

## Extracto de semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante natural en la potabilización de aguas

Tamarind (*Tamarindus indica*) seed extract as a natural coagulant in water purification

Ana Isabel Vargas Ruiz<sup>1</sup>; Aura Alicia Rosas Aguirre<sup>1</sup>; Dania Itzel Luna García<sup>1</sup>; Daniela Giovanna Ramírez Mendoza<sup>1</sup>; José Silvestre Parra González<sup>1</sup>; David Tirado Torres<sup>1\*</sup>; Jesús Fernando Valdés Vázquez<sup>1</sup>; Guadalupe Vázquez Rodríguez<sup>1</sup>; Natividad Ramírez Ramírez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato-División de Ingenierías, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Av. Juárez No. 77 Col. Centro Guanajuato, Gto., México, C.P. 36250.

<sup>2</sup>Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato-División de Ingenierías, Departamento de Ingeniería Geomática e Hidráulica, Av. Juárez No. 77 Col. Centro Guanajuato, Gto., México, C.P. 36250.

\*[d.tirado@ugto.mx](mailto:d.tirado@ugto.mx)

### Resumen

El sulfato de aluminio es uno de los coagulantes químicos más comúnmente utilizados en la potabilización de agua para consumo humano. No obstante, se considera una amenaza para la salud humana debido a su asociación con enfermedades del sistema nervioso, lo que ha impulsado la investigación de coagulantes naturales como alternativas. Este estudio tiene como objetivo evaluar la efectividad del extracto de semillas de tamarindo en la potabilización de aguas con un nivel de turbidez inicial alto (266 UNT). Se utilizó el ensayo de jarras para simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, y determinar la eficacia de una solución coagulante hecha con extracto de semillas de tamarindo, comparándola con un coagulante químico convencional (Sulfato de aluminio). Se preparó agua turbia sintética (5000 mg/L) utilizando caolín en agua de grifo, y se midieron parámetros como turbidez, pH y sólidos suspendidos totales (SST). Se aplicaron diferentes dosis del extracto de semillas (30, 50 y 80 mg/L) en la solución de agua turbia sintética. El extracto de semillas de tamarindo removió la turbidez hasta un 77.69% (tratamiento a 30 mg/L de coagulante), aunque el sulfato de aluminio fue mejor con una remoción máxima del 98.27% (tratamiento a 80 mg/L de coagulante). En cuanto a los SST el extracto de semillas logró obtener una remoción del 34.9% (tratamiento a 50 mg/L de coagulante), mientras que el sulfato de aluminio obtuvo una remoción del 92.94% (tratamiento a 50 mg/L de coagulante). Los resultados obtenidos del extracto de tamarindo podrían mejorarse cambiando las variables para optimizar y aumentar la remoción de turbidez. Por lo tanto, el extracto de semillas de tamarindo podría ser una alternativa en el proceso de potabilización de aguas.

**Palabras clave:** Coagulante natural; *Tamarindus indica*; Turbidez; Extracto.

### Introducción

A nivel mundial, se ha desarrollado una gran variedad de tecnologías para el tratamiento de agua y aguas residuales, que pueden clasificarse en tres categorías principales: físicas, químicas y biológicas. Además, se han creado algunas tecnologías híbridas (Mohammad et., al 2015). Entre estas tecnologías, la coagulación es uno de los procesos más antiguos y sigue siendo ampliamente utilizado en muchas plantas de tratamiento de agua y aguas residuales. La coagulación es un proceso que elimina impurezas en el agua (especialmente partículas suspendidas y coloides) desestabilizando y aglomerando las partículas en agregados más grandes (Mohammad, 2020). Es común el uso de productos químicos en la coagulación/floculación del agua, sin embargo, a menudo son costosos y poco amigables con el medio ambiente, lo que puede limitar su uso (Asrafuzzaman., 2011). Debido a esto, los coagulantes de origen natural, como los obtenidos de plantas, semillas, crustáceos marinos y biomasa de mariscos, están siendo ampliamente estudiados por la comunidad científica (Saleem & Bachmann, 2019; Wei et al., 2018). Los coagulantes naturales tienen ventajas significativas, como su renovabilidad, biodegradabilidad, no toxicidad y la rentabilidad relativa en el manejo de lodos y sus costos asociados (Saleem & Bachmann, 2019). Además, las muestras tratadas con coagulantes naturales no sufren alteraciones significativas en sus propiedades químicas (Feria et al., 2016).

Uno de los coagulantes naturales de origen vegetal más populares y extensamente investigados es la *Moringa oleifera*. Se ha reportado una eficiencia de remoción de turbiedad superior al 98% utilizando extractos

de la semilla de *M. oleífera* en el tratamiento de aguas lóxicas considerándose incluso una buena alternativa para reemplazar parcialmente el sulfato de aluminio en el tratamiento de agua cruda de cuerpos lénticos como ciénagas o embalses (Meza et al., 2018). Otros coagulantes de origen vegetal también han sido utilizados para el tratamiento de aguas naturales crudas, como los extractos de cactus (*Hylocereus cf. Trigonus*), exudado gomoso de Campano (*Albizia saman*), corteza de Guácimo (*Guazuma ulmifolia*) y extractos de semilla de *Cassia fistula*, entre otros (Feria et al., 2016; Tarón et al., 2017). Las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) también han sido probadas como una alternativa para reducir diversos grados de turbidez en aguas crudas y residuales (Effendi et al., 2017). *Tamarindus indica*, una fruta de la familia de las leguminosas, subfamilia de las casias, es un árbol de gran tamaño y larga vida, nativo de los trópicos del viejo mundo. Al igual que en la semilla de *M. oleífera*, las proteínas y aminoácidos de carácter ácido y solubles en agua en la semilla de tamarindo son los responsables de su capacidad coagulante (Gurdián & Coto, 2011). PhaniMadhavi & Rajkumar (2013), usaron semillas de tamarindo pulverizadas para tratar aguas residuales turbias, logrando reducir la turbidez hasta en un 78% en condiciones de pH óptimos y con dosis óptimas específicas.

En general, la extracción y purificación de todos los coagulantes naturales de origen vegetal se basan en tres etapas. La primera etapa implica el preprocesamiento de la muestra, donde se limpia y se convierte en una forma adecuada (normalmente en polvo fino) para la segunda etapa. En la segunda etapa, los compuestos con actividad coagulante se extraen utilizando agua, solución salina o un disolvente apropiado. La tercera etapa es la purificación, donde se obtienen solo los compuestos que realmente contribuyen al proceso de coagulación (Ang & Mohammad, 2020). El propósito de este trabajo fue determinar la efectividad de las semillas de tamarindo como coagulante natural para disminuir la carga contaminante en el tratamiento de agua sintética de alta turbidez con relación a un coagulante comercial.

## Metodología

### Procesamiento de las semillas de tamarindo

Las vainas fueron adquiridas en un supermercado de la ciudad de Guanajuato, en laboratorio se procedió a descascarillar y despulpar manualmente el fruto, ya separadas las semillas se lavaron y se dejaron hidratar en agua destilada por 24 horas a temperatura ambiente. Pasado el tiempo, se eliminó la testa de la semilla que rodea al cotiledón. Las semillas se colocaron en estufa de secado por 12 h a 60°C. Posteriormente, se procedió a moler las semillas de tamarindo en un molino para café, obteniéndose producto harinoso de color blanquecino.

### Preparación de la solución coagulante

La solución coagulante de semillas de tamarindo 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 (Martínez et al. 2012). 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. Se colocó en baño ultrasónico por 20 min hasta obtener una mezcla homogénea. Luego se filtró al vacío con papel Whatman estándar y se procedió a guardar la solución a 4°C hasta su uso.

### Preparación del agua turbia sintética (ATS)

El agua turbia sintética (ATS) fue preparada empleando la metodología sugerida por Asrafuzzaman et al. (2011). Se adicionaron 5 g de caolín en 1000 mL de agua de grifo. Dicha suspensión se mezcló vigorosamente durante 15 min, transcurrido el 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. Al transcurrir el período de hidratación de 24 horas, se procedió a agitar nuevamente la mezcla y se dejó reposar por 30 min para su uso en los tratamientos y para la elaboración de la curva de estabilidad de agua turbia sintética.

### Evaluación del coagulante natural

La efectividad de las semillas como coagulante natural se determinó a través de la prueba de jarras, mediante un equipo floculador portátil marca VELD Científica, modelo FP4, evaluando la solución coagulante mediante ensayos exploratorios en un rango de dosis que incluyó 5, 10, 50, 80, 100 y 150 mg/L, con un mezclado rápido a 100 rpm durante 1 minuto, un mezclado lento a 40 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 30 minutos (Laksmi et al. 2017).

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 de turbidez, SST y pH, de acuerdo con lo descrito en el método estándar de análisis de aguas y líquidos residuales (APHA et al. 2005). Los ensayos exploratorios se realizaron en agua sintética con una turbidez promedio de  $266.67 \pm 7.02$  UNT. Se procedió a hacer pruebas con sulfato de aluminio como coagulante comercial. De acuerdo a los resultados obtenidos por la cinética de clarificación se decidió trabajar con concentraciones de 30, 50 y 80 mg/L para ambos coagulantes. Para SST, todas las muestras obtenidas fueron filtradas en un equipo de filtración con bomba de vacío, en el cual fue colocado papel filtro (Whatman) de 12.5  $\mu$ m, el pH se midió con un pHmetro Ecotester pH2, Oakton, modelo 35423-10. Cada muestra se midió por triplicado, la turbidez fue medida con un turbidímetro ORION AQ3010, siguiendo los protocolos de medición establecidos en los métodos normalizados para el análisis de agua potable y residual según la American Public Health Association (APHA, 2012). Se utilizó un testigo para verificar la actividad coagulante del extracto y la remoción de la turbidez los cuales se calcularon con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Actividad coagulante} = \frac{T_t - T_m}{T_b} * 100 \quad (1)$$

Donde  $T_t$  es la turbidez residual del testigo y  $T_m$  es la turbidez de la muestra.

Cabe destacar, que la solución madre a partir de la cual fueron preparadas las dosis fue de 5,000 mg/L. Los resultados de las remociones de los parámetros fisicoquímicos, utilizando las dos soluciones coagulantes; semillas de tamarindo y sulfato de aluminio como coagulante químico, se realizó un diseño experimental 23, que consta de dos factores (coagulantes) y tres niveles (30, 50 y 80 mg/L), la turbidez, SST y pH fueron las variables de respuesta, los resultados se compararon mediante un análisis de varianza y separación de medias a través de la prueba de Tukey, utilizando el programa estadístico Minitab versión 18.0.

## Resultados y discusiones

### Estabilidad del agua turbia sintética

El análisis de la estabilidad del agua turbia sintética preparada se llevó a cabo mediante la medición de la turbidez cada 10 minutos durante una hora. Los resultados mostraron que la turbidez se mantuvo prácticamente constante a lo largo del experimento. Las características del agua turbia preparada se detallan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Características del agua sintética.

Parámetro	Medición
pH	$8.18 \pm 0.11$
Turbidez (UNT)	$266.67 \pm 7.02$
SST (mg/L)	$85 \pm 6$

Nota: SST: Sólidos suspendidos totales;  $\pm$  Desviación estándar.  $n=3$ ,  $n$ : Número de muestras realizadas a cada parámetro.

### Efectividad de las semillas de *Tamarindus indica* como agente coagulante

En este estudio se pudo observar que al aplicar una dosis de 30 mg/L se obtuvo una mayor remoción en agua de alta turbidez (tratamiento CNT30), disminuyendo la turbidez residual hasta 59.50 UNT, lo que representa un porcentaje de remoción del 77.69% (Fig. 1). Cabe recalcar que la mayor remoción de turbidez la obtuvo el sulfato de aluminio con una dosis de 80 mg/L (tratamiento Csa80), disminuyendo la turbidez a 98.27%.

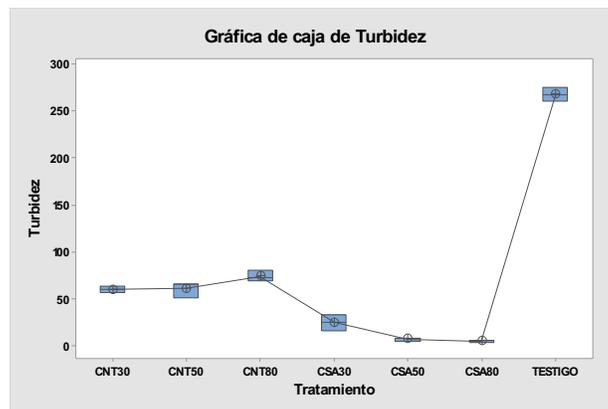


Figura 1. Disminución de la turbidez en función de los tratamientos de los coagulantes.  
Nota: CNT; Semillas de tamarindo; CSA; Sulfato de aluminio.

En cuanto a la parte de los sólidos suspendidos totales (SST) se apreció una remoción de hasta 34.9% con una dosis de 50 mg/L de coagulante natural. Mientras tanto, el coagulante químico mostro mayor remoción de SST con un porcentaje de 92.94% (Fig. 2).

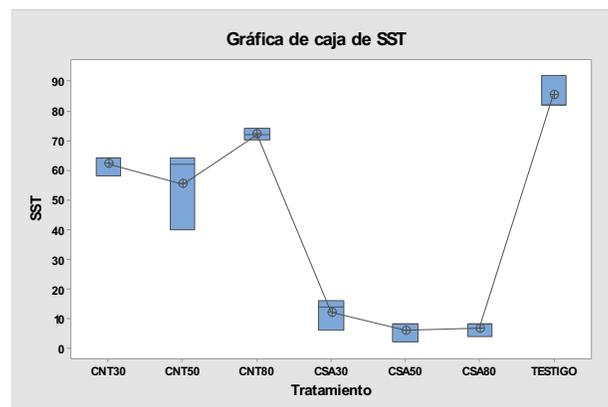


Figura 2. Disminución de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en función de los tratamientos de los coagulantes.  
Nota: CNT; Semillas de tamarindo; CSA; Sulfato de aluminio.

### Comparación de dosis óptima de los diferentes tratamientos con coagulantes

En la tabla 2, se muestra la comparación entre los diferentes tratamientos para agua sintética de alta turbidez. El análisis de varianza con una significancia de  $\alpha = 0.05$  resultó altamente significativo para las variables de respuesta de turbidez y SST, mientras que para la variable de respuesta de pH no hubo significancia alguna. La prueba de Tukey con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  mostró que, si hay diferencias significativas entre los porcentajes de remoción obtenidos por el coagulante natural y el coagulante químico, por lo que el coagulante químico fue más efectivo en la remoción de turbidez (98.27%). El rango de remoción de turbidez para ambos coagulantes osciló entre 72.46-77.69% y 90.86%-98.27%. Mismo para los SST en donde la remoción de los SST fue favorecida por el coagulante químico con el 92.94%, la prueba de Tukey con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  reveló diferencias significativas entre los tratamientos de remoción de SST con rangos de remoción para el coagulante natural y químico de 15.29-34.90 y 85.55-92.94 respectivamente.

**Tabla 2.** Comparación entre los tratamientos con semillas de tamarindo y sulfato de aluminio.

To (UNT)	Coagulante	Dosis (mg/L)	Turbidez (UNT)	Remoción de turbidez (%)	pH	SST (mg/L)	Remoción de SST (%)
266.67 ± 7.02	CNT	30	59.50 <sup>c</sup> ± 3.25	77.69 ± 1.22	8.34 ± 0.21	62 <sup>b</sup> ± 3	27.06 ± 4.08
	CNT	50	60.43 <sup>c</sup> ± 8.00	77.34 ± 3.00	8.42 ± 0.11	55 <sup>b</sup> ± 13	34.90 ± 15.67
	CNT	80	73.43 <sup>c</sup> ± 5.78	72.46 ± 2.17	8.41 ± 0.08	72 <sup>b</sup> ± 2	15.29 ± 2.35
	CSA	30	24.37 <sup>b</sup> ± 7.95	90.86 ± 2.98	8.19 ± 0.09	12 <sup>a</sup> ± 5	85.55 ± 6.23
	CSA	50	7.09 <sup>a</sup> ± 2.01	97.38 ± 0.75	8.16 ± 0.07	6 <sup>a</sup> ± 3	92.94 ± 4.08
	CSA	80	4.61 <sup>a</sup> ± 1.22	98.27 ± 0.46	8.08 ± 0.05	7 <sup>a</sup> ± 2	92.16 ± 2.72

Nota: SST: Sólidos suspendidos totales; UNT: unidades nefelométricas de turbidez; CNT: coagulante natural de tamarindo; CSA: Coagulante de sulfato de aluminio; ± Desviación estándar. n=3, n: Número de muestras realizadas a cada parámetro.

Los resultados obtenidos del coagulante natural de tamarindo (CNT) son inferiores a los reportados por Asrafuzzaman et al. (2011), donde reportaron eficiencias de remoción de turbidez hasta el 94.1% aunque con aguas sintéticas de turbidez inicial de 90-120 UNT consideradas, medias esto hace deducir que se podría seguir con la experimentación de CNT para turbidez media y baja para estudiar su eficiencia. Los resultados obtenidos de CNT son mayores a los reportados por Ahmad et al. 2022, utilizaron dosis de 5 g/L de *Piper sarmentosum* y *Melastoma malabathricum* llegando a remover 24.2 y 22.2% de turbidez respectivamente en aguas sintéticas de 353 UNT. Jung et al. (2018), demostraron que el contenido de lípidos puede inhibir el contacto entre los coagulantes y los contaminantes coloidales, haciendo que la formación de los flocúlos sea ineficaz, mientras que los carbohidratos pueden aumentar el nivel de materia orgánica en la solución lo que dificulta también la formación del floculo.

La baja efectividad coagulante encontrada para la harina de semillas de *Tamarindus indica* puede explicarse por su composición bioquímica. La semilla de tamarindo contiene generalmente entre 50-60% de polisacáridos, 18-20% de proteínas, 6-10% de lípidos y una pequeña cantidad de fibras, azúcares, y otros compuestos secundarios (Daud et al. 2023). Esto significa que el contenido de polisacáridos es mucho mayor que el de proteínas en las semillas. Como muchos otros polisacáridos, los de las semillas de tamarindo son solubles en agua, pero sus moléculas tienden a no hidratarse completamente, por lo que los agregados supramoleculares persisten incluso en soluciones muy diluidas. Esto se debe a las interacciones entre las cadenas poliméricas, lo que hace que el polímero muestre un equilibrio entre carácter hidrófobo e hidrófilo, dificultando su extracción (Pal et al. 2009). Además, son las proteínas en las semillas de muchos coagulantes naturales, como en el caso de las semillas de *Moringa oleífera*, las responsables del efecto coagulante más que los compuestos polisacáridos (Martínez et al. 2017).

## Conclusiones

Se determinó que la dosis óptima de las semillas de tamarindo para la remoción turbidez en el proceso de coagulación-floculación fue de 30 mg/L para un agua sintética considerada de alta turbidez, obteniendo porcentajes máximos de remoción de turbidez de 77.69% y de SST de 34.9%. La evaluación de las semillas de tamarindo como coagulante en la clarificación de aguas evidenció efectividad en la remoción de la turbidez, adecuación de SST y poca variación en los niveles de pH

Al comparar la efectividad de las semillas de tamarindo con el sulfato de aluminio en la remoción de SST y turbidez, se obtuvieron diferencias significativas entre los porcentajes de remoción de turbidez obtenidos del coagulante químico y el coagulante natural en agua con nivel de turbidez inicial alta. En consecuencia, de lo antes, las semillas de tamarindo 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 estas.

## Bibliografía/Referencias

- Ahmad, A., Abdullah, S.R.S., Hasan, H.A., Othman, A.R., Ismail, N.'Izzati, 2022. Potential of local plant leaves as natural coagulant for turbidity removal. *Environmental Science and Pollution Research* 29 (2), 2579–2587.
- Ang, W. L., Mohammad, A. W. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 262, (121267), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>.
- Ang, W. L., Mohammad, A. W., Teow, Y. H., Benamor, A., Hilal, N. (2015). Hybrid chitosan/FeCl<sub>3</sub> coagulation–membrane processes: performance evaluation and membrane fouling study in removing natural organic matter. *Separation and Purification Technology*, 152, 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.07.053>.
- Asrafuzzaman, M., Fakhruddin, A. N. M., Hossain, A. (2011). Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *ISRN Microbiology*, 2011(1), 1-6. <https://doi.org/10.5402/2011/632189>.
- Daud, N. M., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Othman, A. R., Ismail, N. I. (2023). Coagulation-flocculation treatment for batik effluent as a baseline study for the upcoming application of green coagulants/flocculants towards sustainable batik industry. *Helion*, 9, 1784.
- Effendi, H., Hidayah, S., & Hariyadi, S. (2017). Tamarindus indica Seed as natural Coagulant for Traditional Gold Mining Wastewater Treatment. *World Applied Sciences Journal*, 35 (3), 330-333. <http://dx.doi.org/10.5829/idosi.wasj.2017.330.333>.
- Feria, J. J., Rodriño, J. P., & Gutiérrez, G. (2016). Behavior of turbidity, pH, alkalinity and color in Sinú river raw water treated by natural coagulants. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia*, 78, 119-128. <http://dx.doi.org/10.17533/udea.redin.n78a16>.
- Gurdián, R., & Coto, J. M. (2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de Tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Revista Tecnología en Marcha*, 24(2), 18-26.
- Jung, Y., Jung, Y., Kwon, M., Kye, H., Abrha, Y.W., & Kang, J. W. (2018). Evaluation of Moringa oleifera seed extract by extraction time: effect on coagulation efficiency and extract characteristic. *Journal of Water and Health*, 16(6), 904-913. <https://doi.org/10.2166/wh.2018.078>.
- 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.
- MARTÍNEZ, D.; MÁS Y RUBÍ, M.; 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.
- Martínez, M., Parra, J., & Vera, A. (2017). Salt effects on the dilute solution properties of bototo gum (*Cochlospermum vitifolium*). *International Journal of Food and Allied Sciences*, 3(2), 49-55.
- Meza, M., Riaños, K., Mercado, I., Olivero, R., & Jurado, M. (2018). Evaluation of the coagulant power of aluminum sulfate and Moringa oleifera seeds in the clarification process of water in the swamp of Malambo, Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95-104. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>.
- Pal, S., Ghosh, S., Sen, G., Jha, U., & Sing, R. P. (2009). Cationic tamarind kernel polysaccharide (Cat TKP): novel polymeric flocculant for the treatment of textile industry wastewater. *International Journal of Biological Macromolecules*, 45(5), 518-523.
- PhaniMadhavi, T., & RajKumar, R. (2013). Utilisation of natural coagulant for reduction of turbidity from wastewater. *International Journal of ChemTech Research*, 5(3), 1119-1123.
- Saleem, M., Bachmann, R.T. (2019). A contemporary review on plant-based coagulants for applications in water treatment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 72, 281-297. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.12.029>.
- Tarón, A. A., Guzmán, L. E., & Barros, I. (2017). Evaluación de la Cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. *ORINOQUIA*, 21(1), 73-78. <https://dx.doi.org/10.22579/20112629.396>.
- Wei, H., Gao, B., Ren, J., Li, A., Yang, H. (2018). Coagulation/flocculation in dewatering of sludge: a review. *Water Research*, 143, 608-631. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.029>.