



## REMOCIÓN DE TURBIDEZ USANDO SEMILLAS DE *Tamarindus indica* COMO COAGULANTE EN LA POTABILIZACIÓN DE AGUAS

Dr. Sedolfo Carrasquero<sup>1\*</sup>, Ing. María Fernanda Martínez<sup>1</sup>, Ing. María Gabriela Castro<sup>1</sup>, Msc. Yoselín López<sup>1</sup>, Dra. Altamira Díaz<sup>1</sup>, Dr. Gilberto Colina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA). Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia.

\*Autor para la correspondencia. E-mail: scarrasquero@gmail.com

Recibido: 11-8-2018 / Aceptado: 15-11-2018

### RESUMEN

Los coagulantes químicos inorgánicos son los más usados actualmente en el proceso de potabilización; sin embargo, a través de estudios se ha demostrado que los mismos tienen un efecto perjudicial en la salud de los seres humanos. El objetivo de la investigación fue evaluar la eficiencia de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante natural en el proceso de potabilización de las aguas. Se usó el ensayo de jarras para simular el proceso de coagulación, floculación y sedimentación, y determinar la efectividad del preparado con semillas, sin desgrasar y desgrasadas, y compararla con la correspondiente al coagulante químico. Se preparó agua turbia sintética (5000 mg/L) utilizando caolín en agua de grifo, 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, 100 y 200 UNT). El uso de las semillas de tamarindo sin desgrasar como coagulante en aguas de 200 UNT permitió obtener valores residuales de turbidez menores a los establecidos por las normas sanitarias venezolanas de calidad del agua (5 UNT), con porcentajes promedios de remoción de 97,6%. Sin embargo, en aguas de media (50-75 UNT) y baja turbidez (15 UNT), las aguas tratadas presentaron valores superiores al límite establecido. Con respecto al color, sólidos totales, alcalinidad total y pH, los valores después del tratamiento fueron 10 UC Pt-Co, 150 mg/L, 75 mg CaCO<sub>3</sub>/L, y 6,79, respectivamente, por lo que la semilla de tamarindo puede ser utilizada con éxito como coagulante en la potabilización de aguas.

**Palabras clave:** *Tamarindus indica*, sulfato de aluminio, coagulantes naturales, potabilización.

## TURBIDITY REMOVAL USING *Tamarindus indica* SEEDS AS COAGULANT IN WATER CLARIFICATION

### ABSTRACT

Currently, chemical origins coagulants are used in water purification processes; however, it has been shown through different studies that they have a detrimental effect on the health of humans. The objective of this research is to evaluate the efficiency of seed extract of tamarind as a natural coagulant in water treatment process. A jar test was used in order to simulate the coagulation, flocculation and sedimentation processes. A synthetic turbid water using kaolin in tap water was prepared. The parameters turbidity, pH, color, alkalinity and total solids were measured before and after the application of natural coagulant at different doses (25; 50;

100; 250 and 500 mg/L) in solutions with different initial turbidity (10, 15, 25, 50, 75, 100 and 200 NTU). The use of *Tamarindus indica* seeds without fat and oils in water of 200 TNU allowed to obtain turbidity residuals values lower than those established by the Venezuelan sanitary norms of water quality (5 NTU) with average removal percentages of 97.6%. However, in waters of medium (50-75 TNU) and low turbidity (15 NTU), the treated waters presented values above the established limit. With respect to color, total solids, total alkalinity and pH, the values after the treatment were 10 CU Pt-CO, 150 mg/L, 75 mg CaCO<sub>3</sub>/L and 6.79, respectively, so the tamarind seed can be used as a coagulant in water purification.

**Key words:** coagulant, water treatment, *Tamarindus indica*, kaolin, aluminum sulfate.

## REMOÇÃO DE TURBIDEZ USANDO SEMENTES DE *Tamarindus indica* COMO COAGULANTE NA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA

### RESUMO

Os coagulantes químicos inorgânicos são as mais usadas atualmente no processo de potabilização; no entanto, através de estudos tem mostrado que eles têm um efeito negativo sobre a saúde dos seres humanos. O objetivo do estudo foi avaliar a eficácia de sementes de tamarindo (*Tamarindus indica*) como um coagulante natural no processo de tratamento de água. O teste de frasco foi usado para simular o processo de coagulação, floculação e de sedimentação, e a determinação da eficácia da preparação com sementes, sem desengorduramento e sem gordura, e compará-lo com o coagulante químico correspondente. Água turva sintética (5000 mg/L) foi preparada com caulim em água corrente, os parâmetros foram medidos: turbidez, pH, cor, alcalinidade total, sólidos totais, antes e após a aplicação de diferentes doses da preparação com sementes (10; 25; 50; 100; 250 e 500 mg/L) em soluções com diferentes valores de turbidez (10, 15, 25, 50, 75, 100 e 200 UNT). O uso de sementes de tamarindo não desengorduradas como coagulante em águas de 200 UNT permitiu obter valores residuais de turbidez inferiores aos estabelecidos pelas normas sanitárias venezuelanas de qualidade da água (5 UNT), com percentuais médios de remoção de 97,6%. Entretanto, nas águas de média (50-75 NTU) e baixa turbidez (15 NTU), a água tratada apresentou valores acima do limite estabelecido. Com relação à cor, sólidos totais, alcalinidade total e pH, os valores após o tratamento foram 10 UC Pt-Co, 150 mg/L, 75 mg CaCO<sub>3</sub>/L e 6,79, respectivamente, pelo que a semente de tamarindo pode ser usada com sucesso como coagulante na potabilização de água.

**Palavras chave:** *Tamarindus indica*, sulfato de alumínio, coagulantes naturais, potabilização.

### 1. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los elementos naturales que se encuentra en mayor cantidad en el planeta, y su importancia radica en que es la base fundamental para la existencia de todo tipo de vida. Así mismo, es ampliamente utilizada en actividades de producción industrial. Sin embargo, las descargas de efluentes de una variedad de actividades de origen antropogénico han tenido como resultado la contaminación de ríos, lagos y otros cuerpos de agua; aunado a esto, el acelerado crecimiento poblacional y la expansión de las zonas urbanas ha incrementado los impactos adversos sobre los recursos hídricos (Gurdian & Coto, 2011).

La calidad del agua es una preocupación en todas partes del mundo, en vía de desarrollo. Las fuentes de agua potable están bajo la amenaza creciente de la contaminación, con

consecuencias de gran alcance para la salud y para el desarrollo económico y social de comunidades y naciones (Arcila & Jaramillo, 2016).

El agua denominada potable, debe ser aceptable desde el punto de vista estético, fisicoquímico y microbiológico, es decir, estar exenta de turbidez, color, olor y sabor perceptible, libre de microorganismos patógenos y debe tener una temperatura razonable. Las aguas naturales raramente son de calidad satisfactoria para el consumo humano o el uso industrial y casi siempre deben ser tratadas (Kiely, 1999).

El procesamiento del agua cruda contempla un tratamiento fisicoquímico, conocido como coagulación y floculación. En este proceso se añade un coagulante, también llamado desestabilizador químico de partículas, al volumen de agua a tratar, para poder aglomerar entre sí los sólidos en suspensión y formar partículas de mayor tamaño y mayor peso, denominadas flóculos, los cuales sedimentarán, logrando así reducir los valores de turbidez y color, cumpliendo con lo establecido en la normativa sanitaria vigente (Gaceta Oficial de Venezuela 36395, 1998).

Entre los agentes coagulantes más comunes se encuentran los de origen químico, tales como sales de hierro y aluminio. El sulfato de aluminio es el que se utiliza con más frecuencia debido a su alta efectividad en el proceso de remoción de la turbidez y el color, y a su vez permite una reducción de microorganismos patógenos (Miller, Fugate, Craver, Smith & Zimmerman, 2008; Carrasquero *et al.*, 2016; Aziz, Yii, Zaynal, Ramil & Akinbile, 2018).

Sin embargo, se ha demostrado que las sustancias que se originan de este coagulante químico pueden ser asimiladas de manera negativa por los seres humanos a largo plazo, ya que se ha reportado que su aplicación genera aluminio residual en el agua de consumo; así mismo, se ha detectado en personas con mal de Alzheimer la presencia de este mineral en el cerebro, presumiéndose una relación entre ambos (Hernández, Mendoza, Salamanca, Fuentes & Caldera, 2013). Además, sus efectos se asocian a varias formas de cáncer y a enfermedades neurodegenerativas óseas (Gurdián & Coto, 2011).

Como alternativa, los países en vías de desarrollo, han adaptado una serie de tecnologías tradicionales para eliminar la turbidez del agua en el ámbito doméstico. De ellas la más estudiada es la utilización de extractos naturales de plantas para la clarificación del agua cruda (Dorea, 2006). Los coagulantes naturales suelen ser consumibles y por tal razón su presencia en el efluente no genera un riesgo tóxico para el ser humano (Fuentes *et al.*, 2011; Aziz *et al.*, 2018). Además, cuando se usan en métodos convencionales de tratamiento generan cinco veces menos cantidad de lodos que los coagulantes químicos, y los lodos

generados son altamente biodegradables y con alto valor nutricional (Effendi, Hydayah & Hariyadi, 2017; Yin, 2010).

La mayoría de los coagulantes naturales se derivan de extractos de semillas, de hojas, de cortezas o savia, de raíces y de frutas, extraídos de árboles y de plantas (Pritchard, Mkandawire, Edmonson, O'Neill & Kululanga, 2009). Diversos autores han demostrado que el uso de coagulantes provenientes de las semillas secas de *Moringa oleifera*, *Leucaena leucocephala*, *Albizia lebbbeck*, *Phaseolus vulgaris*, *Prunus persica*, *Mangifera indica* L. y *Tamarindus indica*, para la clarificación de aguas crudas, representan una alternativa viable para la clarificación de aguas crudas, y para minimizar el impacto que el residual de aluminio podría causar a la salud humana, a los sistemas de distribución y al proceso de desinfección (López *et al.*, 2008; Guzmán, Villabona, Tejada & García, 2013; Carrasquero *et al.*, 2017, Martínez *et al.*, 2017).

La semilla de tamarindo está compuesta en su mayoría por carbohidratos (57,1%), proteína (13,3%) y agua (11,3%). La fracción proteica está formada mayoritariamente por ácidos glutámico y aspártico, glicina y leucina (Gurdián & Coto, 2011); los dos primeros serían los responsables de la coagulación (Campos *et al.*, 2003).

El objetivo de la investigación fue evaluar la efectividad de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante en el tratamiento de aguas sintéticas de baja, media y alta turbidez.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Procesamiento de la semilla *Tamarindus indica*

Las semillas de tamarindo fueron recolectadas de los desechos generados en el proceso de elaboración de jugos de tamarindo de diversos sitios de la ciudad de Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela. Las semillas fueron sumergidas en abundante agua para separar los restos de pulpa adheridos y facilitar la remoción de la testa o cubierta seminal que rodea al cotiledón (Carrasquero *et al.*, 2015). Seguidamente se procedió a secar los cotiledones obtenidos a una temperatura de  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas, para luego molerlas utilizando un molino eléctrico (marca Oster), hasta obtener harina blanca, que fue almacenada en frascos de color ámbar, para su posterior uso.

### 2.2. Caracterización parcial de la semilla *Tamarindus indica*

Se caracterizaron parcialmente las semillas procesadas siguiendo las normas venezolanas para productos de cereales y leguminosas, mediante los parámetros fisicoquímicos:

Humedad (1553-80), Cenizas (1783-81) y Grasas (1785-81) (Normas COVENIN 1980, Normas COVENIN 1981a, Normas COVENIN 1981b).

## **2.3. Preparación de las soluciones coagulantes**

### **2.3.1. Solución coagulante sin desgrasar la semilla**

La solución coagulante con semillas de *Tamarindus indica* 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. La temperatura no debe ser superior a 60°C, debido a que ocurre la desnaturalización de las proteínas (Más y Rubí, Martínez, Carrasquero, Rincón & Vargas, 2012).

Posteriormente, se pesaron 5 gramos de la muestra de semillas previamente 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 y se colocó sobre una plancha de agitación durante un período mínimo de dos horas, para obtener una mezcla homogénea. A partir de esta solución, se obtuvo por dilución el rango de dosis concentraciones ensayadas (10 hasta 500 mg/L).

### **2.3.2. Solución coagulante de semillas desgrasadas**

El procedimiento fue el mismo que para la solución anterior, pero utilizando semillas previamente desgrasadas. El sistema Soxhlet fue utilizado para la eliminación de los aceites y grasas contenidos en las semillas de tamarindo, debido a que de acuerdo a estudios realizados por Vázquez *et al.* (1999) estas poseen un contenido de grasa de 5,7%. (Normas Covenin, 1981B). El desgrasado se realizó con la finalidad de incrementar la solubilidad del extracto de las semillas. A partir de esta solución, se obtuvo por dilución el rango de dosis ensayadas (10 hasta 500 mg/L).

## **2.4. Prueba de solubilidad de las soluciones coagulantes preparadas a partir de las semillas de tamarindo (*T. indica*)**

Se realizó la prueba de solubilidad a las soluciones coagulantes preparadas a partir de semillas de tamarindo con aceites y grasas y desgrasadas, aplicando el procedimiento implementado por Mas y Rubí *et al.* (2012), mediante la determinación de los sólidos totales (SM2540 B), sólidos disueltos totales (SM2540 C) y sólidos suspendidos totales (SM2540 D), siguiendo el procedimiento establecido en el método estándar de análisis de aguas y aguas residuales (APHA, AWWA & WEF, 2005).

## **2.5. Preparación y caracterización del agua turbia sintética**



El agua turbia sintética (ATS) fue preparada mediante la adición de 5 g de caolín en 1 L de agua corriente (5000 mg/L). Esta suspensión fue agitada en forma continua por una hora para lograr una dispersión uniforme de las partículas de caolín y se estableció un período de 24 horas para la hidratación. Esta suspensión se agitó por 1 hora usando un agitador magnético; transcurrido ese tiempo se dejó hidratar por 24 horas (Mas y Rubí *et al.*, 2012). Este modelo no representa el agua real de ninguna ciudad, pero es una suspensión estable que puede ser usada para estudiar el mecanismo de coagulación (López *et al.*, 2008).

Una vez preparada el ATS, se realizó un estudio de estabilidad de la misma que se basó en la medición de la turbidez cada cinco minutos hasta completar una hora. 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, 75 y 100 UNT) y alta turbidez (200 UNT), en base a lo establecido por Bina, Mehdinejad, Nikaeen, & Movahedian (2009).

Adicionalmente se midieron los parámetros de turbidez, color aparente, pH y alcalinidad total mediante los métodos estandarizados de APHA *et al.* (2005) tanto a la solución madre como a las soluciones para los diferentes valores de turbidez.

## **2.6. Evaluación de las semillas de tamarindo como coagulante**

La efectividad de las semillas como coagulante se determinó a través de la prueba de jarras, evaluando primero la solución coagulante preparada con semillas sin desgrasar (STG), y luego con semillas desgrasadas (STD), mediante ensayos exploratorios en un rango de dosis que incluyó 10, 25, 50, 100, 250 y 500 mg/L, con un mezclado rápido a 100 rpm durante 2 minutos, un mezclado lento a 30 rpm durante 20 minutos, y se finalizó el proceso con la fase de sedimentación, en la cual se dejó el agua en reposo por un lapso de treinta minutos (Koohestanian, Hosseini & Abbasian, 2008).

Después del período de sedimentación, se procedió a recolectar 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 fisicoquímicos: color, turbidez, ST, pH y alcalinidad total, de acuerdo a lo descrito en el método estándar de análisis de aguas y líquidos residuales (APHA *et al.* 2005).

Los ensayos exploratorios se realizaron en aguas turbias sintéticas con diferentes valores de turbidez inicial de 10, 15, 25, 50, 75 y 100 UNT. Para la selección de la dosis óptima de cada coagulante se utilizaron los siguientes criterios: máximo porcentaje de remoción de turbidez y color, cantidad mínima de dosis a usar, verificación de la concentración de sólidos totales.

Todas las muestras obtenidas al aplicar las dosis consideradas como óptimas de los coagulantes naturales fueron filtradas, en un equipo de filtración con bomba de vacío, en el cual fue colocado papel filtro (Whatman) de 12,5 cm de diámetro, simulando el proceso de filtración que ocurriría en una planta de tratamiento, de acuerdo a lo sugerido por Parra *et al.*, (2011). Luego del proceso de filtración, se procedió a medir los siguientes parámetros fisicoquímicos: turbidez, color verdadero, pH, alcalinidad total y sólidos totales.

Los tratamientos con sulfato de aluminio (Scharlau) se llevaron a cabo mediante corridas exploratorias y la adición de volúmenes progresivos de dosis de coagulante. El rango de concentraciones estudiado osciló entre 2 y 15 mg/L. Cabe destacar, que la solución madre a partir de la cual fueron preparadas las dosis fue de 10.000 mg/L. Los resultados de las remociones de los parámetros fisicoquímicos, utilizando las dos soluciones coagulantes de semillas de tamarindo (con grasa y sin grasa) y el sulfato de aluminio como coagulante químico, se compararon mediante un análisis de varianza y separación de medias a través de la prueba de Tukey, utilizando el programa estadístico SPSS versión 20.0

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Caracterización de las semillas *Tamarindus indica*

La caracterización de la semilla mediante la determinación de los parámetros humedad, cenizas y aceites y grasas extraíbles se muestra en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Caracterización fisicoquímica parcial de la semilla *Tamarindus indica*.

Parámetros	Promedio $\pm$ DE
Aceites y grasas (%)	7,63 $\pm$ 2,46
Cenizas (%)	0,86 $\pm$ 0,15
Humedad (%)	2,11 $\pm$ 0,17

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

El porcentaje promedio de aceites y grasas extraíbles en las semillas de *T. indica* fue de 7,62%, valor que se encuentra dentro del rango reportado por Yusue, Mafio & Ahmed (2007) para este tipo de semillas, quienes obtuvieron porcentajes de aceites y grasas que variaron entre 6,94 y 11,40%. De igual manera, los porcentajes obtenidos en esta investigación son cercanos a los reportados por Panchal, Deshmukh & Sharma (2014), quienes encontraron un porcentaje promedio de aceites y grasas de 8,00% durante la extracción y refinación de aceite a partir de las semillas de *T. Indica*. La composición de ácidos grasos en el aceite de las semillas de *T. indica* consistía principalmente de ácido mirístico, seguido de ácido

linoleico, ácido esteárico, ácido lúrico, ácido octanoico, ácido oleico, ácido lignocérico y ácido palmítico.

Comparando con otras semillas que se utilizan en el proceso de potabilización de agua, los valores de aceites y grasas obtenidos son superiores a los reportados para las de semillas *Albizialeweck* (1,2%), *Leucaena leucocephala* (2,4%) e *Hymenaea courbaril* (3,4%) (López *et al.*, 2008; Mas y Rubí *et al.*, 2012). Sin embargo, son inferiores a los registrados para las semillas de *Moringa oleifera* (36%) y *Prunus persica* (51,4 %) de acuerdo a lo reportado por Mas y Rubí, Martínez, Carrasquero & Vargas (2011) y Carrasquero *et al.*, (2015).

El porcentaje de cenizas fue de 0,86%, valor inferior al reportado por Miller *et al.*, (2008), quienes obtuvieron valores promedios de 2,7% en semillas de *Prunus persica*. El contenido de cenizas es indicativo de la cantidad de material inorgánico presente en la almendra.

El porcentaje promedio de humedad para la semilla de tamarindo fue de 2,10%, valor que se encuentra por debajo al reportado por estudios realizados semillas de *P. persica* (7,0%), *H. courbaril* (17,5%) y *M. oleifera* (6,2%) (Carrasquero *et al.*, 2015; Mas y Rubí *et al.*, 2012, Mas y Rubí *et al.*, 2011). El bajo contenido de agua que presenta la almendra contenida en la semilla de tamarindo retarda la formación de reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas que son las tres principales causas del deterioro de los alimentos, permitiendo la conservación de la almendra por un tiempo más prolongado (Martínez *et al.*, 2017).

### 3.2. Prueba de solubilidad de la solución coagulante

Esta prueba se realizó con la finalidad de estimar la cantidad de material disuelto que actuaría efectivamente como coagulante, a partir de la cantidad de materia remanente. A las soluciones coagulantes de 5000 mg/L, se les determinó los sólidos suspendidos y luego por diferencia se conocieron los sólidos disueltos, lo que representa la cantidad de polvo de semilla *Tamarindus Indica* que realmente se disolvió en la solución y que actuaría como coagulante.

Las concentraciones reales de las soluciones coagulantes preparadas fueron de 4500 y 3900 mg/L, lo que representa porcentajes de solubilidad de 90 y 78% para las soluciones con grasa y sin grasa, respectivamente (**Tabla 2**). Estos valores de solubilidad fueron superiores al obtenido por Mas y Rubí *et al.*, (2011), quienes reportaron un porcentaje de solubilidad en *M. oleifera* del 53%. De igual manera, fueron superiores a los obtenidos por López *et al.*, (2008) y Carrasquero *et al.*, (2015), quienes obtuvieron 51 y 56% para semillas de *Leucaena*



*leucocephala* y *Prunus persica*, respectivamente; las cuales son también utilizadas como coagulantes en el tratamiento de aguas.

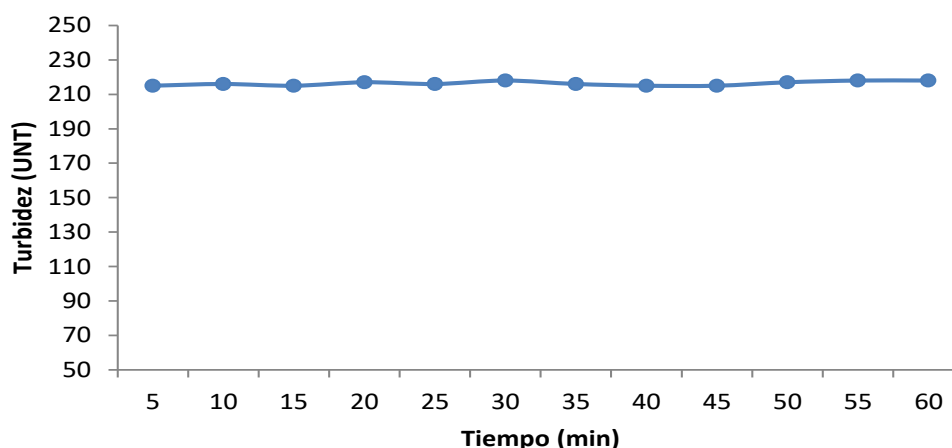
**Tabla 2.** Sólidos determinados a las soluciones coagulantes

Parámetro físico	Coagulante con grasa 5000 (mg/L) Promedio $\pm$ DE	Coagulante sin grasa 5000 (mg/L) Promedio $\pm$ DE
Sólidos suspendidos (mg/L)	500 $\pm$ 70	1100 $\pm$ 16
Sólidos disueltos (mg/L)	4500 $\pm$ 60	3900 $\pm$ 12

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

### 3.3. Estabilidad del agua sintética

El estudio de la estabilidad del agua turbia sintética preparada se basó en la medición de la turbidez (cada cinco minutos hasta completar una hora), la cual se mantuvo prácticamente constante a lo largo del ensayo (**Figura 1**) El agua turbia preparada presentó las siguientes características: Turbidez: 216  $\pm$ 1 UNT, color aparente: 20 $\pm$ 0 UC Pt-Co y alcalinidad total: 71 $\pm$ 3 mg/L CaCO<sub>3</sub>.



**Figura 1.** Estabilidad del agua sintética

### 3.4. Efectividad de la solución coagulante de semillas de *Tamarindus indica* sin desgrasar para diferentes niveles de turbidez inicial.

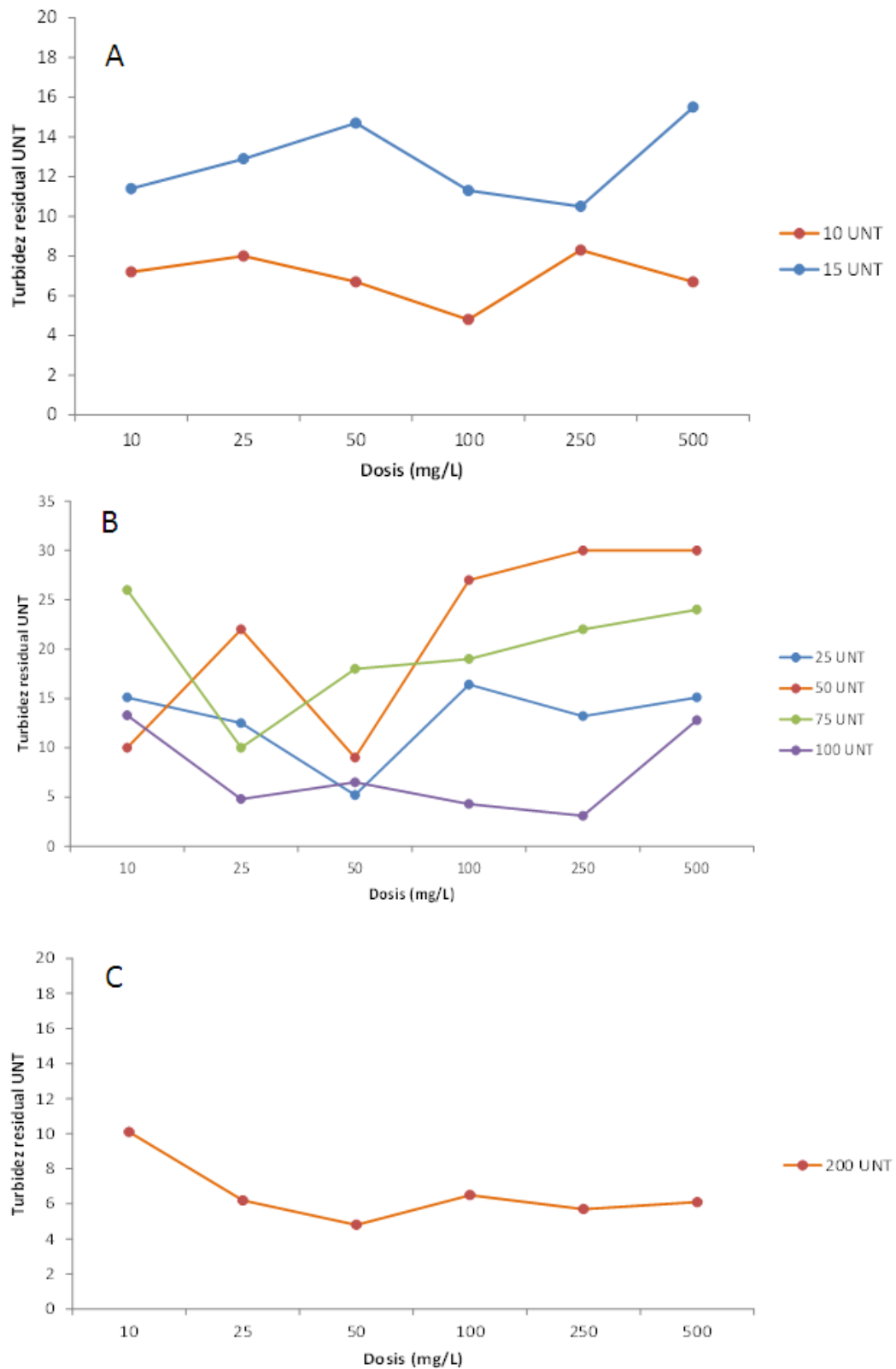
La **Figura 2** muestra los valores de turbidez residual en función de las dosis aplicadas (10, 25, 50, 100, 250, 500 mg/L) de la solución coagulante preparada a partir de semillas de *T. indica* sin desgrasar, en aguas turbias sintéticas con diferentes valores de turbidez inicial (10, 15, 50, 75, 100, 200 UNT). Se obtuvo para aguas de baja turbidez (10-15 UNT), la mayor remoción se observó al aplicar una dosis de 100 mg/L en un agua de 10 UNT, disminuyendo hasta 4,8 UNT, lo que representa un porcentaje de remoción de 52,0%. Este porcentaje fue

inferior a los reportados por Mejías *et al.*, (2010), quienes empleando como coagulante natural el exudado gomoso de la *Cedrela odorata*, obtuvieron porcentajes de remoción de 65,0% y 76,7% en aguas con baja turbidez inicial de 10 y 15 UNT, respectivamente, empleando una dosis óptima de 20 mg/L.

Se obtuvo que al aplicar el coagulante en aguas de turbidez media (25-100 UNT), la efectividad de remoción de turbidez osciló entre 34,4% y 96,9%. La mayor remoción se obtuvo al aplicar una dosis de 250 mg/L, en un agua de 100 UNT disminuyendo hasta 3,1 UNT (**Figura 2A**), valor inferior al máximo aceptable por la normativa venezolana para aguas destinadas a consumo humano (Gaceta Oficial de la República de Venezuela 36395, 1998), alcanzando así 96,9% de remoción de turbidez. Rahman *et al.*, (2015) obtuvieron porcentajes de remoción similares a los reportados en esta investigación, cuando utilizaron semilla de tamarindo (*T. indica*) aplicando una dosis de 75 mg/L de coagulante natural y 3,8 mg/L de poliacrilamida, obteniendo porcentajes de remoción de 93,6% en aguas con una turbidez media inicial de 26,3 UNT

La solución coagulante preparada a base de *T. indica* sin desgrasar fue más efectiva en aguas de alta turbidez inicial (200 UNT), ya que para todas las dosis empleadas en ésta se alcanzaron porcentajes de remoción superiores al 95% (**Figura 2C**). Resultados similares fueron obtenidos por Salgado (2018) quien logró evidenciar que a mayor turbidez inicial el porcentaje de remoción será mayor, cuando se usa esta semilla como coagulante natural. Estos porcentajes de remoción fueron superiores a los reportados por Fuentes *et al.*, (2011), en su estudio con *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb, quienes obtuvieron remociones de turbidez de 64,8%, empleando una dosis óptima de 600 mg/L para aguas de 100 UNT.

Se obtuvo que sólo para la dosis de 100 mg/L en el agua con una turbidez inicial de 10 UNT y 100 UNT, la dosis de 25 mg/L para el agua con turbidez inicial de 100 UNT, la dosis de 250 mg/L para un agua de 100 UNT y la dosis de 50 mg/L para un agua de 200 UNT, se obtuvieron valores menores al máximo aceptable (5 UNT) (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998).



**Figura 2.** Variación de la turbidez residual en función de la dosis de la solución de *T. indica* sin desgrasar para aguas de turbidez baja (A), media (B) y alta (C).

La tendencia oscilante de los porcentajes de remoción presentada por el coagulante natural y el aumento de turbidez decantada producida con la mayor dosis de 250 y 500 mg/L de solución coagulante de semillas de tamarindo, confirman que parte de la remoción de turbidez en las aguas sintéticas se logró primamente a través del mecanismo de adsorción, seguido de neutralización de cargas y/o formación de puente interparticular (Laksmi, Janani, Anju, & Roopa, 2017), debido a que la semilla de tamarindo aporta moléculas poliméricas (proteínas catiónicas) de alto peso molecular, que pueden absorber químicamente las partículas coloidales en uno o más puntos fijos de adsorción, dejando el resto de la cadena libre, de forma que pueda flotar en el líquido y adherirse a su vez a otro coloide, formando así un puente molecular que une una partícula con otra, la repetición de este fenómeno entre diversas partículas es lo que permite la aglutinación de ellas en masas (Arboleda, 2000).

La fracción proteica de las semillas de tamarindo corresponde al 13% de la semilla y está formada mayoritariamente por ácidos glutámico y aspártico, glicina y leucina (Vázquez, Batis, Alcocer & Dirzo, 1999). Las proteínas, a su vez, se componen sobre todo de ácido glutámico y aspártico, glicina y leucina (Gurdián, Coto & Salgado, 2009). De acuerdo a estudios realizados por Campos *et al.*, (2003), los ácidos glutámico y aspártico, por ser sustancias que poseen grupos con carga formal negativa, desestabilizan y coagulan partículas coloidales.

Los valores de color aparente son presentados en la **Tabla 3**, luego de aplicadas las diferentes dosis de la solución coagulante. Se observó que para las aguas de baja turbidez (10 y 15 UC) se presentó un incremento de color con respecto al valor inicial (5 UC). El valor máximo reportado en las aguas analizadas de baja turbidez fue 10 UC para las dosis de 10, 25, 250 y 500 mg/L, respectivamente. El aumento del color aparente también fue reportado por López *et al.*, (2008), que obtuvieron resultados similares al usar *L. leucocephala* y *A. lebbeck*, estos investigadores afirman que el aumento del mismo se puede atribuir a que el coagulante ocasiona la dispersión de las partículas coloidales que proporcionan color al agua.

En el caso de las aguas de turbidez media, para una dosis de 50 mg/L en el agua de 25 UNT se observó una reducción de color aparente del 50%, disminuyendo de 10 a 5 UC. Para las aguas de 50 y 75 UNT se observó un incremento del color aparente inicial de 10 UC a 20 UC. En el caso del agua turbia de 100 UNT ensayada, se observó una reducción de color aparente para todas las dosis aplicadas, alcanzando valores iguales e inferiores al valor deseable establecido en la normativa sanitaria (5 UC), para dosis de 25, 50, 100, 250 y 500 mg/L (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998).

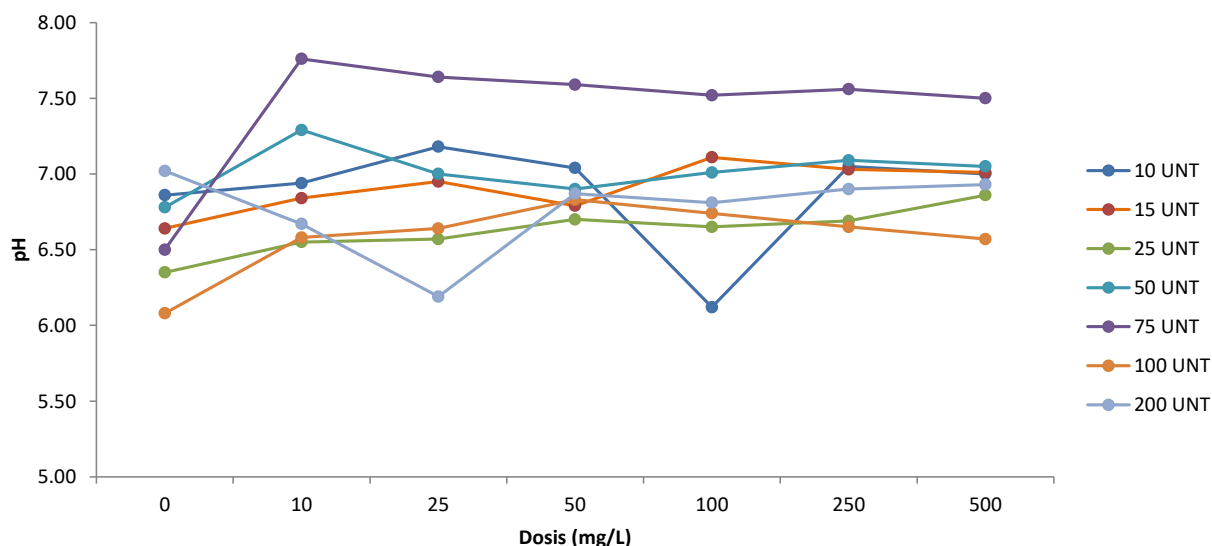
**Tabla 3.** Variación del color residual en función de la dosis de la solución de *T. indica* no desgrasadas para diferentes valores de turbidez inicial.

Turbidez Inicial (UNT)	Color Inicial (UC Pt-Co)	Dosis (mg/L)					
		10	25	50	100	250	500
10	5	10	10	7,5	5	10	10
15	5	10	10	10	10	10	10
25	10	10	10	5	20	10	10
50	10	20	20	10	10	20	20
75	10	20	10	10	20	20	20
100	20	10	5	5	5	2,5	10
200	20	10	5	5	5	5	5

Los resultados de remoción de color para las semillas de *T. indica* con grasas y aceites fueron más efectivos al ser comparados con los reportados por Carrasquero *et al.*, (2015), quienes obtuvieron un incremento color de 20 a 40 UC, para aguas de turbidez media, cuando aplicaron dosis de 10, 25, 50, 100, 250 y 500 mg/L respectivamente. De igual forma, la remoción de color alcanzada en aguas de media turbidez fue superior a la obtenida por Caldera *et al.*, (2007), quienes empleando *Moringa oleífera* reportaron una disminución de color de 50% en aguas con turbidez inicial de 75 y 150 UNT.

Los valores de pH luego de la aplicación de las semillas de *T. indica* sin desgrasar son presentados en la **Figura 3**. El valor de pH más alto obtenido fue de 7,76 unidades para un agua turbia media de 75 UNT al aplicarle una dosis de 10 mg/L, mientras que el valor más bajo fue de 6,12 para un agua turbia de 10 UNT al aplicarle una dosis de 100 mg/L. El rango obtenido final estuvo comprendido entonces entre 6,12 y 7,76 unidades.

Los valores de pH obtenidos después de la aplicación del coagulante de semillas de tamarindo sin desgrasar para las dosis aplicadas en las aguas con las distintas turbideces estudiadas, cumplieron con lo establecido en la norma sanitaria venezolana contemplada en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela 36395 (1998), en la cual dicho parámetro debe ubicarse dentro del rango de 6,5 y 8,5 unidades. Esto se corresponde con reportado por otros investigadores para coagulantes naturales como quitosano (Bina *et al.*, 2009), *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. (Fuentes *et al.*, 2011), *Opuntia wentiana* (Parra *et al.*, 2011) y *Prunus persica* (Carrasquero *et al.*, 2015), quienes demostraron que la aplicación de coagulantes obtenidos de fuentes naturales no altera significativamente el parámetro pH.



**Figura 3.** Variación del pH residual en función de la dosis de la solución de *T. indica* sin desgrasar para diferentes valores de turbidez inicial.

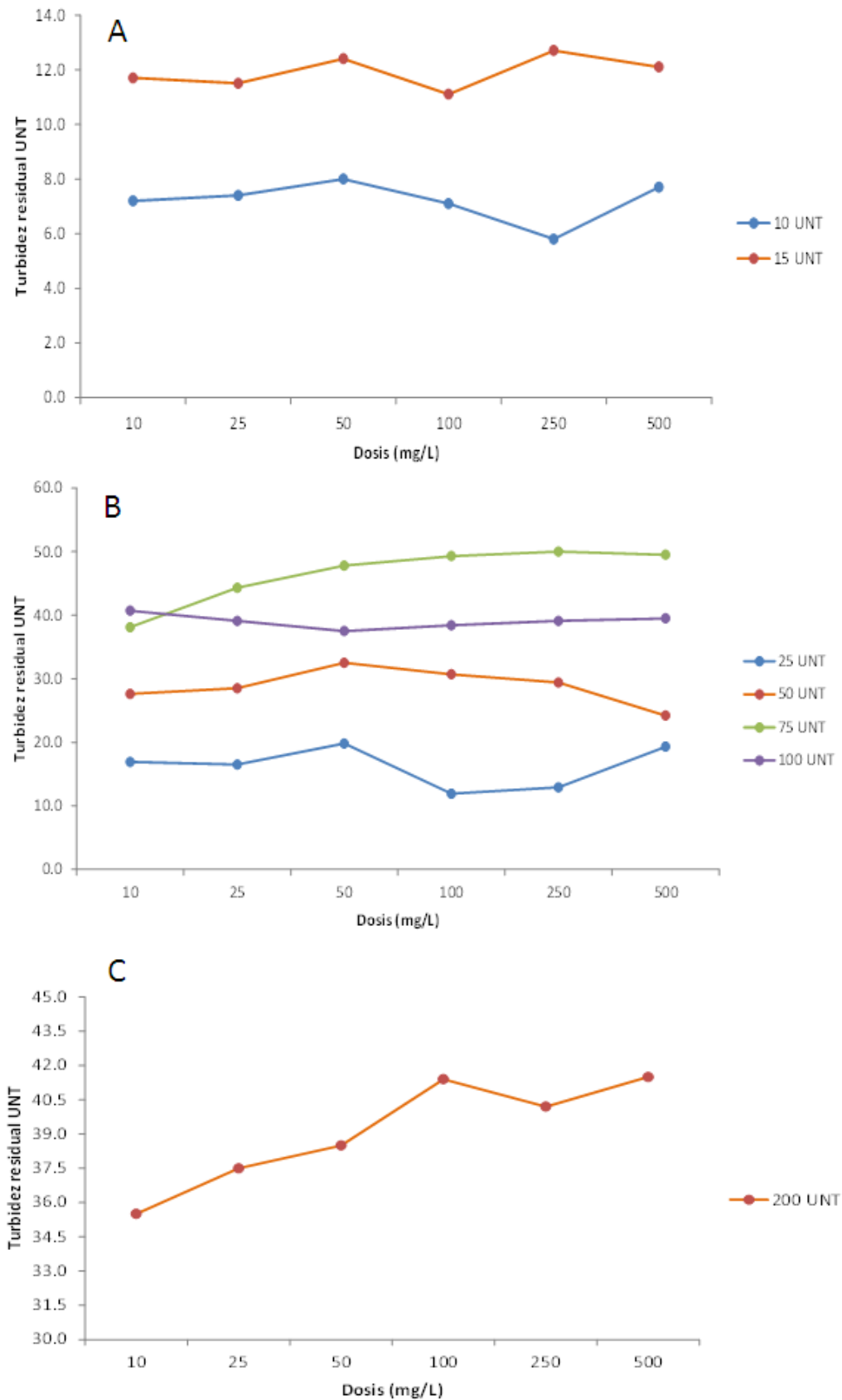
### 3.5. Efectividad de la solución coagulante de semillas de *Tamarindus indica* desgrasadas para diferentes niveles de turbidez inicial.

La **Figura 4** muestra los valores de turbidez residual en función de las dosis aplicadas de la solución coagulante preparada a partir de semillas de *T. indica* desgrasadas, en aguas turbias sintéticas con diferentes valores de turbidez inicial.

Se obtuvo que la menor remoción se produjo al aplicar una dosis de 250 mg/L para un agua turbia de 15 UNT, disminuyendo hasta 12,7 UNT, lo que representó un porcentaje de remoción de 15,3%; y la mayor remoción se obtuvo al aplicar una dosis de 10 mg/L en un agua turbia de 200 UNT, disminuyendo hasta 35,5 UNT, lo que representó un porcentaje de remoción de 82,3%. Por lo que el rango de efectividad respecto a la remoción de turbidez de dicho coagulante con semillas desgrasadas se encuentra entre 15,3% y 82,3% para los niveles de turbidez analizados, resultando más efectivo en aguas de alta turbidez inicial (200 UNT).

La **Tabla 4** muestra los valores de color aparente luego de las pruebas de coagulación y floculación, obteniendo que las unidades de color que se encontraron iguales al valor deseable establecido por la norma venezolana (5 UC) fueron obtenidas solo en aguas de baja turbidez (10 – 15 UNT).



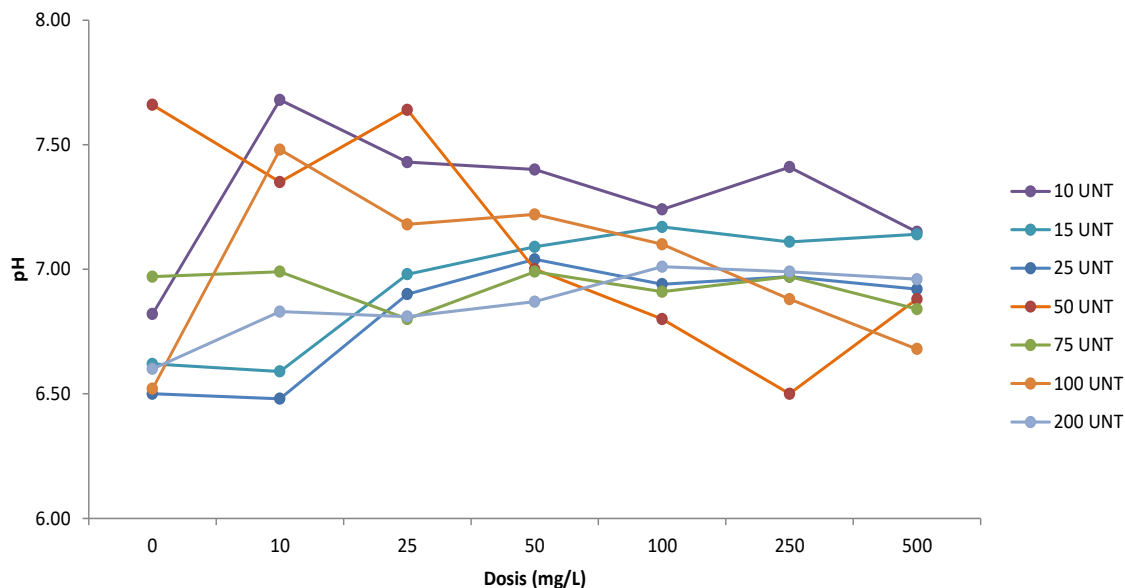


**Figura 4.** Variación de la turbidez residual en función de la dosis de la solución de *T. indica* desgrasadas para aguas de turbidez baja (A), media (B) y alta (C).

**Tabla 4.** Variación del color residual en función de la dosis de la solución de *T. indica* desgrasada para diferentes valores de turbidez inicial.

Turbidez Inicial (UNT)	Color Inicial (UC Pt-Co)	Dosis (mg/L)					
		10	25	50	100	250	500
10	5	5	7,5	7,5	5	5	10
15	5	5	5	10	5	10	10
25	10	10	10	10	10	10	10
50	10	10	10	10	10	10	10
75	10	10	10	10	10	10	10
100	20	10	10	10	10	10	10
200	20	10	10	10	10	10	10

Los valores de pH resultantes oscilaron entre 6,48 y 7,68 unidades, manteniéndose entre el rango de pH inicial registrado, cuyos valores oscilaron entre 6,50 y 7,66 unidades. La **Figura 5** muestra que los valores de pH permanecieron estables dentro de la normativa venezolana. Se observó que el coagulante desgrasado no produjo cambios de los valores de pH inicial y éstos se mantuvieron dentro de la norma para todas las dosis ensayadas (Gaceta Oficial de la República de Venezuela 36395, 1998).

**Figura 5.** Variación del pH residual en función de la dosis de la solución de *T. indica* desgrasada para diferentes valores de turbidez inicial.

### 3.6. 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 cada tratamiento realizado en aguas de baja (10, 15 y 25 UNT), media (75 y 100 UNT) y alta turbidez inicial (200 UNT) y el correspondiente análisis estadístico. En la **Tabla 5** se visualiza la comparación entre los diferentes tratamientos para aguas sintéticas de baja turbidez

Para una turbidez inicial de 10 UNT, las dosis óptimas del sulfato de aluminio, de la solución coagulante elaborada a partir de semillas de tamarindo (*T. indica*) desgrasadas y sin desgrasar, fueron de 10, 250 y 100 mg/L, respectivamente, resultando la concentración de coagulante químico 10 y 25 veces menor que la del coagulante natural, respectivamente.

**Tabla 5.** Comparación entre los tratamientos con el coagulante natural y sulfato de aluminio a diferentes niveles de turbidez

To (UNT)	Coagulante	Dosis (mg/L)	Color (UC Pt-Co)	Turbidez (UNT)	Remoción de turbidez (%)	pH
10	STG	100	7,5 ± 0,0	4,93 ± 0,15	50,7 <sup>b</sup> ± 0,42	6,06 ± 0,14
	STD	250	5 ± 0,0	6,07 ± 0,25	39,3 <sup>c</sup> ± 0,25	7,21 ± 0,27
	SA	10	5 ± 0,0	1,70 ± 0,30	83,0 <sup>a</sup> ± 1,30	3,94 ± 0,01
15	STG	250	5 ± 0,0	10,8 ± 0,25	28,2 <sup>b</sup> ± 0,50	6,67 ± 0,31
	STD	100	5 ± 0,0	10,6 ± 0,62	29,3 <sup>b</sup> ± 0,62	7,27 ± 0,57
	SA	10	5 ± 0,0	1,78 ± 0,33	83,1 <sup>a</sup> ± 1,40	5,28 ± 0,03
25	STG	50	5 ± 0,0	5,17 ± 0,35	79,3 <sup>b</sup> ± 0,33	6,72 ± 0,13
	STD	100	10 ± 0,0	11,5 ± 0,87	54,0 <sup>c</sup> ± 0,87	6,94 ± 0,04
	SA	10	5 ± 0,0	3,7 ± 0,20	86,00 <sup>a</sup> ± 2,20	4,21 ± 0,01
50	STG	50	10 ± 0,0	8,8 ± 0,47	82,3 <sup>b</sup> ± 0,19	6,47 ± 0,40
	STD	500	10 ± 0,0	23,3 ± 0,78	53,3 <sup>c</sup> ± 0,78	6,80 ± 0,08
	SA	10	5 ± 0,0	3,70 ± 0,20	92,6 <sup>a</sup> ± 2,50	4,21 ± 0,01
75	STG	250	10 ± 0,0	10,9 ± 0,79	85,4 <sup>b</sup> ± 0,19	7,35 ± 0,27
	STD	10	10 ± 0,0	37,6 ± 0,64	49,8 <sup>c</sup> ± 0,64	6,96 ± 0,03
	SA	10	5 ± 0,0	2,4 ± 0,5	96,8 <sup>a</sup> ± 2,00	4,24 ± 0,01
100	STG	250	5 ± 2,5	3,7 ± 0,51	96,3 <sup>a</sup> ± 0,31	6,64 ± 0,06
	STD	50	10 ± 0,0	37,8 ± 0,30	62,2 <sup>b</sup> ± 0,30	7,37 ± 0,48
	SA	10	10 ± 2,5	3,8 ± 0,10	96,2 <sup>a</sup> ± 0,80	4,39 ± 0,01
200	STG	50	5 ± 0,0	5,33 ± 0,68	97,3 <sup>b</sup> ± 0,18	6,79 ± 0,09
	STD	10	10 ± 0,0	37,03 ± 2,08	81,5 <sup>c</sup> ± 2,08	6,90 ± 0,16
	SA	15	10 ± 0,0	1,32 ± 0,03	99,3 <sup>a</sup> ± 0,10	5,96 ± 0,02

n=3, n: Número de mediciones realizadas a cada parámetro. -: No hubo remoción. STG: Solución coagulante preparada a partir de semillas de tamarindo (*T.indica*) con grasas y aceites. STD: Solución coagulante preparada a partir de semillas de tamarindo (*T.indica*) desgrasadas. 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).

Del análisis estadístico realizado se obtuvo que para las bajas turbideces iniciales (10 y 15 UNT) existieron diferencias significativas entre la remoción de turbidez del sulfato de aluminio y los coagulantes naturales elaborados a partir de semillas de tamarindo (*T. indica*) con aceites y grasas y desgrasadas, siendo el coagulante químico el más efectivo para el tratamiento de estas aguas. Se obtuvo también que entre ambos coagulantes naturales se encontraron diferencias significativas para dicho rango de turbidez inicial, resultando más efectivo el coagulante con aceites y grasas.

En el caso de las aguas de media turbidez, se observó que para todas las aguas medias se aplicó una dosis de 10 mg/L de sulfato de aluminio, menor en comparación a todas las aplicadas utilizando el coagulante natural (con grasas y aceites y desgrasado). Se observó una mayor efectividad del proceso de coagulación en aguas de turbidez media cuando se utilizó el sulfato de aluminio, alcanzándose una remoción máxima del 96,8 %, en aguas de 75 UNT, aplicando una dosis de 10 mg/L. El rango de remoción de turbidez para éste coagulante osciló entre 86,0 y 96,8%.

En cuanto a la remoción de color aparente, al ser comparados los tres tratamientos en el sulfato de aluminio alcanzó remociones de color en un rango de 50 y 75%, mientras que el coagulante natural con grasas y aceites permitió obtener una remoción de 79,2% con una dosis aplicada de 250 mg/L en aguas de 100 UNT.

Al comparar los tres tratamientos se observa una mayor efectividad de turbidez en el coagulante químico, seguido por el coagulante preparado a partir de semillas de tamarindo no desgrasadas. Se obtuvo una mayor remoción en aguas de media y alta turbidez en todos los tratamientos aplicados, el menos efectivo resultó el coagulante con semillas desgrasadas, se infiere así que el mismo pudo perder sus propiedades coagulantes al ser desgrasado utilizando éter de petróleo como solvente. Sin embargo, en aguas de media y alta turbidez el mismo alcanzó porcentajes de remoción superiores al 50%, por lo que es un coagulante natural efectivo según Fuentes *et al.* (2011)

Con respecto al pH, el tratamiento con sulfato de aluminio arrojó los valores de pH más bajos, presentándose una tendencia a la acidez. De acuerdo con Barrenechea (2004), en algunos casos se requiere ajustar el pH del agua tratada hasta un valor que no le produzca efectos corrosivos ni incrustantes al sistema de distribución, como el caso de aguas ácidas. El sulfato de aluminio disminuyó significativamente el valor de pH, por lo que se requerirá de un álcali para poder alcanzar lo estipulado en las normas de calidad de agua potable venezolana (Gaceta oficial de la República de Venezuela 36395, 1998).

En la **Tabla 6** se presentan los valores determinados de alcalinidad y sólidos totales medios para las aguas medidas de baja, media y alta turbidez inicial.

**Tabla 6.** Comparación entre los tratamientos con coagulante natural y sulfato de aluminio en aguas de baja, media y alta turbidez

To (UNT)	Coagulante	Dosis (mg/L)	Sólidos totales (mg/L)	Alcalinidad total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)
10	STG	100	100 ± 50	84,4 ± 2,7
	STD	250	133 ± 76	75,8 ± 5,2
	SA	10	NR	ND
15	STG	250	100 ± 50	70,7 ± 1,6
	STD	100	150 ± 50	75,8 ± 3,8
	SA	10	NR	ND
25	STG	50	150 ± 100	64,2 ± 5,8
	STD	100	133 ± 28	74,2 ± 3,8
	SA	10	NR	ND
50	STG	50	138 ± 29	70,0 ± 15,2
	STD	500	200 ± 100	74,2 ± 5,8
	SA	10	NR	ND
75	STG	25	83 ± 58	60,8 ± 8,8
	STD	10	150 ± 87	74,2 ± 2,3
	SA	10	NR	ND
100	STG	250	133 ± 29	81,7 ± 3,8
	STD	50	200 ± 50	73,3 ± 2,9
	SA	10	NR	ND
200	STG	50	150 ± 50	75,0 ± 2,5
	STD	10	167 ± 76	75,0 ± 2,7
	SA	15	NR	ND

n=3, n: Número de mediciones realizadas a cada parámetro. STG: Solución coagulante preparada a partir de semillas de tamarindo (*T. indica*) con grasas y aceites STD: Solución coagulante preparada a partir de semillas de tamarindo (*T. indica*) desgrasadas. SA: Sulfato de aluminio. To: Turbidez inicial. NR: No reporta. ND: No detectable.

Los valores residuales de sólidos totales luego de la aplicación del coagulante natural oscilaron entre 100 y 200 mg/L. Todos los valores de sólidos totales obtenidos cumplieron con lo establecido en la norma sanitaria venezolana (Gaceta Oficial de la República de Venezuela 36395, 1998) respecto al valor deseable de sólidos totales en agua potable, el cual debe ser menor a 600 mg/L.

Con respecto a la alcalinidad total, las concentraciones variaron entre 60,8 y 84,4 mg CaCO<sub>3</sub>/L. La Norma sanitaria venezolana (Gaceta Oficial de la República de Venezuela 36395, 1998) no establece valores restrictivos de alcalinidad en el agua potable; sin embargo, Arboleda (2000) establece que éste parámetro viene a actuar como una solución amortiguadora que evita el brusco descenso del pH, lo que tendría repercusiones a nivel operativo, ya que un pH final muy bajo puede producir que la coagulación no se realice o se realice pobremente, además de hacer al agua corrosiva.

De Sousa, Correia & Colmenares (2010) establecen que una alcalinidad en los sistemas de distribución de agua de 70 a 110 mg CaCO<sub>3</sub>/L permite sobrepasar el producto de solubilidad

del carbonato de calcio y asegura la formación de capas de protección natural contra los procesos de corrosión en la mayoría de las tuberías en las redes de distribución de agua.

Para las aguas tratadas con las dosis óptimas luego del proceso de coagulación-floculación y sedimentación, se llevó a cabo la filtración, para simular el proceso completo de clarificación que se realiza en plantas potabilizadoras, y determinar si el proceso de filtración mejora la calidad del efluente y las características de los parámetros fisicoquímicos medidos.

Montoya, Loaiza, Torres, Cruz & Escobar (2011) recomiendan realizar procedimientos de filtración en el agua, ya que problemas en la operación, como una coagulación inadecuada, pueden comprometer el desempeño de las unidades de clarificación y éstas a su vez alterar la eficiencia de la filtración, siendo recomendable mantener la aplicación de medidas operativas para optimizar la coagulación durante los eventos de alta turbidez como estrategia de optimización de la coagulación.

### **3.7. Valores obtenidos luego de la filtración de las muestras con dosis óptimas de las semillas de tamarindo (*T. indica*) para diferentes niveles de turbidez**

El proceso de filtración logró una mejoría en todos los parámetros medidos, Maldonado (2004) establece que la fase de filtración es la responsable de la producción de agua de calidad, debido a que permite remover las partículas presentes en el efluente tratado. Se infiere que la turbidez presente en el agua sedimentada luego de la coagulación-floculación se debía a partículas suspendidas que no decantaron en el tiempo de la fase de sedimentación (30 minutos), pero como se observó que el porcentaje de remoción de turbidez aumentó significativamente luego del filtrado, se puede concluir que los coagulantes produjeron flóculos de tamaño adecuado que fueron retenidos por el filtro y así ser removidos. Los resultados obtenidos después del proceso de filtración para las dosis óptimas son presentados en la **Tabla 7**.

Los valores de turbidez filtrada para las dosis con semillas de tamarindo no desgrasadas oscilaron entre 0,97 y 1,56 UNT. Resultado similar fue obtenido por Sarker, Rahman, Jakarin, Moniruzzaman & Khabir (2014), quienes obtuvieron un valor promedio residual de turbidez después del proceso de filtración de muestras de aguas superficiales tratadas con semillas de tamarindo de 1,25 UNT con dosis de 75 mg/L.

Con respecto a la turbidez se observa que la tendencia se mantiene similar que antes del filtrado, en aguas de alta turbidez se obtuvo la mayor remoción, en aguas con turbidez media (25 – 100 UNT) se obtuvieron altos porcentajes de remoción entre 95,2% y 99,2%, y para las



aguas de baja turbidez se obtuvieron los porcentajes más bajos, inferiores a 95%, pero superiores al 90%.

**Tabla 7.** Dosis óptima de las semillas de tamarindo (*T. indica*) para los diferentes valores de turbidez inicial después de filtración

To (UNT)	Co (UC Pt-Co)	C	DO (mg/L)	Tf (UNT)	CV (UC Pt-Co)	pH	Sólidos totales (mg/L)
10	5	STG	100	0,97 ± 0,42	2,5 ± 1,44	6,06 ± 0,14	50 ± 0
		SDG	25	1,71 ± 0,66	5,00 ± 0,00	7,21 ± 0,17	83 ± 57
15	5	STG	250	1,20 ± 0,50	2,5 ± 0,00	6,67 ± 0,31	33 ± 28
		SDG	100	2,19 ± 0,58	5,00 ± 0,00	7,27 ± 0,27	83 ± 28
25	10	STG	50	1,20 ± 0,33	5,00 ± 2,50	6,72 ± 0,13	66 ± 28
		SDG	100	3,51 ± 0,50	5,00 ± 0,00	6,94 ± 0,04	67 ± 57
50	10	STG	50	1,56 ± 0,19	5,00 ± 0,00	6,47 ± 0,40	66 ± 28
		SDG	500	4,19 ± 0,32	5,00 ± 0,00	6,80 ± 0,08	133 ± 104
75	10	STG	50	1,28 ± 0,19	5,00 ± 0,00	7,35 ± 0,27	16 ± 28
		SDG	500	5,37 ± 1,28	7,5 ± 2,50	6,96 ± 0,03	66 ± 28
100	10	STG	25	0,73 ± 0,31	2,5 ± 0,00	6,64 ± 0,06	83 ± 28
		SDG	10	5,90 ± 0,53	5,00 ± 2,50	7,37 ± 0,48	100 ± 50
200	10	STG	50	1,05 ± 0,18	2,5 ± 1,50	6,79 ± 0,09	83 ± 28
		SDG	10	7,81 ± 0,35	7,5 ± 2,50	6,90 ± 0,16	116 ± 76

n=3, n: Número de mediciones realizadas a cada parámetro. STG: Solución coagulante preparada a partir de semillas de tamarindo (*T. indica*) con grasas y aceites STD: Solución coagulante preparada a partir de semillas de tamarindo (*T. indica*) desgrasadas. To: Color inicial. Co: Color inicial. C: Coagulante. DO: Dosis óptima. CV: Color verdadero.

De acuerdo a los resultados obtenidos se evidencia la efectividad que tiene el filtrado en el tratamiento de las muestras, los porcentajes de remoción de turbidez aumentaron considerablemente sobre todo en aguas con turbideces inicial bajas de 10 UNT y 15 UNT, las cuales previo al filtrado no presentaron los mejores valores de turbidez decantada.

Los resultados logrados por el coagulante preparado con semillas de *T. indica* no desgrasadas fueron superiores a los obtenidos por Parra *et al.*, (2011) luego del filtrado, al emplear la dosis óptima de coagulante natural extraído del mucílago de *Opuntia wentiana* (Cactaceae), la cual fue de 600 mg/L para aguas con turbidez inicial de 200 UNT llegando a alcanzar un porcentaje de remoción luego del filtrado igual a 98,3%.

El color verdadero obtenido para las muestras de coagulante de semillas de *T. indica* con grasas y aceites cumplieron con lo establecido en la norma sanitaria venezolana (Gaceta Oficial de la República de Venezuela 36395, 1998) respecto al valor deseable de color del agua potable, el cual es  $< 5$  UCV, se obtuvo un color mínimo de 2,5 UCV en aguas de 10, 15, 100 y 200 UNT. Para las semillas desgrasadas, a excepción de las aguas de 75 y 200 UNT (de media y alta turbidez, respectivamente) cumplieron con el valor deseable establecido por la normativa.

#### 4. CONCLUSIONES

Las semillas de tamarindo (*T. indica*) presentan bajos contenidos de aceites y grasas, así como también de humedad, siendo éstos de 7,63% y 2,11% respectivamente; características que son intrínsecas de este tipo de semillas.

Las semillas de tamarindo sin desgrasar alcanzaron una efectividad en la remoción de turbidez de 97,6% y en la remoción de color un 75 %, siendo más efectivas en aguas de alta turbidez (200 UNT) empleando una dosis de 50 mg/L, resultando más efectivas que las semillas desgrasadas. En el caso de las semillas desgrasadas alcanzaron niveles de remoción de 82,3% y en la remoción de color un 50% en aguas de alta turbidez, aplicando dosis de coagulante 10 mg/L para el mismo nivel de turbidez.

El uso de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) con grasas y desgrasados como coagulante natural disminuyó los valores de turbidez inicial de todas las aguas alcanzando porcentajes de remoción de turbidez en un rango de 99,2% y 99,5%, con dosis de 25 y 50 mg/L respectivamente.

La concentración de sólidos totales luego de la aplicación del coagulante natural oscilaron entre 100 y 200 mg/L, mientras que para la alcalinidad total las concentraciones variaron entre 60,8 y 84,4 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ , valores que brindan una capacidad amortiguadora que evita el brusco descenso del pH.

Las soluciones preparadas en base a las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) con grasas y aceites pueden ser utilizadas debido a que al realizar los tratamientos coagulación, floculación, sedimentación y filtración, se alcanzaron los niveles deseables de color y turbidez establecidos en la normativa venezolana.

## 5. REFERENCIAS

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF). (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st edition. American Public Health Association. Washington, D.C. USA. 1714 pp
- Arboleda, J. (2000). Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Tomo I. McGraw Hill. Bogotá, Colombia.
- Arcila, H. & Jaramillo, J. (2016). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. Revista Facultad de Ciencias Básicas, 11 (2), 136-153.
- Aziz, H., Yij, Y., Zaynal, S., Ramil, S. & Akinbile, C. (2018). Effects of using *Tamarindus indica* Seeds as a natural coagulant aid in landfill leachate treatment. Global NEST Journal, 20(2), 373-380.
- Barrenechea, A. (2004). OPS/CEPIS. Tratamiento de Aguas para Consumo Humano. Manual I, tomo I. Lima, Perú.
- Bina, B., Mehdinejad, H., Nikaeen, M., & Movahedian, H. (2009). Effectiveness of chitosan as natural coagulant aid in treating turbid waters. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 6(4), 247-252.
- Caldera, Y., Mendoza, I., Briceño, L., García, J. & Fuentes, L. (2007). Eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua. Boletín del Centro de Investigación Biológicas, 41(2), 244-254.
- Campos J.; G. Colina; N. Fernández; G., Torres; B. Sulbarán & G. Ojeda (2003). Caracterización del agente coagulante activo de las semillas de *Moringa oleifera* mediante HPLC. Boletín del Centro de Investigaciones, 37(1), 35-43.
- Carrasquero, S., Lozano, Y., García, M., Camacho, M., Rincón, A. & Mas y Rubí, M. (2015). Eficiencia de las semillas de durazno (*Prunus persica*) como coagulante en la potabilización de aguas. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, 49(3), 239-255.
- Carrasquero, S., Ferreira, M., Mezzoni, V., Acosta, R., Marin, J. & Colina, G. (2016). Efectividad del quitosano en la clarificación de aguas para una industria procesadora de alimentos. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V. 31(2), 57-68.
- Carrasquero, S., Montiel, S., Faría, E., Parra, P., Marín, J. & Díaz, A. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 13(2), 90-99.
- De Sousa, C, Correia, A. & Colmenares, M. (2010). Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control. Boletín de Malariología y Salud Ambiental, 50(2), 187-196.
- Dorea, C. (2006). Use of *Moringa* spp. seeds for coagulation: A review of a sustainable option. Water Science, 6(1), 219-227.
- Effendi, H., Hydayah R. & Hariyadi, S. (2017). *Tamarindus indica* seed a natural coagulant for traditional gold mining wastewater treatment. World Applied Sciences Journal, 35 (3), 330-333,
- Fuentes, I., Mendoza, I., Ángela, S., López, M., Castro, M., & Urdaneta, C. (2011). Efectividad de un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización del agua. Revista Técnica de Ingeniería de la Universidad del Zulia, 34(1), 48-56.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela 36395. (1998). Normas sanitarias de calidad del agua potable. No. 36.395, de fecha 13 de febrero de 1998.
- 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.
- Gurdián, R., Coto, J., & Salgado, V. (2009). Coagulantes naturales y tradicionales para depuración aguas residuales. Heredia, Costa Rica. Académica Española.
- Guzmán, L., Villabona, A., Tejada, C. & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. Revista Actualidad y Divulgación científica, 16(1), 253-262.

- 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
- Kiely, G. (1999). Ingeniería ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías, y sistemas de gestión. Madrid, España. Editorial McGraw-Hill.
- 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.
- Laksmi, V., Janani, R., Anju, G. & Roopa, V. (2017). Comparative study of natural coagulants in removing turbidity from industrial wastewater. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 6(6), 264-269.
- 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 lebbbeck* en el proceso de coagulación del agua. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, 42(1), 1-20.
- Maldonado, V. (2004). OPS/CEPIS. Tratamiento de Agua para Consumo Humano. Plantas de filtración rápida. Manual I, Tomo II Capítulos 7 y 9: Sedimentación y Filtración. Lima, Perú. pp. 2-152.
- Martínez, U., Marquina C., Carrasquero, S., Martínez, M., Rodríguez, C. & Morris, A. (2017). El extracto de semillas de mango (*Mangifera indica* L.) como coagulante natural en la potabilización de aguas. Proceedings of 15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: "Global Partnerships for Development and Engineering Education". Boca Raton, FL, USA.
- Más y Rubí, M., Martínez, D., Carrasquero, S. & Vargas, L. (2011). Uso de la *Moringa oleífera* para el mejoramiento de la calidad del agua de un efluente doméstico proveniente de lagunas de estabilización. Boletín del centro de investigaciones biológicas. 45(2), 169-180.
- 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. REDIELUZ, 2(2), 123-128.
- 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, 54(2), 147-153.
- 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.
- Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C. & Escobar, J. (2011). Efectos del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. Revista EIA, 16, 137-148.
- Normas Covenin. (1980). 1553-80 Norma venezolana. Productos cereales y leguminosos. Determinación de grasas. COVENIN No. 1553-80.
- Normas Covenin. (1981a). 1783-81 Norma venezolana. Productos cereales y leguminosos. Determinación de cenizas. COVENIN No. 1783-81.
- Normas Covenin. (1981b). 1785-81 Norma venezolana. Productos cereales y leguminosos. Determinación de grasas. COVENIN No. 1785-81.
- Panchal, B., Deshmukh, S. & Sharma, H. (2014). Optimization of oil extraction and characterization from *Tamarindus indica* Linn seed oil. International journal of oil, gasoil and coal engineering, 2(1), 1-6.
- Parra, Y., Cedeño, M., García, M., Mendoza, I., González, Y. & Fuentes, L. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) / (Cactaceae), REDIELUZ, 1(1), 27-33.
- Pritchard, M., Mkandawire, T., Edmonson, A., O'Neill, J. & Kululanga, G. (2009). Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. Physics and Chemistry on the Earth, 34, 799-805.

- Rahman, M, Sarker, P., Saha, B., Jakarin, N., Shammi, M., Uddin, M. & Sikder, M. (2015). Removal of turbidity from the river water using *Tamarindus indica* and *Litchi chinensi* seeds as natural coagulant. Journal of Environmental Protection and Policy, 3(2-1), 19-26.
- Salgado, M. (2018). Evaluación de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la remoción de turbidez de aguas superficiales. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero agroindustrial. Universidad de Sucre. Sincelejo, Colombia. 70 p.
- Sarker, P., Rahman, M., Jakarin, N., Moniruzzaman, M. & Khabir, M. (2014). Potentiality of *Tamarindus indica*, *Litchi chinensis* and *Dolichos lablab* seeds as coagulant for the removal of turbidity of surface water. Jahangirnagar University Environmental Bulletin, 3, 25-33.
- Vázquez, Y., Batis, I, Alcocer, M. & Dirzo, S. (1999). Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y reforestación. Instituto de Ecología, UNAM, Ciudad de México, México. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO.
- Yusue, A., Mafio, B. & Ahmed, A (2007). Proximate and mineral composition of *Tamarindus indica* Linn 1753 seeds. Science World. Journal. 2, 1-5.
- Yin, C. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. Process Biochemistry, 45(9), 1437-1444.