

Eficiencia de las semillas *Moringa oleifera* como coagulante orgánico en la remoción de metales en aguas de baja turbiedad

Marielba Mas y Rubí¹, Sedolfo Carrasquero¹, Daimarys Martínez¹,
Donaldo Gabriel Mejías² y Luis Vargas³

¹Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Apartado Postal 526. Maracaibo 4001-A, Venezuela. E-mail: mmyrubi@yahoo.com.

²Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt, Programa de Ingeniería y Tecnología, Proyecto de Ingeniería de Gas, Cabimas, Venezuela.

³Centro de Investigaciones del Agua, Universidad del Zulia, Apartado Postal 526. Maracaibo 4001-A, Venezuela.

Recibido: 22/02/2013 Aceptado: 12/07/2013

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar la eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante orgánico para la remoción de metales en aguas de baja turbiedad provenientes de un sistema de tratamiento de lagunas de estabilización de efluentes residuales domésticos ubicado en el Estado Zulia, Venezuela. Las semillas fueron recolectadas de árboles ubicados en el municipio Maracaibo, estado Zulia, para luego ser secadas, molidas y tamizadas para la preparación de la solución madre de coagulación con una concentración de 10.000 mg/L. Se realizó la caracterización del agua residual midiendo los siguientes parámetros fisicoquímicos: Color aparente, turbiedad, alcalinidad total, sólidos totales y las concentraciones totales de los metales, Ba, Cd, Cu, Fe, Ni, Zn, Cr, Li, Pb, Se. Las concentraciones de los metales fueron determinadas mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con llama. Se utilizó un rango de concentración de 10 a 500 mg/L de solución coagulante, logrando un porcentaje de remoción de turbiedad de 87,4% para un valor de turbiedad inicial de 40,40 NTU, utilizándose como dosis óptima de coagulante 25 mg/L. Las semillas de *Moringa oleifera* lograron reducir la concentración de los metales Cd, Cu, Zn, Fe y Ni en un 71,4; 75,3; 99,2; 60,8 y 73,0 %, respectivamente.

Palabras clave: Coagulación, coagulantes naturales, *Moringa oleifera*, aguas residuales, metales.

Efficiency of the moringa oleifera seeds as organic coagulant for metal removal in low turbidity wastewaters

Abstract

The seeds of *Moringa oleifera* were studied as a organic coagulant for metal removal in low turbidity wastewaters from a treatment system of stabilization ponds located in Zulia State, Venezuela. The seeds were collected from trees located in Maracaibo, Zulia state. Dry seeds were ground and sieved to prepare the coagulation

solution with a concentration of 10,000 mg / L. The physicochemical parameters: apparent color, turbidity, total alkalinity, total solids and total concentrations of the metals were determined in the wastewater. Total concentrations of metals were determined by spectrophotometry with flame atomic absorption. It used a concentration range of 10 to 500 mg/L of *Moringa oleifera* coagulant solution. The optimal dose of coagulant solution was 25 mg/L, for an initial turbidity of 40.40 NTU, reaching a percent removal of turbidity of 87.4%. *Moringa oleifera* seeds were able to remove the concentration of metals such as Cd, Cu, Zn, Fe and Ni at 71.4, 75.3, 99.2, 60.8 and 73.0%, respectively.

Key words: Coagulation, natural coagulants, *Moringa oleifera*, wastewaters, metals.

Introducción

En la actualidad debido a la creciente escasez de agua, la necesidad de proteger el medio ambiente y aprovechar económicamente las aguas residuales, se ha promovido el reuso controlado de efluentes de sistemas de tratamiento [1]. Las posibilidades de reutilización de las aguas residuales tratadas son numerosas y variadas dependiendo del nivel y la tecnología de tratamiento a que se sometan, lo que determinará la calidad del efluente conseguido, destacando como destino más frecuente, el riego agrícola.

El uso de aguas residuales tratadas con coagulantes naturales para el riego de cultivos es cada vez más común y ofrece una buena oportunidad para conservar el recurso agua, ya que el rendimiento de los cultivos es superior, por contener las aguas residuales nutrientes para el desarrollo de las plantas [2].

Uno de los coagulantes ampliamente utilizado con éxito en el tratamiento de aguas para consumo humano y de aguas residuales son las semillas de *Moringa oleifera*, debido a la presencia de proteínas catiónicas solubles en la semilla [3, 4, 5, 6].

Una fracción del contenido proteico de las semillas, cercana al 1%, está constituida por proteínas activas que neutralizan y precipitan los coloides del agua, igual que como lo hacen los coagulantes industriales sólo que a menor costo [7]. Gassenschmidt *et al.* [8] reportaron la presencia de altos niveles de proteínas con capacidad floculante comparable con la capacidad de los polímeros sintéticos, como la poliacrilamida. Muyibi *et al.* [9], demostraron que las semillas de *Moringa oleifera* remueven metales pesados por el proceso de adsorción, el mecanismo que provoca la adsorción de metales pesados es a través del ion metálico positivo que forma un puente entre el polielectrolito aniónico y cargados negativamente de los grupos funcionales de las proteínas que están presentes en la semillas.

El objetivo de la investigación fue evaluar la eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante orgánico en la remoción de metales en aguas de baja turbiedad provenientes de un sistema de tratamiento de efluentes residuales domésticos basado en lagunas de estabilización del estado Zulia, Venezuela, para el mejoramiento de su calidad y su posible uso con fines agrícolas.

Parte Experimental

Procesamiento de la semilla *Moringa oleifera*

Las semillas de *Moringa oleifera* se recolectaron secas y enteras de diversos árboles ubicados en el municipio Maracaibo, estado Zulia; las mismas se preservaron y almacenaron en sacos de fique, para la posterior extracción de las vainas y eliminación de la cáscara.

Las semillas secas y sin cáscaras se pulverizaron finamente en un molino eléctrico Modelo 4-E Grindin Mill 89 rpm, hasta obtener una harina de color blanco amarillento, que se almacenó en frascos de color ámbar, para su preservación y posterior uso.

Se determinó el contenido de metales totales en la semilla procesada mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con llama, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) Perkin-Elmer, modelo 3110 [10]. Para ello una muestra de 0,2 g de semilla previamente se

digestó en bombas de presión tipo Parr, utilizando solución digestora de ácido nítrico, se tomaron 3 mL de solución digestora y 5 mL de agua desionizada y se colocaron en las bombas de teflón PFA para ser calentadas a una temperatura entre 100 y 110°C durante cuatro horas.

Recolección y caracterización del efluente

Los estudios se llevaron a cabo utilizando aguas residuales tratadas provenientes del sistema de lagunas de estabilización de la planta de tratamiento de aguas residuales de Punta Gorda-Cabimas, Estado Zulia, Venezuela.

La recolección del efluente se realizó de acuerdo a los patrones establecidos en el Método Estándar, usando el método 1060 Recolección de muestras y preservación [11]. La captación del agua residual se realizó de manera manual a través de un muestreo aleatorio simple, tomando las aguas residuales tratadas, en recipientes de polietileno de alta densidad con capacidad de 25 L.

Se realizó la determinación de parámetros fisicoquímicos al agua residual tratada proveniente de la planta de tratamiento objeto de estudio, midiendo los siguientes parámetros fisicoquímicos: color aparente (2.120B), turbiedad (2.130 B), alcalinidad total (2.320 B), sólidos totales (2.540 B) y las concentraciones totales (3110) de los metales Bario (Ba), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Níquel (Ni), Zinc (Zn), Cromo (Cr), Litio (Li), Plomo (Pb), Selenio (Se), siguiendo los procedimientos establecidos en el método estándar para el análisis de aguas y efluentes [11].

Las concentraciones totales de los metales fueron determinados mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con llama, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) Perkin-Elmer, modelo 3110.

Preparación de la solución coagulante

Se preparó una suspensión de solución coagulante pesando 5 g de polvo desgrasado de la semilla *Moringa oleifera*, el cual se colocó en un balón aforado de 500 mL, y se aforó con agua destilada hervida para obtener una concentración de 10.000 mg/L, esta mezcla fue agitada durante dos horas en un agitador magnético, para obtener una mezcla homogénea.

Luego de preparada la solución, se filtró con papel de filtro Whatman Nº 42 de 5,5 cm. de diámetro, se envasaron en recipientes cerrados y se conservaron a una temperatura de aproximadamente 4°C para evitar una posible descomposición [12]. A partir de estas soluciones, se obtuvo por dilución el rango de concentraciones ensayadas (10 hasta 500 mg/L).

Efectividad de la semilla *Moringa oleifera* en la remoción simultánea de metales y turbiedad

La efectividad de las semillas como coagulante se determinó a través de la prueba de Jarra mediante ensayos exploratorios en un rango de concentración de 10 a 500 mg/L para la solución madre de 10.000 mg/L. Los ensayos exploratorios se aplicaron para los valores de turbiedad inicial de 40,40 NRU, con un mezclador rápido a 100 rpm, durante 1 min y un mezclador lento a 30 rpm, durante 30 min para determinar la dosis óptima de coagulante [12]. Los parámetros fisicoquímicos, en cada una de las muestras se determinaron antes y después del tratamiento.

Resultados y Discusión

Concentraciones totales de metales en la semilla *Moringa oleifera*

Las concentraciones totales de metales en la semilla *Moringa oleifera* se presentan en la Tabla 1. Se observa que el metal que se encontró en mayor concentración fue el cobre con un valor promedio de 0,11 mg/g, seguido del zinc y el níquel, con concentraciones promedio de 0,08 y 0,04 mg/g, respectiva-

mente. Estos valores fueron menores a los reportados por Kumar *et. al.* [13], quienes encontraron concentraciones promedios de cobre, zinc y níquel de 0,57, 3,3 y 1,64 mg/g en semillas de *Moringa oleifera*.

Se puede observar la ausencia de elementos como el bario, el cromo, el litio, el plomo y el selenio. Sin embargo, otros investigadores como Kumar *et. al.* [13], detectaron concentraciones de plomo superiores a 0,11 mg/g en semillas de *Moringa oleifera*.

La presencia de los metales en las semillas se debe a la capacidad de las plantas de bioacumular estos elementos, tomándolos desde las raíces y movilizándolos a través del cuerpo de la planta, la ocurrencia de este proceso va a depender de la disponibilidad y la concentración de metales en el suelo [4, 8, 14].

Tabla 1. Concentración de metales en la caracterización de la semilla *Moringa oleifera*

Metal	Concentración (mg/g de peso seco) (Media ± DE)	Límite de detección* (mg/L)
Ba	ND	0,70
Cd	0,03 ± 0,08	0,01
Cu	0,11 ± 0,06	0,02
Cr	ND	0,03
Fe	0,01 ± 0,00	4,00*10 ⁻³
Li	ND	8,00*10 ⁻⁴
Ni	0,04 ± 0,00	9,00*10 ⁻³
Pb	ND	0,03
Se	ND	0,13
Zn	0,08 ± 0,01	0,02

ND: No detectable. DE: Desviación estándar.

El límite de detección corresponde al de un EAA Perkin Elmer, modelo 3110.

Caracterización del efluente proveniente del sistema de lagunas de estabilización

Los parámetros fisicoquímicos medidos al efluente proveniente del sistema de lagunas de estabilización se muestran en la Tabla 2. El pH del efluente osciló entre 7,36 y 7,68 unidades de pH cumpliendo a lo establecido en decreto 883 para descarga en cuerpos de agua, tales como, ríos, estuarios, lagos y embalses [15]. Con respecto a los otros parámetros fisicoquímicos el color, la alcalinidad total y la turbiedad presentaron valores promedios de 225 UC, 112,75 mg CaCO₃/L y 45 NTU.

Tabla 2. Caracterización del efluente proveniente del sistema de lagunas de estabilización

Parámetros	Unidad de expresión	Media ± DE
Color aparente	UC	225,00 ± 0,00
pH	-	7,52 ± 0,16
Turbiedad	NTU	45,00 ± 6,00
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	112,75 ± 43,49
Sólidos totales	mg/L	787,75 ± 62,58

DE: Desviación estándar

A la muestra de agua residual tratada y recolectada en la laguna de estabilización de la Planta de Tratamiento Punta Gorda-Cabimas, estado Zulia se le determinó el contenido metales, con el propósito de estudiar la factibilidad de utilizar estas aguas con fines de riego en las áreas adyacentes a la Planta de Tratamiento. En la Tabla 3 se muestran las concentraciones totales de metales obtenidos de la caracterización del efluente del sistema de lagunas.

Tabla 3. Concentraciones totales de metales en la caracterización del efluente proveniente de las lagunas de estabilización

Metales	Concentración (mg/L) (Media ± DE)	Límite de detección* (mg/L)	Límite máximo permisible en aguas destinadas a usos agropecuarios (mg/L) [15]
Ba	ND	0,70	1,00
Cd	0,07 ± 8,00*10 ⁻³	0,01	5,00*10 ⁻³
Cu	0,81 ± 0,04	0,02	0,20
Cr	ND	0,03	0,05
Fe	1,94 ± 0,07	4,00*10 ⁻³	1,00
Li	ND	8,00*10 ⁻⁴	5,00
Ni	0,63 ± 0,02	9,00*10 ⁻³	0,50
Pb	ND	0,03	0,05
Se	ND	0,13	0,01
Zn	1,20 ± 6,00*10 ⁻³	0,02	5,00

ND: No detectable. DE: Desviación estándar. *El límite de detección corresponde al de un EAA Perkin Elmer, modelo 3110.

El metal que presentó la mayor concentración fue el hierro, con un promedio de 1,940 mg/L, seguido del zinc y el cobre, con concentraciones promedios de 1,200 y 0,810 mg/L, respectivamente. Se puede observar la ausencia de elementos como el bario, el cromo, el litio, el plomo y el selenio.

De acuerdo a los resultados obtenidos las concentraciones totales de Cd, Cu, Fe y Ni excede los límites máximos permisibles para que el agua proveniente del sistema de lagunas de estabilización pueda ser utilizada para fines agropecuarios, según lo establecido en el Decreto 883 [15], por lo que se sugiere un postratamiento para mejorar la calidad del efluente [15]

Prueba de solubilidad

La solución coagulante se preparó a una concentración de 10.000 mg/L para una turbiedad inicial de 75 NTU. A la solución coagulante de 10.000 mg/L preparada, se le determinó la concentración de sólidos disueltos, lo que representa la cantidad de polvo de semilla *Moringa oleifera* que realmente se disolvió en la solución y que actuaría efectivamente como coagulante, evitando así el fenómeno de arrastre, causado por la materia suspendida (Tabla 4).

Tabla 4. Sólidos determinados a la solución coagulante

	Solución de 10000 mg/L
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	6860 ± 346
Sólidos disueltos totales (mg/L)	3140 ± 316

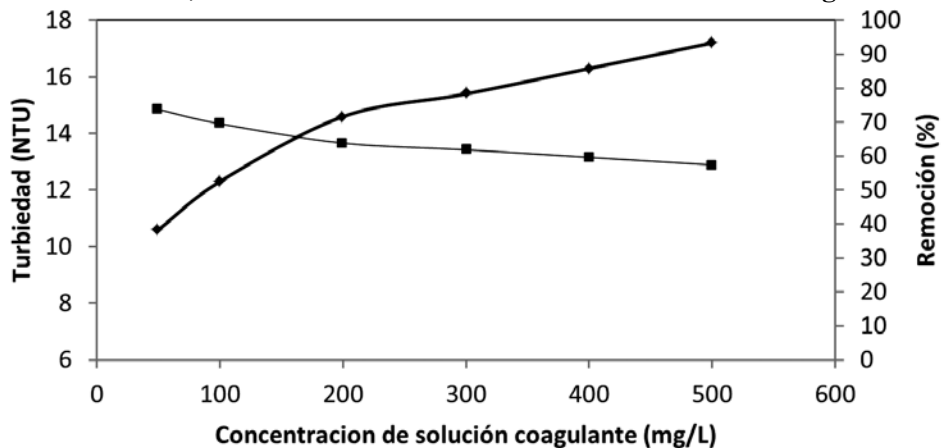
La concentración de los sólidos disueltos fue de 3.140 mg/L; lo que representa un porcentaje de solubilidad de 31,4 %. Este valor de solubilidad fue superior al obtenido por *Ndabigengesere et. al.* [12],

quienes reportaron un porcentaje de solubilidad del 25% pero inferior al obtenido por Mas y Rubí *et. al.* [6], quienes obtuvieron un porcentaje de 50,73%.

Efectividad de las semillas *Moringa oleifera* en la remoción simultánea de metales y turbiedad

Los valores presentados en la Figura 1 corresponden a los diferentes valores de turbiedad obtenidos en el primer ensayo de jarra exploratorio para la muestra de agua residual tratada (10,60; 12,30; 14,60; 15,40; 16,30; 17,20 NTU), en donde la turbiedad inicial del agua fue de 40,40 NTU.

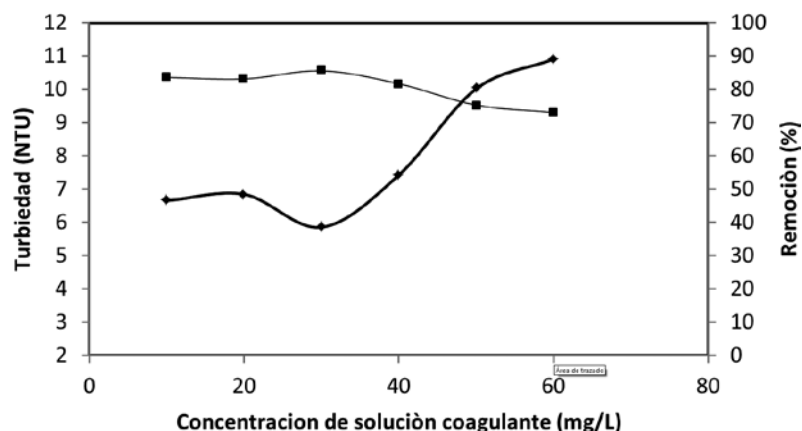
Figura 1. Turbiedad vs. concentración de *Moringa oleifera* para una muestra de turbiedad inicial de 40,40 NTU utilizando una concentración de 10.000 mg/L.



En la Figura 1 se puede observar que el menor valor de turbiedad alcanzado fue de 10,60 NTU para una dosis de 50 mg/L. Se observó que los valores de turbiedad tendieron a aumentar con el incremento de las dosis de coagulante. Okuda *et al.* [16], reportaron en su investigación que el exceso de coagulante afecta el proceso de sedimentación, ya que las diferentes especies químicas cargadas eléctricamente interfieren con este proceso de desestabilización coloidal.

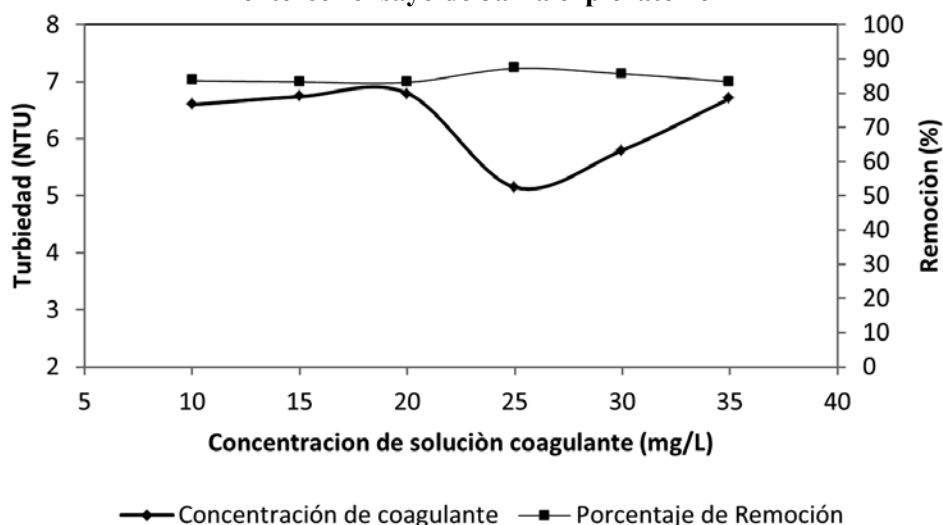
En la Figura 2 se muestra los valores de turbiedad alcanzados después del proceso de coagulación con dosis entre 20 y 60 mg/L. El menor valor de turbiedad obtenido fue de 5,85 NTU; para una dosis de coagulante de 30 mg/L. Este resulta fue superior al reportado por Mendoza *et. al.* [17], reportaron en su trabajo una dosis óptima de 20 mg/L para una turbiedad inicial de 49 NTU.

Figura 2. Valores de Turbiedad vs. concentración de *Moringa oleifera* de 20 a 60 mg/L



En la Figura 3 se observan los diferentes valores de turbiedad obtenidos para dosis de *Moringa oleifera* que variaron entre 10 y 35 mg/L, se observa que el menor valor alcanzado fue de 5,15 NTU, para una dosis de coagulante de 25 mg/L; correspondiendo éste al menor valor obtenido en todas las pruebas realizadas

Figura 3. Valores de Turbiedad vs. Concentración de *Moringa oleifera* finalizado el tercer ensayo de Jarra exploratorio



A continuación se presenta la Tabla 5, la cual contempla la dosis óptima de la solución coagulante de *Moringa oleifera* y el porcentaje de remoción de turbiedad decantada y filtrada obtenido durante el tratamiento para la dosis óptima encontrada.

Tabla 5. Valores de Turbiedad y Porcentaje de Remoción obtenidos durante el tratamiento del agua, con la dosis óptima de solución coagulante

Turbiedad inicial (NTU)	Dosis óptima (mg/L)	Turbiedad decantada (NTU)	Remoción %	Turbiedad filtrada (NTU)	Remoción %
40,40 ± 6,0	25	5,10	87,4	1,78	95,5

Se alcanzaron porcentajes de remoción de 87,4% luego de sedimentada la muestra (turbiedad decantada) y de 95,5% después de filtrada (turbiedad filtrada). Se observa que la turbiedad del agua disminuyó a valores por debajo de 5 NTU después de la filtración; lo que indica que la turbiedad presente en el agua decantada se debe a partículas suspendidas que no sedimentan, pero quedan retenidas en el filtro; lo cual garantiza que el agua al salir de la planta pueda disponerse para el riego de las áreas adyacentes, no tapando u obstruyendo la salida de los aspersores de agua, facilitando a su vez el mantenimiento de los mismos.

Los resultados sobre la remoción de turbiedad obtenidos en esta investigación pueden ser comparados con los reportados por Muyibi *et. al.* [9], quienes evaluaron el efecto de la extracción del aceite de las semillas *Moringa oleifera* para la coagulación de aguas de río con niveles de turbiedad de 56 y 451 NTU, alcanzando porcentajes de remoción de 87 y 98% respectivamente. En este orden de ideas, Mendoza *et. al.* [17], evaluaron la efectividad de la semilla *Moringa oleifera* en la potabilización de

aguas crudas sintéticas con valores de turbiedad entre 7 y 49 NTU, alcanzando porcentajes de remoción de 29 y 90% respectivamente y una dosis de 20 y 10 mg/L. De igual forma, Ndabigengesere *et. al.* [12], obtuvieron porcentajes de remoción similares a la presente investigación (91%), al usar semillas de *Moringa oleifera* en el tratamiento de las aguas; logrando llevar las aguas de turbiedades de 105 NTU hasta valores de 10 NTU.

A continuación se muestra la Tabla 6, la cual contiene los valores de pH y alcalinidad inicial medidos al agua luego del tratamiento con la solución de *Moringa oleifera* en su dosis óptima.

Tabla 6. Valores de pH y Alcalinidad medidos al agua antes y después del tratamiento con la dosis óptima de *Moringa oleifera*

Turbiedad (NTU)	pH		Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	
	Inicial	Decantado	Inicial	Decantado
40,4 ± 6,0	7,16 ± 0,16	7,03 ± 0,12	136 ± 43	128 ± 36

Los resultados presentados en la Tabla 6 muestran que los valores de pH y alcalinidad no presentaron variación con respecto a los valores presentados inicialmente, luego del tratamiento con *Moringa oleifera*. Estos resultados son muy similares a los presentados por Ndabigengesere *et. al.* [12], quienes en su investigación reportaron que las semillas *Moringa oleifera* no afectan significativamente los valores de pH y alcalinidad, los cuales permanecieron casi constantes en 7,6 y 53 mg CaCO₃/L, respectivamente. Resultados similares fueron obtenidos por Dalen *et. al.* [18], quienes tampoco reportaron variaciones significativas de pH durante del tratamiento aguas para potabilización utilizando semillas de *Moringa oleifera* como agente coagulante.

En la Tabla 7, se muestran los valores de sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos antes y después del tratamiento con *Moringa oleifera*.

Tabla 7. Valores de los Sólidos antes y después del tratamiento con *Moringa oleifera*

Turbiedad inicial (NTU)	ST (mg/L)		SDT (mg/L)		SST (mg/L)	
	Inicial	Decantado	Inicial	Decantado	Inicial	Decantado
40,40 ± 6,0	810 ± 60	580 ± 54	100 ± 32	50 ± 38	694 ± 25	440 ± 36

La cantidad de sólidos es un indicativo de la cantidad de materia suspendida y disuelta que presentan las aguas. En la Tabla 7 se puede observar que los sólidos disueltos disminuyeron en un 50 %; alcanzándose valores de sólidos disueltos de 50 mg/L, los cuales están por debajo de los exigidos por la Normas de Calidad del Agua para uso agropecuario, es decir 3000 mg/L [15].

En la Tabla 8 se puede observar los valores de las concentraciones totales de metales antes y después del tratamiento del agua residual tratada con la dosis óptima con el uso de las semillas *Moringa oleifera*.

Tabla 8. Valores de metales antes y después del tratamiento con *Moringa oleifera*

Metales	Afluente	Efluente	Remoción %	Límite de detección* (mg/L)
Ba	ND	-	-	0,70
Cd	0,07± 0,008	0,02± 0,009	71,40±6,08	0,01
Cu	0,81± 0,037	0,20± 0,034	75,30±2,07	0,02
Cr	ND	-	-	0,03
Fe	1,94± 0,071	0,76± 0,054	60,80±0,92	4,00*10 ⁻³
Li	ND	-	-	8,00*10 ⁻⁴
Ni	0,63± 0,022	0,17± 0,013	73,00±0,77	9,00*10 ⁻³
Pb	ND	-	-	0,03
Se	ND	-	-	0,13
Zn	1,20± 0,006	0,01± 0,005	99,20±0,29	0,02

ND: No detectable. DE: Desviación estándar. *El límite de detección corresponde al de un EAA Perkin Elmer, modelo 3110.

Se encontró un porcentaje de remoción de 71,40 % para el Cadmio usando *Moringa oleifera* como coagulante en las aguas residuales tratadas. Este porcentaje fue menor al obtenido por Sharma *et. al.* [19], quienes lograron remover 85,1 % de Cadmio utilizando *Moringa oleifera*, pero superiores a los reportados por Nand *et. al.* [20], quienes obtuvieron porcentajes de remoción de Cd superiores a 60% durante el tratamiento de aguas para consumo humano. Arku *et. al.* [21], obtuvieron porcentajes de remoción de Cadmio de 33,33; 42,85 y 66,66% durante el tratamiento utilizando semillas de *Moringa oleifera* de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales, respectivamente.

Nand *et. al.* [20], Sharma *et. al.* [22], col. (2007) y Sajidu *et. al.* [23], demostraron que el polvo de la semilla *Moringa oleifera* es eficaz en la recuperación de cadmio del agua y otros metales pesados en comparación con otras semillas como las de frijol, maní y maíz.

Makata *et. al.* [24], obtuvieron porcentaje de remoción de cadmio de 58% utilizando polvo de las semillas de *Moringa oleifera* y *Moringa stenopetala*, para un concentración de Cd inicial de 7 mg/L y una dosis semillas de 25 mg/L.

La presencia de cadmio es una preocupación debido a que este elemento es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo, además una baja exposición crónica al Cd puede causar efectos adversos a la salud, incluyendo gastrointestinales, hematológicas, efectos musculoesqueléticos, renales, neurológicos y reproductivos. El principal órgano afectado por Cd tras la exposición oral crónica es el riñón [25].

La Tabla 10 reporta un 75,30 % de remoción de Cobre en el agua residual tratada usando *Moringa oleifera* como coagulante, cumpliendo con el límite máximo establecido en la normas venezolanas para usos agropecuarios (0,2 mg/L) [15], límite aceptable para el consumo humano de cobre (Cu) es 10 ppm, cuando su concentración supera nivel el seguro, causa hipertensión y fiebre esporádica [26]

Con respecto a las concentración de hierro total, en el presente estudio la *Moringa oleifera* logró remover el 60,80 % de hierro, permitiendo llevar su concentración de 1,94 mg/L a 0,76 mg/L, valor menor a 1 mg/L, límite permisible establecido por el Decreto 883 para usar estas aguas con fines de riego [15].

Se obtuvo un porcentaje de remoción del 73% para el níquel, lo que representa una concentración final de 0,17 mg/L, concentración por debajo de los límites permisibles por la Norma Venezolana para usar estas aguas con fines de riego [15].

Los mayores porcentajes de remoción obtenidos fueron para el Zn de 99,20%, cumpliendo con lo establecido en la Norma Venezolana para usar estas aguas con fines agropecuarios. Este valor de remoción fue superior al obtenido por Nand *et. al.* [20], quienes obtuvieron valores promedio de 50% durante la clarificación de aguas naturales.

Conclusiones

El rango de concentración de *Moringa oleifera* estudiado permitió alcanzar un porcentaje de remoción de turbiedad de 87,4 % para un valor de turbiedad inicial de 40,40 NTU, utilizándose como dosis óptima de coagulante 25 mg/L.

Las semillas de *Moringa oleifera* lograron reducir la concentración de metales tales como Cd, Cu, Zn, Fe y Ni presentes en el agua residual trata, con valores iniciales de: 0,07 mg/L; 0,81 mg/L; 1,20 mg/L; 1,94 mg/L y 0,63 mg/L respectivamente, con una dosis óptima de 25 mg/L, obteniéndose una remoción de metales expresada en forma porcentual de: Cd: 71,4%; Cu: 75,3%; Zn: 99,2%; Fe: 60,8% y Ni: 73%.

Los valores de sólidos disueltos totales, alcalinidad y pH permanecieron dentro de los valores establecidos por las Normas de Calidad del agua destinada a usos agropecuarios, aguas tipo dos (2) según decreto 883 de la Gaceta Oficial, después de aplicado el tratamiento.

Referencias bibliográficas

1. Veliz E., Llanes J., Asela L. y Bataller M. Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica. Revista CENIC. Ciencias Biológicas, Vol. 40, No. 1, (2009), 35-44
2. Ayres R. and Mara D. Analysis of Wastewater for Use in Agriculture - A Laboratory Manual of Parasitological and Bacteriological Techniques. World Health Organization, (1999).
3. Folkard G. and Sutherland J. *Moringa oleifera* un árbol con enormes potencialidades. Agroforestry, Vol. 8, No. 3, (1996), 5 – 8.
4. Kumasi P., Sharma P, Srivastava S. and Srivastava M. Arsenic removal from the aqueous system using plant biomass: a bioremedial approach. Journal of Indian Microbiology and Biotechnology, No. 32, (2005), 521 – 526.
5. Ghebremichael K. and Hutman B. Alum sludge dewatering using *Moringa oleifera* as a conditioner. Water, Air and Soil Pollution, No. 158, (2004), 153 – 167
6. Mas y Rubi M., Martínez D., Carrasquero S. y Vargas L. Uso de la *Moringa oleifera* para el mejoramiento de la calidad del agua de un efluente doméstico proveniente de lagunas de estabilización. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, Vol. 45, No. 2, 2001, 165-176.
7. Foidl N., Makkar H. and Becker, K. The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses. In: The miracle tree. The multiple attributes of moringa. L.J. Furglie (Ed). Church World Service, Dakar, Senegal, 2001, 45 – 76.
8. Gassenschmid U., Jany D. and Tauscher, N. Isolation and characterisation of a flocculating protein from *Moringa oleifera* Lam. Biochemicl et Biophysical Acta. Vol. 1243, (1994), 477-481.
9. Muyibi S., Megath J., Megath M., Tan Kok L. and Lam Hong L. Effects of oil extraction from *Moringa oleifera* seeds on coagulation of turbid water. Environ. Studies. Vol 59, No. 12, (2002), 243-254
10. A.O.A.C. Official method of analysis of the associations of official analytical chemists. Non-Enzymatic-Gravimétric Method 993.21. Horwitz (Ed.). Washington, D.C. (1995)

11. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of water and wastewater. 21st end. Am. Public. HLTH Assoc. Washington, D.C. (2005)
12. Ndabigengesere A. and Subba N. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. *Wat. Res.* Vol. 32, No.3, (1998): 781-79.
13. Kumar N., Soni H. and Kumar R. Characterization of Heavy Metals in Vegetables Using Inductive Coupled Plasma Analyzer (ICPA). *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* Vol. 11, No. 3, (2007), 75 – 79.
14. Cobb G, Sands K., Waters M., Wixson B. and Dorward-King, E. Accumulation of Heavy Metals by garden vegetables. *Journal of Environmental Quality.* Vo. 29, (2000), 934-939.
15. Gaceta Oficial de la República de Venezuela. Normas para la Clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y de los vertidos líquidos. No. 5021. Venezuela. (1995).
16. Okuda T., Baes A., Nishijima W. and Okada M. Improvement of extration method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seeds. *Water Research.* Vol. 33, No. 5 (1999), 3373-78
17. Mendoza I., Fernández N., Ettiene G. y Díaz A. Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de las aguas. *Rev. Técnica,* Vol. 8, No.2, (2000), 235-242.
18. Dalem M., Pam J., Izang A. and Ekele, R. Synergy between *Moringa oleifera* seed powder and alum in the purification of domestic water. *Science World Journal.* Vol. 4, No. 4, 2009, 6-11.
19. Sharma P., Kumari P., Srivastava M. and Srivastava S. Removal of cadmium from aqueous system by shelled *Moringa oleifera Lam.* seed powder. *Bioresource Technology.* Vol. 97, No. 2, 2006, 299–305.
20. Nand V., Maata M., Koshy K. and Sotheeswaran S. Water Purification using *Moringa oleifera* and Other Locally Available Seeds in Fiji for Heavy Metal Removal *International Journal of Applied Science and Technology.* Vol. 2, No. 5 (2012), 125-129.
21. Arku A., Musa S. and Mofoke L. Characterization and standardization of crude *Moringa oleifera* seeds for wastewater treatmenr. *Journal of applied phytotechnology in environmental sanitation.* Vol. 1, No.2, (2012), 67-74.
22. Sharma P., Kumari P., Srivastava M. and Srivasmtava S. Ternary oleifera seeds. *Bioresourc. Technol.,* Vol. 98, No. 2, (2007), 474 – 477.
23. Sajidu S., Henry E., Persson I., Masamba W. and Kayambazinthu D. pH dependence of sorption of Cd²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺, and Cr³⁺, on crude water and sodium chloride extracts of *Moringa stenopetala* and *Moringa oleifera*. *Afr. J. Biotechnol.,* Vol. 5, No.23, (2006). 2397-2401.
24. Mataka L., Sajidu S., Masamba W. and Mwatseteza J. Cadmium sorption by *Moringa stenopetala* and *Moringa oleifera* seed powders: Batch, time, temperature, pH and adsorption isotherm studies. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering* Vol. 2, No. 3), (2010), 50-59.
25. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Cadmium and Nickel. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Department of Health and Human Services, Public Health Service. 205-93-0606. (1999).
26. Nair, M., Balachandran K., Sankarnarayan, V. and Joseph, T. Heavy metals in fishes from coastal waters of Cochin, South West Coast of India. *Indian Journal of Marine Science.* No. 26, (1997), 98-100.