

***Moringa oleifera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales**

María Martha Sandoval Arreola¹, José Ramón Laines Canepa²

Fecha de recepción: 5 octubre 2012 – Fecha de aprobación: 12 agosto 2013

RESUMEN

La disponibilidad de agua potable representa un problema cada día más grande a nivel mundial, por lo que es necesario buscar alternativas de solución. En esta investigación se compara la eficiencia de coagulación entre tres tipos de soluciones obtenidas de las semillas de *Moringa Oleifera* y el sulfato de aluminio mediante prueba de jarras. Se parte de la dosis óptima del sulfato de aluminio, como parámetro de comparación para determinar la eficiencia de remoción de los coagulantes naturales así como la influencia de los mismos en las propiedades del agua tratada. La muestra de agua fue tomada del río Samaria que alimenta la planta de tratamiento el Manguito, ubicada en Nacajuca, Tabasco, México. El tratamiento del agua con sulfato de aluminio proporcionó los valores más altos de remoción de turbiedad (95.60%) y color (98.32%), seguida del tratamiento de la solución de *Moringa* en cloruro de sodio. Por otro lado, los tratamientos con *Moringa Oleifera* no cambiaron las propiedades químicas del agua tratada. Considerando las soluciones de *Moringa*, la eficiencia de eliminación de turbidez fue mayor cuando se utilizaron soluciones con cloruro de sodio (92.03%) y agua de mar (90.72%) que cuando se usó agua destilada como disolvente (56.02%), debido a que la presencia de iones promueve una mayor separación de proteínas solubles, responsables de la coagulación. Aún cuando, el sulfato de aluminio coagula mejor, las soluciones salinas con *Moringa* mantienen la turbiedad y el color en valores cercanos a los establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

Palabras clave: Prueba de jarras, *Moringa Oleifera*, coagulante natural, tratamiento de aguas.

ABSTRACT

The availability of drinking water each day represents a bigger problem worldwide, making it necessary to find alternative solutions. This research compares the efficiency of coagulation between three types of solutions obtained from the seeds of *Moringa oleifera* and aluminum sulfate by jar test. It is part of the optimum dose of aluminum sulfate, as comparison parameter comparison parameter to determine the removal efficiency of natural coagulants and the influence thereof on the properties of the treated water. The water sample was taken from the Samaria River that feeds the Manguito treatment plant, located in Nacajuca, Tabasco, Mexico. Water treatment with aluminum sulfate provided higher values turbidity removal (95.60%) and color (98.32%), followed by treatment of the solution of sodium chloride *Moringa*. On the other hand, treatments with no change *Moringa* chemical properties of treated water. *Moringa* solutions considering the turbidity removal efficiency was higher when used with sodium chloride solution (92.03%) and sea water (90.72%) than when distilled water was used as a solvent (56.02%), due to the presence of ions promotes greater separation of soluble proteins responsible coagulation. Although the aluminum sulphate coagulates best salt solutions with *Moringa* maintain turbidity and color values close to those established in the Mexican Official Standard NOM-127-SSA1-1994.

Keywords: Test jars, *Moringa oleifera*, natural coagulant, water treatment.

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Correo electrónico: sandoval_129@live.com

²Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Correo electrónico: Josra_2001@yahoo.com.mx.

Nota: El periodo de discusión está abierto hasta el 1° de marzo de 2014. Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 17, No. 2, 2013, ISSN 1665-529-X.

INTRODUCCIÓN

Los coagulantes químicos son sustancias de origen natural o artificial que se adicionan al agua para remover la carga orgánica, inorgánica y biológica, mediante la formación de productos insolubles que tienden a precipitar, eliminándole olor, color y turbiedad. La carga orgánica es producto de la descomposición de plantas y animales, como bacterias, plancton, algas y virus; la inorgánica, de la lixiviación de los suelos, tales como arcillas, arenas, lodos, carbonatos y calcio.

Los coagulantes químicos se han utilizado en el proceso de potabilización del agua desde los años 60's, siendo el sulfato de aluminio ((Al₂SO₄)₃·18H₂O, mejor conocido como alumbre) y el cloruro de aluminio (AlCl₃), los más utilizados en los países en vías de desarrollo, por ser económicos, de fácil acceso y de alta efectividad para ayudar a la remoción de color, turbiedad y microorganismos patógenos, tales como bacterias y virus. En los países desarrollados han sido reemplazados por las sales de policlorosulfatos de aluminio básicos y policlorosulfatos de aluminio de alta basicidad debido a su mayor potencia coagulante y floculante, además del menor riesgo en el agua tratada por la solubilización del aluminio (Trejo, 2004).

En México, La Norma Oficial Mexicana (NOM 127-SSA1-1994), establece que el agua para consumo humano debe tener un límite máximo de 5 unidades nefelométricas de turbidez (NTU) y de 20 unidades de color (UPC) verdadero en la escala de platino-cobalto; al final del proceso de tratamiento el aluminio residual no debe exceder el valor de 0.20 mg/L. Por lo que se debe llevar un control estricto de las dosis adicionadas de sulfato de aluminio para cumplir con la normatividad vigente. Se ha estudiado que existe un riesgo mayor del Alzheimer en poblaciones donde la concentración media de aluminio residual excede a 0.1 mg/L (Suay y Ballester. 2002), (Crapper, 1976; Crapper *et al.*, 1991 y Lugo y Valdés 2011).

Actualmente, como alternativas de tratamiento, se propone el empleo de macromoléculas como coagulantes poliméricos naturales obtenidos de diversas plantas, arboles o restos de animales, por ejemplo la celulosa y sus derivados, el almidón y las proteínas. Destaca entre ellos el almidón de yuca como un agente coadyuvante

en la remoción de color y turbidez en mezcla con sulfato de aluminio (Solís, 2009), mezclas de almidón de plátano con sulfato de aluminio y arcillas para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios (Laines *et al.*, 2008), el kitosano, (Fuentes *et al.*, 2008), biopolímero que presenta una buena remoción de partículas suspendidas, el nopal mexicano (*Opuntia Ficus Indica*) (Almendarez, 2004) y la *Cactus Lefaria*, con la que se obtiene una eficiencia de remoción de turbiedad en un rango de 80 a 90%. (Martínez *et al.*, 2003). Entre estos coagulantes, sobresale el uso de las semillas de *Moringa Oleífera*, cuyo efecto clarificante ya era conocido por las mujeres rurales de Sudán y era usado para tratar aguas de alta turbidez del Nilo (Jahn, 1986), al que se le considera como un competidor potencial en la clarificación de aguas de los coagulantes metálicos actuales.

Diversos estudios han demostrado que la actividad coagulante de las semillas de *Moringa* es comparable con la obtenida por el uso de sulfato de aluminio, (Mendoza *et al.*, 2000; Castro y Silva, 2004; Arnoldsson *et al.*, 2008 y Ridwan *et al.*, 2011). Con la ventaja de no alterar las propiedades del agua tratada, por lo que se recomienda su uso en poblaciones rurales como un sustituto eficaz, barato y sin riesgos para la salud para la población consumidora (Olson y Fahey, 2011).

El propósito de esta investigación fue comparar la eficiencia de remoción de turbidez y color del coagulante obtenido de las semillas de *Moringa Oleífera* en tres tipos de soluciones versus el sulfato de aluminio comercial mediante prueba de jarras. Se parte de la dosis óptima del sulfato de aluminio, como parámetro de comparación para determinar la eficiencia de remoción de los coagulantes naturales así como la influencia de los mismos en las propiedades del agua tratada. Las muestras de agua utilizadas se tomaron del río Samaria que atraviesa el municipio de Nacajuca, Tabasco, y que es considerado como un brazo del río Grijalva.

METODOLOGÍA

Agua superficial. Las muestras se tomaron del río Samaria que abastece a la planta potabilizadora El Manguito del municipio de Nacajuca, Tabasco. La planta suministra agua potable a los municipios de Nacajuca, Jalpa de Méndez y una zona de Villahermosa. El río Samaria corresponde a un brazo del río Grijalva,

desemboca al norte del Golfo de México en la barra de Chiltepec. La composición de su suelo es muy semejante a la del río Grijalva, principalmente feozem, fluvisol y gleysol (INEGI, 2000), se caracteriza por presentar valores bajos de turbidez en temporada de estiaje y valores altos en periodos de lluvia.

Para el desarrollo de las pruebas se recolectaron en el mes de mayo de 2009, 100 L de agua. La temperatura media a la hora de toma de la muestra fue de 27°C. Se determinaron en el sitio, la temperatura y pH del agua, con un medidor versátil marca Hanna^{MR} con precisión 0.1 pH. Las muestras se trasladaron al laboratorio de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol). Se midió la turbiedad, empleando un turbidímetro marca LaMotte^{MR} con precisión 0.01 NTU-turbiedad por el método EPA 180.1 (EPA 1983, NOM-041-SSA1 1993, ISO 1990). El color se determinó con el mismo equipo, con una precisión de 0.1 UC-color; por el método estándar 2120B.

La conductividad, % de salinidad y sólidos disueltos totales (SDT), se midieron con un equipo multiparámetro 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 (KMNO₄), siguiendo la metodología descrita en la norma UNE-77004-2002.

Semilla de *Moringa Oleifera*. La semilla utilizada se adquirió con la empresa Pio Renova, ubicada en la ciudad de México. Presentan una forma redonda, de color castaño y con tres alas blanquecinas, (Figura 1), al quitar la cascara se encuentra un endospermo blanquecino oleaginoso rico en proteínas, vitaminas y minerales, con una composición aproximada de 4% de humedad, 38.4 % de proteína cruda, 34.7

% de aceite, 3.5% de fibra y 3.2 % cenizas, (Jahn *et al.*, 1986).

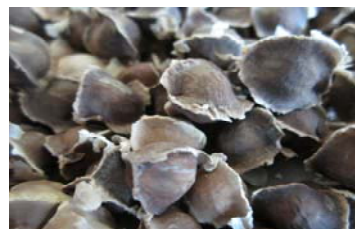


Figura 1. Semillas de *Moringa Oleifera*.

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), bajo el siguiente procedimiento: las semillas se secaron durante 24 horas en una estufa Felissa^{MR}. 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 procedió a la extracción del aceite utilizando 300 mL de ciclohexano como disolvente por un tiempo aproximado de 3 horas. Terminada la extracción, el residuo sólido contenido en el filtro se secó a 104°C durante 24 horas para eliminar cualquier rastro de disolvente. El residuo seco, se molió en un mortero de ágata para darle uniformidad al grano y se mantuvieron a temperatura ambiente en frascos herméticamente sellados de vidrio para su posterior utilización. En la Figura 2, se muestran: 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.

Preparación de las soluciones de extracto crudo a partir de semillas de *Moringa*. Las soluciones con *Moringa* se prepararon en base a la metodología descrita en la Tabla 1.

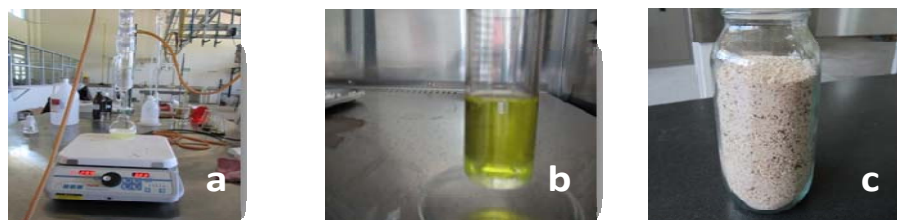


Figura 2. Productos obtenidos en la extracción Soxhlet: a) Extracción del aceite, b) Aceite extraído y c) Polvo fino de semillas de *Moringa*

Tabla 1. Preparación de soluciones coagulantes con *Moringa*.

Solución de <i>Moringa</i> en agua destilada	Solución de <i>Moringa</i> en cloruro de sodio 1N	Solución de <i>Moringa</i> en agua de mar
10 g de polvo seco de semillas de <i>Moringa</i>	10 g de polvo seco de semillas de <i>Moringa</i>	10 g de polvo seco de semillas de <i>Moringa</i>
1 litro de agua destilada	1 litro de cloruro de sodio 1N	1 litro de agua de mar filtrada
Agitación por 10 min a 60 rpm	Agitación por 10 min a 60 rpm	Agitación por 10 min a 60 rpm
Filtración al vacío en papel filtro Whatman 40	Filtración al vacío en papel filtro Whatman 40	Filtración al vacío en papel filtro Whatman 40

Estas son las soluciones de extracto de *Moringa* con una concentración de 10,000 mg/L, tomando en cuenta la cantidad inicial de polvo de semilla seca.

Preparación de la solución de sulfato de aluminio. La preparación de la solución madre se realizó con 2 g de sulfato de aluminio grado reactivo disuelto en un litro de agua destilada. Con una concentración de 2,000 mg/L.

Obtención de la dosis óptima de coagulación con el sulfato de aluminio. Una vez recolectada el agua del río, se agregó un litro de agua a cada uno de los 6 vasos del equipo de prueba de jarras marca Phippsbird^{MR}. A cada vaso, se le agregó la solución de sulfato de aluminio en concentraciones de 0, 10, 15, 20, 30, 40 y mg/L, y se procedió al mezclado usando la propuesta de Okuda *et al.*, (2001), una mezcla rápida a 150 rpm durante 2 minutos, una mezcla lenta a 30 rpm por 30 minutos y se dejó sedimentar 30 minutos. Se midieron los valores finales de turbiedad, color, pH, conductividad, salinidad y sólidos disueltos totales empleando 4 repeticiones para fines estadísticos. La dosis óptima seleccionada, fue aquella que proporcionó los mejores resultados de remoción de turbiedad y color.

Prueba de comparación del poder coagulante de la *Moringa*. Se utilizó la dosis óptima obtenida del Sulfato de aluminio como concentración de referencia. Las mezclas que se utilizaron fueron *Moringa* en agua destilada (MOAD), *Moringa* en Cloruro de sodio (MONA) y *Moringa* en agua de mar (MOAM). Los tiempos de coagulación, floculación y sedimentación de la prueba de jarras fueron los propuestos por Okuda *et al.*, (2001). Al finalizar la prueba, se midieron valores de turbiedad, color, pH, conductividad, salinidad y sólidos

disueltos totales para evaluar la calidad del agua obtenida en cada caso.

Análisis estadístico. Se utilizó un diseño completamente al azar para el análisis de varianza y probar la igualdad de medias entre los cuatro tratamientos. Se utilizó la prueba de medias de Tukey para determinar la diferencia entre tratamientos.

RESULTADOS

Las características de entrada del agua proveniente del río Samaria se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Características fisicoquímicas del agua del río Samaria

Parámetro	Unidad de medida
Turbidez	36 NTU
Color	46.6 UC
Alcalinidad	116 mg de CaCO ₃ /L
Materia orgánica	3.31 µg/L de O ₂
pH	7.81
Temperatura	27.67°C
Conductividad eléctrica	336 µS/cm
SDT	0.168 ppt
Salinidad	0.16 %

SDT: Sólidos disueltos totales

La comparación de los resultados de remoción obtenidos en los diferentes tratamientos, tomando en cuenta la normatividad vigente para aguas superficiales, son los criterios de comparación adoptados para la evaluación de resultados.

Remoción de turbiedad. El análisis de varianza de una vía indica que existen diferencias estadísticas significativa (P= 0.00001) entre los valores promedios de turbiedad de los 4 tratamientos evaluados con un

95% de confianza. Las medias obtenidas son: 15.83 ± 0.73 ; 3.34 ± 0.55 ; 2.87 ± 0.30 y 1.59 ± 0.26 para MOAD (*Moringa* en agua destilada), MONA, (*Moringa* en solución de cloruro de sodio 1N) MOAM (*Moringa* en agua de mar) y S de Al (solución de sulfato de aluminio) respectivamente (Figura 3). El contraste múltiple de media de Tukey indica que los tratamientos MONA, MOAM y S de Al son iguales y diferentes al tratamiento MOAD.

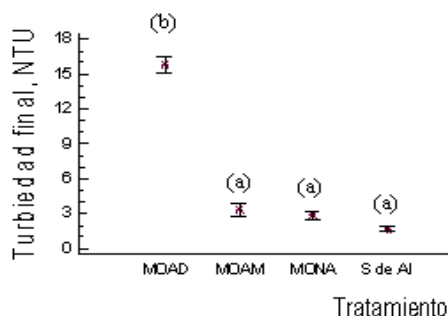


Figura 3. Valores promedios (\pm ES) de la remoción de turbiedad de los tratamientos evaluados. Los números entre paréntesis indican el número de observaciones por tratamiento. Letras diferentes indican diferencias entre los tratamientos ($P < 0.05$) Los porcentajes de remoción de turbiedad se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de remoción de turbiedad en los diferentes tratamientos

Tratamiento	Turbiedad de entrada (NTU)	Turbiedad de salida (NTU)	Remoción (%)
MOAD	36.0	15.83	56.02
MOAM	36.0	3.34	90.72
MONA	36.0	2.87	92.03
S de Al	36.0	1.59	95.60

Remoción de color. El análisis de varianza de una vía indica que existen diferencias estadísticas significativas ($P = 0.00001$) entre los valores medios de color de los tratamientos evaluados con un 95% de confianza. Las medias obtenidas de los 4 tratamientos fueron 23.75 ± 0.29 ; 1.78 ± 0.63 , 2.2 ± 0.48 y 0.78 ± 0.54 , para MOAD, MONA, MOAM y S de Al, donde los 3 últimos cumplen con las normas establecidas (Figura 4). El tratamiento más eficiente en la remoción de color es el del sulfato de aluminio (98.32%). De los tratamientos con *Moringa* la mejor remoción se logra cuando se utiliza *Moringa* en agua de mar (96.18%).

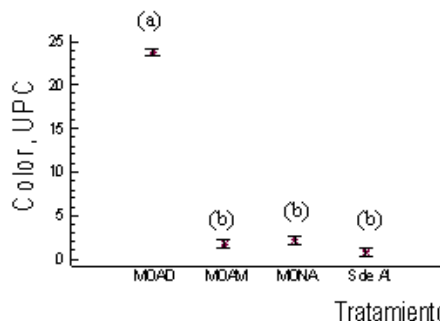


Figura 4. Valores promedios (\pm ES) de la remoción de color de los tratamientos evaluados. Los números entre paréntesis indican el número de observaciones por tratamiento. Letras diferentes indican diferencias entre los tratamientos ($P < 0.05$). Los porcentajes de remoción de color se presentan en la tabla 3. Los porcentajes de remoción de color, se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de remoción de color en los diferentes tratamientos

Tratamiento	Color de entrada (UPC)	Color de salida (UPC)	Remoción (%)
MOAD	46.6	23.75	49.03
MOAM	46.6	1.78	96.18
MONA	46.6	2.2	95.27
S de Al	46.6	0.78	98.32

Efecto en la calidad del agua

Comportamiento del pH. La Figura 5, muestra el comportamiento estadístico del pH de los distintos tratamientos, se observa que los tratamientos a base de *Moringa* tienden a mantener el valor inicial del pH del agua (7.85), mientras que las aguas tratadas con sulfato de aluminio bajan el pH (7.39). El contraste múltiple de media de Tukey indica que los tratamientos MONA, MOAM y MOAD son iguales y diferentes al tratamiento S de Al.

Comportamiento de la conductividad eléctrica. La conductividad en el tratamiento a base de *Moringa* disuelto en agua de mar presenta el mayor valor de conductividad ($498 \mu\text{S}/\text{cm} \pm 4.50$), resultado esperado por la gran cantidad de sales que se aportan en esta solución, mientras que el valor más bajo lo tiene el tratamiento con sulfato de aluminio ($367 \mu\text{S}/\text{cm} \pm 21.78$), valores que se encuentran por debajo del valor típico de conductividad para agua potable (rango de 5-50 mS/m). Este comportamiento se aprecia en la figura 6.

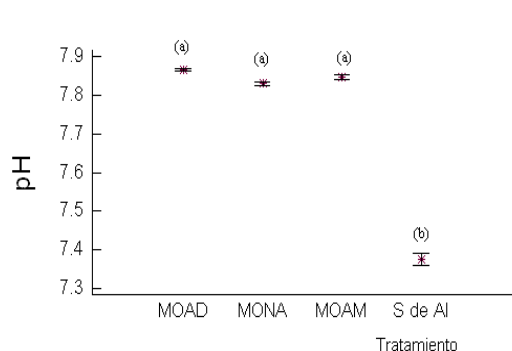


Figura 5. Valores promedios (\pm ES) del pH de los tratamientos evaluados. Letras diferentes indican diferencias entre los tratamientos ($P < 0.05$)

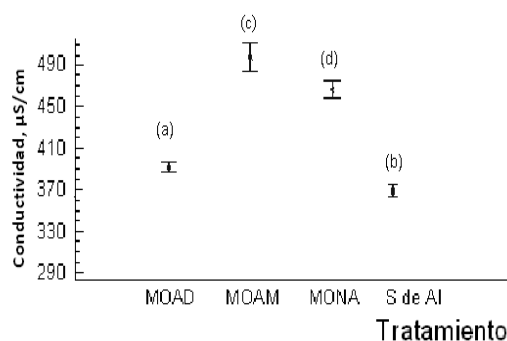


Figura 6. Valores promedios (\pm ES) de la conductividad de los tratamientos evaluados. Letras diferentes indican diferencias entre los tratamientos ($P < 0.05$).

Comportamiento de sólidos disueltos totales (TDS). En la figura 7, se observa un incremento en la cantidad de sólidos disueltos totales en los tratamientos en donde se utilizan como disolventes el agua de mar (0.22 ± 0.002) y la solución de cloruro de sodio 1N (0.21 ± 0.0009); valores muy debajo de los establecidos en la norma (≤ 500 ppm).

Comportamiento del % de salinidad

Los datos obtenidos en % de salinidad, no son normales, por lo que se utiliza la mediana como medida de tendencia central y para su comparación se utilizó el método de Kruskal Wallis. Puesto que el valor de $P < 0.05$ se asume que hay diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95%. En la Figura 8, se observa un incremento de la salinidad en los tratamientos donde se utiliza agua de mar y solución de cloruro de sodio mayor a MOAD y S de Al.

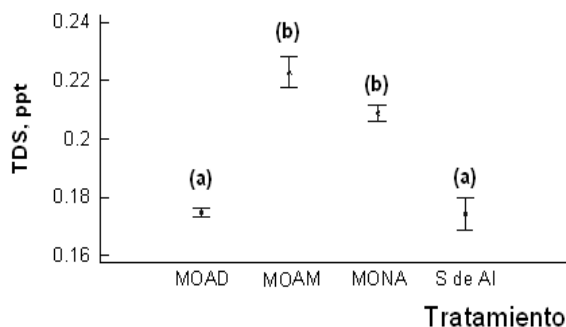


Figura 7. Valores promedios (\pm ES) del comportamiento del contenido de sólidos totales de los tratamientos evaluados. Letras diferentes indican diferencias entre los tratamientos ($P < 0.05$)

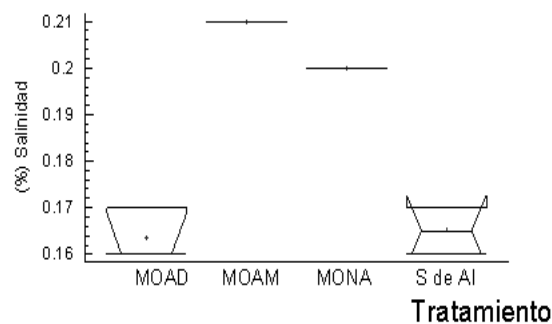


Figura 8. Valores de la mediana del % de salinidad en los tratamientos evaluados con ($P < 0.05$)

Comportamiento de la alcalinidad. Los resultados obtenidos en la determinación de alcalinidad muestran que no existe una disminución de ésta en los tratamientos a base de *Moringa Oleífera* (figura 9) manteniéndose los valores iniciales (116 mg/L) en el agua tratada, mostrando una mayor disminución en el tratamiento con sulfato de aluminio (107 mg/L).

Comportamiento de la materia orgánica. En la Figura 10, se observa el incremento en el contenido de materia orgánica cuando se usa *Moringa Oleífera* en el tratamiento. El valor más alto se obtiene cuando se utiliza agua de mar como disolvente (7.2 mg de O_2/L).

DISCUSIÓN

Turbiedad. Los resultados obtenidos de turbiedad residual en los tratamientos a base de semillas de *Moringa*, indican que el coagulante extraído, usando como solución cloruro de sodio 1N y agua de mar presentan una capacidad de remoción similar a la del sulfato de aluminio

grado comercial por lo que resulta una excelente alternativa en la remoción de turbiedad en aguas superficiales. Estos resultados coinciden con Schwarz (2000), quien encontró que para aguas de turbiedad menor a 50 NTU, la dosis de MO empleada varía de 10 a 50 mg/L.

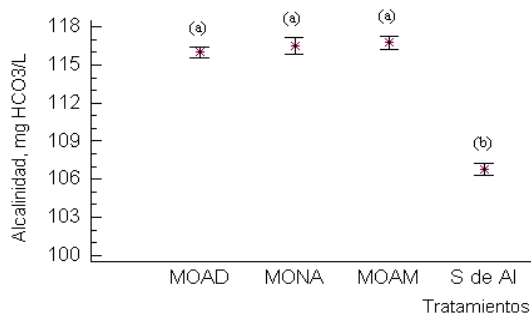


Figura 9: Valores de la alcalinidad obtenida en el agua tratada en los diferentes tratamientos

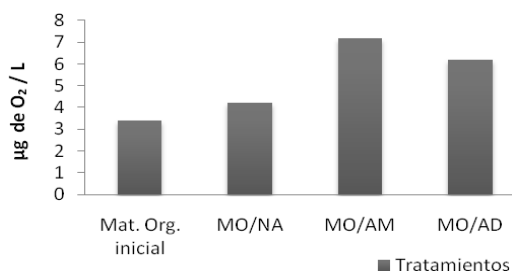


Figura 10: Valores obtenidos en el contenido de materia orgánica del agua cruda y en el agua tratada en los tratamientos a base de semillas de *Moringa*.

La comparación de diferentes métodos de preparación del coagulante realizada por Arnoldsson *et al.*, (2008) utilizando semillas de *Moringa* con y sin aceite preparadas con agua destilada y con agua de la llave, concluyen que la mejor remoción se logra cuando se utiliza agua de la llave obteniendo valores de 1.85 NTU de turbiedad residual para 15 NTU de entrada y de 1.3 para 50 NTU con dosis óptimas de 33 mg/L. Resultados que concuerdan con los obtenidos en esta investigación, donde la turbiedad más baja se presenta cuando se utilizan soluciones salinas como disolvente y la menor remoción se tiene cuando se utiliza agua destilada como disolvente. En el trabajo realizado por Mendoza *et al.*, (2000) para los valores de turbiedad de 29 y 49 NTU, determinaron como dosis óptima 10 mg/L,

obteniendo valores de turbiedad residual de 4.9 NTU. En esta investigación la dosis óptima fue de 15 mg/L, obteniendo en los tratamientos salinos valores menores de 3 NTU de turbiedad residual.

La eficiencia de coagulación del extracto crudo de *Moringa Oleífera* se mejora considerablemente utilizando soluciones salinas como disolvente debido al incremento de la solubilidad de las proteínas por adición de sales, mejor conocido como efecto de salado (Voet y Voet 1990). Este mecanismo sugiere la ruptura de proteína-proteína o proteína-polisacárido o otras asociaciones existentes en el polvo de semillas de *Moringa Oleífera* con lo que se incrementan las proteínas solubles en las soluciones salinas dando como resultado un incremento de su actividad coagulante, las soluciones de cloruro de sodio y agua de mar, actúan por lo tanto, mejor que el agua destilada. La propuesta de uso del agua de mar como disolvente, proporcionó resultados similares a los obtenidos con soluciones de moringa-cloruro de sodio, esto, debido a la gran cantidad de iones que contiene.

Color. Mendoza *et al.*, (2000), utilizó agua potable como disolvente y reportó porcentajes de remoción de color del 83% para los valores de turbiedad de 29 y 49 NTU alcanzando un 83% de remoción de color. En el presente estudio la remoción se realizó con agua destilada, por lo que da un valor inferior al obtenido por Mendoza *et al.*, (2000) y superior a éste cuando se utilizan soluciones salinas.

Efectos en la calidad del agua tratada. El uso del sulfato de aluminio como coagulante, produce un descenso del pH y la alcalinidad en el agua tratada (Murillo, 2011) por lo que es necesario adicionar alcalis como cal, soda ash o sosa caustica (Cogollo, 2010). En algunos casos donde estos parámetros están por debajo de los indicados en la norma. El coagulante extraído de la *Moringa*, no cambia sus valores iniciales WHO (2004).

Los tratamientos a base de *Moringa Oleífera* incrementan la materia orgánica en el agua tratada, lo que viene a reafirmar los resultados obtenidos por (Ndabigengesere *et al.*, 1995), (Ghebremichael, 2007).

CONCLUSIONES

De los cuatro tratamientos, las eficiencias de remoción con MONA, MOAM y S de Al,

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). La solución de *Moringa* en agua de mar proporcionó resultados similares a la de *Moringa* con Cloruro de sodio, en la remoción de turbidez y color, este resultado preliminar, abre una alternativa para investigaciones posteriores.

Se confirma que el coagulante obtenido de las semillas de *Moringa Oleífera* extraídas con soluciones salinas representan una alternativa en la remoción de turbidez y color de aguas superficiales. La eficiencia de remoción utilizando *Moringa Oleífera* constituye un método de tratamiento competitivo con las sales metálicas de sulfato de aluminio. Con ello se abre una posibilidad de sustitución del sulfato de aluminio por los efectos adversos a la salud que se le atribuyen.

REFERENCIAS

- Almendarez N. (2004) *Comprobación de la efectividad del coagulante cochifloc en aguas del lago Managua, Nicaragua*. Revista Iberoamericana de polímeros 5, 46-54.
- Arnoldsson E., Bergman M., Matshine N., Persson M.K. (2008). *Assessment of drinking water treatment using Moringa Oleífera natural coagulant*. Vatten 64:137-150.
- Barbosa A. L., Maza T., De la Rosa O., Guzmán L. O. (2010). *Aceite de Moringa Oleífera y su potencialidad como materia prima en biocombustibles*. Universidad de Cartagena- Facultad de Ciencias exactas y Naturales. Campus Zaragozilla Cartagena Colombia.
- Castro .J.F., Silva F.J.A. (2004). *Moringa Oleífera na Melhoria da Qualidade de Efluentes de UASB e de Lagoa de Maturação-Remoção de Color e Turbidez*. In: XI SILUBESA Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental, Natal/RN.
- Cogollo J. (2010). Clarificación del agua usando coagulantes polimerizados; caso del hidroxiclورو de aluminio. Dyna, año 78. No. 165: 18-27.
- Crapper D.R. (1976.) *Functional consequences of neurofibrillary degeneration*. En S. Gershon y R. D. Terry. The neurobiology of aging. Raven Press, New York, NY.
- Crapper D.R., Kruck T.P., Lukiw W.J., Krishnan S.S. (1991). *Would decreased aluminium ingestion reduce the incidence of Alzheimer's disease*. Canadian Med. Assoc. J. 147(7): 793-804.
- Fuentes L., Contreras W., Perozo R. (2008). *Uso del quitosano obtenido de *litopenaeus schmitti* (decápoda penaeidae) en el tratamiento de aguas de consumo humano*. Multiciencias Vol. 8 No. extraordinario (281-287).
- 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 Oleífera seed*. Water research, Vol 39 (11), June 2005 pp. 2338-2344.
- INEGI (2001). Síntesis geográfica. Carta edafológica del Estado de Tabasco. México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- 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, 191 p.
- Laines J.R., Goñi A., Howard R. (2008). *Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario*. Interciencia (I). 33, p. 22 -28.

Lugo-Terán H., Valdés-Mondolfi R. (2011). *La Enfermedad de Alzheimer Relacionada con la Utilización de sulfato de aluminio (Al_2SO_4) en Sistemas de Potabilización*. <http://hdl.handle.net/123456789/82>.

Martínez D., Chávez M., Díaz A. (2003). *Eficiencia del cactus lefaria para su uso como coagulante en la clarificación de aguas*. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, vol.26, no.1, p.27-33. ISSN 0254-0770

Mendoza I., Fernandez, N, Ettiene G., Diaz A. (2000). *Rev. Scientific Journal from the Experimental* Vol. 8(2) p. 235-242.

Murillo (2011). *Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada*. Tesis profesional. Universidad Tecnológica de Pereira.

Ndabigengesere A., Narasiah K.S., Talbot B.G. (1995). *Active Agents and Mechanism of Coagulation of Turbid Waters Using Moringa oleifera*. *Water Research*: 29 (2), 703-710.

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.

Olson M. E., Fahey J. W. (2011). *Moringa Oleifera: un árbol multiusos par alas zonas tropicales secas*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82:1071-1082.

Ridwan M. F., Wahidatul A. Z. N., Pang C. P., Nasrul H. (2011). *Mechanism of Turbidity and Hardness Removal in Hard Water Sources by using Moringa Oleifera*. *Revista de Ciencias Aplicadas*, 11: 2947-2953.

Schwarz D. (2000). *Water clarification using Moringaoleifera*. Gate information service, Eschborn, Germany.

Solis S.R. (2009). *Coagulación de aguas superficiales mediante el uso de almidón de yuca (manihot sculenta crans) mezclado con coagulantes convencionales*. Tesis de Licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Suay L. L., 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.

Voet D., Voet, J.G., (1990). *Bioquímica* Tercera Edición. Universidad de Pennsylvania, USA. Swarthmore College, USA

WHO (2004). *Guidelines for drinking water quality* Vol. 1 Recommendations (3^{ed}). Geneva, Switzerland.

Este documento debe citarse como: Sandoval Arreola M. M., Laines Canepa J. R. (2013). ***Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales***. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 17-2, pp 93-101, ISSN 1665-529-X.