

Artículo científico

Uso de la semilla de tamarindo (*tamarindus indica*) como coagulante orgánico para la remoción de turbiedad y color en el agua para potabilización

Tania Yoselin Álvarez Suazo

Ingeniera civil; Msc. en ingeniería sanitaria, ERIS, USAC, Guatemala
Dirección para recibir correspondencia: alvareztania18@hotmail.com

Félix Alan Douglas Aguilar Carrera

Ingeniero civil; Msc. en ingeniería sanitaria, ERIS, USAC, Guatemala
Profesor titular. ERIS-USAC, Guatemala

Recibido: 04.07.2016 Aceptado: 28.09.2016

Resumen

Este artículo presenta la evaluación de la eficiencia de remoción de turbiedad y color del agua, mediante el uso un coagulante orgánico a base de semilla de Tamarindo para que pueda sustituir al sulfato de aluminio en los procesos de coagulación- floculación; y de esta manera tener una alternativa eficiente, económica y que no afecte al medio ambiente. Esta investigación fue desarrollada en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria "Dra. Alba Tabarini Molina" de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los ensayos a las muestras se realizaron a escala de laboratorio, con agua de grifo, las cuales fueron modificadas con caolín blanco para obtener los valores de turbiedad y color requeridos, con el fin de que el agua en estudio tuviese características similares al agua previa a ser tratada en una planta de tratamiento. Los resultados mostraron la eficiencia del coagulante, obteniéndose porcentajes de remoción para la turbiedad después del proceso de coagulación-floculación de hasta un 94.3% (7.9 UNT); y hasta un 99.9% (0.4 UNT) después del proceso de filtración. El color se ubicó después del proceso de coagulación-floculación entre 18.2 y 207.2 UC y después de filtrar entre 0.2 y 14.5 UC; alcanzándose valores promedio de turbiedad de 1.68 UNT y de 4.4 UC al final del proceso de filtración, los cuales cumplen con las normativas de calidad de agua tanto para Honduras como para Guatemala de turbiedad y color; por lo que el uso de la semilla de tamarindo como coagulante orgánico es una alternativa eficiente, que no afecta al ambiente y puede ser empleada en la potabilización de las aguas en sustitución de los productos químicos como el sulfato de aluminio.

PALABRAS CLAVE: Coagulación-floculación, potabilización del agua, sulfato de aluminio.

Abstract

*This article presents the evaluation of the turbidity and water color removal efficiency by using a natural coagulant based seed tamarind (*Tamarindus indica*), so that can be replaced the aluminum sulfate on coagulation-flocculation processes and thereby to have an efficient, economical alternative and that did not affect to the environment. This research was developed at the Laboratory Unified of Chemical and Microbiology Sanitary "Dr. Alba Tabarini Molina" of the University of San Carlos Of Guatemala; assays to samples were performed on a laboratory scale, with tap water, which were modified with kaolin to obtain the required turbidity and color values, in order to have similar characteristics to water prior to be treated in a treatment plant. Results showed the efficiency of the coagulant in obtaining turbidity removal percentages after coagulation- flocculation up to 94.3% (7.9 NTU); and up to 99.9% (0.4 NTU) after filtration. The color was placed after the coagulation-flocculation processes between 18.2 and 207.2 CU and after filtering 0.2 to 14.5 CU. Reaching average values of turbidity of 1.68 NTU and 4.4 UC at the end of the filtering process, which fulfills the standards of water quality for both Honduras and Guatemala of turbidity an color; so the use of seeds of tamarind as natural coagulant is an efficient alternative, which does not affect the environment and can be used in the water purification replacing chemicals such as aluminum sulfate.*

KEY WORDS: Coagulation-flocculation, coagulant, drinking water, aluminum sulfate.

Introducción

Para lograr la potabilización del agua es necesario someterla a varios tratamientos, que comprenden la clarificación, sedimentación, filtración y desinfección, y de esta manera el agua sea apta para el consumo humano. La clarificación incluye el proceso de coagulación-floculación, uno de los procesos más importantes en el tratamiento del agua, ya que es capaz de lograr la remoción de la turbiedad, a través de la aplicación de coagulantes que permiten la formación de flóculos que posteriormente son sedimentados.

Entre los coagulantes más utilizados para el tratamiento de agua se encuentran: el sulfato de aluminio, las sales férricas y los polímeros sintéticos orgánicos; siendo el sulfato de aluminio el más ampliamente usado en las plantas de tratamiento, el cual se ha demostrado que puede ser nocivo para la salud al ser ingerido (Flaten, 2001). Razón por la cual surge la necesidad de evaluar la efectividad de especies vegetales como coagulantes que permitan la sustitución total o parcial del sulfato de aluminio en el tratamiento del agua.

Entre los coagulantes naturales de origen vegetal se incluyen semillas en polvo de Moringa oleífera (Nuñez, 2007), la fécula de maíz (Martínez, 1987), además de las semillas Colorín (Eritrina americana), bellotas de encino (*Quercus ilex*), Huizache (*Acacia farnesiana*), Muérdago (*Viscum album*), Quebracho (*Senna, candolleana*) (Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez, Oaxaca, 2007) y la especie *Tamarindus Indica* como coagulante en aguas de alta turbiedad (Hernández, Salamanca, Fuentes, & Caldera, 2013).

El propósito de este artículo es mostrar la actividad coagulante del extracto de semillas de tamarindo en aguas destinadas al consumo humano, en la remoción de turbiedad y color.

Para el desarrollo metodológico experimental se preparó muestras de agua con ayuda de caolín blanco, para obtener valores tanto de turbiedad como de color, similares a las del agua sin tratar previamente; también se preparó a escala de laboratorio una serie de pruebas de jarras para simular las fases de coagulación, floculación y sedimentación. Posteriormente las muestras de agua fueron pasadas a través de un filtro de membrana, con el fin de representar la fase de filtración dentro del proceso de potabilización.

Los valores de turbiedad y color de las muestras de agua fueron medidos antes y después de la prueba de jarras para poder determinar la capacidad coagulante

del extracto de la semilla de Tamarindo (*Tamarindus indica*) durante la fase de coagulación-floculación. Igualmente se midieron ambos parámetros luego de la filtración, para de esta manera establecer el uso de la semilla de Tamarindo (*Tamarindus indica*) como un coagulante dentro del proceso de la potabilización del agua.

Los resultados obtenidos demostraron que es posible utilizar el extracto de la semilla de Tamarindo (*Tamarindus indica*) en la fase de coagulación-floculación ya que se obtuvieron porcentajes de remoción de turbiedad de hasta un 94.3% (7.9 UNT) y de color de un 88.7% (18.2 UC).

También se determinó que es viable el uso del coagulante orgánico a base de la semilla de Tamarindo (*Tamarindus indica*) para la potabilización del agua, ya que los resultados obtenidos mostraron una remoción de turbiedad y color luego del proceso de filtración de hasta un 99.9% (0.6 UNT) y (0.2 CU); ya que ambos valores se encuentran por debajo de los establecidos en las normativas de agua potable de Guatemala y Honduras, de 5 UNT para turbiedad para ambos países, de 35 UC para Guatemala, y de 15 UC en el caso de Honduras para color.

Antecedentes

La historia en el uso de los coagulantes naturales es larga. Los polímeros orgánicos de origen natural se han utilizado por más de 2000 años en India, África y China como coagulantes eficientes y como ayudantes de coagulación en aguas con alta turbiedad (Kawamura, 1991). Estos polímeros orgánicos naturales son interesantes debido a que en comparación con el uso de polímeros orgánicos sintéticos que contienen monómeros acrilamida, no existe peligro a la salud humana y el costo de estos coagulantes sería menos costoso que los productos químicos convencionales, ya que se encuentran disponibles localmente (Asrafuzzaman et al., 2011).

Dentro de algunos coagulantes alternativos empleados en América Latina, están las semillas de la planta Moringa Oleífera, usada como coagulante primario en la clarificación de aguas. Son diversos los coagulantes naturales (papa, cactus, maíz, trigo y yuca) que han sido utilizados en la clarificación de agua dentro de la extensa gama de productos estudiados hasta la actualidad en el mundo (Ramírez & Jaramillo, 2015).

Martínez (1987) presentó un estudio sobre el uso de la fécula de maíz como una alternativa en el proceso de coagulación del agua empleando el sulfato de aluminio, en el cual concluyó que es factible el uso de fécula (almidón) de maíz como polielectrolitos natural

para sustituir hasta un 25% el sulfato de aluminio en el proceso de tratamiento de agua.

El Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez, Oaxaca (2007) llevó a cabo un estudio con cinco semillas naturales para la remoción de la turbiedad. Los resultados mostraron que el que podría tener una aplicación como coagulante primario es el extracto de la semilla de huizache (*Acacia farnesiana*), con una remoción de la turbiedad de 60% en aguas con turbiedad baja (50 UTN) y de 30% en aguas con turbiedad alta (100 UTN).

Núñez, (2007) validó la eficiencia de la semilla *Moringa oleífera* como coagulante natural en el agua, donde alcanzó reducir la turbiedad de 288 UTN a 4.8 UTN, obteniéndose un 98% de efectividad en el uso de esta semilla.

Hernández, Salamanca, Fuentes, & Caldera, (2013) evaluaron la efectividad de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) en aguas con alta turbidez. Los ensayos se realizaron a escala de laboratorio, utilizando agua proveniente del grifo. Los resultados mostraron la eficiencia del coagulante, obteniéndose porcentajes de remoción para la turbiedad después del tratamiento entre 72,45% (100 UTN) y 89,09% (350 UTN) antes del filtrar; y entre 98,78% (100 UTN) y 99,71% (300 UTN), después del proceso de filtración. Los porcentajes de remoción de color oscilan entre 67,47% (200 UTN) y 99,60% (350 UTN).

Metodología

Procedimiento para la obtención del coagulante *Tamarindus indica*

Las semillas de tamarindo fueron adquiridas en un mercado local y trasladadas a una cocina convencional para ser tratadas.

Se extrajo la parte coagulante del tamarindo a partir de los cotiledones de las semillas. Para ello, primero se separaron las semillas de tamarindo de la cáscara y la pulpa, luego se retiró la membrana que cubre la semilla que posteriormente fue sometida a un proceso de hidratación durante 2 días. Luego fueron colocadas en agua hirviendo para retirar con mayor facilidad la capa marrón que cubre la semilla.

Una vez hidratada, se removió esta capa marrón hasta obtener los cotiledones de color blanco. Posteriormente, se trituraron los cotiledones en un procesador doméstico hasta obtener un polvo blanquecino. Luego en el laboratorio se pesaron 5 gr del polvo obtenido, los cuales se colocaron en un vaso de precipitado y se agregó agua destilada hasta completar 100 ml de suspensión. Se colocó dicha suspensión en la plancha y se calentó hasta alcanzar

una temperatura de 65°C, y se obtuvo así una mezcla viscosa que se dejó reposar a temperatura ambiente, separándose en dos fases: una acuosa y una viscosa. De la suspensión coagulante se extrajo el sobrenadante (fase acuosa) y se aplicó en diferentes dosis a las muestras de agua con diferentes valores de turbiedad.

Obtención del agua empleada para el estudio

Para la obtención del agua a utilizar en la prueba de jarras, primero se procedió a tomar agua del grifo del laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria "Dra. Alba Tabarini Molina, la que se colocó en un recipiente y se le agregó caolín blanco previamente pesado, se agitó la mezcla durante 5 minutos con el propósito de disolver el caolín y obtener una mezcla homogénea, hasta obtener los valores de turbiedad y color deseados. Una vez obtenido el coagulante orgánico, se procedió a realizar los ensayos fisicoquímicos (turbiedad y color) para las muestras de agua preparada. Antes de adicionar el coagulante y después de ello (antes y después del proceso de filtración).

Prueba de Jarras

Para los ensayos desarrollados en esta investigación se utilizó un aparato convencional de prueba de jarras el cual permite simular en el laboratorio las fases del proceso de potabilización (coagulación, floculación y sedimentación). Para realizar las pruebas de jarras, se llenaron los vasos de precipitar con 1 L del agua preparada con valores de turbiedad y color requeridos.

El equipo se programó ajustándolo a 100 rpm durante 1 minuto de agitación, agregando las diferentes dosis de coagulante orgánico a base de tamarindo. Transcurrido el minuto de agitación rápida, se procedió a la agitación lenta, la cual se hace a 30 rpm con una duración de 20 minutos, y finalmente se detuvo la agitación para simular la fase de sedimentación durante 30 minutos.

La turbiedad y color son de las propiedades estéticas más importantes del agua potable, y a la vez son muy importantes para definir la calidad del agua para consumo humano. La turbiedad fue medida utilizando un turbidímetro. El color del agua fue medido con la usando de un colorímetro.

Resultados

Los análisis realizados a las muestras de agua a través de la prueba de jarras, fueron desarrolladas de acuerdo a rangos previamente definidos como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Rangos de estudio para los parámetros de turbiedad y color.

Turbiedad (UNT)	Color (UC)
100-200	100-214
201-300	215-300
301-400	301-415
401-500	416-500

Fuente: Elaboración propia

Remoción de turbiedad

Los valores obtenidos para los diferentes rangos de turbiedad, luego de aplicar el coagulante a base de la semilla de tamarindo, se describen en las siguientes tablas.

Tabla 2. Valores de turbiedad y porcentajes de remoción obtenidos durante el tratamiento de agua con la semilla de tamarindo, para rangos entre 100-200

Turbiedad inicial (UNT)	Turbiedad después del proceso C-F*	Remoción antes de filtrar (%)	Turbiedad después de filtrar (UNT)	Remoción después de filtrar (%)
106	43.7	58.8	0.9	99.1
120	44.1	63.3	4.7	96.1
139	7.88	94.3	0.7	99.5
148	40.9	72.4	2.1	98.6
163	51.6	68.3	2.5	98.5
187	79.2	57.7	0.5	99.8

Fuente: Elaboración propia *Coagulación-floculación

Tabla 3. Valores de turbiedad y porcentajes de remoción obtenidos durante el tratamiento de agua con la semilla de tamarindo para rangos entre 201-300

Turbiedad inicial (UNT)	Turbiedad después del proceso C-F*	Remoción antes de filtrar (%)	Turbiedad después de filtrar (UNT)	Remoción después de filtrar (%)
202	76.3	62.2	0.6	99.7
221	83.1	62.4	0.5	99.8

Turbiedad inicial (UNT)	Turbiedad después del proceso C-F*	Remoción antes de filtrar (%)	Turbiedad después de filtrar (UNT)	Remoción después de filtrar (%)
230	76.7	66.7	0.8	99.7
250	91.4	63.4	1.4	99.4
270	75.2	72.2	0.4	99.9
289	101	65.1	0.9	99.7

Fuente: Elaboración propia *Coagulación-floculación

Tabla 4. Valores de turbiedad y porcentajes de remoción obtenidos durante el tratamiento de agua con la semilla de tamarindo, para rangos entre 301-400

Turbiedad inicial (UNT)	Turbiedad después del proceso C-F*	Remoción antes de filtrar (%)	Turbiedad después de filtrar (UNT)	Remoción después de filtrar (%)
302	90.6	70.0	1.2	99.6
317	83.1	73.8	1.2	99.6
359	169.6	52.8	3.2	99.1
372	120.0	67.7	2.0	99.5
385	97.8	74.6	4.7	98.8
398	147.0	63.1	0.9	99.8

Fuente: Elaboración propia *Coagulación-floculación

Tabla 5. Valores de turbiedad y porcentajes de remoción obtenidos durante el tratamiento de agua con la semilla de tamarindo, para rangos entre 401-500

Turbiedad inicial (UNT)	Turbiedad después del proceso C-F*	Remoción antes de filtrar (%)	Turbiedad después de filtrar (UNT)	Remoción después de filtrar (%)
405	84.5	79.1	2.9	99.3
419	98.3	76.5	1.2	99.7
433	154	64.4	1.0	99.8
450	137	69.6	1.0	99.8

Turbiedad inicial (UNT)	Turbiedad después del proceso C-F* (UNT)	Remoción antes de filtrar (%)	Turbiedad después de filtrar (UNT)	Remoción después de filtrar (%)
476	177.0	62.8	2.2	99.5
492	167.0	66.1	3.1	99.4

Fuente: Elaboración propia *Coagulación-floculación

Evaluación del parámetro color verdadero

Los valores de color obtenidos para cada uno de los rangos ensayados, después del proceso de coagulación- floculación y luego de la filtración, se describen en la siguiente tabla.

Tabla 6. Valores de color y porcentajes de remoción obtenidos durante el tratamiento de agua con la semilla de tamarindo.

Color inicial (UC)	Color después del proceso C-F* (UC)	Remoción antes de filtrar (%)	Color después de filtrar (UC)	Remoción antes de filtrar (%)
129	96.1	25.5	0.6	99.5
142	98.5	30.6	8.4	94.1
161	18.2	88.7	0.2	99.9
179	97.0	45.8	3.0	98.3
183	100.0	45.4	6.8	96.3
214	144.7	32.4	0.4	99.8
215	143.1	33.4	1.5	99.3
229	152.0	33.6	0.6	99.7
259	149.8	42.2	1.0	99.6
275	157.4	42.8	3.0	98.9
286	136.3	52.3	1.0	99.7
298	176.9	40.6	1.2	99.6
318	158.8	50.1	3.5	98.9
325	148.2	54.4	6.2	98.1
376	193.9	48.4	9.8	97.4
388	182.4	53	5.1	98.7
400	167.1	58.2	14.5	96.4

Color inicial (UC)	Color después del proceso C-F* (UC)	Remoción antes de filtrar (%)	Color después de filtrar (UC)	Remoción antes de filtrar (%)
412	197.9	52	1.8	99.6
419	136.6	67.4	8.3	98.0
432	157.1	63.6	3.8	99.1
445	197.2	55.7	3.2	99.3
460	185.6	59.7	3.0	99.3
485	207.2	57.3	6.7	98.6
500	200.5	59.9	12.3	97.5

Fuente: Elaboración propia *Coagulación-floculación

Análisis de resultados

Las dosis óptimas del coagulante orgánico a base de semilla de Tamarindo aplicadas comenzaron desde los 40mg/l hasta los 70 mg/L, basadas en las pruebas realizadas con sulfato de aluminio de acuerdo a cada rango de turbiedad. Tanto la turbiedad y el color fueron medidos después del proceso de coagulación-floculación (prueba de jarras) y luego de la filtración.

Remoción de turbiedad

Para el rango de turbiedades de 100-200 se obtuvo un promedio de 69.1% de remoción de turbiedad después del proceso de coagulación- floculación, donde el mejor resultado se alcanzó al reducir la turbiedad de 139 UNT a 7.9 UNT con un porcentaje de remoción del 94.3%. Luego de la filtración se obtuvo un porcentaje promedio de remoción de 98.6% (Ver Tabla 2).

En la tabla 3 se observa que para los rangos de turbiedad de 201-300 el porcentaje promedio de remoción después del proceso de coagulación-floculación fue del 65.3% y del 99.7 después de filtrar. Alcanzándose hasta un 99.9% de remoción de turbiedad después de filtrado, donde el valor inicial de turbiedad fue de 270 UNT y luego de filtrar fue de 0.39 UNT.

Para los rangos de 301-400 el porcentaje de remoción fue del 67% después del proceso de coagulación-floculación; en donde se alcanzó hasta un 74.6% de remoción. Después de filtrado se obtuvo un promedio de 99.4% de remoción de turbiedad, reduciéndose la turbiedad para los valores más altos de turbiedad inicial que fueron de 385 UNT y 398 UNT, con un

porcentaje de remoción del 98.8 y 99.8% respectivamente (Ver Tabla 4).

Para los rangos de 401-500 UNT se logró obtener el mejor porcentaje promedio de remoción después del proceso de coagulación- floculación que fue del 70%, y después de filtrado un 99.6% de remoción, como se observa en la Tabla 5.

El porcentaje promedio de remoción de turbiedad global para los rangos de estudio (100- 500 UNT) fue de 67.8% después del proceso de coagulación-floculación y del 99.5% después de filtrado. Todos los valores obtenidos luego del proceso de filtración se encuentran por debajo del límite máximo admisible de acuerdo con la Norma NTG COGUANOR 29001 de Guatemala y la Norma Técnica de Calidad de Agua de Honduras, de 5 UNT, en donde el valor promedio de turbiedad fue de 1.68 UNT.

Evaluación del parámetro color verdadero

En el rango de color de 100-214 UC se tuvo un promedio global de reducción de color del 98.3%, en donde se alcanzó una disminución de color de 214 UC a 0.4 UC, que representa un 99.8% de remoción de color.

En el rango de 215-300 UC se obtuvo hasta un 99.7% de remoción de color. Para los rangos de 300-415 UC y de 416-500 se alcanzaron un promedio de remoción de color de 97.8% y 98.5% respectivamente (Ver Tabla 6).

Todos los resultados obtenidos de color real se encuentran por debajo de del límite máximo permisible de acuerdo con la Norma NTG COGUANOR 29001 de Guatemala, que es de 35 UC y la Norma Técnica de Calidad de Agua de Honduras que es de 15 UC; con un porcentaje general de remoción de color del 98.6%.

Conclusiones

Al evaluar la capacidad de la semilla de Tamarindo como coagulante orgánico esta presentó una eficiente remoción de turbiedad y color al final del proceso de filtración, con resultados promedio de remoción del 99.3%, y del 98.6% respectivamente. La reducción de la turbiedad en el agua después del proceso de coagulación- floculación presentó una eficiencia promedio de un 67.8%; y para el parámetro de color del 49.7%. Estos resultados fueron obtenidos para rangos de turbiedad y color entre 100 y 500 UNT y UC.

Se obtuvo un valor promedio luego de la filtración 1.68 UNT para turbiedad y de 4.4 UC para color, cumpliendo con Norma Técnica de Calidad del Agua de Honduras y la norma COGUANOR NTG 29001

para Guatemala de 5 UNT para turbiedad y para color de 15 UC en el caso de Honduras y 35 UC para Guatemala; lo que indica que los resultados demuestran que el Tamarindo puede ser considerado como una alternativa entre los coagulantes orgánicos naturales para potabilización del agua.

Referencias

ASRAFUZZAMAN, M., FAKHRUDDIN, A. N. M., HOSSAIN, M. A., ASRAFUZZAMAN, M., FAKHRUDDIN, A. N. M., & HOSSAIN, M. A., (2011) Reducción de la turbiedad en el agua utilizando coagulantes naturales disponibles localmente.

FLATEN, T. (2001) Aluminio como factor de riesgo en la enfermedad del Alzheimer con énfasis en el agua potable.

HERNÁNDEZ BRIYITT, SALAMANCA MAYERLING, FUENTES LORENA., & CALDERA YAXCELYS. (2013) Semillas de tamarindo (*tamarindus indica*) como coagulante en aguas con alta turbiedad.

INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES, UNIVERSIDAD DE LA SIERRA JUÁREZ, OAXACA, (2007) Remoción de turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas.

KAWAMURA SUSUMU, (1991) Eficacia de los polielectrolitos naturales en el tratamiento del agua.

MARTÍNEZ EDDY, (1987) Uso de fécula de maíz como una alternativa de ayuda en el proceso de coagulación del agua cuando se emplea el sulfato de aluminio.

NUÑEZ, E. (2007) Validación de la efectividad de la semilla de Moringa oleífera como coagulante natural del agua, destinada al consumo humano, Morocelí, Honduras.

RAMÍREZ HILDEBRANDO, JARAMILLO JHOAN (2014) Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua.

Información del autor:

Ingeniera civil, Tania Yoselin Álvarez Suazo, graduada en la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 2009.

Maestra en Ciencias en Ingeniería Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Maestro en ciencias en ingeniería sanitaria e ingeniero civil Félix Alan Douglas Aguilar Carrera, graduado de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Profesor titular de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, con más de 18 años de experiencia docente y profesional.