

EFICIENCIA DE COAGULACIÓN DE LA *MORINGA OLEÍFERA* EN AGUAS SUPERFICIALES DE DIFERENTE TURBIEDAD

Ma. Martha Sandoval Arreola
Jose Ramón Laines Canepa
Raul Ramírez Quiroz
Gerardo Ortiz Rodríguez
Carlos Macías Sotelo

RESUMEN

El agua debe ser sometida a un proceso de potabilización para alcanzar los límites máximos establecidos en las normas para ser considerada apta para consumo humano. Las semillas de *Moringa oleífera* se han propuesto como un coagulante natural para reducir de manera significativa color, turbiedad y bacterias en su tratamiento. En el presente estudio se determina la eficiencia de remoción de turbiedad y color del coagulante obtenido de las semillas de Moringa aplicado a aguas superficiales de 15, 36 y 100 NTU. Se realizaron pruebas de jarras para las dosis de coagulante de 0, 5, 10, 15, 20 30 y 40 mgL⁻¹ y se procedió al mezclado usando la propuesta de Okuda *et al.* (2001). El coagulante de moringa fue extraído usando soluciones de agua destilada, cloruro de sodio 1N y agua de mar. Las mediciones se efectuaron por cuadruplicado. La dosis óptima fue determinada para cada uno de los tipos de agua superficial. La más alta eficiencia de remoción y color se obtuvo con Cloruro de sodio 1N en aguas de mayor turbiedad. La dosis de coagulante osciló entre 10 a 15 mgL⁻¹. Concentración similar a la requerida cuando se usó solución de sulfato de aluminio. Los resultados indican que las semillas de moringa podrían ser una alternativa prometedora en el tratamiento de aguas.

Palabras clave: coagulación, coagulante natural, turbiedad, color.

INTRODUCCIÓN

Para alcanzar los límites establecidos en un tratamiento de aguas se utilizan sustancias químicas coagulantes como el sulfato de aluminio y sus derivados para promover el proceso de clarificación, sin embargo estas sustancias en dosis elevadas provocan problemas en la salud, (Trejo, 2004). Los coagulantes de origen natural han demostrado ventajas en relación con los productos químicos como biodegradabilidad, baja toxicidad y baja producción de lodos, entre ellos, la actividad coagulante de las semillas de *Moringa oleífera* ha sido estudiada buscando una alternativa sustentable de uso en el tratamiento de aguas. Su eficiencia de remoción de color y turbiedad ha sido objeto de diversas investigaciones a escala laboratorio y se le ha mencionado como un posible competidor con el sulfato de aluminio, como soluciones de extracción ha sido utilizada agua de la llave, solución de cloruro de sodio principalmente. Su efecto clarificante ya era conocido desde épocas remotas por las mujeres rurales de Sudán, que lo utilizaban para tratar las aguas de alta turbiedad del Nilo (Jahn, 1986). Ledo *et al.* (2009), compararon la eficiencia de coagulación de la moringa con el sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas de baja turbiedad, variando las dosis y controlando los valores de pH, encontrando curvas de comportamiento de moringa comparada con el sulfato de aluminio. Arnoldsson *et al.* (2008); realizaron sus estudios utilizando diferentes métodos de preparación del coagulante (moringa en agua destilada y moringa en agua de la llave) concluyendo que el uso de agua de la llave como disolvente proporciona resultados más eficientes y baratos. De igual manera, Yarahmadi *et al.* (2009), realizaron un estudio comparativo acerca de la eficiencia de la *Moringa oleífera* y el policloruro de aluminio para aguas de baja, media y alta turbiedad, reportando que existe una mayor eficiencia en aguas de alta turbiedad (99.4%) cuando se emplea *Moringa oleífera* como coagulante y la eficiencia es muy similar a la obtenida con el policloruro, mientras que la eficiencia de la moringa disminuye en las aguas de baja turbiedad hasta un 55%, lo que no ocurre con el policloruro (eficiencia de 89%). En este contexto en este estudio se determina la eficiencia de remoción de turbiedad y color del coagulante obtenido de las semillas de Moringa aplicado a aguas superficiales de 15, 36 y 100 NTU. Usando como soluciones de extracción agua destilada, solución

de cloruro de sodio 1N y se propone el agua de mar como un tercer disolvente, a concentraciones de 0,5,10,15,20,30 y 40 mgL⁻¹.

JUSTIFICACION

El presente trabajo, desde el punto de vista de las Ciencias Ambientales, busca una alternativa en la clarificación de aguas mediante la posibilidad el uso de un polímero natural en áreas donde el acceso al tratamiento convencional no es posible por diversas cuestiones como distancia, recursos y otros. Desde el punto de vista de la salud, se sabe que los coagulantes orgánicos naturales, no tienen ninguna repercusión en la salud del ser humano lo que constituye una ventaja frente a los coagulantes inorgánicos a los que se les ha relacionado con enfermedades de tipo neurodegenerativo como la atrofia pulmonar, el Alzheimer, así como su uso en pacientes con enfermedades renales (Trejo, 2004; Suay y Ballester, 2002) cuando se consumen en dosis por arriba de los límites permitidos. Al vislumbrar el futuro es obvio que el interés de lo sustentable, de la eficiencia económica, con un enfoque social es fundamental. Se debe considerar al agua superficial y residual como una materia prima, como un recurso, que es aprovechable, por lo tanto es fundamental su tratamiento. El agua limpia es un bien escaso, por lo que tratarla y conservarla, cuando se contamina es necesario es obligatorio someterla a un proceso de limpieza para que pueda ser reintegrada a los mantos acuíferos.

METODOLOGIA

Para comprobar la eficiencia y comportamiento de los extractos de moringa en el tratamiento del agua superficial se utilizaron las variables de turbiedad y color como parámetros de control y se usó como solución de comparación el sulfato de aluminio a las mismas concentraciones que las soluciones de moringa.

Extracción del aceite de moringa.

La obtención del extracto a partir de semillas de *Moringa oleifera* se realizó siguiendo la recomendación de Okuda *et al.* (2001), de acuerdo al siguiente procedimiento: las semillas se secaron durante 24 h. en una estufa Felisa^{MR}; FE-291. Se pelaron y pulverizaron en un triturador manual Robot cuope^{MR} de acero inoxidable. El polvo obtenido se colocó en los filtros del extractor Soxhlet^{MR}. Se extrajo el aceite utilizando 300 mL de ciclohexano como disolvente por un tiempo aproximado de 3 h. Terminada la extracción, el residuo sólido contenido en el filtro se secó a 104°C durante 24 h. para eliminar cualquier rastro de disolvente. El residuo seco, se sometió a una atmosfera de nitrógeno líquido y se molió en un mortero de ágata para darle uniformidad al grano guardándose a temperatura ambiente en frascos herméticamente sellados de vidrio para su posterior utilización. En la Figura 9, se observan a) el equipo de extracción, b) el aceite producto de la extracción (mezcla de Ácido oleico, 74.71%, Palmítico 6.86%, Araquídico 3.16% y behénico 5.20%), (Barbosa *et al.*, 2010) y c) el polvo de semillas de moringa después de la extracción.



a) Extracción del aceite,



b) aceite extraído



c) Polvo de semillas de moringa

Figura 1. Productos obtenidos en la extracción Soxhlet.

Obtención de las soluciones coagulantes

La obtención del extracto a partir de semillas de *Moringa Oleífera* se realizó siguiendo la recomendación de Okuda *et al.*, (2001), con una modificación en la molienda, donde el polvo seco se Para extraer el coagulante, se disuelven 10 g. del polvo seco en 1 L de agua destilada. Se agita durante 10 min. a 60 rpm. Se filtra a vacío utilizando papel filtro Whatman 40. Posteriormente en filtros Millex®-HV 0.45 µm. Esta solución se congela a 4°C para evitar su envejecimiento, hasta el momento de su uso. Las soluciones de moringa en cloruro de sodio 1 N y en agua de mar se prepararan de manera similar.

Preparación de las aguas sintéticas

Se utilizó el agua del río Samaria como base para la preparación de las otras dos aguas sintéticas, la primera por dilución, agregando agua destilada hasta llegar a la turbidez de 15 NTU y la segunda se le agregó suelo vertisol para alcanzar una turbiedad de 100 NTU.

Se realizaron pruebas de jarras para las dosis de coagulante de 0, 5, 10, 15, 20 30 y 40 mgL⁻¹ usando los extractos crudos de moringa para aguas de turbiedad inicial de 15, 36 y 100 NTU y se procedió al mezclado usando la propuesta de Okuda *et al.* (2001), Para cada dosis se realizaron 4 repeticiones para fines estadísticos.

Para la medición de la turbiedad y color del agua cruda y en el agua tratada se empleó un turbidímetro marca LaMotte^{MR} con precisión 0.01 NTU-turbiedad (método EPA 180.1, TC-300e; ISO-7027, TC-3000j).y el color con una precisión 0.1 C.U-color aparente (método estándar 2120B). El pH y temperatura se analizaron con un medidor versátil marca Hanna^{MR} con precisión 0.01 pH y 0.1°C de temperatura. Los sólidos disueltos totales (SDT) y se midieron con un medidor versátil marca Hanna^{MR}. La alcalinidad fue medida con pruebas de titulación de acuerdo al método estándar NMX-AA-036-SCFI-2001. La materia orgánica fue determinada por oxidación con permanganato de potasio, por ser el recomendado para cantidades bajas de materia orgánica siguiendo la metodología descrita en la norma UNE-77004-2002.

Obtención de la dosis óptima de coagulación con el Sulfato de aluminio.

Se agregó un litro de agua a cada uno de los 6 vasos del equipo de prueba de jarras marca Phipps bird^{MR} BP-700. A cada vaso, se le agregó la solución de sulfato de aluminio (Sulfato de aluminio) en concentraciones de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, y 40 mgL⁻¹. y se procedió al mezclado usando la propuesta de Okuda *et al.* (2001), Se midieron los valores finales de turbiedad, color, empleando 4 repeticiones para fines estadísticos. La dosis óptima seleccionada para el sulfato de aluminio fue aquella que proporcionó los mejores resultados de remoción de turbiedad y color cumpliendo con la normatividad

Para la determinación de la dosis óptima se utilizó un diseño simple completamente al azar. La eficiencia de coagulación de los extractos crudos se determinó para las dosis de 0, 5, 10, 15, 20, 30 y 40 mgL⁻¹ y en aguas crudas de 15, 36 y 100 NTU de turbiedad. Se realizaron 4 repeticiones. Las gráficas fueron elaboradas en el paquete estadístico SIGMA PLOT.11[®].

DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados para las condiciones óptimas de remoción de turbiedad usando sulfato de aluminio, extracto de moringa disuelto en agua destilada, en cloruro de sodio 1N y en agua de mar, se muestran en las Figuras de la 2 a la 5. Se usó el agua cruda del río Samaria (36 NTU) y las aguas sintéticas preparadas (15 y 100 NTU).

Los resultados para las condiciones óptimas de remoción de turbiedad usando sulfato de aluminio, extracto de moringa disuelto en agua destilada, en cloruro de sodio 1N y en agua de mar, se muestran en las Figuras de la 2 a la 5. Se usó el agua cruda del río Samaria (36 NTU) y las aguas sintéticas preparadas (15 y 100 NTU).

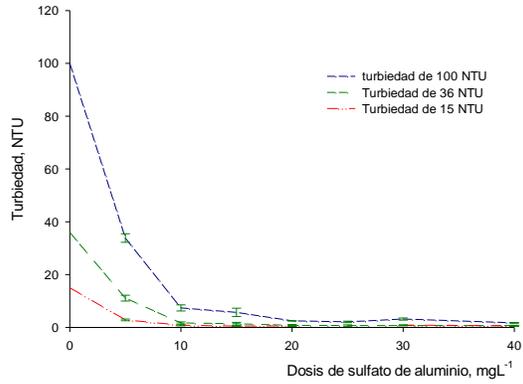


Figura 2. Remoción de turbiedad con sulfato de aluminio para aguas de diferente turbiedad

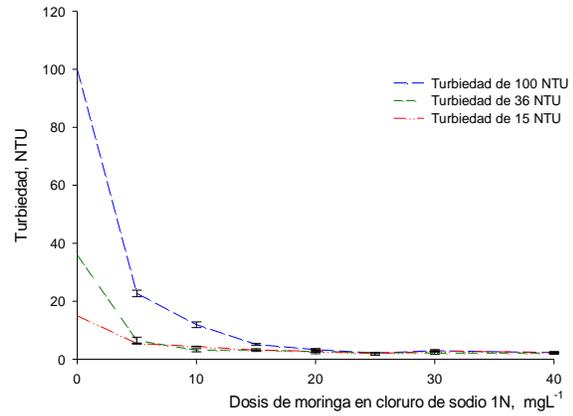


Figura 3. Remoción de turbiedad con la solución de moringa en Cloruro de sodio 1N para aguas de diferente turbiedad

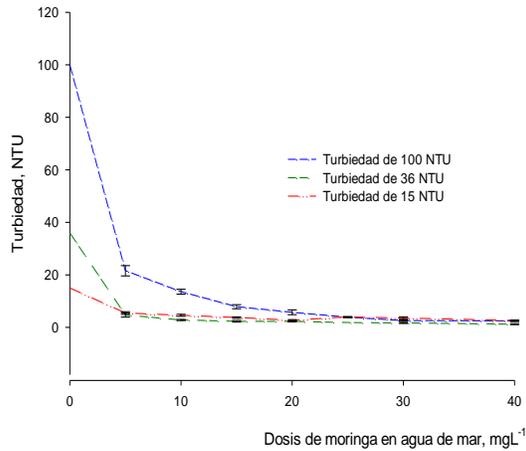


Figura 4. Remoción de turbiedad con la solución de moringa en agua de mar para aguas de diferente turbiedad

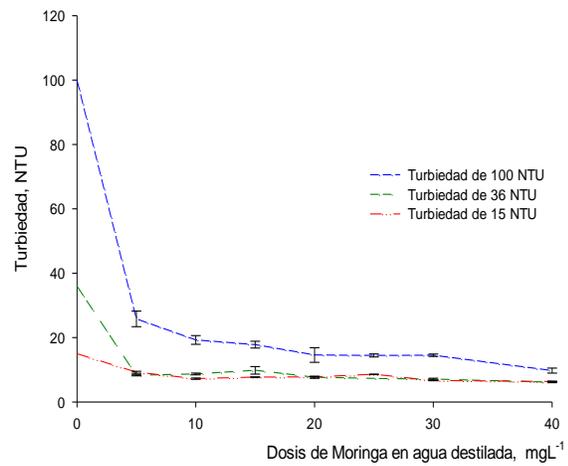


Figura 5. Remoción de turbiedad con la solución de moringa en agua destilada para aguas de diferente turbiedad

La Tabla 1 muestra las dosis óptimas determinadas para cada uno de los tratamientos:

COAGULANTE	DOSIS OPTIMA mgL ⁻¹		
	15NTU	36 NTU	100 NTU
Sulfato de aluminio	10	10	15
MONA	10	10	15
MOAM	10	10	25
MOAD	No se alcanza	No se alcanza	No se alcanza

La dosis óptima determinada para el sulfato de aluminio se encuentra en un rango de 10 a 15 mg L⁻¹. La coagulación se caracteriza por la precipitación de grandes flóculos en un periodo aproximado de 30 minutos (Figura 6).

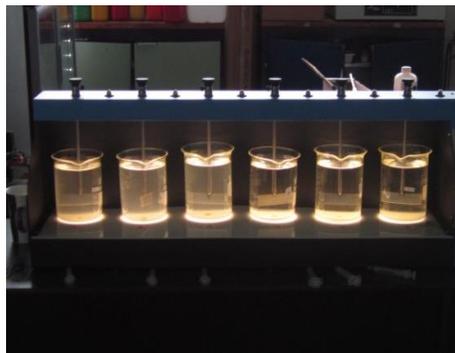


Figura 6. Prueba de jarras con sulfato de aluminio

La coagulación–floculación con extractos crudos de semilla de moringa se llevó a cabo con tres diferentes soluciones usando agua destilada, solución de cloruro de sodio 1N y agua de mar. Los extractos se prepararon usando la metodología estándar que ha sido propuesta en anteriores investigaciones con el fin de reducir el número de parámetros desconocidos en la prueba. A todos los extractos se les realizó la extracción del aceite. Los resultados de dosis óptima se calcularon en base a la cantidad inicial de semilla usada en la preparación de los extractos. La concentración exacta de coagulante de los extractos crudos es desconocida. Cuando se usa el coagulante de moringa en cloruro de sodio, las dosis óptimas encontradas (entre 10 y 15 mgL⁻¹) son similares a las del sulfato de aluminio para las tres turbiedades estudiadas. La solución de moringa en agua de mar muestra un incremento en la dosis en el agua de mayor turbiedad (25 mgL⁻¹). La moringa en agua destilada con las dosis evaluadas no alcanzó valores dentro de la norma.

Por otro lado, existe una diferencia en el tamaño de los flóculos obtenidos comparados con el sulfato de aluminio, siendo más pequeños y de color más claro y requirieron un mayor tiempo para sedimentar por lo que se presume que son menos densos que los obtenidos con sulfato de aluminio. Un incremento en el tiempo de sedimentación cuando se usan extractos de moringa, implicaría por lo tanto una mejora en la eficiencia de remoción (Figura 7).



Figura 7. Floculación-coagulación de los extractos de moringa

Muyibi *et al.* 2001), encontraron un comportamiento similar en aguas de baja turbiedad. De igual manera Gómez, (2010), realizó un estudio para aguas de baja turbiedad concluyendo que la eficiencia de coagulación se mejora usando soluciones de cloruro de sodio para aguas de baja turbiedad, reportando una dosis óptima de 25 mgL^{-1} con una eficiencia de 69% de remoción. Resultados inferiores a las dosis óptimas obtenidas en este trabajo. El uso de agua de mar como disolvente proporciona cierta variación en los resultados respecto a la solución salina de cloruro de sodio 1 N.

Las Figuras 8 a la 11 presentan los resultados obtenidos en la remoción de color

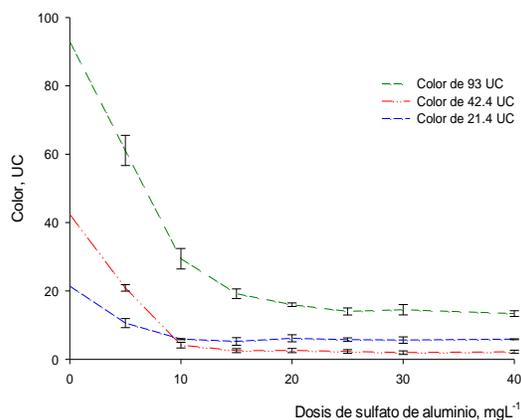


Figura 8. Eficiencia de remoción de color con sulfato de aluminio

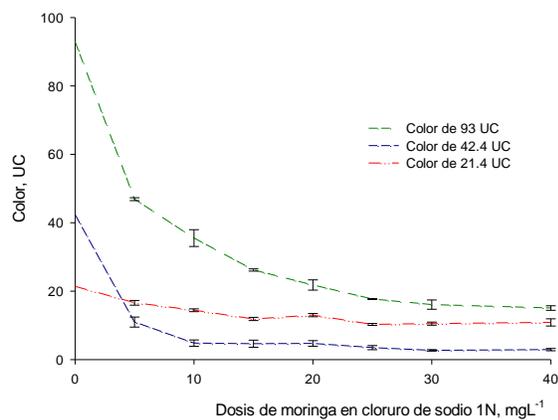


Figura 9. Eficiencia de remoción de color de las semillas de moringa en solución de cloruro de sodio 1N

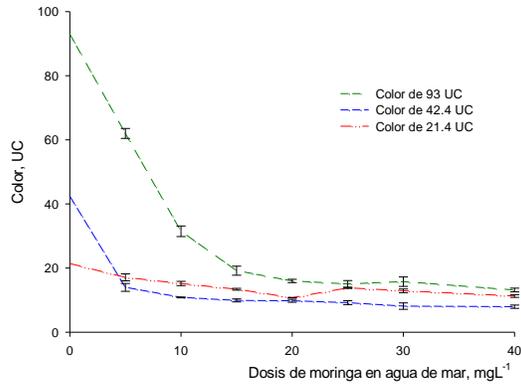


Figura 10. Eficiencia de remoción de color de las semillas de moringa en solución agua de mar

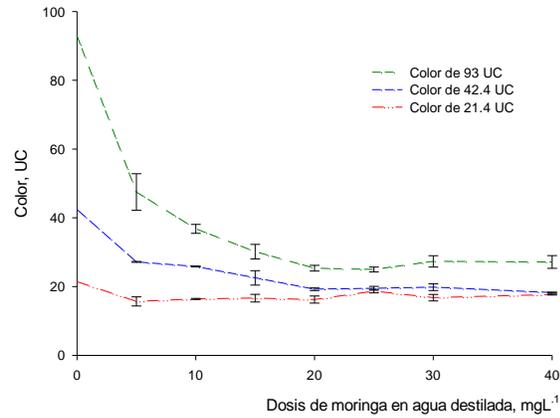


Figura 11. Eficiencia de remoción de color de las semillas de moringa en solución de agua destilada

La Tabla 2 muestra las dosis óptimas determinadas para cada uno de los tratamientos:

Tabla 2. Dosis óptima para remoción de color

COAGULANTE	DOSIS ÓPTIMA mgL ⁻¹		
Color	21.4	42.4	93
Sulfato de aluminio	0	15	15
MONA	0	15	25
MOAM	0	10	15
MOAD	0	20	27

La dosis óptima para el agua de 21.4 unidades de color no requiere adición de ningún coagulante, debido a que por sedimentación natural llega a los valores de los límites permisibles. La dosis óptima para las aguas de 42.4 y 93 UC con el sulfato de aluminio se alcanza con 15 mgL⁻¹. La solución de cloruro de sodio en el valor más alto de color requiere una dosis de 25 mgL⁻¹. Mientras que en las soluciones con agua destilada sólo se alcanza el valor requerido en la norma en las aguas con valores más bajos de color. De acuerdo a Schwarz (2000), para aguas de turbiedad abajo de 50 NTU el rango de la dosis de MO varía de 10 a 50 mgL⁻¹, mientras que para aguas de turbiedad entre 50 y

150 NTU, la dosis varía de 30 A 100 mgL⁻¹ cuando se emplea agua como disolvente, resultados similares a los obtenidos en esta etapa de la investigación.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten llegar a las siguientes conclusiones:

_Las eficiencias de remoción con MONA, MOAM, muestran valores superiores al 90%. La extracción del coagulante con agua destilada no representa un método adecuado para el tratamiento de agua superficial por su baja eficiencia de remoción (49.94% y 49.03% para turbidez y color respectivamente).

-Cuando se comparan los efectos en aguas de diferente turbiedad, la eficiencia de remoción de los extractos salinos de moringa en cloruro de sodio y agua de mar mejoraron a medida que la turbiedad del agua se incrementa. Por lo que el uso de *Moringa oleífera* en soluciones salinas constituye un método de tratamiento competitivo con las sales metálicas de Sulfato de aluminio. Este resultado abre una alternativa prometedora que pudiera evitar los efectos adversos que el sulfato de aluminio produce en la salud. Además de la posibilidad de uso en zonas rurales.

BIBLIOGRAFÍA

- Arnoldsson E., Bergman M., Matshine N. and Persson M.K. (2008). *Assessment of drinking water treatment using Moringa oleífera natural coagulant*. Vatten 64:137-15
- Castro, F.J.F y F.J.A. Silva; (2004). *Moringa Oleífera na Melhoria da Qualidade de Efluentes de UASB e de Lagoa de Maturação-Remoção de Cor e Turbidez*. In: XI SILUBESA Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental, Natal/RN
- Gómez G. K.R., (2010) *Eficiencia del coagulante de semilla de moringa oleífera en el tratamiento de aguas de baja turbidez*. Zamorano, Honduras
- Ghebremichael, K.A.; Gunaratna K.R.; Henriksson H.; Brumer, H.; Dalhammar, G. *A simple purification and activity assay of the coagulant protein from Moringa Oleífera seed*. Water Research, v.39 n. 11 2338-2344, 2005
- Jahn, S. A. (1986). *Proper use of African natural coagulants for rural water supplies*. Research in the Sudan and guide to new projects. GTZ Manual.
- Mendoza I., Fernández N, Ettiene G, Díaz A, (2000) *Uso de la moringa oleífera como coagulante en la potabilización de las aguas*. Instituto de la Conservación del Lago de Maracaibo. (ICLAM) Scientific Journal from the experimental Faculty of Sciences 8 (2), 235-242, Maracaibo Venezuela
- Muyibi, SA y LM Evison (1995). *Optimización de Físico Parámetros que afectan a la coagulación de la agua turbia con Moringa oleífera* ". Vol. 29, No. 12, pp 2689-2695
- Ndabigengesere, A. y, K.S Narasiah; (1998). *Quality of Water Treated by Coagulation Using Moringa oleífera Seeds*. Water Research: 32(3), 781-791
- Okuda, T., A.U. Baes, W. Nishijima y M. Okada (2001). *Improvement of extraction method of coagulation active components from moringa oleífera seed*. Water Research.
- Ridwan Muhammad Fahmi, ni Wahidatul Azura Zainon Najib, Pang Chan Ping y Nasrul Hamidin (2011). *Mechanism of Turbidity and Hardness Removal in Hard Water Sources by using Moringa oleífera*. *Revista de Ciencias Aplicadas*, 11: 2947-2953
- Muyibi, S.A. y Evison L.M. (1994) *Moringa oleífera for softening harwater*. Water Research, vol. 29 No. 4 pp 1099-1105
- Schwarz, D.(2000) *Water clarification using Moringa oleífera*. Gate information service, Eschborn, Germany (2000)
- Suay, L. L. y Ballester, D. F. (2002). *Revisión de los estudios sobre exposición al aluminio y enfermedad de Alzheimer*. *Revista Española de Salud Pública versión impresa* ISSN 1135-5727.
- Trejo V.R., Hernández M. V. (2004). *Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable*. *Conciencia Tecnológica*, número 025 Instituto Tecnológico de Aguascalientes. Aguascalientes, México
- Yarahmadi, M., Hossieni, M., Bina B., Mahmoudian Naimabadie M. H. and Shahsaavani, A. (2009). *Aplication of Moringa Oleífer seed extract and polyaluminium chloride in water treatment*. *World applied Sciences Journal* 7 (8): 962-967. ISSN 1818-4952.