y el pH de las muestras analizadas. Adicionalmente, se comparó la eficiencia del coagulante natural desengrasado (sin contenido de grasas y/o aceites vegetales) y sin desengrasar con la eficiencia del sulfato de aluminio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestras de agua cruda

Las muestras de agua cruda se tomaron sobre la margen derecha del río Sinú, cerca de la captación de la planta potabilización del Barrio Mocarí, en la ciudad de Montería, Córdoba. Se realizaron ocho muestreos simples entre los meses de marzo y abril de 2013, al final del período seco e inicio del período de lluvias en la región.

### Preparación de la semilla de *Moringa oleífera*

La recolección de los frutos de *M. Oleífera* se efectuó durante el mes de enero de 2013, de un árbol sembrado en el campus de la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Montería. Las frutas son vainas que contienen aproximadamente 20 semillas. Las semillas se retiraron manualmente de las vainas secas. Las vainas verdes no poseen ninguna actividad de coagulación (Ndabigengesere et al., 1995). Las semillas colectadas se secaron durante una hora en un horno marca WTB Binder a 105 °C, se trituraron en un molino manual marca Corona, se tamizaron (250µm) y se obtuvo un polvo fino (Ali et al., 2010).

### Desengrasado de la semilla

Se extrajeron 40,0 gramos de polvo de semilla de *M. Oleífera*, durante 24 horas con n-hexano en un extractor tipo Soxhlet (Bathia et al., 2007). El marco resultante se secó en el horno a 105 °C durante 24 horas y se almacenó en un desecador durante todo el período de estudio, a una temperatura promedio de  $25 \pm 2$  °C.

### Extracción del coagulante

Se disolvieron en 10,0 mL de solución salina de NaCl, al 1,0%, 10 gramos de polvo de semilla desengrasada para obtener una concentración de 10.000 mg/L. La solución resultante se centrifugó durante 10 minutos a 6000 rpm en una centrifugadora tipo Hermile-Mod Z-20 (Ali et al., 2010). El líquido sobrenadante se filtró a presión reducida en un equipo de vacío marca GAST-Mod-DUAp104-AA. El filtrado se preservó y se utilizó como coagulante natural en los ensayos de Jarras. El mismo procedimiento se usó para 0,10 gramos de polvo de semilla sin desengrasar.

### Ensayos de Jarras

Para los ensayos de tratabilidad, se tomaron 8 turbiedades diferentes (24,56 UNT; 48,20 UNT; 66,00 UNT; 96,20 UNT; 174,33 UNT; 247,50 UNT; 320,00; 364,66 UNT) a partir de los muestreos realizados aleatoriamente y se adicionaron 12 dosis diferentes de coagulante natural de 2,5 mg/L; 5,0 mg/L; 7,5 mg/L; 10,0 mg/L; 12,5 mg/L; 15,0 mg/L; 17,5 mg/L; 20,0 mg/L; 22,5 mg/L; 25,0 mg/L; 27,5 mg/L y 30,0 mg/L a cada una de las muestras obtenidas en los monitoreos, con el fin de obtener como variable respuesta la turbidez. Se utilizó un equipo de test de jarras marca EyQ F6-300-T equipado con seis paletas giratorias e igual número de vasos de precipitados de 800 mL. La mezcla rápida fue de 200 rpm durante

1 minuto (gradiente de velocidad de  $170 \text{ s}^{-1}$ ), seguido por la mezcla lenta de 40 rpm durante 20 minutos (gradiente de velocidad de  $22 \text{ s}^{-1}$ ) y con un tiempo de sedimentación de 30 minutos (Muyibi *et al.*, 2003). Al sobrenadante de cada vaso de precipitado se realizó **la prueba de turbidez con un turbidímetro** marca Hach Company-EE. UU., modelo 2100P (Ali *et al.*, 2010). Adicionalmente, para medir el pH y la temperatura del agua se utilizó un pHmetro modelo 827, marca MetroHM. (Olivero *et al.*, 2013). Para las dosis que mostraron mayor eficiencia de remoción (7,5 mg/L; 10,0 mg/L; 12,5 mg/L y 15,0 mg/L), se realizaron ensayos de jarras adicionales con el fin de comparar el comportamiento del coagulante natural en condiciones de desengrasado y sin desengrasar, con un coagulante sintético ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ). Todas las soluciones madre de los coagulantes, de donde luego se tomaron los volúmenes que se aplicaron en los ensayos de jarras, se prepararon en concentraciones al 1 %, es decir, de 10.000 mg/L.

### Parámetros fisicoquímicos

Se analizó para cada una de las muestras la turbidez, la alcalinidad, el pH y la temperatura, de acuerdo con los métodos estándar (APHA, 2005).

### Modelo y análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos, se utilizó el software *Design Expert* (versión Trial 8.0, Stat-Ease, Inc., Minneapolis, EE. UU.), en una versión libre de prueba. Se generó un modelo cúbico y se le aplicó un análisis de varianza, con el fin de visualizar la relación entre variables experimentales y sus respuestas, a través de gráficos de superficie de respuesta (Bathia *et al.*, 2007).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla I indica las condiciones iniciales de las muestras de agua cruda del río Sinú.

**Tabla I. Características de las muestras de agua cruda tomadas en el río Sinú**

Fecha de monitoreo	Turbidez (UNT)	Alcalinidad (mg/l)	pH	Temperatura (°C)
01/03/2013	24,56	68,00	7,83	26,00
07/03/2013	48,20	52,00	7,43	25,80
14/03/2013	66,00	56,00	7,92	25,30
21/03/2013	96,20	52,00	8,00	26,30
05/04/2013	247,50	58,00	8,09	26,60
12/04/2013	174,33	56,00	8,04	26,80
19/04/2013	364,66	46,00	7,69	27,20
26/04/2013	320,00	54,00	7,65	25,90

Según el Reglamento del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), el pH y la turbidez de las muestras permite categorizar a la fuente como deficiente o muy deficiente, y recomienda un tratamiento convencional con coagulación, sedimentación y filtración rápida, entre otros (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010). La alcalinidad de todas las muestras fue baja, si se considera que el valor máximo admisible es de 200 mg/L, establecido en la Norma Colombiana para la calidad del

agua para consumo humano (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007), lo que puede afectar la eficacia de los procesos de coagulación (Spellman et al., 2004); adicionalmente, valores bajos de alcalinidad tornan el agua corrosiva para las tuberías de las redes de distribución, protegiendo a los microorganismos de los desinfectantes, lo que representaría una amenaza de salud pública. La temperatura cálida del agua favorece el uso de la semilla de *M. Oleifera* como coagulante, puesto que a mayor temperatura se obtiene mayor eficiencia, en un rango de 5 °C a 60 °C (Pritchard et al., 2010a).

Con los resultados del test de jarra, luego de aplicar las dosis propuestas de coagulante natural desengrasado a cada una de las muestras de agua cruda, se construyó un modelo cúbico de superficie de respuesta y se aplicó un análisis de varianza, cuyos resultados se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2. ANOVA para el modelo cúbico de superficie de respuesta**

Términos del modelo	Suma de Cuadrados	df	Cuadrados principales	F	p-value
				Value	Prob > F
Modelo	17691,22	9	1965,69	52,29	< 0.0001
A-Turbiedad Inicial	51,22	1	51,22	1,362	0.2463
B-Dosis	820,64	1	820,64	21,83	< 0.0001
AB	1093,32	1	1093,32	29,08	< 0.0001
A^2	2273,09	1	2273,09	60,47	< 0.0001
B^2	1314,13	1	1314,13	34,96	< 0.0001
A^2B	25,44	1	25,43	0,68	0.4130
AB^2	56,23	1	56,23	1,50	0.2246
A^3	1374,07	1	1374,07	36,55	< 0.0001
B^3	521,44	1	521,44	13,87	0.0003
Residual	3232,78	86	37,59		
Cor Total	20924,00	95			

El valor de “Prob>F” (p-valor) menor a 0,05 indica que hay diferencias significativas entre los elementos del modelo, es decir, que con diferentes dosis aplicadas de coagulante en distintas turbiedades iniciales del agua cruda, se obtuvieron diferentes respuestas de turbidez final en las muestras. Por otra parte, el R-cuadrado de 0,845 y un R-cuadrado ajustado de 0,829 sugieren que el modelo usado representa adecuadamente el comportamiento de la eficiencia de la semilla de *M. Oleifera* como coagulante natural, aunque no sea muy cercano a la unidad. La ecuación 1 muestra el modelo cúbico aplicado.

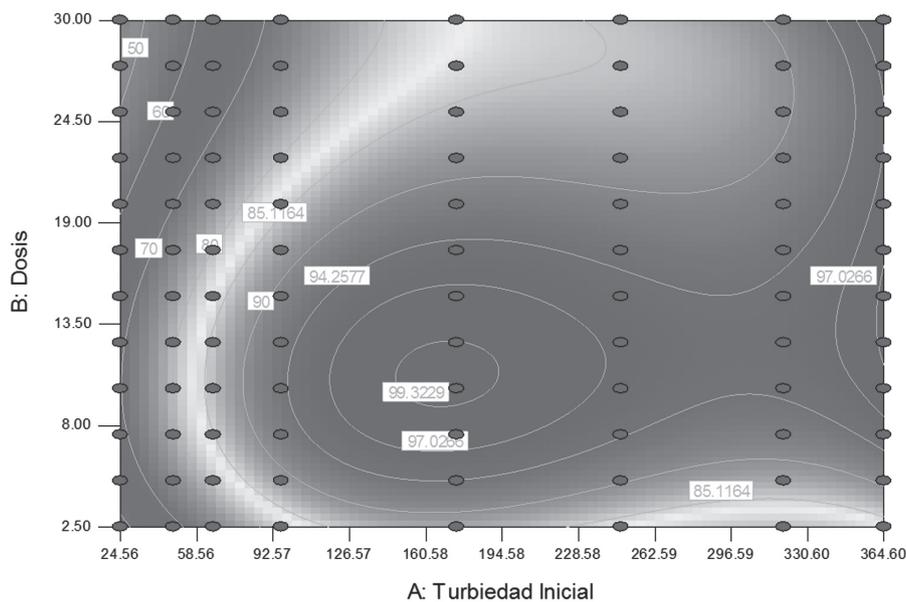
$$\begin{aligned}
 \text{Eficiencia remoción} = & 33,33773 + 0,65415 * T_i + 4,85833 * C - 2,17970e^{-0,03} * T_i * C \\
 & - 3,02665e^{-0,03} * T_i^2 - 0,31009 * C^2 + 5,91385e^{-0,06} * T_i^2 * C \\
 & + 9,53639e^{-0,05} * T_i * C^2 + 4,19377e^{-0,06} * T_i^3 + 4,80095e^{-0,03} * C^3
 \end{aligned}$$

**Ecuación 1.**

Donde “ $T_i$ ” es turbiedad inicial y “ $C$ ” es la concentración de la dosis aplicada.

El modelo propuesto está limitado a las variables que lo componen (dosis de coagulante y turbiedad inicial del agua cruda) y no contempló otras variables como la temperatura. Los ensayos de jarras se realizaron a 20 °C en condiciones controladas de laboratorio.

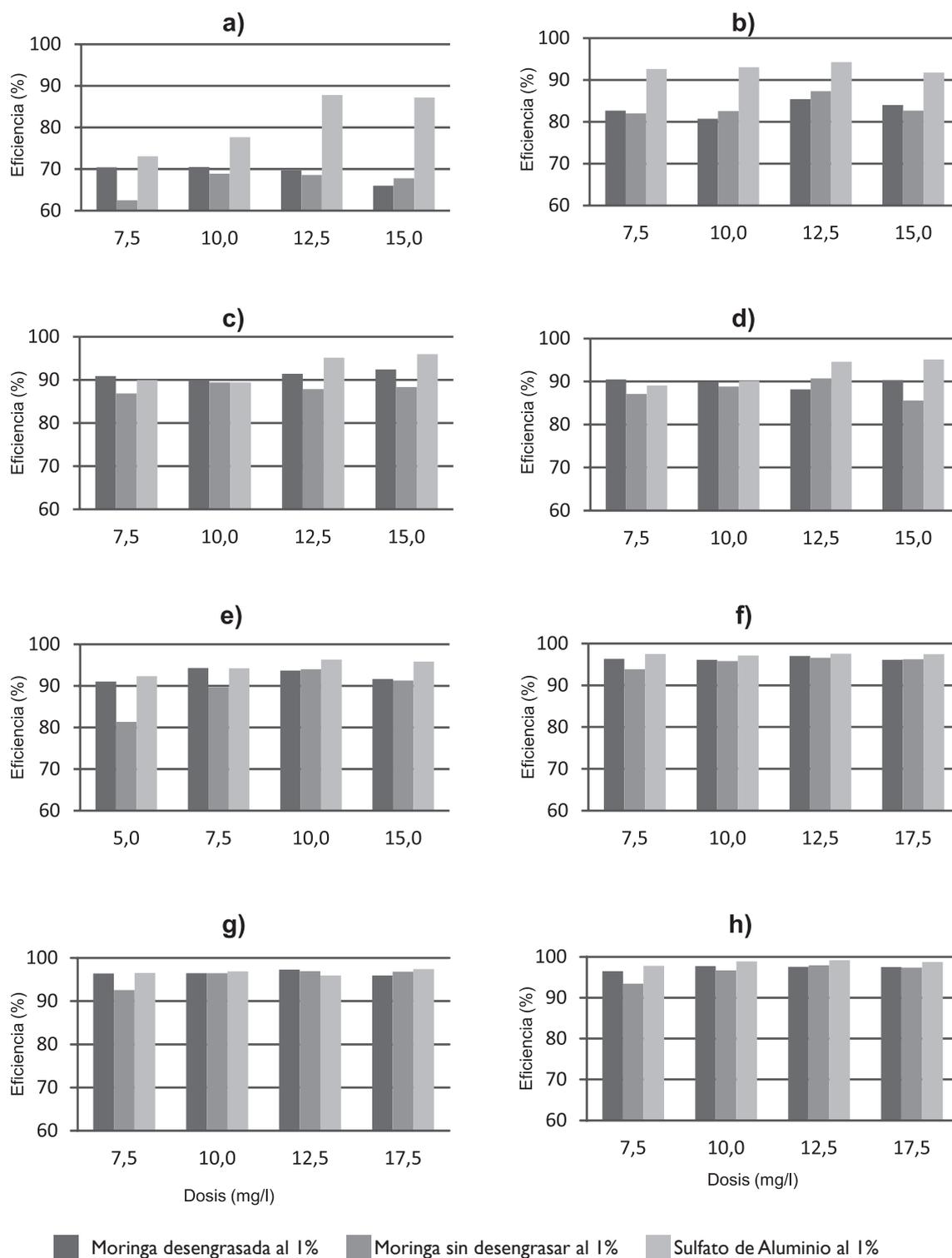
En la figura 1, se muestra el modelo cúbico de superficie para la remoción de turbiedad en función de la turbiedad inicial del agua cruda del río Sinú.



**Figura 1. Modelo de Superficie de respuesta para estimar dosis de coagulante**

El modelo gráfico representa el diagrama de coagulación para dosis de coagulante desengrasado al 1 %, a partir de la semilla de *M. Oleifera*. Se observaron eficiencias superiores al 90 % con dosis entre 4,5 mg/L y 17,5 mg/L, para un nivel de turbiedad en el agua cruda del río Sinú mayor a 90,0 UNT y con tiempos de sedimentación de 30 minutos. Con turbiedades entre 24,0 UNT y 66,0 UNT, la eficiencia de remoción está entre el 70 % y el 85 %, para el mismo rango de dosis. Para turbiedades iniciales altas (230,0 UNT a 365,0 UNT) se observaron eficiencias entre 94,8 % y 98,4 % con dosis aplicadas entre 7,0 mg/l y 15,0 mg/l de coagulante natural. Estudios realizados en Malawi, para verificar la eficiencia de la semilla de *M. Oleifera* en la remoción de turbiedad de agua de pozos profundos utilizados como fuente de agua potable, registraron eficiencias mayores al 90 % con turbiedad de 49,0 UNT en el agua cruda (Pritchard et al., 2009). Por otra parte, en un estudio realizado en Ghana, tomando agua cruda de un reservorio con una turbiedad inicial entre 2 y 23 UNT, se reportó que la semilla de *M. Oleifera* reduce la turbiedad hasta en un 80 %, similar a los resultados obtenidos cuando se utilizó el sulfato de aluminio con dosis entre 12 y 36 mg/l (Amagloh y Benang, 2009). Este comportamiento también es similar al reportado en el presente artículo.

En la figura 2, se presentan los resultados de los dos tipos de coagulantes utilizados para las dosis que mostraron mayor eficiencia de remoción de turbiedad. El comportamiento de remoción varió a medida que se incrementó el nivel de turbiedad en el agua cruda. Para concentraciones de turbiedad baja (menor a 60,0 UNT) el coagulante sintético presentó mayor eficiencia de remoción frente al



**Figura 2. Remoción de turbidez en agua cruda de: a) 24,56 UNT; b) 48,20 UNT; c) 66,0 UNT; d) 96,20 UNT; e) 174,33 UNT; f) 247,50 UNT; g) 320,0 UNT y h) 364,6 UNT**

coagulante natural, tanto desengrasado como sin desengrasar. Sin embargo, cuando la turbiedad del agua cruda fue alta (mayor a 250,0 UNT) la eficiencia de remoción de los tres coagulantes fue muy similar, logrando remover más del 94 % de la turbiedad inicial de las muestras tomadas del río Sinú. Este resultado es acorde con lo registrado por Léo *et al.* (2009), para la semilla de *M. Oleífera* usada como coagulante natural en aguas de baja turbidez, donde afirma que la eficiencia de remoción de turbiedad es ligeramente inferior a la observada con sulfato de aluminio, y su uso puede justificarse por el hecho de representar una tecnología sostenible y amigable con el ambiente. La eficiencia de remoción del coagulante desengrasado y el coagulante sin desengrasar no es muy diferente, lo que permite afirmar que no es estrictamente necesario extraer las grasas de las semillas, en particular, cuando se prepara el coagulante en solución salina y se aplica en agua cruda de turbidez inicial entre 200 UNT y 360 UNT.

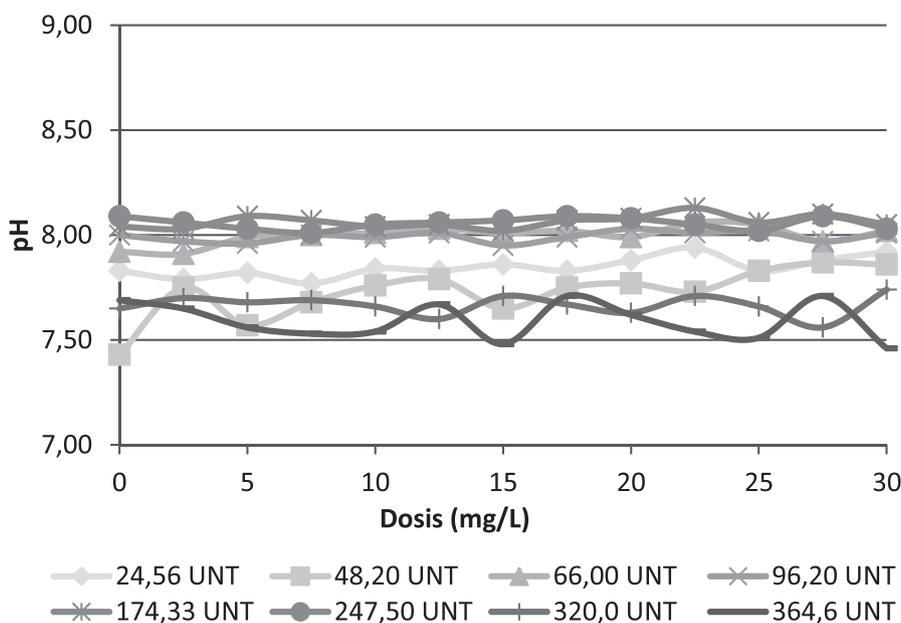
En la tabla 3, se muestran los resultados de la turbidez final del agua tratada, en función de la dosis óptima aplicada de cada coagulante ensayado.

**Tabla 3. Turbidez final lograda con la dosis óptima de los coagulantes ensayados**

Turbidez Inicial agua cruda (UNT)	Turbidez Final con <i>M. Oleífera</i> desengrasada (UNT)	Turbidez Final con <i>M. oleífera</i> sin desengrasar (UNT)	Turbidez Final con Sulfato de Aluminio (UNT)
24,56	7,25	7,62	3,00
48,20	7,00	6,10	2,76
66,00	5,00	7,00	2,66
96,20	9,13	8,90	4,70
174,33	10,00	10,50	6,40
247,50	7,33	8,50	6,00
320,00	8,70	9,80	8,20
364,66	8,30	7,50	3,00

El rango de turbidez final lograda para el coagulante de *M. Oleífera* se halló entre 5,0 UNT y 10,50 UNT, mientras que para el sulfato de aluminio, estuvo entre 2,66 UNT y 8,20 UNT. Todos los valores reportados son superiores a los recomendados por la USEPA (1998), que deben ser menores a 2,0 UNT en las salidas de las unidades de clarificación, con el fin de minimizar la carga de partículas que llegan a los filtros, evitar bajas carreras de filtración y aumentar la calidad del efluente filtrado, que debe ser menor o igual a 0,10 UNT para garantizar que el agua esté libre de huevos de parásitos (CEPIS, 2004). En Colombia, el valor máximo de turbidez del agua filtrada es de 2,0 UNT (Ministerio de la Protección Social y ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007), lo que permite que el afluente a los filtros sea de una turbidez mayor, sin perjuicio de los problemas mencionados para los filtros. De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de jarras, independientemente del tipo de coagulante que se utilice, es necesaria la adición de ayudantes de coagulación (polielectrolitos) que permitan mejorar la calidad del agua coagulada, ya que la turbidez final en un proceso de coagulación-floculación depende, básicamente, de las características fisicoquímicas del agua cruda (CEPIS, 2004).

El comportamiento del pH en función de las dosis de coagulante natural desengrasado para cada una de las dosis aplicadas se presenta en la figura 3.



**Figura 3. Comportamiento del pH en función de las dosis aplicadas y la turbidez inicial del agua cruda del río Sinú**

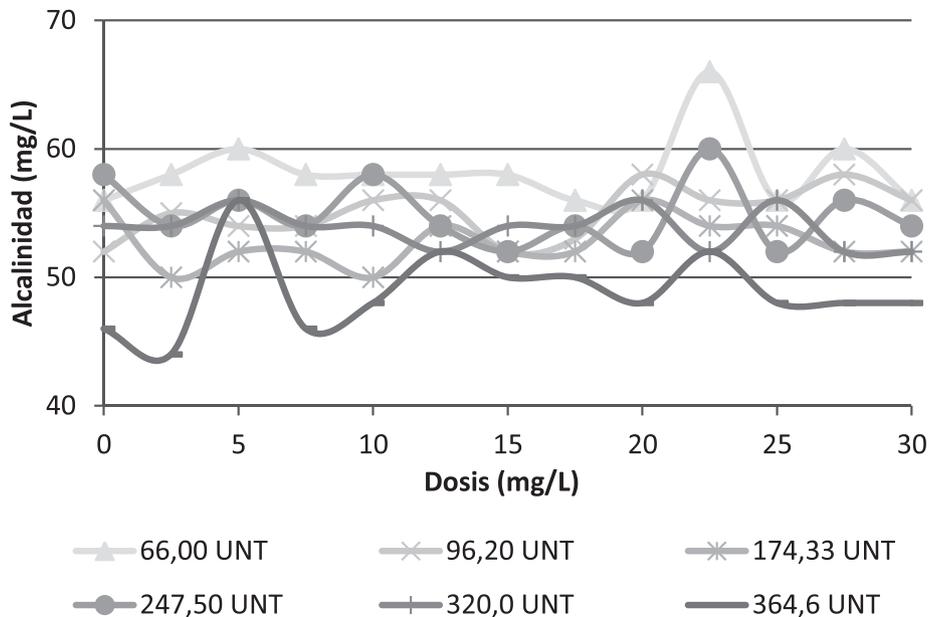
Para cada turbidez inicial del agua cruda, luego de la aplicación de cada dosis, se evidenció una baja variación del pH en el agua tratada. El pH de las muestras, antes y después de la aplicación del coagulante natural, se mantuvo en un rango entre 7,5 y 8,2 unidades de pH y con un coeficiente de variación menor a 0,01 (C.V.< 1%), lo que indica una baja influencia del coagulante en el pH del agua cruda. Este comportamiento fue igualmente hallado en ensayos de laboratorio con una planta piloto de tratamiento de agua cruda, donde se reportó que el extracto de semilla de *M. Oleífera* tiene un efecto mínimo sobre el pH, y una mayor eficiencia para agua cruda con turbidez alta que con turbidez baja (Yarahmadi *et al.*,2009). Por otra parte, la efectividad del coagulante natural es ligeramente influenciada por el pH, en particular cuando se encuentra alrededor del pH óptimo (6,5 unidades) hallado para la *M. Oleífera* (Pritchard *et al.*, 2010a). Resultados similares fueron encontrados para muestras de agua de la Laguna de Jiqui, estado del Rio Grande do Norte, Natal (Brasil), donde se observó que el proceso de coagulación no se ve alterado por el pH inicial del agua cruda, es decir, que el proceso de coagulación es independiente del pH (entre 5,0 y 7,0 unidades de pH). Esto es interesante desde el punto de vista de su aplicación directa en una planta de potabilización, puesto que no se debe corregir el pH del agua al ingreso del proceso (Lédo *et al.*, 2009).

En la figura 4, se puede observar el comportamiento de la alcalinidad en función de las dosis de coagulante desengrasado y la turbiedad de las muestras.

Los cambios en la concentración de la alcalinidad de las muestras fueron relativamente bajos con un coeficiente de variación menor a 0,06 (C.V. < 6%) para turbidez inicial mayor a 66,00 UNT, lo que permite decir que la aplicación del coagulante natural no afecta considerablemente las características originales de la muestra. En general, la alcalinidad y el pH no varían significativamente en función de las dosis, la velocidad de agitación y el tiempo de duración de las mismas (Rodríguez *et al.*, 2005).

Lo anterior resulta ser una gran ventaja sobre los coagulantes sintéticos, debido a que con la aplicación de semilla de *M. Oleífera* no se compromete el proceso de coagulación y no hay la necesidad de estabilizar el pH luego de su uso, como suele ser necesario al utilizar sales de hierro y aluminio, que

son coagulantes hidrolizables que reaccionan con la alcalinidad durante el proceso de coagulación (CEPIS, 2004). Estos químicos al restarle alcalinidad al agua la vuelven corrosiva, debido a la disminución del pH, lo que podría lixiviar metales en el sistema de distribución, reducir la efectividad del desinfectante, permitir la formación de biopelículas y, por consiguiente, representar un riesgo sanitario y un problema de salud pública, a menos que se alcalinice nuevamente y se logre el acondicionamiento químico del pH en el agua.



**Figura 4. Comportamiento del pH en función de las dosis aplicadas y la turbidez inicial del agua cruda del río Sinú**

## CONCLUSIONES

Para turbiedades entre 200 UNT y 360 UNT, el coagulante natural de *M. Oleífera* tiene el mismo comportamiento que el sulfato de aluminio, con la misma concentración (1 %) y en dosis mayores a 10 mg/L. Con dosis menores y turbiedades bajas del agua cruda (menores a 50 mg/L), el sulfato de aluminio es más eficiente que el coagulante natural. Sin embargo, debido a las características del agua cruda del río Sinú, es necesario utilizar ayudantes de coagulación para conseguir valores cercanos a 2,0 UNT antes del proceso de filtración, independientemente del tipo de coagulante que se utilice. El pH y la alcalinidad de las muestras tratadas con coagulante natural no tuvieron cambios significativos luego de la aplicación de las dosis, lo que es una ventaja sobre los coagulantes sintéticos, ya que no se requiere de acondicionamiento químico ni de estabilización del pH en el agua potabilizada. La extracción de grasas de las semillas de *M. Oleífera* no es estrictamente necesaria para obtener el coagulante natural, en particular, cuando la turbidez del agua cruda está entre 200 UNT y 360 UNT, lo que lo convierte en una excelente alternativa para la potabilización de agua en zonas rurales y, en general, en áreas pobres y de difícil acceso geográfico en países en vías de desarrollo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, E. N.; Muyibi, S. A. & Salleh, H. M. (2004). Moringa Oleifera seeds for use in water treatment. *1st International Conference on managing rivers in the 21 century*. Issues and challenges, pp. 401-407.
- Ali, E. N., Muyibi, S.A., Salleh, H. M., Alam, M. Z., Ramlan, M., Salleh, M. (2010). Production of Natural Coagulant from Moringa Oleifera Seed for Application in Treatment of Low Turbidity Water. *Journal Water Resource and Protection*, 2, 259-266.
- Amagloh, F.K. & Benang, A. (2009). Effectiveness of Moringa oleifera seed as coagulante for water purification. *African Journal of Agricultural Research*, 4(1), 119-123.
- American Public Health Association-American Water Works Association - Water Environment Federation. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 21.<sup>a</sup> Edición. Washington, DC:AWWA.
- Barth, H.; Habs, M.; Klute, R.; Müller, S.; Tauscher, B. (1982). Trinkwasseraufbereitung mit Samen von Moringa oleifera Lam. *Chemiker-Zeitung (Drinking Water Treatment with Moringa oleifera Seeds)*. *Chemists Newspaper*, 106, 75-78.
- Bathia, S.; Othman, Z. & Ahmad, A. L. (2007). Coagulation-flocculation process for POME treatment using Moringa oleifera seeds extract: Optimization studies. *Chemical Engineering Journal*, 133, 205-212.
- Castro, F.J. & Silva, F.J. (2004). Moringa Oleifera na Melhoria da Qualidade de Efluentes de UASB e de Lagoa de Maturação-Remoção de Cor e Turbidez. *XI SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Natal/RN.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS/OPS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de filtración rápida*. Manual I: Teoría - Tomo I. Editorial CEPIS/OPS. Lima, Perú. 304 pp.
- Crapper D.R.; Krishnan S. & Dalton, A.J. (1973). Brain Aluminum Distribution In Alzheimer's Disease And Experimental Neurofibrillary Degeneration. *Science*, 180, 511-513.
- Feria, J. J. (2012). *Río Sinú, Colombia: Modelización calidad del agua y metales pesados en los sedimentos*. Saarbrücken, Alemania: Editorial Académica Española. 156 pp.
- Flaten, T.P. (2001). Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. *Brain Research Bulletin*, 55(2), 187-196.
- Gauthier, E.; Fortier, I.; Courchesne F.; Pepin P.; Mortimer J. & Gauvreau, D. (2000). Aluminum Forms in Drinking Water and Risk of Alzheimer's Disease. *Environmental Research*. Section A, 84, 234-246.
- Ghebremichael, K.A.; Gunaratna, K. R.; Henriksson H.; Brumer, H.; Dalhammar, G. (2005). A simple purification and activity assay of the coagulant protein from Moringa oleifera seed. *Water Research*, 39, 2338-2344.
- Huda, J.; Kristin, A.; McCullough, L.; Velegol, D. & Velegol, S. (2012). Antimicrobial Sand via Adsorption of Cationic Moringa oleifera Protein. *Langmuir*, 28(4), 2262-2268.
- Jahn, S.A. (1986). *Proper use of African natural coagulants for rural water supplies: research in the Sudan and a guide for new projects*. Schriftenreihe der GTZ. N.º 191. Eschborn, Germany.

- Jahn, S.A. (1989). *Moringa Oleifera* for food and water purification - selection of clones and growing of annual short stem. *Entwicklung + Landlicher Raum*, 23(4), 22-25.
- Katayon, S.; Megat Mohd Noor, M. J.; Asma, M.; Abdul Ghani, L. A.; Thamer, A. M.; Azni, I.; Ahmad, J.; Khor, B. C. & Suleymen, A. M. (2006). Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. *Bioresource Technology*, 97, 1455-1460.
- Lédo, P.; Lima, R.; Paulo, J. & Duarte, M. (2009). Estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de moringa oleifera para la depuración de aguas con baja turbiedad. *Información Tecnológica*, 20(5), 3-12.
- Litherland, S. (1995). *Science:Vegetable Pods May Help Solve Third World's Water Woes*. Washington, DC: Inter Press Service.
- Lopes, A. S. & Silva, F. J. (2004). Tratamento de efluente de tanque de piscicultura com *Moringa oleifera*. XI SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal/RN.
- Martyn, C. N.; Barker, D. J.; Osmond, C.; Harris, E. C.; Edwardson, J. A.; Lacey, R. F. (1989). Geographical Relation Between Alzheimer's Disease and Aluminium in Drinking Water. *Lancet*, 1, 59-62.
- Miller, R. G.; Kopfler, F. C.; Kelty, K. C.; Stober, J. A.; Ulmer, N. S. (1984). The Occurrence of Aluminum in Drinking Water. *Journal American Water Works Association*, 76, 84-91
- Ministerio de la Protección Social. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Resolución 2115*. Bogotá: El Ministerio.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*. TÍTULO B. Sistemas de acueducto. 2.ª Edición. Bogotá: El Ministerio.
- Mita, S.; Keraita, B.; Olsen, A.; Boateng, O.; Thamsborg, S.; Pálsdóttir, G. & Dalsgaard, A. (2012). Use of *Moringa oleifera* seed extracts to reduce helminth egg numbers and turbidity in irrigation water. *Water Research*, 46, 3646-3656.
- Muyibi, S. A. & Alfugara, A. (2003). Treatment of surface water with *Moringa Oleifera* seed extract and alum-a comparative study using a pilot scale water treatment plant. *International Journal of Environmental Studies*, 60(6), 617-626.
- Muyibi, S.A.; Abbas, S.A.; Noor, M.J.; Ahmadon, F.R. (2003). Enhanced coagulation efficiency of *Moringa oleifera* seeds through selective oil extraction. *IJUM Engineering Journal*, 4(1), 1-11.
- Ndabigengesere, A.; Narasiah, K. S. & Talbot B. G. (1995). Active agents and mechanism of coagulant of turbid waters using *Moringa oleifera*. *Water Research*, 29(2), 703-710.
- Ndabigengesere, A. & Narasiah, K. S. (1998). Quality of Water Treated by Coagulation Using *Moringa oleifera* Seeds. *Water Research*, 32(3), 781-791.
- Nieboer, E.; Gibson, B. L.; Oxman, A. D. & Kramer, J. R. (1995). Health effects of aluminum: A critical review with emphasis on aluminum in drinking water. *Environmental Reviews*, 3, 29-81.
- Nkurunziza, T.; Nduwayezu, J. B.; Banadda, E. N. & Nhapi, I. (2009). The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. *Water Science and Technology*, 59, 1551-1558.

- Okuda, T.; Baes, A. U.; Nishijima, W. & Okada, M. (2001). Isolation and Characterization of Coagulant Extracted from Moringa oleifera Seed by Salt Solution. *Water Research*, 35(2), 405-410.
- Olivero, R. E.; Mercado, I. D. & Gazabón, L. E. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción + Limpia*, 8(1), 19-27.
- Poumaye, N.; Mabingui, J.; Lutgen, P. & Bigan, M. (2012). Contribution to the clarification of Surface water from the Moringa Oleifera: Case M'Poko River to Bangui, Central African Republic. *Chemical Engineering Research and Design*, 90, 2346-2352.
- Pritchard, M.; Kululanga G.; Mkandawire, T.; Edmondson, A. S. & O'Neill, J. G. (2009). Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34, 799-805.
- Pritchard, M.; Craven T.; Mkandawire, T.; Edmondson, A. S. & O'Neill, J. G. (2010a). A study of the parameters affecting the effectiveness of Moringa oleifera in drinking water purification. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, 791-797.
- Pritchard, M.; Craven, T.; Mkandawire, T.; Edmondson, A. & O'Neill, J. G. (2010b). A comparison between Moringa oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, 798-805.
- Rodríguez, S.; Muñoz, R.; García, O. & Fernández, E. (2005). Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 36, Número Especial.
- Sanghi, R.; Bhattacharya, B.; Dixit, A. & Singh, V. (2006). Ipomoea dasysperma seed gum: an effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions. *Journal of Environmental Management*, 81(1), 36-41.
- Spellman, F. R. & Drinan, J. (2004). Manual de agua potable. Florida: CRC Press, 2000NW Corporate Blvd.
- Yarahmadi, M.; Hossieni, M.; Bina, B.; Mahmoudian M.; Naimabadie, A. & Shahsavani, A. (2009). Application of Moringa Oleifera Seed Extract and Polyaluminum Chloride in Water Treatment. *World Applied Sciences Journal*, 7(8), 962-967.