

El Extracto de Semillas de Mango (*Mangifera indica* L) como Coagulante Natural en la Potabilización de Aguas

Ute Gabriel Martínez-Morris, Ing¹; Carlos E. Marquina-Gelvez, Ing.²; Sedolfo Carrasquero-Ferrer, Msc. Ingeniero Ambiental³; Moisés E. Martínez-Soto, Dr. Ingeniero Industrial⁴; Carlos Rodríguez- Monroy, Dr. Ingeniero Industrial⁵; Anne T. Morris-Díaz, Dra. Ingeniero Industrial.⁶

¹Universidad del Zulia, Venezuela, ugabrielm@gmail.com; ²Universidad del Zulia, Venezuela, cmarquina1993@gmail.com,

³Universidad del Zulia, Venezuela, scarrasquero@fing.luz.edu.ve, ⁴Universidad del Zulia, Venezuela, moisesenriquemartinezsoto@fa.luz.edu.ve; ⁵Universidad Politécnica de Madrid, España, crmonroy@etsii.upm.es; ⁶ Instituto de Gestión del Conocimiento, Venezuela, annemorris.diaz@gmail.com.

Resumen- El sulfato de aluminio es uno de los coagulantes químicos más utilizados en el proceso de potabilización de aguas destinadas a consumo humano. Sin embargo, se considera una amenaza para la salud humana, debido a que estos iones están asociados a enfermedades del sistema nervioso, lo que ha motivado el estudio de coagulantes naturales como alternativa coagulante. El presente trabajo tiene la finalidad de evaluar la efectividad del extracto de las semillas de mango en el proceso de potabilización de aguas de diversos niveles de turbidez inicial. Se usó el ensayo de jarras para simular el proceso de coagulación, floculación y sedimentación, y determinar la efectividad de una solución coagulante preparada con el extracto de semillas de mango, y compararla con la correspondiente al coagulante químico. Se preparó agua turbia sintética (5000 mg/L), utilizando caolín en agua de grifo y se midieron los parámetros: turbidez, pH, color, alcalinidad total, sólidos totales, antes y después de la aplicación de distintas dosis del preparado con semillas (10; 25; 50; 100; 250 y 500 mg/L), en soluciones con diferentes valores de turbidez (10, 15, 25, 50, 75 y 100 UNT). El extracto de semillas de mango disminuyó los valores de turbidez inicial a valores iguales o menores que los establecidos por las Normas de calidad del agua de Venezuela (5 UNT), en aguas de alta y media turbidez, representando porcentajes de remoción superiores al 90%. En consecuencia, el extracto de semillas de mango podría ser usado con éxito en el proceso de potabilización de aguas.

Palabras clave: Potabilización de aguas, Coagulante natural, *Mangifera indica* L., Sulfato de aluminio, Turbidez

Abstract- Aluminum sulfate is one of the chemical coagulants most used in the process of water purification for human consumption. However, it is considered a threat to human health, because these ions are associated with diseases of the nervous system, which has led to the study of natural coagulants as a coagulant alternative. The present work has the purpose of evaluating the effectiveness of the extract of the mango seeds in the process of water purification of several levels of initial turbidity. The jar test was used to simulate the coagulation, flocculation and sedimentation process, and to determine the effectiveness of a coagulant solution prepared with the mango seed extract, and to compare it with that of the chemical coagulant. Synthetic turbid water (5000 mg / l) was prepared using kaolin in tap water and parameters were measured: turbidity, ph, color, total alkalinity, total solids, before and after the application of different doses of seed preparation 10, 25, 50, 100, 250 and 500 mg / l, in solutions with different turbidity values (10, 15, 25, 50, 75, 100 and 200 unt).

Mango seed extract decreased initial turbidity values to values equal to or lower than those established by the Venezuelan water quality standards (5 unt) in high and medium turbidity waters, representing percentages of removal of more than 90%. Consequently, mango seed extract could be used successfully in the water purification process.

Keywords-- Water purification, Natural coagulant, *Mangifera indica* L., Aluminum sulphate, Turbidity

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población aunado al desarrollo industrial, la dependencia creciente a la agricultura de regadío y la urbanización masiva han ocasionado un aumento en la demanda de agua potable. Mientras la población mundial se había triplicado para finales del siglo pasado, la extracción de agua para uso doméstico, industrial y agrícola había aumentado más de seis veces [1].

El agua, bien sea proveniente de fuentes superficiales o subterráneas, posee características propias o adquiridas que pueden o no hacerla apta para el consumo humano [2]. La calidad del agua potable es una preocupación creciente en los países en vías de desarrollo, debido a que las fuentes están bajo la amenaza creciente de la contaminación [3].

Las normas sanitarias de calidad de agua potable [4] establecen en Venezuela los valores máximos de aquellos componentes o características del agua que representan un riesgo para la salud de la comunidad, o inconvenientes para la preservación de los sistemas de almacenamiento y distribución del líquido, así como la regulación que asegure su cumplimiento. Sus valores máximos aceptables están dentro de los establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

Para que el agua pueda ser utilizada en diversas actividades, entre ellas para el consumo humano, es necesario un tratamiento de potabilización [5]. Uno de los tratamientos más efectivos y utilizados es la coagulación-floculación, este

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.227>

ISBN: 978-0-9993443-0-9

ISSN: 2414-6390

método es un proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso superior al del agua, llamadas flocos, que sedimentan permitiendo la separación de los sólidos del líquido [6].

Los agentes coagulantes más utilizados son de origen artificial o químico, tales como las sales de aluminio y de hierro. El sulfato de aluminio, alumbre, es usado en la clarificación del agua debido a su alta efectividad para ayudar a la remoción de la turbidez, y paralelamente, para reducir microorganismos patógenos, tales como virus y Giardias [7]. Sin embargo, puede ser fácilmente asimilado por el hombre, con potenciales consecuencias negativas a largo plazo. Sus efectos se asocian con varias formas de cáncer, enfermedades neurodegenerativas y óseas [8]. La combinación de las preocupaciones por el alumbre y el fuerte impulso para satisfacer las necesidades de agua potable del mundo, han conducido recientemente al interés por la utilización de coagulantes naturales de origen vegetal [9]. Los coagulantes naturales resultan de gran interés para muchos investigadores debido a que son biodegradables, tienen un bajo costo y son de fuente abundante [10]. Semillas, almidones, gomas e inclusive cáscaras de algunas especies han sido evaluadas para la clarificación de agua, tales como: *Moringa oleífera* [11], *Cassia fistula* [12], *Cedrela odorata* [13], *Musa paradisiaca* [14], *Solanum tuberosum* [15], *Cicera rietinum* [16], *Opuntia ficus-indica* [17], *Tamarindus indica* [18], entre otros.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el extracto de las semillas de mango (*Mangifera indica L*) como coagulante natural en el proceso de potabilización de aguas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología aplicada fue de tipo cuantitativa, experimental, de campo, transversal y ex post facto.

Se creó un contexto bajo el cual se tuvo control sobre las variables del sistema, se modificaron las dosis del coagulante utilizado y se observó el efecto que tuvo sobre la remoción de color y turbidez en el tratamiento de las aguas turbias sintéticas [19].

La investigación se condujo en cuatro etapas, que comprendieron el procesamiento y caracterización de las semillas de mango, preparación y caracterización del agua turbia sintética, determinación de la dosis óptima de la semilla de mango a través de la evaluación de las semillas de mango a diferentes niveles de turbidez y por último, se realizó una comparación de la eficiencia de las semillas de mango con el coagulante químico tradicional sulfato de aluminio.

A. Recolección del fruto de mango *Mangifera indica L*

La especie usada en el presente estudio fue *Mangifera indica L*. Las plantas se localizaban en Venezuela, estado Zulia, Municipio, Maracaibo Oeste. En este sentido, se seleccionaron plantas ubicadas en diez (10) viviendas durante el periodo lluvioso para el segundo semestre del 2015, característico de esta zona [20].

Se realizó una selección de los frutos, mediante un muestreo aleatorio simple en diez (10) plantas, utilizando entre tres (03) a cuatro (04) frutos de mango por planta en estado de madurez denominado frutos a madurez de consumo (MC). Los frutos fueron uniformes de acuerdo al tamaño, forma y color, turgentes, con ausencia de daños mecánicos y daños fitosanitarios.

Es importante destacar, que la recolección se realizó de frutos que estaban en el suelo, los cuales se eligieron con base al concepto de madurez de consumo (MC) dado que facilita el despulpado del fruto, para la obtención de la semilla y por otra razón, el fruto se encuentra en su punto óptimo de la curva climática en cuanto a sus características física y químicas [21].

B. Procesamiento de la semilla de mango *Mangifera indica L*

Los frutos de *Mangifera indica L* fueron pelados y lavados. Se procedió a la extracción del cotiledón dentro de la testa con ayuda de un martillo. Los cotiledones extraídos fueron secados a temperatura ambiente (30°C) y humedad relativa (88,6%). Posteriormente, se molieron en un molino eléctrico (Thomas-Wiley model 4) hasta obtener una harina amarillenta, de aspecto grasoso y de olor característico, que luego fue tamizada de manera manual por el cedazo No. 60 (0,250 mm de diámetro de poro), para ser almacenada en frascos de color ámbar, para su posterior uso.

C. Caracterización parcial de la semilla

Se caracterizó parcialmente la semilla procesada siguiendo las normas venezolanas para productos de cereales y leguminosas, mediante los parámetros fisicoquímicos: Humedad [22], Cenizas [23] y Grasas y aceites [24].

a. Determinación de humedad

El contenido de humedad se expresó como la pérdida de peso que experimenta un producto al ser secado mediante calentamiento en una estufa a temperatura constante y presión atmosférica, según procedimiento descrito en la norma venezolana [22].

b. Determinación de cenizas

Para la determinación de cenizas se utilizó el procedimiento descrito según la norma venezolana [23], donde las cenizas representan la fracción mineral del material original.

c. Determinación de grasas y aceites

El método a seguir fue el establecido en la norma venezolana [24], el cual consistió en extraer la grasa de la muestra con éter de petróleo.

D. Preparación de la solución coagulante de la semilla de mango.

La solución coagulante de *Mangifera Indifca L* se preparó tamizando aproximadamente 15 gramos de semillas secas molidas por el cedazo No. 60 (0,250 mm diámetro de poro). Estas semillas se secaron en una estufa a una temperatura de 60°C para evitar la desnaturalización de las proteínas [25]. Posteriormente, se pesaron 5 g de la muestra de semillas previamente molidas y tamizadas. Se tomó un balón aforado limpio y seco, se le añadieron los 5 g de semillas y se procedió a enrasar con agua destilada previamente hervida. Se colocó un agitador magnético en el balón, se tapó con papel parafinado colocándolo en plancha de agitación durante un período mínimo de dos horas, hasta obtener una mezcla homogénea. A partir de esta solución, se obtuvo por dilución el rango de dosis ensayadas (10 hasta 500 mg/L).

E. Preparación del agua turbia sintética.

El agua turbia sintética (ATS) fue preparada con caolín, porque proporciona una suspensión estable, cuyo comportamiento es similar a la turbidez en aguas crudas. A tal fin, se utilizó la metodología desarrollada en el Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de La Universidad del Zulia [25].

En este sentido, se adicionaron 5 g de caolín en 1000 mL de agua de grifo [25]. Dicha suspensión se mezcló con un agitador magnético de forma continua durante una hora para lograr la dispersión uniforme del caolín; transcurrido ese tiempo, se dejó reposar durante 24 horas para la completa hidratación del material arcilloso. Por ser una suspensión estable, es utilizada para estudiar el mecanismo de coagulación [26]. Al transcurrir el período de hidratación de 24 horas, se procedió a medir la turbidez cada 5 min por una hora, para la elaboración de la curva de estabilidad de agua turbia sintética.

Posteriormente se efectuaron sucesivas diluciones con agua de grifo hasta obtener diversos valores de turbidez, los cuales fueron verificados con un turbidímetro Orbeco-Hellige. Se establecieron valores de turbidez inicial de baja (10, 15 UNT), media (25, 50, 75 y 100 UNT) y alta turbidez (200

UNT), en base a lo establecido por diferentes autores [27]. Adicionalmente se midieron los parámetros de turbidez, color aparente, pH y alcalinidad total mediante métodos estandarizados [28], tanto a la solución madre como a las soluciones para los diferentes valores de turbidez.

F. Montaje y operación de las pruebas de coagulación

La efectividad de las semillas como coagulante se determinó a través de la prueba de jarra, mediante ensayos exploratorios en un rango de dosis de 10 a 500 mg/L para las soluciones madres de 5.000 mg/L para el caso de semillas con grasa. Los ensayos exploratorios se hicieron con 3 muestras a las cuales se les repitió 3 veces el ensayo, para reducir el error experimental, los mismos se realizaron en aguas turbias sintéticas con diferentes valores de turbidez inicial de 10, 15, 25, 50, 75, 100 y 200 UNT, para evaluar la eficiencia de las semillas en aguas de baja turbidez (10-25 UNT), media turbidez (50-100 UNT) y alta turbidez (200 UNT) [27].

La prueba de jarra se realizó en un equipo con un agitador múltiple de seis paletas de velocidad variable (Phipps y Bird Inc, Modelo 300), el cual creó turbulencia simultánea en cada uno de los seis vasos de precipitado reproduciendo de esta forma las condiciones de coagulación-floculación que se producen en una planta de tratamiento de aguas. En primer lugar se agregaron 500 mL de ATS a cada uno de los vasos de precipitado, luego se agregaron las diferentes dosis de coagulante y se realizó un mezclado rápido a 100 rpm por dos minutos, luego una mezcla lenta a 30 rpm durante veinte minutos para aumentar el contacto entre las partículas coaguladas, de manera tal que se facilitará el desarrollo de flóculos grandes y se finalizó el proceso con la fase de sedimentación, en el cual se dejó el agua en reposo por un lapso de treinta minutos [29].

Después del período de sedimentación, se procedió a captar una muestra del sobrenadante en un punto situado aproximadamente 2 cm por debajo de la parte superior del nivel de líquido de cada vaso de precipitado, para la determinación de los parámetros físico-químicos: color, turbidez, ST, pH y alcalinidad total.

G. Registro y procesamiento de datos

Los datos obtenidos en las diferentes pruebas y mediciones fueron registrados en una libreta de anotaciones, transcritos a una hoja de cálculo.

Los resultados de los parámetros físicoquímicos medidos se expresaron utilizando estadística descriptiva, señalando los valores de tendencia central (media) y su dispersión (desviación estándar). Los resultados de las remociones de los parámetros físicoquímicos se compararon mediante un análisis

de varianza y separación de medias a través de la prueba de Tukey (Tabla 1).

TABLA 1.
PRUEBAS ESTADÍSTICAS APLICADAS

Etapas	Total Muestras* Repeticiones	Estadística aplicada
Caracterización de las semillas de mango	3 x 3 = 9	Descriptiva (media y desviación estándar)
Caracterización del agua turbia sintética	3 x 3 = 9	Descriptiva (media y desviación estándar)
Determinación de las dosis óptimas de las semillas de mango	3 x 3 = 9	Descriptiva (media y desviación estándar)
Comparación de la eficiencia de las soluciones coagulantes de semillas de mango con el sulfato de aluminio en la remoción de turbidez y color	3 x 3 = 9	Diseño completamente al azar. Análisis de varianza y separación de medias a través de la prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

III. RESULTADOS

A. Caracterización de las semillas de mango *Mangifera indica L.*

La caracterización de la semilla de mango mediante la determinación de los parámetros fisicoquímicos: humedad, cenizas y aceites y grasas extraíbles se muestra en la tabla 2.

TABLA 2.
CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA SEMILLA
MANGIFERA INDICA L.

Parámetros	Promedio ± DE
Aceites y grasas (%)	15,0 ± 2,4
Humedad (%)	2,7 ± 0,2
Cenizas (%)	3,1 ± 0,8

n=3. n: número de mediciones realizadas. DE= Desviación estándar.

El porcentaje promedio de aceites y grasas extraíbles en las semillas de *Mangifera indica L* fue de 15,0%, valor que se encuentra dentro del rango reportado por diferentes autores [30] y [31], quienes obtuvieron porcentajes de aceites y grasas que variaron entre 9,5% y 28,8% para este tipo de semillas.

Además el porcentaje promedio de humedad para la semilla de mango fue de 2,7%, valor inferior al reportado por otros autores [30], que obtuvieron un porcentaje promedio de 4,1%.

En el caso del porcentaje de ceniza fue de 3,1%, valor superior al reportado por otros investigadores [30] y [31], quienes arrojaron valores promedios de 2,2 y 2,4%, respectivamente. Estos materiales inorgánicos dan una idea de la cantidad de minerales presentes en la almendra de mango [32].

B. Estabilidad del agua sintética

El estudio de la estabilidad del agua turbia sintética preparada se basó en la medición de la turbidez, cada cinco min hasta completar una hora, la cual, se mantuvo prácticamente constante a lo largo del ensayo. El agua turbia preparada presentó las características que se muestran en la tabla 3.

TABLA 3.
CARACTERÍSTICAS DEL AGUA TURBIA SINTÉTICA (ATS).

Parámetro	Media ± DE
pH	6,9 ± 0,0
Color aparente (UC)	20 ± 5
Turbidez (UNT)	216,3 ± 1,0
Alcalinidad total (mg CaCO ₃ /L)	71,0 ± 21,2

DE: Desviación estándar. n=3, n: Número de muestras realizadas a cada parámetro.

C. Evaluación de la efectividad de las semillas de *Mangifera indica L.* como coagulante

En la figura 1 se observa que al aplicar una dosis de 100 mg/L, se obtuvo la mayor remoción en un agua baja de 15 UNT, disminuyendo la turbidez residual hasta 2,9 UNT, lo que representó un porcentaje de remoción de 80,5%.

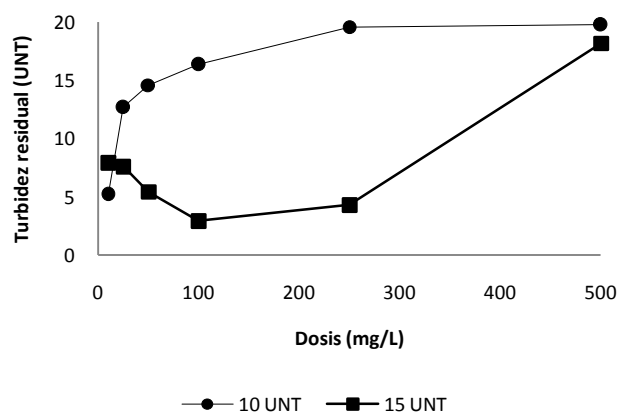


Figura 1. Variación de la turbidez residual en función de la dosis de la solución de mango para aguas de turbidez baja

En la Figura 2 se muestra que al aplicar el coagulante preparado a partir de semillas de mango con grasas y aceites en aguas de turbidez media (25-100 UNT).

La efectividad de remoción de turbidez en aguas de turbidez media (25 – 100 UNT) osciló entre 45,2% y 97,7%. La mayor remoción se obtuvo al aplicar una dosis de 100 mg/L, en un agua de 75 UNT, disminuyendo hasta 1,7 UNT, alcanzando así 97,7% de remoción.

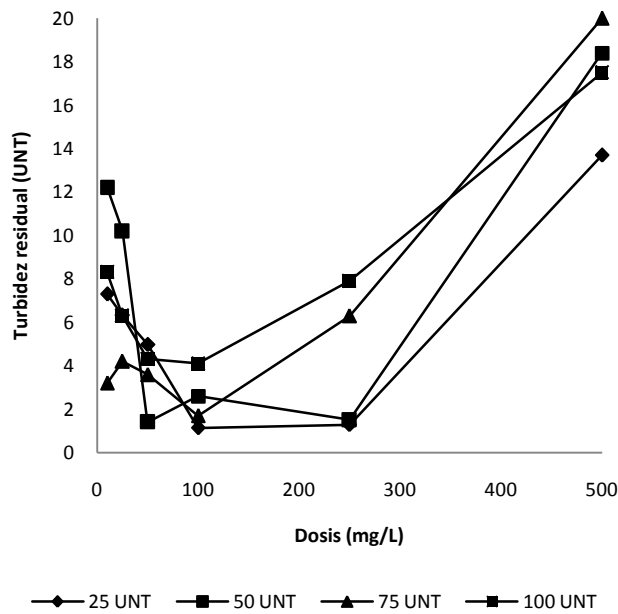


Figura 2. Variación de la turbidez residual en función de la dosis de la solución de mango para aguas de turbidez media

En aguas de alta turbidez inicial (200 UNT), con dosis entre 10 y 100 mg/L se obtuvieron porcentajes de remoción superiores al 95%, lo que indica que la semilla de mango presentó su mayor efectividad en aguas de alta turbidez Figura 3.

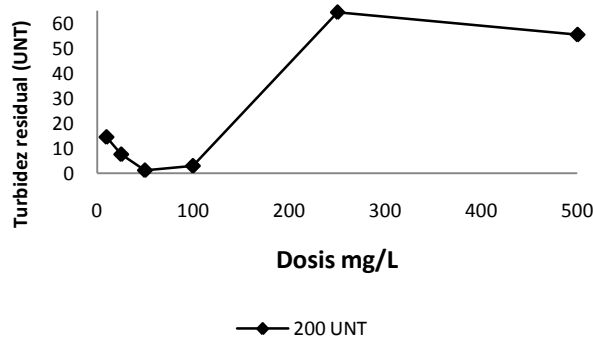


Figura 3. Variación de la turbidez residual en función de la dosis de la solución de mango para aguas de turbidez alta

Las dosis que produjeron los menores valores de color residual, se encontraron entre 50 y 250 mg/L. Para las aguas de alta turbidez, el menor valor de color residual obtenido fue de 5 UC con una dosis de 50 mg/L, mientras que para las aguas de turbidez media el menor valor de color fue de 2,5 UC cuando se utilizó 50 mg/L en aguas de 50 UNT. Figura 4.

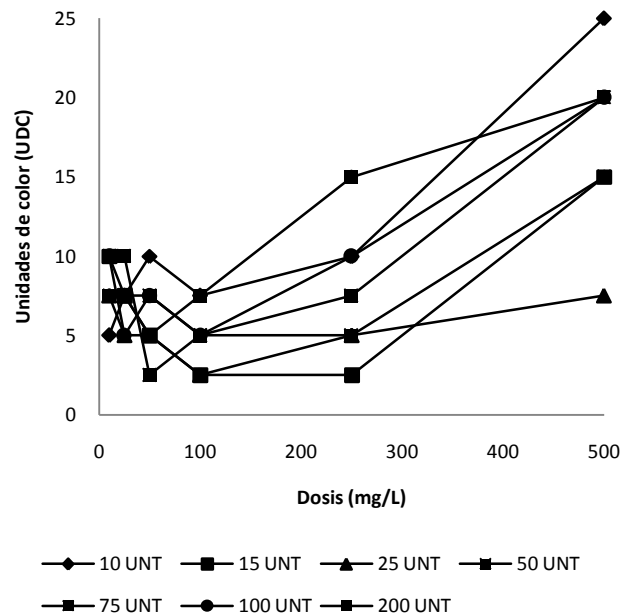


Figura 4. Variación del color aparente en función de la dosis de la solución de semillas de mango para diferentes valores de turbidez inicial.

Los valores de pH luego de la aplicación del coagulante de la semilla de mango (*Mangifera indica L*) son presentados en la figura 5; el mayor valor de pH fue de 7,16 unidades para un agua turbia de 10 UNT al aplicarle una dosis de 10 mg/L, el valores más bajo de pH obtenido fue de 6,19 unidades para un agua turbia de 25 UNT al aplicarle dosis de 250 mg/L. El rango obtenido para el parámetro pH estuvo comprendido entonces entre 7,16 y 6,19 unidades.

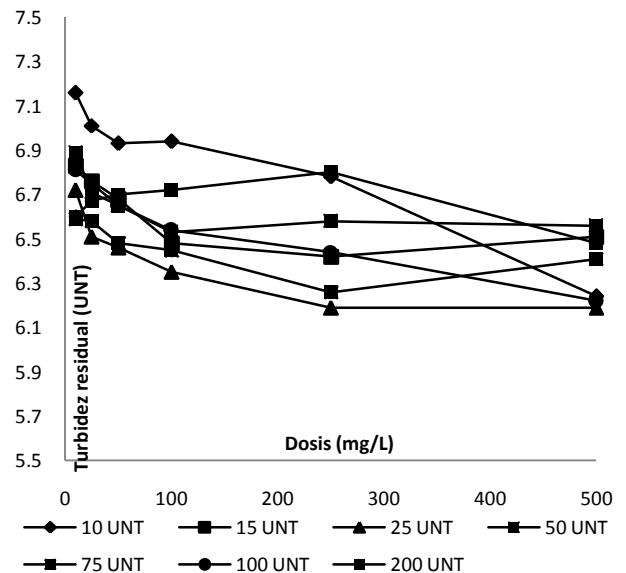


Figura 5. Variación del pH residual en función de la dosis de la solución de semillas de mango para diferentes valores de turbidez inicial.

D. Comparación de la dosis óptima de los diferentes tratamientos fisicoquímicos usados para la remoción de turbidez, color, pH y ST en aguas de baja, media y alta turbidez.

A continuación se presenta la comparación de los resultados obtenidos después del proceso de coagulación, floculación y sedimentación correspondiente a las dosis óptimas de la solución coagulante de semillas de mango con aceites y grasas, con el sulfato de aluminio, realizado en aguas de baja (10-15 UNT), media (25-100 UNT) y alta turbidez inicial (200 UNT).

En la tabla 4 se muestra la comparación entre los diferentes tratamientos para aguas sintéticas de baja turbidez.

TABLA 4.

COMPARACIÓN ENTRE LOS TRATAMIENTOS CON SEMILLAS DE MANGO Y SULFATO DE ALUMINIO EN AGUAS DE BAJA TURBIDEZ INICIAL.

To (UNT)	Coagulante	Dosis (mg/L)	Color (UC)	Remoción de color (%)	Turbidez (UNT)	Remoción de turbidez (%)	pH
10	SMG	10	5 ± 0	-	5,4 ± 0,2	45,6 ^b ± 2,0	7,2 ± 0,0
	SA	10	5 ± 0	75,0	1,7 ± 0,3	83,0 ^a ± 1,3	3,9 ± 0,0
15	SMG	10	2,5 ± 0	50,0	2,4 ± 0,4	83,7 ^a ± 2,8	7,0 ± 0,4
	SA	10	5 ± 0	75,0	1,8 ± 0,3	88,0 ^a ± 1,4	5,2 ± 0,0

n=3, n: Número de mediciones realizadas a cada parámetro. SMG: Solución coagulante preparada a partir de semillas de mango (*M. indica* L) con grasas y aceites. SA: Sulfato de aluminio. To: Turbidez inicial. Media seguida por letras distintas en cada fila indica diferencias significativas según la prueba de Tukey (p≤0,05).

Para una turbidez inicial de 10 UNT, las dosis óptimas de la solución coagulante elaborada a partir de semillas de mango sin desgrasar y la del sulfato de aluminio fueron de 10 mg/L, resultando la dosis del coagulante químico más efectiva que el coagulante natural debido a que presentó los mejores resultados en la remoción de turbidez, obteniendo un porcentaje promedio de 83,0%. Sin embargo, en aguas con una turbidez inicial de 15 UNT se observó que no existieron diferencias significativas entre el sulfato de aluminio y la solución coagulante de semillas de mango, por lo que ambos coagulantes son igualmente efectivos para la remoción de turbidez.

En la tabla 5 se muestra la comparación entre los diferentes tratamientos para aguas sintéticas de media turbidez inicial.

Para todas las aguas con una turbidez inicial media, se obtuvo que no existieron diferencias significativas entre los porcentajes de remoción obtenidos por el coagulante natural y el coagulante químico, por lo que ambos coagulantes son igualmente efectivos en la remoción de turbidez. El rango de remoción de turbidez para ambos coagulantes osciló entre 91,5%-97,8% y 86,0%-96,8% y para el caso del parámetro

color el rango de remoción osciló entre 58,3-75,0% y 50,0%-75,0%, respectivamente.

TABLA 5.

COMPARACIÓN ENTRE LOS TRATAMIENTOS CON SEMILLAS DE MANGO Y SULFATO DE ALUMINIO EN AGUAS DE MEDIA TURBIDEZ INICIAL.

To (UNT)	Coagulante	Dosis (mg/L)	Color (UC)	Remoción de color (%)	Turbidez (UNT)	Remoción de turbidez (%)	pH
25	SMG	100	2,5 ± 0	75,0	2,1 ± 0,8	91,5 ^a ± 3,3	6,9 ± 0,5
	SA	10	5 ± 0	75,0	3,5 ± 0,4	86,0 ^a ± 2,2	4,4 ± 0,0
50	SMG	50	4,1 ± 1,4	58,3	1,9 ± 0,4	96,1 ^a ± 0,9	7,1 ± 0,4
	SA	10	5 ± 0	75,0	3,7 ± 0,5	92,6 ^a ± 2,5	4,2 ± 0,0
75	SMG	100	3,3 ± 1,4	66,7	1,6 ± 0,1	97,8 ^a ± 0,15	6,9 ± 0,4
	SA	10	5 ± 0	75,0	2,4 ± 0,5	96,8 ^a ± 2,0	4,2 ± 0,0
100	SMG	100	5 ± 0	75,0	4,9 ± 0,7	95,0 ^a ± 0,75	7,1 ± 0,4
	SA	10	10 ± 2,5	50,0	3,8 ± 0,1	96,2 ^a ± 0,8	4,3 ± 0,0

n=3, n: Número de mediciones realizadas a cada parámetro. SMG: Solución coagulante preparada a partir de semillas de mango (*M. indica* L) con grasas y aceites. SA: Sulfato de aluminio. To: Turbidez inicial. Media seguida por letras distintas en cada fila indica diferencias significativas según la prueba de Tukey (p≤0,05).

En la tabla 6 se muestra la comparación entre los diferentes tratamientos para aguas sintéticas de alta turbidez. Ambos coagulantes presentaron porcentajes de remoción de turbidez mayores al 95,0%, lo que indica que ambos son igualmente efectivos en la remoción de este parámetro.

TABLA 6.

COMPARACIÓN ENTRE LOS TRATAMIENTOS CON SEMILLAS DE MANGO Y SULFATO DE ALUMINIO EN AGUAS DE ALTA TURBIDEZ INICIAL.

To (UNT)	Coagulante	Dosis (mg/L)	Color (UC)	Remoción de color (%)	Turbidez (UNT)	Remoción de turbidez (%)	pH
200	SMG	50	4,1 ± 0,7	79,1	5,3 ± 0,6	97,3 ^a ± 0,1	7,0 ± 0,3
	SA	15	10 ± 0	75,0	1,3 ± 0,0	99,3 ^a ± 0,1	5,9 ± 0,0

n=3, n: Número de mediciones realizadas a cada parámetro. SMG: Solución coagulante preparada a partir de semillas de mango (*M. indica* L) con grasas y aceites. SA: Sulfato de aluminio. To: Turbidez inicial. Media seguida por letras distintas en cada fila indica diferencias significativas según la prueba de Tukey (p≤0,05).

En la Figura 6 se observa una comparación entre los valores residuales de turbidez después del tratamiento aplicado con sulfato de aluminio y semillas de mango. Para todos los niveles de turbidez inicial, los valores residuales de turbidez obtenidos al aplicar el coagulante químico, estuvieron en el rango establecido por la normativa sanitaria venezolana [33], la cual establece un rango de turbidez residual permitido entre 1 y 5 UNT; valores similares fueron obtenidos al aplicar el coagulante natural a partir de semillas de mango.

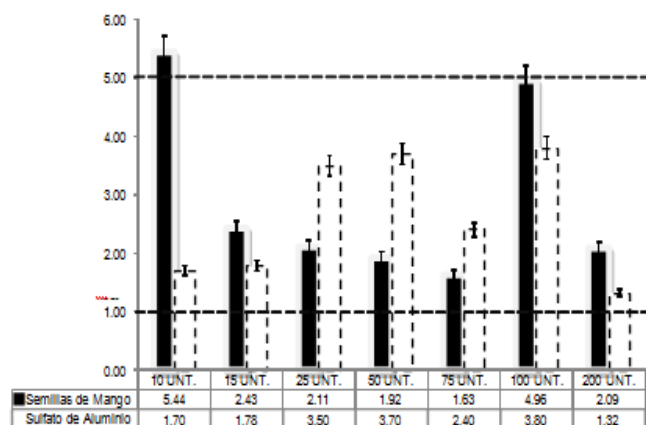


Figura 6. Comparación de los valores de turbidez residual entre los tratamientos de semillas de mango y el sulfato de aluminio.

Analizando el color residual, se observa en la Figura 7 que aplicando los dos tratamientos se obtuvieron unidades de color dentro del rango permitido, inclusive se obtuvieron valores menores al valor deseado por la normativa sanitaria venezolana [33], dicha normativa define un valor máximo de 15 UC.

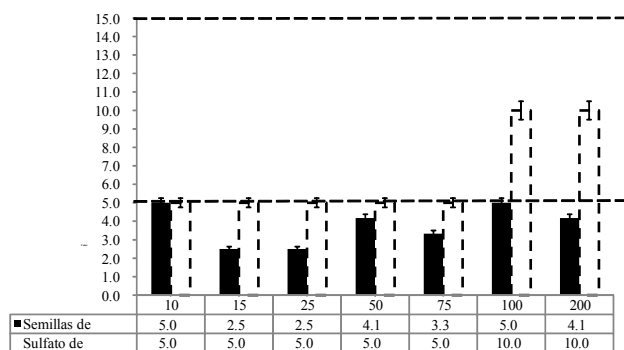


Figura 7. Comparación de los valores de color aparente entre los tratamientos semillas de mango y el sulfato de aluminio.

En la Figura 8 se observa la variación de los valores obtenidos de pH al aplicar tratamiento con sulfato de aluminio y con el coagulante natural a partir de semillas de mango con grasas y aceites; se obtuvo que el coagulante químico

disminuyó de forma significativa el pH en el agua tratada, presentándose una tendencia a la acidez, no obstante con respecto al coagulante natural, los valores de pH obtenidos se encontraron dentro del rango establecido por la normativa sanitaria venezolana [33], la cual establece valores permisibles entre 6,5-9 unidades de pH.

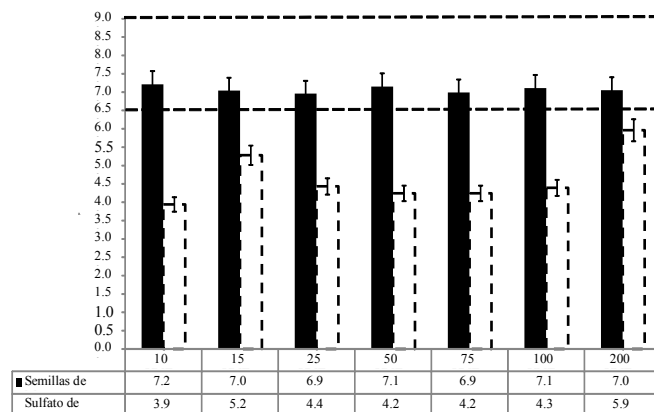


Figura 8. Comparación de los valores de pH residual entre los tratamientos del coagulante natural con grasas y aceites, y el sulfato de aluminio.

IV. CONCLUSIONES

La caracterización de las semillas de mango *Mangifera indica L* presentó bajo contenido de humedad con 2,70 %, un contenido de cenizas de 3,17 % y una concentración de aceites y grasas extraíbles de 15,08%, valores que se encuentran dentro de los estándares normales consultados en la bibliografía para la semilla de mango.

Se determinó que las dosis óptimas de la semilla de mango para la remoción turbidez en el proceso de coagulación-floculación oscilaron entre 50 y 100 mg/L para aguas con media y alta turbidez, obteniendo porcentajes máximos de remoción de turbidez de 97,8% y de color 75%.

La evaluación de la semilla de mango como coagulante en la clarificación de aguas evidenció efectividad en la remoción de la turbidez, adecuación del color y poca variación en los niveles de pH

Al comparar la efectividad de la semilla de mango con el sulfato de aluminio en la remoción de color y turbidez, no se obtuvieron diferencias significativas entre los porcentajes de remoción de turbidez obtenidos el coagulante químico y el coagulante natural en aguas con niveles de turbidez inicial media y alta.

En consecuencia de los antes, las semillas de mango podrían ser usadas con éxito en el proceso de potabilización de aguas, lo cual tiene excelentes perspectivas a través de un

desarrollo de innovaciones que permitan aplicar el concomimiento obtenido en el medio real.

Se recomienda continuar esta investigación, evaluando su efecto sobre los microorganismos existentes y además, trabajar con aguas crudas tomadas de fuentes reales en una planta de potabilización del sistema de aguas de la ciudad, pues los resultados obtenidos y los métodos utilizados permiten proyectar un comportamiento favorable en el proceso de coagulación-floculación de las mismas.

REFERENCIAS

- [1] JUMA, N.G. (1998). The pedosphere and its dynamics a systems approach to soil science. Volume 1. Edmonton, Canada, Quality Color Press Inc. 315pp.
- [2] AROCHA, S. (2011). Acueductos: Fundamentos Teóricos-Prácticos. 1era edición. Editorial Oikos Impresos, C.A. Caracas, Venezuela. 440p.
- [3] UNICEF AND WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2012). Progress on drinking water and sanitation. Visible en: www.unicef.org/media/files/JMpreport2012.pdf (15/05/17)
- [4] GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE VENEZUELA (1998). Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. N° 36.395, de fecha 13 de febrero de 1998.
- [5] FUENTES, L.; CONTRERAS, W.; PEROZO, R.; MENDOZA, I.; VILLEGAS, Z. (2008). Uso del quitosano obtenido en *Litopenaeuschmitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano. *Revistas científicas y Humanísticas de Luz*, 8: 281-287.
- [6] GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE VENEZUELA. (1995). Normas para la Clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y de los vertidos líquidos. No. 5021. , de fecha 18 de Diciembre de 1995.
- [7] MILLER, S.; FUGATE, E.; CRAVER, V.; SMITH, J.; ZIMMERMAN, J. (2008). Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia* ssp. as a natural coagulant for potential application in water treatment. *Environmental Science & Technology*, 42 (12) 4274-4279.
- [8] GURDIÁN, R.; COTO, J. (2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Tecnología en Marcha*, 24 (2), 18-26.
- [9] MANDLOI, M.; CHAUDHARI, S.; FOLKARD, G. (2004). Evaluation of natural coagulants for direct filtration. *Environ. Technol.* No 25, p. 481-489.
- [10] ASRAFUZZAMAN, M.; FAKHURUDDIN, A.; ALAMGIR, M. (2011). Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *Int. Scholarly Res. Network. ISRN Microbiology*. Article ID 632189: 6p.
- [11] SANDOVAL, M.; LAINES, J. (2013). *Moringa oleifera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería*. 17 (2): 93-101.
- [12] GUZMÁN, L.; TARON, A.; NUÑEZ, A. (2015). Polvo de la semilla *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 13 (2): 123-129.
- [13] MEJÍAS, D.; DELGADO, M.; MÁS Y RUBÍ, M.; CHACÍN, E.; FERNÁNDEZ, N. (2010). Uso potencial del exudado gomoso de *Cedrela odorata* como agente coagulante para el tratamiento de las aguas destinadas a consumo humano. *Revista Forestal Venezolana*, Año XLIV, 54 (2): 147-153.
- [14] TRUJILLO, D.; DUQUE, F.; ARCILA, J.; RINCÓN, A.; PACHECO, S.; HERRERA, O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista Ion*, 27 (1): 17-34.
- [15] ALVARADO, L. (2011). Uso de las cascaras de papa como coagulante natural en el tratamiento de aguas potables de la planta “La Diana”. *Revista Especializada en Ingeniería de Procesos de Alimentos y Biomaterias*. 6: 115-121.
- [16] ASRAFUZZAMAN, M.; FAKHURUDDIN, A.; ALAMGIR, M. (2011). Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *Int. Scholarly Res. Network. ISRN Microbiology*. Article ID 632189: 6p.
- [17] LAMEDA, P.; NEGRELLI, C.; HIDALGO, C.; FUENTES, L. (2014). Clarificación de aguas de baja turbidez empleando el coagulante *Opuntia ficus-indica*. *REDIELUZ*. 4 (1): 44-48.
- [18] HERNÁNDEZ, B.; MENDOZA, I.; SALAMANCA, M.; FUENTES, L.; CALDERA, Y. (2013). Semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante en aguas con alta turbiedad. *REDIELUZ*. 3(1-2): 91-96.
- [19] HURTADO, J. (2008). El proyecto de investigación: Comprensión holística de la metodología y la investigación. Editorial Quirón. Sexta Edición. Caracas. pp 6-8.
- [20] GARRIDO, E.; GARCÍA, T.; TORRES, A.; SANGRONIS, E.; MARTÍNEZ, J.; CHAPARRO, L.; SÁNCHEZ, L. (2013). Análisis de las características físicas y químicas del fruto de mango (*Mangifera indica* L.) “Bocado” de tres localidades del estado Cojedes, Venezuela. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de los Alimentos* 4(2): 189-206.
- [21] SOTO, E.; GARCÍA, N.; VERGARA, R.; ETTIENE, G.; PÉREZ, E.; SANDOVAL, L.; BRACHO, B. (2015). Características físicas y químicas de frutos de mango (*Mangifera indica* L.), variedad Tommy Atkins, según madurez y sistemas de manejo. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 32: 476-494.
- [22] NORMA COVENIN (1980). Productos cereales y leguminosas. Determinación de Humedad. COVENIN 1553-80.
- [23] NORMA COVENIN (1980). Carbón. Determinación de cenizas. COVENIN 1646-80.
- [24] NORMA COVENIN (1981). Productos cereales y leguminosas. Determinación de Grasas. COVENIN 1785-81.
- [25] MÁS Y RUBÍ, M.; MARTÍNEZ, D.; CARRASQUERO, S.; RINCÓN, A.; VARGAS, L. (2012). Eficiencia de las semillas de *Hymenaea Courbaril* como coagulante natural en el proceso de clarificación del agua. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería. Centro de Investigación del Agua Sanitaria Ambiental (DISA). Universidad del Zulia. Zulia, Venezuela.
- [26] LÓPEZ, Y.; DÍAZ, A.; VARGAS, L.; MÁS Y RUBÍ, M.; COLINA, G., SULBARÁN, B.; PEÑA, J. (2008). Eficiencia de las semillas *Leucaena leucocephala* y *Albizia lebbek* en el proceso de coagulación del agua. *Bol. Centro Invest. Biológ.* 42(1):1-20.
- [27] BINA, B.; MEHDINEJAD, M.; NIKAEEN, M.; MOVAHEDIAN, H. (2009). Effectiveness of chitosan as natural coagulant aid in treating turbid waters. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.* 6(4):247-252.
- [28] AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA-AWWA-WEF). (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st edition. American Public Health Association. Washington, D.C. US.
- [29] KOOHESTANIAN, A.; HOSSEINI, M.; ABBASIAN, Z. (2008). The separation Method for Removing of Colloidal Particles from Raw Water Americas-Eurasian journal of agricultural & environmental sciences, 4, (2): 226-273.
- [30] RAMIREZ, A.; TORRES, L.; CERVANTES, J.; CORZON, L. (2010). Caracterización química de la semilla del mango (*Mangifera indica* L.) y la valoración de algunos de sus componentes. *Rev. Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 10 (2). Pp.65-72.
- [31] BUSTAMANTE, S.; VILCHIS, G.; ÁLVAREZ, C.; TREJO, M. (2008). Caracterización del Aceite Obtenido de Almendras de Diferentes Variedades de Mango y su Aplicación como Sustituto de Manteca de Cacao en Rellenos y Coberturas de Chocolate. Visible en: www.respyn.uanl.mx/especiales/2008/ee-08-2008/documentos/A068.pdf (15/05/17)
- [32] MIERES, A.; SANTANGELO, G.; GONZÁLEZ, K. (2005). Refinación del aceite crudo de durazno (*Prunus persica*) y su caracterización. *Memorias del Congreso Interamericano de Ingeniería Química*. Lima, Perú. pp 1-12.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE VENEZUELA. (1998). Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. N° 36.395, de fecha 13 de febrero de 1998.