

INFORME DEL PROYECTO

“Extracción y análisis de polímeros obtenidos a partir de varios productos naturales, para ser usados como potenciales floculantes en el tratamiento de agua para consumo humano”



INVESTIGADORES

MLGA. NOEMI QUIRÓS BUSTOS
Lic. MARICRUZ VARGAS C. (Coordinadora)
M.Sc. JOAQUIN JIMÉNEZ A

2009-2010

Contenido	
Indice General	2
Resumen	3
Introducción	5
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
Materiales y Metodología	8
Resultados y Discusión	14
Conclusiones y Recomendaciones	26
Referencias	27
Apéndices	29

Lista de Acrónimos

DOC	Carbono orgánico disuelto
TOC	Carbono orgánico total
SA	sulfato de aluminio
MO	Moringa oleifera
TU	tuna
MO	mozote
ICAA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad

Resumen

*Se evaluó la efectividad de los productos naturales moringa (*Moringa oleifera*), mozote (*Triumfetta semitriloba*) y tuna (*Cactus lefaria*) en la remoción de sustancias suspendidas y coloidales en agua de consumo humano. Se utilizó agua artificial a partir de agua del tubo con caolín, como patrón de turbidez, y en algunos casos con ácidos húmicos como patrón de color. Disoluciones salinas de moringa 0,25 molar mostraron remociones del 90 % para la turbidez y de 93 % para el color pero con una baja remoción en la DQO (37 %) soluble, en comparación con menores remociones de turbidez y color al emplear la moringa extraída en agua destilada o en etanol/NaCl. El tratamiento con mejor remoción de DQO (67%) se logró con disoluciones de moringa extraídas con etanol y NaCl 0,25 molar. En muestras de agua con solo turbidez artificial la remoción de turbidez se incrementó al aumentar la turbidez inicial cuando se ensayó la moringa extraída en NaCl 0,62 molar, obteniendo una eficiencia del 97 % cuando la turbidez inicial fue de 200 FTU. Las disoluciones salinas de tuna mostraron actividad coagulante en agua con turbidez artificial, sin embargo, su desempeño fue comparable con el de las disoluciones extraídas en agua destilada. Se recomienda continuar ensayando la moringa oleifera extraída en NaCl en el tratamiento de agua para consumo humano y residual. En estudios fitoquímicos realizados a los extractos acuosos y salidos de los tres productos naturales se han encontrado componentes con propiedades coagulantes y/o floculantes.*

Abstract

*The effectiveness of the natural products moringa (*Moringa oleifera*), mozote (*Triumfetta semitriloba*) and nopal cactus (*Cactus lefaria*) for the removal of suspended solids and colloids from potable water was evaluated. Artificial water was prepared using tap water with kaolin, as a standard of turbidity and in some cases humic acids, as a standard of colour. Moringa oleifera saline solutions 0,25 mol/l showed removals of 90*

% for turbidity and of 93 % for colour, however, the soluble COD removal was low (37%), in comparison with lower removals of turbidity and colour when using moringa extracted with distilled water or ethanol/NaCl. Treatment with better removal of COD (67%) was achieved with solutions of ethanol extracted Moringa and 0.25 molar NaCl. In water samples with only artificial turbidity, turbidity removal increased with increasing initial turbidity when tested moringa NaCl 0.62 molar extracted, obtaining an efficiency of 97% when the initial turbidity was 200 FTU. The nopal cactus salt solutions showed coagulation activity in water with artificial turbidity, however, its performance was comparable to that of the solutions extracted in distilled water. We recommend further testing saline extracted Moringa oleifera in the treatment of drinking water and wastewater.

Phytochemical studies conducted in the aqueous extracts and came out of the three natural products have been found components with coagulating properties and / or flocculants.

Palabras clave: coagulante, floculante, demanda química de oxígeno.

Key words: coagulant, flocculant, chemical oxygen demand.

1. Introducción

La demanda por el acceso y consumo de agua es cada vez mayor en el ámbito mundial, por lo que su protección es un tema de interés global. El acceso al agua de calidad y cantidad permanente es un derecho de toda la humanidad, no obstante, en el mundo hay más de mil millones de personas sin acceso a agua segura para satisfacer sus niveles mínimos de consumo (GWP, 2004).

En Costa Rica el 63% del agua que se consume proviene de nacientes, 23% de pozos y un 10% de quebradas. El 93,8% del agua utilizada en las actividades humanas es tomada de fuentes superficiales, siendo los principales usos la generación hidroeléctrica, suministro de agua potable, riego, industria y recreación (Estado de la Nación, 2007).

Esta demanda de consumo de los diferentes sectores tiende a incrementarse, pero la disponibilidad de agua de calidad cada vez se reduce, debido a su sobre uso y al incremento de la contaminación de la misma, especialmente en las zonas de recarga de las fuentes de agua. (GWP, 2004).

Los cuerpos de aguas superficiales del país, han sufrido un deterioro progresivo, poniendo en riesgo a las especies originarias de los ecosistemas acuáticos continentales, y, además hace imposible, en muchos casos, el uso de esta para diferentes fines. (MINAE, 2007).

Por ello, para obtener agua con la calidad para el consumo humano, es necesario llevar a cabo un proceso de potabilización, que consiste en eliminar contaminantes presentes y cuyos métodos de tratamientos, varían con la densidad de población y el estado de desarrollo del país o región. En general, estas etapas comprenden: la clarificación, desinfección y acondicionamiento químico y organoléptico. (Kelderman y Kruis, 2001).

La clarificación incluye los procesos de coagulación–floculación, donde la coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante. Los coagulantes poseen iones cargados positivamente como Al^{3+} o Fe^{3+} que cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo la aglomeración y la formación de coágulos que inicialmente son pequeños (Kelderman y Kruis, 2001). La floculación por su parte, consiste en la aglomeración de las partículas desestabilizadas, que forman pequeñas masas con una densidad específica mayor que la del agua, por lo que sedimentan y permiten que haya una remoción de partículas coloidales y suspendidas del 80 a 90% de durante su potabilización (Degremont 1996). Además de esto, este proceso reduce también la turbidez del agua, y parcialmente remueve el color, bacterias (80 a 90%) y virus (Romero y Vargas, 2006).

La selección del coagulante y del floculante es muy importante a la hora de la potabilización, ya que de esto va a depender la eficacia del tratamiento. Entre los coagulantes más usados se tiene el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico y sulfato ferroso; entre otros (Andía 2000).

En Costa Rica, el coagulante más usado es el sulfato de aluminio, el cual presenta muy buenos resultados en cuanto a la remoción de contaminantes, sin embargo, el impacto económico debido a su uso es muy alto. Se estima que alrededor de 3 mil toneladas de

sulfato de aluminio son importadas anualmente, lo que equivale a medio millón de dólares por año (costo en aduanas) durante los últimos 5 años (PROCOMER, 2005).

Además, su uso genera grandes cantidades de lodos de desecho, los cuales son difíciles de tratar (Donato *et al.* 2006), y, los altos niveles de aluminio remanente en las aguas tratadas ponen en riesgo la salud pública debido a que en grandes concentraciones pueden ser causantes del síndrome de Alzheimer, lo cual ha sido demostrado en investigaciones médicas realizadas en Inglaterra, donde se ha encontrado que el riesgo de contraer esta enfermedad es 1,5 veces mayor en aquellos sitios donde las concentraciones de aluminio en el agua exceden los 0,110 mg/l (González 1991).

Se tienen los floculantes orgánicos, que son polímeros extraídos de sustancias animales o vegetales; además se tienen los floculantes sintéticos, los cuales son polímeros obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada, y que se clasifican como aniónicos (por ejemplo los copolímeros de la acrilamida y del ácido acrílico), neutros (poliacrilamidas) y catiónicos (copolímero de acrilamidas y un monómero catiónico) (Andía 2000).

Por otra parte, debido a los problemas que presenta el uso de coagulantes, que fueron mencionados anteriormente, es de suma importancia usar floculantes en el tratamiento del agua, ya que estos por su naturaleza de acción, son ayudantes de la coagulación, por lo que reducen en un alto grado la dosis requerida de coagulante durante este proceso, reduciendo los efectos negativos de su uso. Se han hecho estudios donde la introducción de floculantes ha disminuido hasta en cuatro veces la dosis requerida de coagulantes, con una disminución representativa de los lodos residuales obtenidos. Así, su uso es necesario dado que implica una gran disminución en los costos de tratamiento del agua y en la generación de lodos residuales, además de disminuir las posibilidades de enfermedades debidas a la presencia de aluminio residual en el agua. (Ramírez y Velásquez, 2006).

Sin embargo, los polímeros sintéticos usados como coagulantes tienen la desventaja de ser de alto costo y en ocasiones los monómeros que los componen son tóxicos. Por ejemplo, los monómeros acrílicos son tóxicos al sistema nervioso y pueden estar presentes en los productos comerciales (Van Bremen, 2001).

Por ello, la introducción de los floculantes naturales, que sean de bajo costo, fácil obtención y baja toxicidad, son una tecnología necesaria en países en como Costa Rica.

Se han ensayado ciertos productos naturales con propiedades coagulantes y/o floculantes en el tratamiento de agua. En nuestro país, se han llevado a cabo estudios de floculantes naturales, por medio de proyectos de investigación en nuestra institución (Vargas, 2008)

Entre la amplia gama de productos naturales estudiados y probados, se han encontrado diversas fuentes de polímeros, por ejemplo de origen vegetal como los almidones extraídos de maíz, papa y yuca (Arboleda, 2000) (Picado 1984), en los extractos de semillas, hojas y corteza de algunas plantas como por ejemplo al utilizar el cotiledón de las semillas de *Moringa oleifera Lam*, polímeros extraído de las pencas de la tuna (Martínez *et al.* 2003) y en productos de origen animal como el quitosano (Bratskaya, 2004) (Spinelli 2001).

En nuestro país, existe una especie vegetal con nombre *Triumfetta semitriloba* conocida comúnmente como mozote, con el cual se han hecho estudios por su efectividad en la medicina natural (Mata, 1987). Además, se han obtenido buenos resultados al emplear la savia mucilaginoso de sus tallos como floculante, en el tratamiento de aguas residuales (Vargas, 2008).

Los derivados de la tuna por su parte, también se han probado con mucho éxito como floculantes naturales e inclusive en la literatura se dice que son una alternativa como floculantes a gran escala. (Arboleda, 2000).

Sin embargo, todos estos polímeros naturales presentan la desventaja de que al utilizarlos sin purificar y sin una extracción adecuada, introducen compuestos solubles y aportan una gran carga de materia orgánica oxidante al agua, lo que interfiere en el proceso de potabilización (Arboleda, 2000) (Okuda *et al.* 2001). Se ha encontrado que extractos acuosos de tuna y mozote aplicados como ayudantes de coagulación del sulfato de aluminio en agua artificial, han dejado el agua tratada con valores de DQO (como indicador de materia orgánica soluble) superiores al tratamiento convencional donde se aplicó un polímero catiónico sintético como floculante (Jiménez *et al.* 2010).

Por ello, conociendo la funcionalidad del mozote y de la tuna como floculantes, resulta de gran interés llevar a cabo una extracción y purificación adecuada del ingrediente activo de estos productos naturales, así como su posterior caracterización, lo cual haría factible su uso sin el inconveniente de la introducción de materia orgánica al agua.

Por lo tanto, el objetivo de este proyecto consiste en determinar, caracterizar y evaluar las posibilidades técnicas, ambientales y económicas de utilizar al menos tres polímeros de origen natural como coagulantes y/o floculantes, con lo cual se podría introducir su uso para el tratamiento de aguas en nuestro país.

Objetivos

Objetivo general:

Determinar, caracterizar y evaluar las posibilidades técnicas, ambientales y económicas de utilizar al menos tres polímeros de origen natural como coagulantes y/o floculantes en el tratamiento de aguas

Objetivos específicos:

- 1) Separar, identificar y caracterizar química y físicamente el ingrediente activo de los materiales naturales con propiedades coagulantes y/o floculantes.
- 2) Escoger de los polímeros estudiados, los dos ingredientes activos que mejores resultados hayan tenido, para luego determinar, a nivel de laboratorio, la eficiencia estos como coagulantes y/o floculantes en la remoción de sustancias suspendidas y coloidales, en comparación con los productos sintéticos actualmente utilizados.

- 3) Realizar pruebas en alguna (s) planta (s) de tratamiento de agua potable, a nivel piloto, del ingrediente activo que presentó la mejor eficiencia a nivel de laboratorio.
- 4) Determinar la factibilidad económica y ambiental del material identificado en el proyecto como coagulante y/o floculante potencialmente prometedor.

2. Materiales y métodos

2.1 Reactivos

2.1.1 Preparación de disoluciones acuosas de sulfato de aluminio, caolín, ácidos húmicos y de cloruro de sodio

Se utilizó sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ de la marca J.T.Baker grado reactivo, sales de sodio de ácidos húmicos y caolín de Sigma-Aldrich. Se prepararon disoluciones madre al 10 % m/v en $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ pesando 19,49 g del reactivo y disolviendo en 100 ml de agua destilada. Se diluyó la disolución madre con agua destilada para obtener la disolución de trabajo al 1 % en $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. La disolución de trabajo se prepara nueva cada vez que se utiliza. La disolución madre de caolín se preparó disolviendo 2,5 g del sólido en 500 ml de agua destilada con posterior agitación por 30 minutos. La disolución se deja reposar por 24 horas y luego se decanta el sobrenadante. La disolución madre de ácidos húmicos se preparó disolviendo 2,0 g de la sal de sodio de ácidos húmicos en 500 ml de agua destilada. Luego se filtró con papel Whatman 40 *ashless* y se almacenó en botella de vidrio color ámbar. La disolución de trabajo de ácidos húmicos se obtuvo tomando una alícuota de 1,25 ml de la disolución madre y diluyendo a 100 ml. La disolución salina se preparó pesando 7,305 gramos de NaCl grado reactivo y disolviendo esa masa en 200 ml de agua destilada. Se diluyó posteriormente hasta 500 ml con agua destilada dando una concentración final de 0,25 molar. También se prepararon disoluciones acuosas de NaCl con diferentes concentraciones.

2.1.2 Obtención del ingrediente activo a partir de semillas de moringa mediante extracción con NaCl

Se siguió el método citado por Prasad donde se escogieron únicamente los núcleos de las semillas que fueran blancas por fuera y por dentro. Se morterizaron los núcleos de semillas hasta obtener un polvo fino. Se pesaron 4 gramos del polvo de los núcleos y se extrajeron durante 30 minutos en 100 ml de disolución salina 0,25 molar en NaCl utilizando agitador magnético. La mezcla se filtró al vacío con papel Whatman 42. La solución resultante tuvo una concentración al 4 % masa/volumen y se utilizó como disolución de trabajo del coagulante. Esta disolución se aplicó inmediatamente. La concentración salina escogida es la que recomienda Prasad para la remoción de color en aguas residuales de destilerías (Prasad 2009).

2.1.3 Obtención del ingrediente activo a partir de semillas de moringa mediante extracción en etanol al 95 % y extracción con NaCl

El procedimiento se basó en el método citado por Mpagi donde se pesaron 4 gramos de núcleos blancos de semillas de moringa finamente morterizadas y se añadieron a 100 ml de etanol anhidro al 95 % masa/volumen. La mezcla se dejó en agitación magnética durante 30 minutos para luego separar los sólidos por centrifugación a 4000 rpm durante 30 minutos. El supernatante se descartó mientras que el sólido se secó a 40 °C en horno durante 24 horas (Mpagi 2007). La disolución salina se preparó según se indica en el apartado 2.1.1. Posteriormente, 4 gramos del sólido seco se extrajo en la disolución de NaCl 0,25 molar siguiendo la metodología citada en el apartado 2.1.2 dando una concentración del coagulante de 4 % masa/volumen.

2.1.4 Obtención del ingrediente activo a partir de semillas de moringa mediante extracción acuosa

Se escogieron únicamente los núcleos de las semillas que eran blancas por fuera y por dentro. Se morterizaron los núcleos de las semillas hasta obtener un polvo fino. Se pesaron 4 gramos del polvo de los núcleos y se extrajeron durante 30 minutos en 100 ml de agua destilada utilizando un agitador magnético. La mezcla se filtró al vacío con papel Whatman 42. La solución resultante tuvo una concentración al 4 % masa/volumen y se utilizó como disolución de trabajo del coagulante que se aplicó inmediatamente.

2.2 Ensayos de pruebas de jarras para evaluar la capacidad coagulante de la moringa en agua artificial con turbidez y color artificiales

2.2.1 Preparación del agua artificial

Se tomaron 6 L de agua de la cañería y se les adicionó 30 ml de disolución madre caolín hasta obtener una turbidez de 20 FTU, aproximadamente. Se añadió posteriormente un volumen de la disolución de trabajo de ácidos húmicos hasta obtener un color cercano a 130-150 UC.

2.2.2 Obtención de la dosis óptima de moringa extraída en NaCl 0,25 molar como único coagulante

Se añadió 1 litro del agua artificial a cada jarra y se determinaron los siguientes parámetros al agua cruda: pH, color aparente, turbidez, dureza, alcalinidad y DQO. Luego se aplicó una velocidad de 100 rpm y se añadió el coagulante en dosis crecientes. El tiempo de agitación rápida se fijó en 1 minuto. Luego se bajó la velocidad a 20 rpm y se mantuvo durante 20 minutos y se aplicó un tiempo de sedimentación de 2 horas. Estos parámetros se basaron en los parámetros recomendados por Jiménez (Jiménez *et al.* 2010) al utilizar moringa como coagulante único en agua artificial. Durante el tiempo de sedimentación se evaluó la calidad de los flóculos formados según el Índice

Willcomb citado por Arboleda (Arboleda 2000). Al agua sedimentada se le midió la turbidez y color aparente residuales. Para los tratamientos que tuvieron un color aparente menor a 20 UC, se les midió la turbidez, el color y la DQO luego de filtrar las muestras con filtro de fibra de vidrio Whatman grado 934AH.

2.2.3 Obtención de la dosis óptima de moringa extraída en etanol al 95 % y en NaCl 0,25 molar como coagulante único

Se siguió la metodología citada en el apartado 2.2.2 utilizando una disolución de moringa al 4 % extraída previamente en etanol al 95 % y luego en cloruro de sodio 0,25 molar.

2.2.4 Obtención de la dosis óptima de moringa extraída en agua destilada

Para la preparación de la disolución de moringa al 4 % extraída en agua destilada, se siguió la metodología citada en el apartado 2.1.4. Para evaluar su capacidad coagulante se siguió la metodología citada en el apartado 2.2.2 empleando la disolución acuosa de moringa en lugar de la disolución salina.

2.3 Ensayos de pruebas de jarras para evaluar la capacidad coagulante de los productos naturales moringa, tuna y mozote en agua con distintos valores de turbidez inicial

Considerando que la remoción de color fue más eficiente al aplicar moringa extraída con disolución salina, en comparación con el tratamiento que utilizó además extracción en etanol, se decidió descartar esta última metodología en los siguientes ensayos. Además, debido a la poca reproducibilidad en la capacidad coagulante de las disoluciones de moringa para remover el color, se decidió evaluar los productos naturales (moringa, tuna y mozote) como coagulantes o floculantes en agua únicamente con turbidez artificial.

2.3.1 Preparación del agua artificial

Se tomaron 6 litros de agua de la cañería y se le añadió disolución de trabajo de caolín. Se efectuaron pruebas de jarras con valores de turbidez iniciales de 20 FTU, 100 FTU y 200 FTU.

2.3.2 Evaluación de la capacidad coagulante de moringa

2.3.2.1 Extracción acuosa

Se siguió la metodología citada en el apartado 2.2.4 para la preparación de las disoluciones acuosas de la moringa al 4 por ciento. Se siguió la metodología citada en el apartado 2.2.4 para evaluar la capacidad coagulante de la moringa en agua con los valores de turbidez iniciales de 20, 100 y 200 FTU.

2.3.2.2 Extracción salina 0,62 molar

Se siguió el método citado por Prasad donde se escogieron únicamente los núcleos de las semillas que fueran blancas por fuera y por dentro. Se morterizaron los núcleos de semillas hasta obtener un polvo fino. Se pesaron 4 gramos del polvo de los núcleos y se extrajeron durante 30 minutos en 100 ml de disolución salina 0,62 molar en NaCl utilizando agitador magnético. La mezcla se filtró al vacío con papel Whatman 42. La solución resultante tuvo una concentración al 4 % masa/volumen y se utilizó como disolución de trabajo del coagulante. Esta disolución se aplicó inmediatamente.

Se añadió 1 litro del agua artificial a cada jarra y se determinaron los siguientes parámetros al agua cruda: pH, color aparente, turbidez, dureza, alcalinidad y DQO. Luego se aplicó una velocidad de 100 rpm y se añadió el coagulante en dosis crecientes. El tiempo de agitación rápida se fijó en 1 minuto. Luego se bajó la velocidad a 20 rpm y se mantuvo durante 20 minutos y se aplicó un tiempo de sedimentación de 2 horas. Estos parámetros se basaron en los parámetros recomendados por Jiménez (Jiménez *et al.* 2010) al utilizar moringa como coagulante único en agua artificial. Durante el tiempo de sedimentación se evaluó la calidad de los flóculos formados según el Índice Willcomb citado por Arboleda (Arboleda 2000). Al agua sedimentada se le midió la turbidez y color aparente residuales. Para los tratamientos que tuvieron un color aparente menor a 20 UC, se les midió la turbidez, el color y la DQO luego de filtrar las muestras con filtro de fibra de vidrio Whatman grado 934AH.

2.3.2.2 Evaluación de la capacidad coagulante de la moringa al variar la concentración salina

Se siguió la metodología indicada en la sección 2.3.2.2. Se pesaron 4 gramos del polvo de los núcleos y se extrajeron durante 30 minutos en 100 ml de disolución en NaCl en las concentraciones molares siguientes: 0,25; 0,40; 0,50; 0,60; 0,70 y 0,80. La mezcla se filtró dando una concentración final de 4 % masa/volumen y se utilizó como disolución de trabajo del coagulante. Esta disolución se aplicó inmediatamente.

Posteriormente, se siguió el mismo procedimiento del apartado 2.3.2.2 solo que el coagulante se aplicó en todas las jarras a una dosis de 40 mg/l pero con las diferentes fuerzas iónicas. La turbidez inicial fue de 100 FTU.

2.3.3 Evaluación de la capacidad coagulante de la tuna

2.3.3.1 Extracción acuosa

Se pesaron 50 gramos de tuna sin la piel y se agregaron a 50 ml de agua destilada y se agitó por una hora a velocidad lenta. Luego se dejó en reposo 30 minutos y se filtró con tela para eliminar partículas grandes. Para estimar la concentración de la disolución resultante se determinó el contenido de humedad de la parte sólida y gelatinosa de la planta desecándola a 60 °C hasta lograr peso constante. El contenido de humedad fue del 91 %. De lo anterior, la concentración de la disolución de trabajo de la tuna fue de 2,25 % o 22,5 mg/ml. Esta disolución se aplicó inmediatamente después de preparada.

Se añadió 1 litro del agua artificial a cada jarra y se determinaron los siguientes parámetros al agua cruda: pH, color aparente, turbidez, dureza, alcalinidad y DQO. Luego se aplicó una velocidad de 100 rpm y se añadió el coagulante en dosis crecientes. El tiempo de agitación rápida se fijó en 1 minuto. Luego se bajó la velocidad a 30 rpm y se mantuvo durante 30 minutos y se aplicó un tiempo de sedimentación de 1 hora. Estos parámetros se basaron en los parámetros recomendados por Jiménez (Jiménez *et al.* 2010) al utilizar tuna como coagulante único en agua artificial. Durante el tiempo de sedimentación se evaluó la calidad de los flóculos formados según el Índice Willcomb citado por Arboleda (Arboleda 2000). Al agua sedimentada se le midió la turbidez y color aparente residuales. Para los tratamientos que tuvieron una turbidez aparente menor a 10 UC, se les midió la turbidez filtrada, el color con filtro de fibra de vidrio Whatman grado 934AH.

Se ensayó la tuna en muestras de agua con los valores de turbidez iniciales de 20, 100 y 200 FTU.

2.3.3.2 Extracción salina 0,4 molar

Se pesaron 50 gramos de tuna sin la piel y se agregaron a 50 ml de agua disolución de NaCl 0,4 molar y se agitó por una hora a velocidad lenta. Luego se dejó en reposo 30 minutos y se filtró con tela para eliminar partículas grandes.

Se siguió la metodología citada en el apartado 2.3.3.1 para efectuar los ensayos de pruebas de jarras.

2.3.4 Evaluación de la capacidad coagulante del mozote

2.3.4.1 Extracción acuosa

Los tallos del mozote se lavaron con agua del tubo. Se desprendió la corteza de los tallos con un cuchillo y se maceraron fuertemente. Se pesaron 25 gramos de la corteza macerada en balanza granataria. Se mezclaron 25 gramos de corteza macerada con 75 ml de agua del tubo y se agitó durante 30 minutos. Se dejó reposar 24 horas a temperatura ambiente. La disolución resultante se filtró en un colador de cocinar para

retener el material particulado y se empleó como disolución de trabajo que se aplicó inmediatamente.

Se efectuaron pruebas de jarras con valores de turbidez iniciales de 20 FTU, 100 FTU y 200 FTU.

Se añadió 1 litro del agua artificial a cada jarra y se determinaron los siguientes parámetros al agua cruda: pH, color aparente, turbidez, dureza, alcalinidad y DQO. Luego se aplicó una velocidad de 100 rpm y se añadió el coagulante en dosis crecientes. El tiempo de agitación rápida se fijó en 1 minuto. Luego se bajó la velocidad a 20 rpm y se mantuvo durante 20 minutos y se aplicó un tiempo de sedimentación de 2 horas. Estos parámetros se basaron en los parámetros recomendados por Jiménez (Jiménez *et al.* 2010) al utilizar mozote como coagulante único en agua artificial. Durante el tiempo de sedimentación se evaluó la calidad de los flóculos formados según el Índice Willcomb citado por Arboleda (Arboleda 2000). Al agua sedimentada se le midió la turbidez y color aparente residuales si se observaba actividad coagulante. Para los tratamientos que tuvieron un color aparente menor a 20 UC, se les midió la turbidez, el color y la DQO luego de filtrar las muestras con filtro de fibra de vidrio Whatman grado 934AH.

2.3.4.2 Extracción salina 0,4 molar

Los tallos del mozote se lavaron con agua del tubo. Se desprendió la corteza de los tallos con un cuchillo y se maceraron fuertemente. Se pesaron 25 gramos de la corteza macerada en balanza granataria. Se mezclaron 25 gramos de corteza macerada con 75 ml de una disolución acuosa de NaCl 0,4 mol/l se agitó durante 30 minutos. Se dejó reposar 24 horas a temperatura ambiente. La disolución resultante se filtró en un colador de cocinar para retener el material particulado y se empleó como disolución de trabajo que se aplicó inmediatamente.

Se efectuaron pruebas de jarras con valores de turbidez iniciales de 20 FTU, 100 FTU y 200 FTU.

Se siguió el procedimiento indicado en la sección 2.3.4.1.

3. Resultados-Discusión

Al utilizar agua del tubo con caolín y ácidos húmicos, el criterio para escoger los mejores tratamientos obtenidos de las pruebas de jarras antes de la filtración, se basó en un valor máximo de color aparente residual de 20 UC, según recomendación de Guillermo Montero, Jefe de la Planta Potabilizadora en Tres Ríos (Montero 2009). Para los ensayos donde se utilizó agua del tubo con caolín solamente, el valor máximo de turbidez del agua tratada previo a la filtración se fijó en un valor de 10 FTU.

3.1 Ensayos de pruebas de jarras para evaluar la capacidad coagulante de la moringa en agua artificial con turbidez y color artificiales

3.1.1 Caracterización del agua artificial

A continuación se muestra la calidad de las muestras de agua artificial que fueron utilizadas para evaluar la moringa como coagulante natural.

Cuadro 1. Caracterización fisicoquímica del agua artificial utilizada para las pruebas de jarras

Parámetro	Resultado
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	111-129
Dureza (mg/L)	47-49
DQO (mg/l)	61-153
Turbidez (± 1 FTU)	19-22
Color aparente (± 1 UC)	135-164
pH (± 0,01)	7,31-7,76
Temperatura (± 0,1 ° C)	20,8-22,5

3.1.2 Comparación de la capacidad coagulante de moringa por diferentes métodos de extracción

La extracción de los componentes activos de las semillas de *Moringa oleifera* fue efectuada mediante 3 diferentes metodologías para obtener disoluciones de trabajo con una concentración al 4 por ciento masa-volumen. Los métodos de extracción fueron: 1) agua destilada; 2) cloruro de sodio 0,25 molar y 3) etanol al 95 % seguido de NaCl 0,25 molar. A continuación se muestran los resultados de estos ensayos efectuados en agua artificial.

3.1.1.1 Extracción de moringa en NaCl 0,25 molar

En la Figura 1 se observó una dosis óptima del coagulante de 20 mg/l dejando un color residual aceptable de 11 UC (Montero 2009) y 3 FTU de turbidez, dando remociones de 93 % y 85 %, respectivamente (Figura 3). La DQO remanente para ese tratamiento fue de 96 mg/l como se aprecia en la Figura 2. Se observa además, que la mejor calidad de flóculos formados fue de 4 unidades para esa misma dosis. Para los mejores tratamientos-para el ámbito de dosis de 20 a 80 mg/l- se cuantificó el color verdadero, la turbidez y la DQO del agua filtrada. Como se aprecia en la Figura 2, se obtuvieron valores de cero tanto para turbidez como para color para las mínimas dosis aplicadas de coagulante (20 y 40 mg/l), mientras que la DQO del agua tratada se redujo en un 37 % (véase la línea discontinua en la Figura 3). Se observó un incremento en la DQO residual al aumentar la dosis de coagulante; el tratamiento de 80 mg/l produjo agua tratada con una DQO superior (163 mg/l) a la del agua cruda (153 mg/l) (véase el Cuadro 1 en el Apéndice).

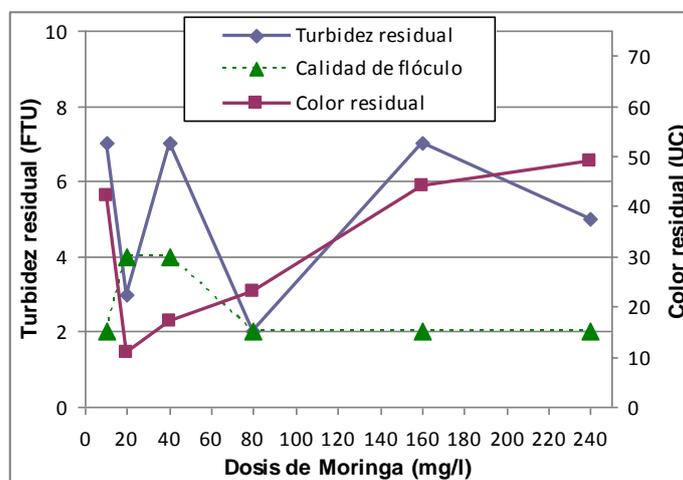


Figura 1: Optimización de la dosis de moringa extraída en disolución salina para la coagulación de agua artificial. Turbidez inicial: 20 FTU; color inicial: 164 UC; pH 7,38. Datos tomados del Cuadro 1 del Apéndice.

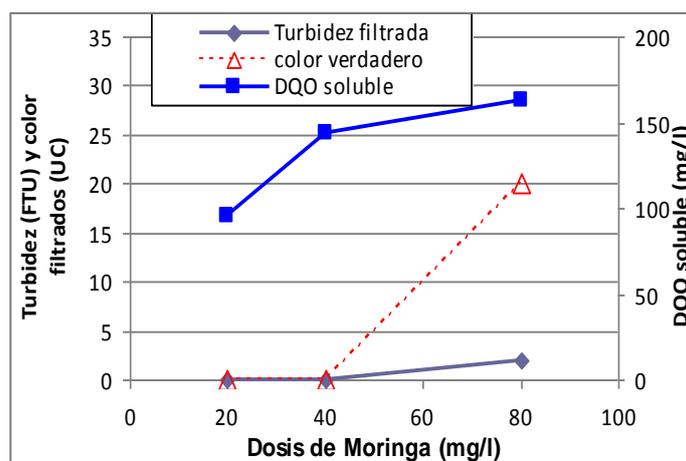


Figura 2: Turbidez, color y DQO para el agua tratada y filtrada en función de la dosis de coagulante. Datos tomados del Cuadro 1 del Apéndice.

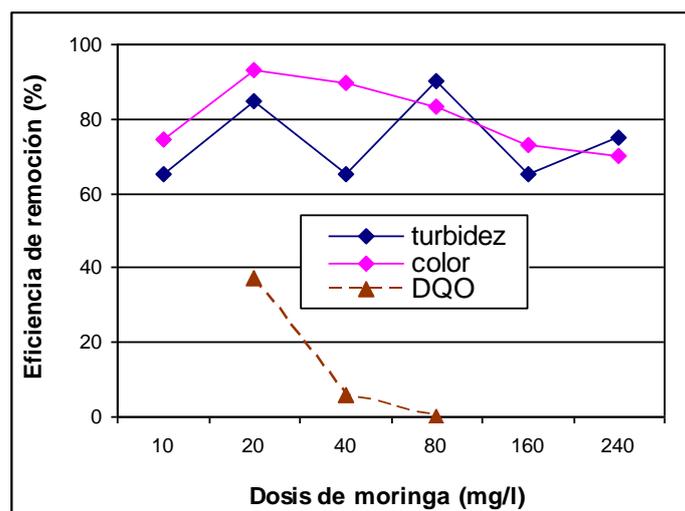


Figura 3: Eficiencia de remoción de turbidez, color del agua sin filtrar y DQO del agua filtrada en función de la dosis de coagulante. Datos tomados del Cuadro 1 del Apéndice.

El incremento en el color, turbidez y DQO residuales al aumentar la dosis de moringa a partir de una dosis de 20 mg/l concuerda con el mecanismo de coagulación propuesto por Okuda (Okuda *et al.* 2001) donde se afirma que el componente activo, obtenido de la extracción salina de la moringa (MOC-SC-pc), es insoluble en medio acuoso. Por lo tanto, una vez que se alcanza la dosis óptima de remoción de color y turbidez, cualquier dosis adicional de moringa va a incrementar la cantidad de materia insoluble y en consecuencia la turbidez y color residuales. El mecanismo de coagulación parece ser por barrido donde el componente MOC-SC-pc forma un estructura con forma de red que remueve los sólidos por enredamiento (barrido) (Okuda *et al.* 2001).

3.1.1.2 Extracción en etanol al 95 % y NaCl 0,25 molar

Los valores mínimos de color y turbidez remanentes obtenidos fueron de 27 UC y 4 FTU, respectivamente, al aplicar una dosis de 40 mg/l como se aprecia de la Figura 4. La calidad de los flóculos fue de 4 unidades para todos los tratamientos. Al filtrar esta muestra se obtuvieron valores residuales de 11 UC para color, 4 FTU para turbidez (ambos de conformidad con la norma) y 20 mg/l para DQO. Los porcentajes de clarificación fueron de 80 % para color y turbiedad del agua sin filtrar y un 67 % para la DQO del agua filtrada, como se aprecian en la Figura 5. Por la similitud en las curvas mostradas en las Figuras 4 y 1, se deduce que el mecanismo de coagulación de la extracción etanol-NaCl es similar al de la extracción salina.

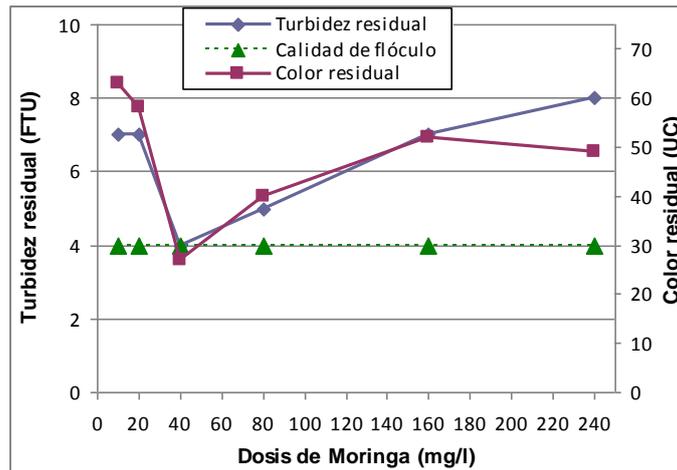


Figura 4: Optimización de la dosis de moringa extraída en etanol y disolución salina para la coagulación de agua artificial. Turbidez inicial: 21 FTU; color inicial: 148 UC; pH 7,42. Datos tomados del Cuadro 2 del Apéndice.

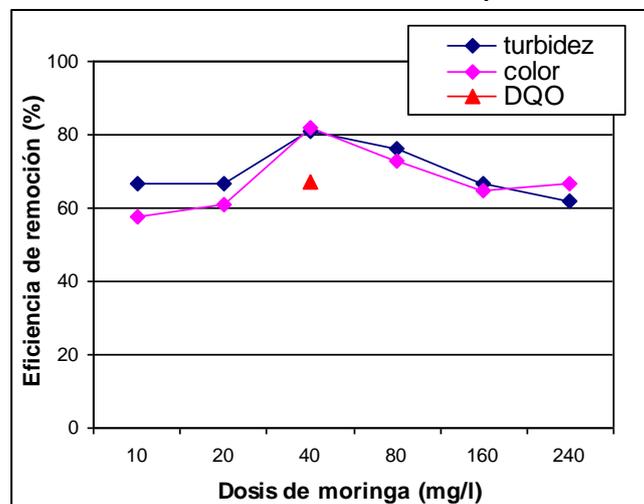


Figura 5: Eficiencia de remoción de turbidez y color del agua sin filtrar y DQO del agua filtrada en función de la dosis de coagulante. Datos tomados del Cuadro 2 del Apéndice.

3.1.1.3 Extracción en agua destilada

Según se observa en la Figura 6, que al aplicar la moringa extraída en agua destilada se obtuvieron remociones de color y turbidez de hasta 36 % y 47 %, respectivamente, al aplicar la dosis máxima de 240 mg/l. Se aprecia que los flóculos formados tuvieron un valor muy bajo de 2 unidades para el intervalo de dosis aplicado. Según se aprecia en la forma de la curva de color residual en función de la dosis de coagulante, el mecanismo de coagulación es diferente al de barrido que según Ndabigengesere se efectúa por adsorción y neutralización de cargas (Ndabigengesere *et al.* 1995). La deficiente remoción de turbidez y color puede explicarse por la descomposición microbiana de las semillas. Lo anterior se justifica dado que en muestras de agua de calidad similar, dosis de 300 mg/l de disoluciones acuosas de moringa mostraron remociones de 62 y 77 % para turbidez y color, respectivamente, con una mejor calidad de flóculos (6 unidades) (Jiménez *et al.* 2010).

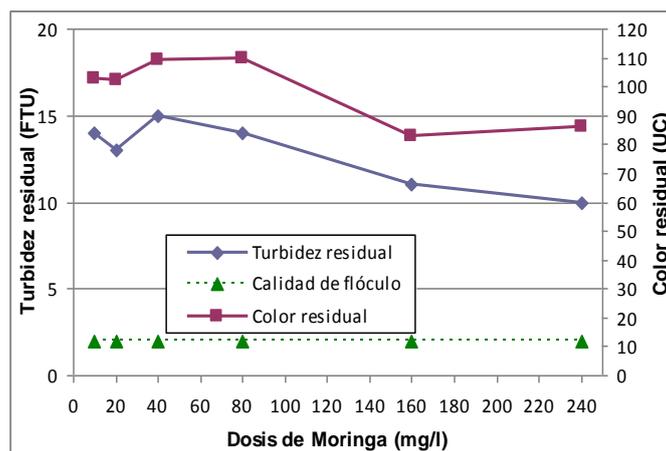


Figura 6: Optimización de la dosis de moringa extraída en agua destilada para la coagulación de agua artificial. Turbidez inicial: 19 FTU; color inicial: 135 UC; pH 7,31. Datos tomados del Cuadro 4 del Apéndice.

3.1.1.4 Comparación de la capacidad coagulante de las disoluciones de moringa

En la Figura 7 y 8 se observan los valores de turbidez y color residuales, respectivamente, obtenidos al aplicar disoluciones de moringa como coagulante único utilizando tres métodos distintos de extracción. Se observa que la disolución de NaCl 0,25 molar aplicada a la dosis de 20 mg/l produjo las mejores remociones, tanto para la turbidez como para el color.

En la Figura 9 se observa la comparación de las eficiencias de remoción de la turbidez, del color y de la DQO soluble en función de los tratamientos de extracción. Los valores se basaron en las dosis óptimas obtenidas en cada caso. La extracción salina fue un 10 por ciento más eficiente que la extracción salina-etanólica, tanto para turbidez como para color, sin embargo, mostró un 30 % menos en la reducción de la DQO.

El mejor desempeño en la reducción de materia orgánica soluble que presentó la moringa extraída previamente con etanol se justifica por la eliminación de material orgánico por ese disolvente y que no es introducido al agua. La extracción acuosa fue 43 % menos efectivo para remover la turbidez y un 50 % menos efectivo para remover el color en comparación con la extracción salina. El incremento en la eficiencia de extracción de la sal se debe al incremento en la fuerza iónica de la sal que causó un incremento en la solubilidad de componentes activos coagulantes y se observó, en similitud con lo que reporta Okuda (Okuda *et al.* 2001) que para las dosis de 20 y 40 mg/l, el extracto salino no incrementó la DQO del agua tratada con relación a la del agua cruda (véanse las Figuras 2 y 3).

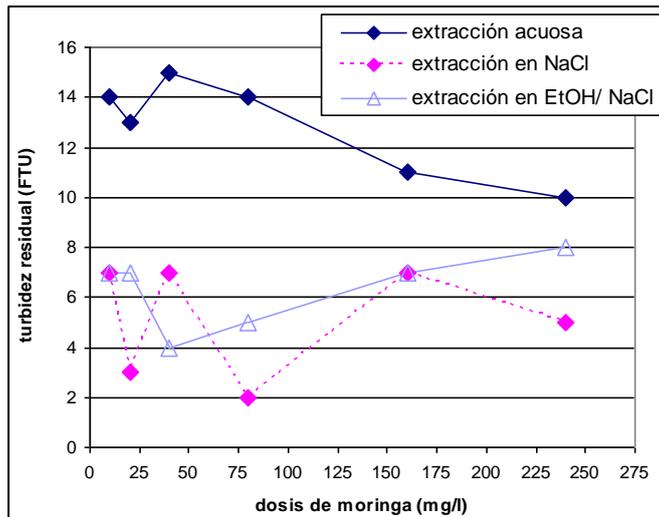


Figura 7: Comparación de la turbidez residual en agua artificial tratada con moringa extraída mediante tres métodos distintos. Véase la calidad del agua cruda en el Cuadro 1.

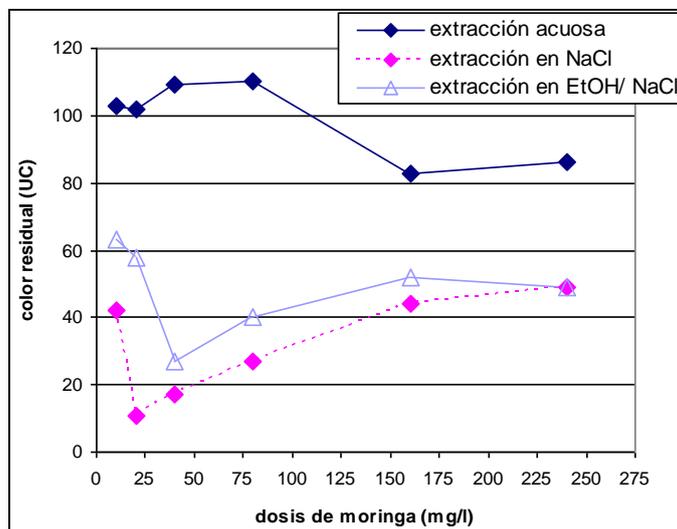


Figura 8: Comparación del color residual en agua artificial tratada con moringa extraída mediante tres métodos distintos. Véase la calidad del agua cruda en el Cuadro 1.

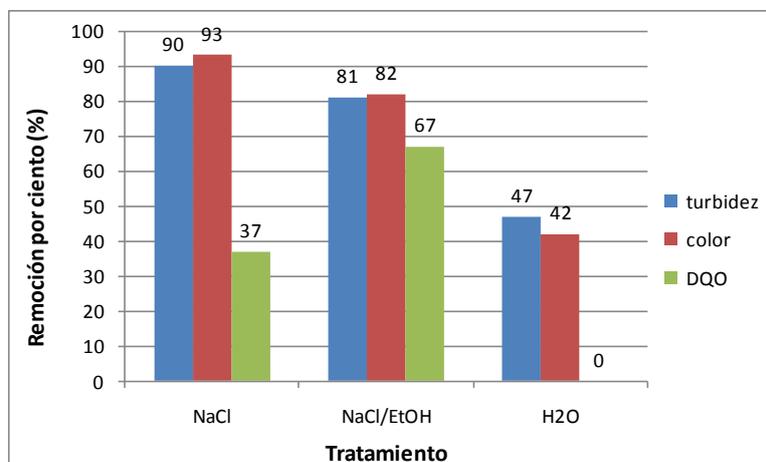


Figura 9: Comparación de las eficiencias de remoción con base a las técnicas de extracción aplicadas. Datos tomados del Cuadro 4 a del Apéndice.

En los siguientes ensayos se seleccionó el cloruro de sodio como muestra extrayente dado que en pruebas iniciales mostraron mejores resultados en comparación con la extracción en etanol seguida de cloruro de sodio.

3.2 Ensayos de pruebas de jarras para evaluar la capacidad coagulante de los productos naturales moringa, tuna y mozote en agua con distintos valores de turbidez inicial

En esta sección se muestran los resultados de evaluar los productos naturales mediante dos métodos de extracción: en agua destilada y en disolución salina. La extracción en etanol y NaCl no fue ensayada dado que no se obtuvieron resultados tan eficientes y reproducibles en comparación con el método de extracción salina.

3.2.1 Evaluación de la *Moringa oleifera*

3.2.1.1 Extracción acuosa

La Figura 10 muestra los resultados de pruebas de jarras al variar la turbidez inicial del agua en función de la dosis de moringa. Para aguas de baja turbidez (20 FTU) todas las dosis aplicadas dieron agua de conformidad con la norma para turbidez residual antes de la filtración (< 10 FTU), mientras que para las muestras con turbidez inicial elevada ningún tratamiento estuvo de conformidad con la norma. Para las muestras de menor y mayor turbidez inicial, la turbidez final disminuyó con el incremento de la dosis de coagulante, lo cual indicó que no hubo saturación en los sitios con capacidad de formar puentes de polímero, en contraposición a lo encontrado por Muyibi (Muyibi y Evison 1995). La muestra con turbidez intermedia, mostró un incremento en la turbidez residual con dosis de moringa superiores a 80 mg/l resultando en la saturación en los sitios capaces de formar puentes de polímero. Esto provocó la restabilización de las partículas coloidales debido a una cantidad insuficiente de partículas que formen más puentes interpartículas (Muyibi y Evison 1995).

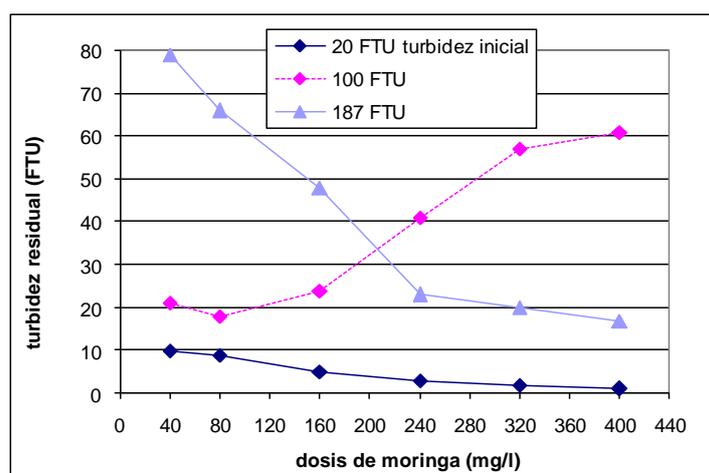


Figura 10: Coagulación del caolín con *Moringa oleifera* en agua al variar la turbidez del agua cruda. Datos tomados de los Cuadros 5, 6 y 7 del Apéndice.

3.2.1.2 Extracción salina 0,62 molar

La Figura 11 muestra la turbidez resultante al variar la turbidez inicial del agua y las dosis de *M. oleifera*. Los valores de turbidez residual fueron mucho menores en comparación con los obtenidos al aplicar la moringa extraída con agua destilada. Para todos los tratamientos los valores de turbidez remanente estuvieron de conformidad con el valor máximo admisible previo a la filtración. En la Figura 12 puede apreciarse la comparación de la eficiencia de los tratamientos al aplicarse la mínima dosis de moringa. Para las muestras con turbidez de 20 FTU y 200 FTU la moringa extraída con NaCl fue un 62 % y 67 %, más eficiente para remover el caolín suspendido en comparación con la extracción acuosa, respectivamente. El incremento en la capacidad coagulante de la moringa extraída en NaCl en comparación con la extraída en agua destilada no fue tan elevado como lo reporta Okuda (7,4 veces más eficiente) para muestras de agua poco turbias (Okuda et al. 2001). Para la muestra de turbidez intermedia (100 FTU) la extracción salina fue apenas un 15 por ciento superior a la extracción acuosa, sin embargo, se recomienda la aplicación de la extracción salina a nivel de planta piloto para todos los valores de turbidez inicial ensayados.

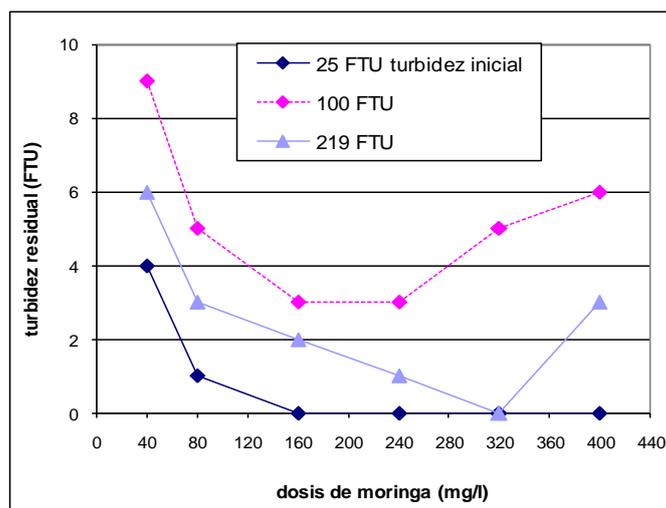


Figura 11: Coagulación del caolín con *Moringa oleifera* en NaCl al variar la turbidez del agua cruda. Datos tomados de los Cuadros 9, 10 y 11 del Apéndice.

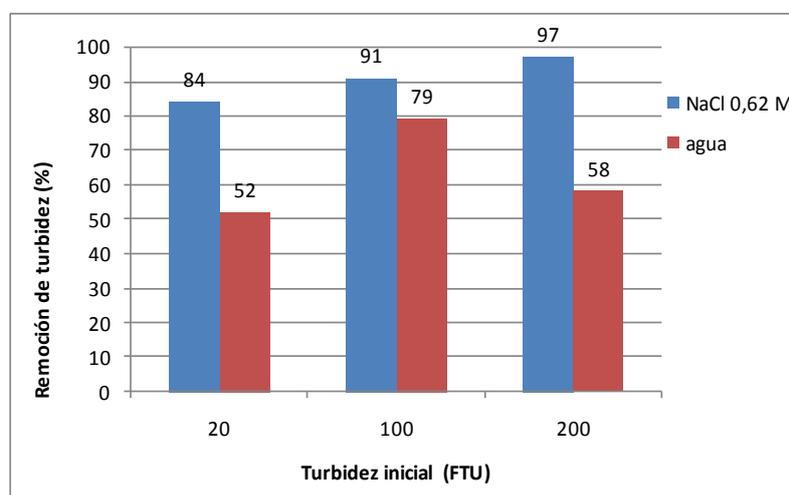


Figura 12: Comparación del desempeño de moringa para la remoción de turbidez a la dosis mínima aplicada.

3.2.1.3 Evaluación de la capacidad coagulante de la moringa al variar la concentración salina

En la Figura 13 se aprecia los resultados de turbidez y color residuales al aplicar moringa a una misma dosis pero con diferentes concentraciones en NaCl, partiendo de agua cruda con una turbidez inicial de 100 FTU. Se observa que para las fuerzas iónicas de 0,4 y 0,5 molar en NaCl se obtuvieron los menores valores de color aparente residual. A pesar de la fuerza iónica tan elevada, la dosis de moringa fue insuficiente para remover la turbidez a valores aceptables. Dado que la calidad experimental de los flóculos fue la misma para todos los tratamientos (6 unidades) se recomienda extraer con una concentración de 0,4 molar porque a esa molaridad se obtuvo el menor valor de color aparente residual.

Se pueden comparar los tratamientos donde la concentración del NaCl es la misma (0,6 molar) y a una misma dosis de moringa de (40 mg/l), para una turbidez inicial de 100 FTU (línea discontinua de la Figura 11 y Figura 13). Se observa una turbidez residual de 9 FTU en ambos casos. No obstante el color aparente residual fue de 93 UC para el

ensayo de la Figura 13 y de 68 UC para el ensayo de la Figura 11 (véase el Cuadro 9 del Apéndice). Según se muestra en la Figura 13, a molaridades superiores de 0,6 mol/l, se incrementó también la turbidez y el color resultantes. De esto se deduce que la cantidad de proteína que se extrajo llegó a un máximo al aumentar la molaridad, y resultó en una dosis insuficiente para remover la turbidez a valores inferiores de 9 FTU. Como consecuencia se incrementó la concentración de sustancias sin capacidad coagulante que aportaron turbidez al agua.

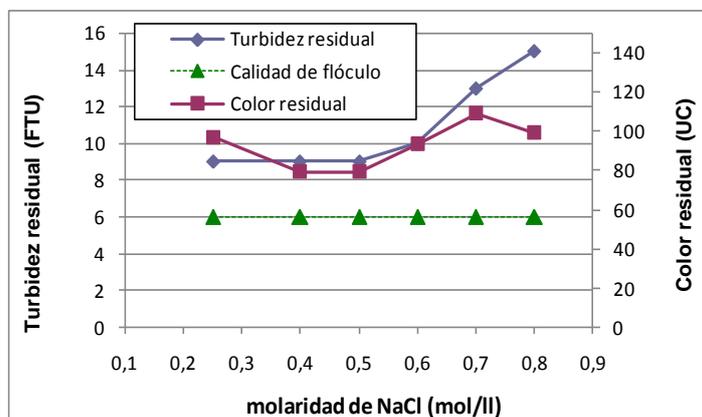


Figura 13: Coagulación del caolín en función de la concentración molar del NaCl, aplicando moringa a 40 mg/l con una turbidez inicial de 100 FTU. Datos tomados del Cuadro 12 del Apéndice.

3.2.2 Evaluación de la Tuna

3.2.2.1 Extracción acuosa

La Figura 14 muestra los resultados de pruebas de jarras al variar la turbidez inicial del agua en función de la dosis de tuna. Para los tratamientos que dieron valores de turbidez residual igual o inferiores a 10 FTU, luego de filtrar las muestras de agua se obtuvieron siempre valores de turbidez de conformidad con la norma (< 3 FTU). Para aguas de baja turbidez inicial (20 FTU) la remoción no superó el 50 % de eficiencia, siendo el mejor tratamiento aquel donde se aplicó la dosis mínima; por lo tanto, se dio restabilización del coloide con el incremento de la dosis del coagulante. Para las muestras de turbidez elevada (100 y 200 FTU) se obtuvieron remociones de 93 % y 96 %, respectivamente cuando se aplicó la dosis mayor del coagulante dando valores de turbidez residual de conformidad con la norma. La turbidez remanente disminuyó con el incremento de la dosis de coagulante, lo cual indicó que no hubo saturación en los sitios con capacidad de formar puentes de polímero.

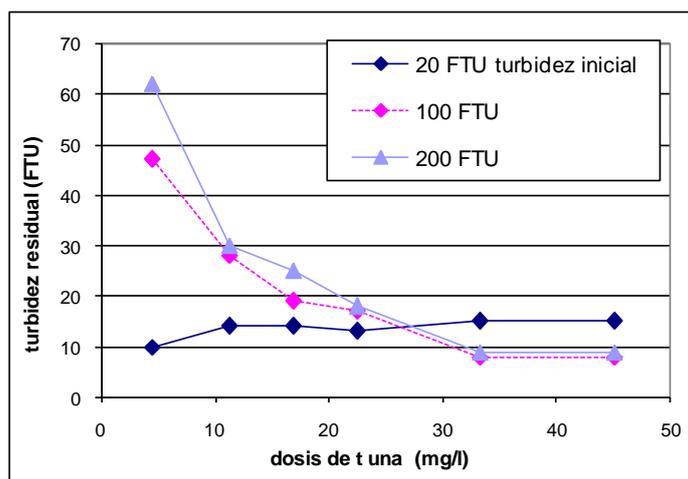


Figura 15: Coagulación del caolín con tuna en agua al variar la turbidez del agua cruda. Datos tomados de los Cuadros 19, 20 y 21 del Apéndice.

3.2.2.2 Extracción en NaCl 0,4 molar

La Figura 15 muestra una misma tendencia en los valores de turbidez residual en función de la dosis de tuna cuando se compara con los resultados obtenidos al aplicar la tuna extraída en agua destilada (Figura 15). Lo anterior demuestra que la extracción salina de la tuna no es significativamente diferente a la extracción acuosa en cuanto a la eficiencia de este producto como coagulante del caolín.

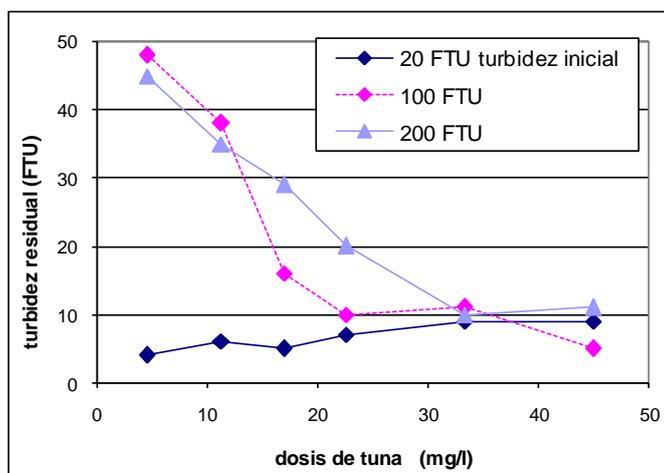


Figura 15: Coagulación del caolín con tuna en NaCl 0,4 molar al variar la turbidez del agua cruda. Datos tomados de los Cuadros 16, 17 y 18 del Apéndice.

3.2.3 Evaluación del mozote

Bajo las condiciones experimentales ensayadas las disoluciones acuosas y salinas no formaron flóculos capaces de sedimentar, por tanto, no se encontró actividad coagulante.

Como floculante, el mozote sí mostró actividad clarificadora cuando se empleó una dosis de sulfato de aluminio baja de 1 ml/l, tal como se observa de la Figura 16.

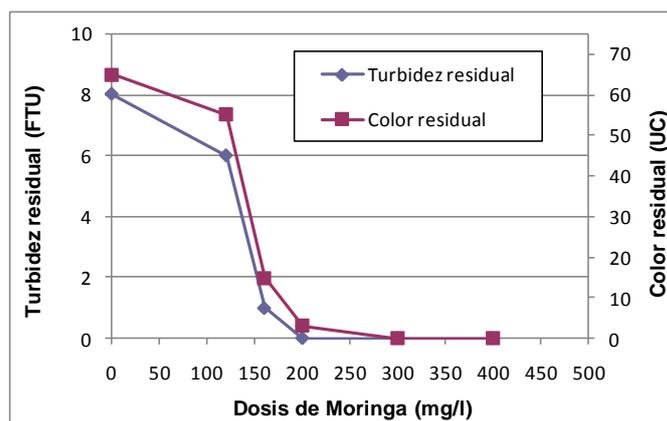


Figura 16: Coagulación del caolín en función de la dosis de mozote como floculante y una dosis única de coagulante de 1 mg/l. Turbidez inicial de 28 FTU. Datos tomados del Cuadro 14 del Apéndice.

Los tratamientos con dosis de mozote superiores a 200 mg/l mostraron remociones de turbidez y color aparente del 100 %, mientras que donde solo se aplicó el sulfato de aluminio la remoción fue del 71%.

4 Caracterización de la composición química de la Moringa, Tuna y Mozote.

Se realizó un estudio fotoquímica de los materiales: Moringa, Tuna y Mozote, de donde se puede extraer la siguiente información.

“Para las 3 muestras de plantas analizadas se observó la presencia de carbohidratos y amino ácidos, sólo se detectaron alcaloides en las muestras de Moringa y flavonoides en los extractos de Tuna. En el caso de terpenos, se observan manchas claras para las muestras de Moringa y muy leves en las muestras de Mozote.

Lo anterior coincide con lo publicado para estas plantas. En el caso de las semillas de Moringa, existen reportes donde se menciona la presencia de proteínas catiónicas como agentes con actividad coagulante (Anwar & Rashid, 2007), análisis realizados donde se han determinado el contenido de proteína, polifenoles totales, flavonoides totales y proantocianinas totales (Compaoré *et al*, 2011) y reportes de contenido de un 25-30% de aceite, glicósidos (moringina), pterigospermina, 4-(α -L-ramnosiloxi)- benzilisocianato y trazas de alcaloides (Cáceres, 1996). En el caso de la Tuna, específicamente para la *Opuntia ficus-indica*, se ha indicado que en los tallos los componentes mucilaginosos más abundantes de la pulpa son glucosa y fructosa y que la concentración de proteínas corresponde a un 5.1% (Alonso, 2007), mientras que para el mozote (*Triumfetta semitriloba*) se ha reportado la presencia de polisacáridos en el mucílago obtenido de las ramas (Esquivel *et al*, 1987) y de ceramidas y triterpenoides en la especie *Triumfetta cordifolia* (Sandjo *et al*, 2008).” Para más detalle del estudio ver anexos 2 y el 3. Con estos estudios se demuestra que en el proceso de extracción sea en agua o disolución salina, se logran extraer componentes con cualidades coagulantes y/o floculantes, que se encuentran registrados en la literatura como sustancias con propiedades coagulantes y/o floculantes.

5 Ensayo con Tuna en agua de la Planta potabilizadora de Cartago

Se realizó un ensayo con una muestra real de agua, en la cual se utiliza a la Tuna como coagulante, como único tratamiento, en el tratamiento primario de agua.

Se puede observar que se logra una remoción máxima de un 75% en turbiedad y un 73% en color (cuadro 23 anexo cuadros y gráficos), no superando los valores que establece la norma como permitidos.

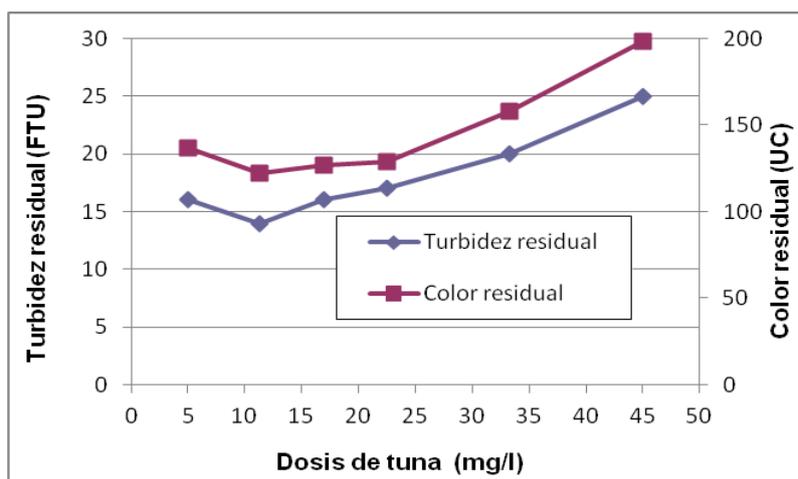


Figura 17: Dosis óptima de tuna (50g/200/mL) para remover la turbiedad y el color en agua de río (turbiedad inicial de 57 FTU)

Datos tomados del Cuadro 23 del Apéndice.

6 Conclusiones y recomendaciones

En muestras de agua con turbiedad y color artificiales el mejor tratamiento obtenido fue al aplicar disoluciones salinas de moringa 0,25 molar que mostraron remociones de 90% para la turbiedad, 93% para color, sin embargo solo se obtuvo un 37 % de remoción de la DQO. El agua filtrada estuvo de conformidad con la norma nacional para turbiedad y color. El tratamiento con mejor remoción de DQO fueron disoluciones de moringa extraídas con etanol y NaCl 0,25 molar obteniéndose una remoción del 67 %.

En muestras de agua con turbiedad artificial la remoción de turbiedad se incrementó al aumentar la turbiedad inicial al compararse la dosis mínima aplicada de moringa extraída en NaCl 0,62 molar. La remoción más eficiente de la turbiedad fue del 97 % cuando la turbiedad inicial fue de 200 FTU.

Para las muestras con turbiedad de 20 FTU y 200 FTU la moringa extraída con NaCl fue un 62 % y 67 %, más eficiente para remover el caolín suspendido en comparación con la extracción acuosa, respectivamente.

Las disoluciones salinas de tuna sí mostraron actividad coagulante en agua con turbiedad artificial, sin embargo, su desempeño fue comparable con el de las disoluciones extraídas en agua destilada.

Tanto en medio salino como en medio acuoso, la tuna mostró un mejor desempeño como coagulante en muestras de agua con turbidez superior a 100 FTU.

Disoluciones acuosas de mozote no mostraron actividad coagulante en agua con turbidez artificial, pero como floculante mostraron una eficiencia del 100 % que fue un 30 % más efectivo que cuando solo se aplicó sulfato de aluminio.

Se recomienda continuar los ensayos de moringa extraída en NaCl 0,25 molar como clarificador de la turbidez y el color tanto en aguas para consumo humano como para aguas residuales.

Se debe propiciar tener una fuente de moringa a nivel nacional dado que este producto puede ser de gran utilidad para el tratamiento primario de aguas como también para la ganadería, porque presenta un alto contenido nutricional.

En cuanto a la tuna se recomienda continuar realizando ensayos con extracción acuosa del material, las pruebas preliminares realizadas en muestras reales de agua, procedentes de plantas de tratamiento, demuestra que la utilización de la Tuna como coagulante puede mejorarse con la utilización de floculantes

7Referencias

1. Andía, Y. (2000) Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico. Tratamiento de Agua: Coagulación Floculación. SEDAPAL. Lima, Perú.
2. Arboleda, (2000) Teoría y práctica de la purificación del agua. 3era edición. Editorial McGraw Hill. p 46
3. Astorga, Y. (2006) Proyecto de Investigación sobre manejo integral del río Purires. San José, Costa Rica. 1-10 p.
4. Bratskaya S, Schwarz S y Chervonetsky D (2004) Comparative study of humic acids focculation with chitosan hydrochloride and chitosan glutamate Water Research 38 2955–2961
5. Degrémont (1996) Water Treatment Handbook. 1991. (6ª edición), vol.1, Francia.
6. Donato, N., Navarro, R., Ávila, M. y Mendizábal (2006) Obtención de sulfato de quitosano y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de suspensiones coloidales aniónicas de caolinita. Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 7 (3).
7. Estado de la Nación (2006) “Décimo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible”. San José, Programa Estado de la Nación.
8. González, M., Hernández, C. y Kaehler, J. (1991) Determinación de aluminio en el agua potable de Valencia y localidades cercanas. Departamento de Química, Universidad de Carabobo.
9. GWP (Global Water Partnership, (CR), (2004) Régimen del recurso hídrico. El caso de Costa Rica. San José, CR. 55p.
10. Jiménez J, Vargas M y Quirós N (2010) Desarrollo de coagulantes y floculantes para la remoción del color en aguas de consumo humano; el Río Humo, Reserva Forestal Río Macho. Informe Final de Proyecto de Investigación. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
11. Kelderman, P. y Kruis, G.F. (2001) Laboratory Course Aquatic Chemistry and its applications in environmental Engineering International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering, Holanda
12. Martínez D, Chávez M, Díaz A, Chacín E y Fernández N (2003) Eficiencia del *cactus lefaria* para su uso como coagulante en la clarificación de aguas, Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia, 26, 1
13. Mata, F; Esquivel, E., A. Ugalde, C. (1987) Protective effect on rat gastric mucosa of the mucopolysaccharide of *Triunfetta semitriloba*. Fitoterapia 58: 268-270.

14. MINAE (2007) (Ministerio de Ambiente y Energía, CR). Reglamento 33903 para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales de Costa Rica. San José, CR. 1-22
15. Mpagi H (2007) Application of indigenous materials in drinking water treatment. Tesis doctoral, Royal Institute of Technology, Suecia.
16. Ndabigengesere A, Narasiah K y Talbot B (1995) Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*, Wat. Res. 29, 2, 703-710
17. Okuda T, Baes A, Nishijima W y Okada M (2001) Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in *Moringa oleifera* seeds. Wat Res 35 (3) 830-834
18. Picado L (1984) Aplicación de polímeros naturales al tratamiento de potabilización del agua, Informe del Proyecto Final de Graduación, Universidad de Costa Rica, Costa Rica
19. Prasad K (2009) Color removal from distillery spent wash through coagulation using *Moringa oleifera* seeds: Use of optimum response surface methodology J. of Haz. Mat. 165: 804-811
20. PROCOMER, Ministerio de Hacienda. (2005) Datos de importaciones proporcionados por Oficina de Estadísticas de Aduanas
21. Ramírez, R; Velásquez, T. (2006) Proceso de coagulación-floculación para el Tratamiento de aguas residuales: desarrollo y utilización de nuevos compuestos para la reducción de lodos. Facultad de Química, UNAM Programa de Ingeniería Química y Química Ambiental, Ciudad Universitaria 04510 México D. F.
22. Romero L, Vargas M. (2006) Aprovechamiento de algunos materiales como floculantes y coagulantes. Tecnología en marcha, Vol. 19
23. Spinneli V (2001) Quitosana, polielectrolito natural para o tratamiento de água potable, Tesis de Maestría, Universidad de Santa Catarina, Brasil
24. Van Breemen, A. N. (2001) Water Treatment 1 Conventional and advance Treatment Methods International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering, Holanda.
25. Vargas, C. (2008) Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. Informe Final de Proyecto de Investigación. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

8Apendices

I Cuadros y graficos

II Reporte Tec Final: Estudio fitoquímico de la moringa, mozote y tuna y

III análisis proximales