

Uso de semillas de *Tamarindus indica* como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda

Use of *Tamarindus indica* seeds as a natural coagulant in the treatment of raw water

FERIA, Jhon J.¹

ALTAMIRANDA, Jesus E.²

SOTO, Carlos H.³

Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar la eficiencia de remoción de la turbidez en muestras de agua cruda tratadas con extractos de semillas de Tamarindo (*Tamarindus Indica*) preparados con agua destilada, solución salina y agua de mar. Se utilizó un diseño experimental de 3³, es decir, 3 factores (turbiedad inicial del agua, solución disolvente y dosis de coagulante) medidos en 3 niveles. Los resultados demostraron que para turbiedades bajas del agua cruda se obtienen muy bajas eficiencias de remoción y poca actividad coagulante.

Palabras clave: *Tamarindus indica*, coagulantes naturales, eficiencia de remoción, turbiedad

Abstract

The aim of this research was to determine the efficiency of turbidity removal in raw water samples treated with extracts of Tamarind seeds (*Tamarindus Indica*) prepared with distilled water, saline solution and sea water. An experimental design of 3³ was used, that is, 3 factors (initial turbidity water, solvent solution and coagulant dose) measured at 3 levels. The results showed that for low turbidity of raw water, very low removal efficiencies and little coagulant activity are obtained.

key words: *Tamarindus indica*, natural coagulants, removal efficiency, turbidity

1. Introducción

A nivel mundial se han desarrollado una amplia gama de tecnologías para el tratamiento del agua y de las aguas residuales. En general estas tecnologías pueden clasificarse en tres categorías principales: Físicas, químicas y biológicas, incluso, se han desarrollado algunas de carácter híbrido (Ang, Mohammad, Teow, Benamor & Hilal, 2015). De estas tecnologías, la coagulación es uno de los procesos más antiguos que continúa siendo ampliamente usado en muchas plantas de tratamiento de agua y aguas residuales. La coagulación es un proceso que elimina las impurezas en el agua (especialmente partículas suspendidas y coloides) al desestabilizar y aglomerar las partículas en agregados más grandes (Ang & Mohammad, 2020). Es común el uso de productos químicos en la coagulación/floculación del agua, sin embargo, muchas veces son costosos y poco amigables con

¹ Docente investigador. Facultad de Ingeniería. Universidad de Sucre, Colombia. jhon.feria@unisucra.edu.co . Autor de Correspondencia

² Facultad de Ingeniería. Universidad de Sucre, Colombia. jeeralper@gmail.com

³ Facultad de Ingeniería. Universidad de Sucre, Colombia. carlos-1099@hotmail.com

el medio ambiente, lo que podría representar una restricción importante en su utilización (Asrafuzzaman, Fakhruddin & Hossain, 2011). Por lo anterior, los coagulantes de origen natural como los obtenidos de plantas, semillas, crustáceos marinos y biomásas de mariscos están siendo ampliamente estudiados por la comunidad científica (Oladoja, 2015; Saleem & Bachmann, 2019; Wei, Gao, Ren, Li, & Yang, 2018). Dentro de las principales ventajas que tiene el uso de coagulantes naturales está su renovabilidad, biodegradabilidad, no toxicidad y la rentabilidad relativa en el manejo de lodos y sus costo asociados (Saleem & Bachmann, 2019). Por otra parte, las muestras que son sometidas a tratamiento con coagulantes naturales, no sufren alteraciones importantes en sus propiedades químicas (Sanghi, Bhattacharya, Dixit & Singh, 2006; Feria, Rodiño & Gutiérrez, 2016).

Uno de los coagulantes naturales de origen vegetal más populares y que ha recibido una amplia cobertura de investigación, es sin lugar a dudas, la *Moringa oleífera* (Ang & Mohammad, 2020). Se ha reportado eficiencias de remoción de turbiedad superiores al 98% cuando se usan extractos de la semilla de *M. oleífera* en el tratamiento de aguas loticas (Feria, Bermúdez & Estrada, 2014), llegando incluso a ser considerado como una buena alternativa de reemplazo parcial del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua cruda de cuerpos lenticos como ciénagas o embalses (Meza, Riaños, Mercado, Olivero & Jurado, 2018). De igual manera, diferentes coagulantes de origen vegetal se han utilizado 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*), extractos de semilla de la *Cassia fistula*, entre otros (Feria, Rodiño & Gutiérrez, 2016; Tarón, Guzmán & Barros, 2017), pero ninguno tan eficiente como los extractos de semillas de *M. oleífera*.

Las semillas de Tamarindo (*Tamarindus indica*) han sido probadas como una alternativa para reducir diferentes grados de turbidez en aguas crudas y residuales (Effendi, Hidayah & Hariyadi, 2017). El *Tamarindus indica* es una fruta de la familia de las leguminosas, subfamilia de las casias. Es un árbol de gran tamaño, larga vida, nativo de los trópicos del viejo mundo (Francis & Lowe, 2000). Al igual que en la semilla de *Moringa oleífera*, los responsables de la capacidad coagulante de la semilla de Tamarindo, son sus proteínas y aminoácidos de carácter ácido y solubles en agua (Gurdián & Coto, 2011). PhaniMadhavi y Rajkumar (2013) usaron semillas de *Tamarindus Indica* pulverizadas para tratar aguas residuales turbias, logrando reducir la turbidez hasta en un 78% en condiciones de pH óptimas 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 la forma (normalmente en polvo fino) adecuada para la segunda etapa. En la segunda etapa, los compuestos que poseen actividad coagulante se extraen usando agua, solución salina o un disolvente apropiado. La tercera etapa es la purificación, donde solo se obtienen los compuestos que realmente contribuyen al proceso de coagulación (Ang & Mohammad, 2020). Es conocido el efecto de solubilización que las soluciones salinas tienen sobre las proteínas de los coagulantes vegetales (Martínez, Parra & Vera, 2017). Megersa, Gach, Beyene, Ambelu y Triest (2019), demostraron que el uso de soluciones salinas (NaCl, KNO₃ y NH₄Cl) podría aumentar el rendimiento de la coagulación en comparación con coagulantes extraídos solo con agua destilada. Los autores hallaron que la fuerza iónica de la sal aumentaba la solubilidad de las proteínas al romper el enlace proteína-proteína de los coagulantes naturales. De igual manera, determinaron que el número de compuestos activos con capacidad de coagulación (es decir, las proteínas) en los extractos coagulantes, fue mayor a dosis óptimas más bajas, cuando se extrajo usando soluciones salinas. En consecuencia, a dosis más bajas de coagulante, el riesgo de compuestos orgánicos residuales en el agua tratada también se reducirá (Megersa et al., 2019).

El propósito de este trabajo fue determinar la eficiencia de remoción de la turbidez en muestras de agua cruda tratadas con extractos de semillas de Tamarindo (*Tamarindus Indica*) preparados con agua destilada, solución salina y agua de mar. El objetivo final, fue comprobar la viabilidad técnica de los extractos de semillas de Tamarindo como coagulante natural para el tratamiento de aguas crudas superficiales.

2. Metodología

2.1. Muestras de agua

Las muestras fueron preparadas tomando agua del grifo del acueducto y enturbiadas artificialmente con caolinita gris, hasta lograr las tres turbiedades iniciales propuestas en el diseño experimental. Los ensayos de tratabilidad se realizaron en el laboratorio de aguas y suelos de la Universidad de Sucre, en la Ciudad de Sincelejo, Colombia. Para la preparación del coagulante en agua de mar, la muestra se tomó en el golfo de Morrosquillo, en las coordenadas: 9°25'36" Norte y 75°38'16" Oeste (Feria, Jove & Mercado, 2020).

2.2. Preparación del extracto coagulante

Las semillas de Tamarindo se lavaron y se secaron a la intemperie durante 12 horas. Luego se introdujeron en un horno doméstico durante 45 minutos y a una temperatura de 180°. Una vez secas las semillas, se molieron en un molino mecánico y se tamizaron en una malla N° 30 (0,6mm) según la serie de Tyler, hasta lograr conseguir un polvo fino (Feria, Bermúdez & Estrada, 2014; Feria, Rodiño & Gutiérrez, 2016). Posteriormente, 30 gramos de polvo de semilla de *Tamarindus Indica* se disolvieron en tres matraces aforados de 1.0 litro (10 g por matraz) con agua destilada, solución salina de cloruro de sodio 1.0% (w/v) y agua de mar (w/v), respectivamente. Las soluciones se mezclaron con agitación magnética durante 1 hora, se centrifugaron a 3,500 rpm durante 10 minutos y se filtraron al vacío con papel filtro de celulosa. Los filtrados se rotularon como extracto coagulante en agua destilada, solución salina con concentración de 10,000 mg/L y solución en agua de mar. Las soluciones se conservaron refrigeradas a 4°C hasta su aplicación.

2.3. Test de jarras

Para determinar el porcentaje de remoción de turbidez de cada extracto coagulante, se realizaron test de Jarras en un Floculador E&Q modelo F6-330-T. Se aplicaron 3 dosis de cada extracto a cada muestra de agua cruda. El proceso de mezcla rápida se mantuvo a 200 rpm durante 1 minuto, seguido de una mezcla lenta a 40 rpm, durante 20 minutos, y un tiempo de sedimentación de 30 minutos (ASTM, 2008; ICONTEC, 2010). Se midieron por triplicado la turbidez de todas las muestras de agua antes y después de los test de jarras. 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). En todos los test de jarra, se utilizó un blanco para verificar la actividad coagulante de los extractos y la remoción de turbidez, los cuales se calcularon con las siguientes ecuaciones (Antov, Sciban & Prodanovic, 2012):

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

$$\% \text{Remoción} = \frac{T_i - T_f}{T_i} * 100 \quad (2)$$

Donde T_b es la turbidez residual del blanco, T_m es la turbidez residual de la muestra, T_i es la turbidez inicial de la muestra y T_f es la turbidez final de la muestra.

2.4. Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental de 3^3 , es decir, de 3 variables en 3 niveles: Turbiedad inicial del agua cruda (50 NTU, 150 NTU y 300 NTU), Solvente de los extractos (agua destilada, solución salina y agua de mar) y dosis aplicada (10mg/L, 20 mg/L y 30 mg/L) (Feria, Jove & Mercado, 2020). La Turbiedad fue la variable respuesta medida antes y después de cada tren de tratamiento. Se utilizó el Software Statgraphics Centurion XVI (Versión 16.0.07) para el análisis de los resultados y se aplicó ANOVA con un nivel de confianza del 95%. Para los casos

donde existió diferencia significativa entre tratamientos, se realizó pruebas de múltiples rangos, para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras (Solís, Laines & Hernández, 2012).

3. Resultados

Los resultados de la concentración de la salinidad y la conductividad de los solventes utilizados en la preparación de los extractos coagulantes, se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1
Concentración salina y conductividad de los solventes para las semillas de *Tamarindus indica*

Solvente	Salinidad (% de cloruros)	Conductividad (mS/cm)
Agua destilada	0,00	0,00
Solución salina (NaCl)	0,98	16,77
Agua de mar	2,85	44,20

Fuente: Feria et al., 2020

El agua destilada no presentó concentraciones de sales como tampoco conductividad, tal como se suponía. Los valores hallados de salinidad y conductividad para la solución salina (NaCl) son los esperados, toda vez que la preparación de la solución se hizo al 1%. La salinidad del agua de mar es mayor a la concentración de la solución salina, con un porcentaje de cloruros de 2,85%, por tanto, también su conductividad es proporcional a la concentración de cloruros. Lo anterior es debido principalmente a las altas concentraciones de Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y K⁺ características del agua de mar (Soler, Durango & Soler, 2010).

En la Tabla 2, se muestran los resultados del tratamiento de las muestras de agua con las dosis de coagulante de la solución madre, preparada con agua destilada.

Tabla 2
Resultados de tratabilidad del coagulante de semillas de *Tamarindus indica* preparado en agua destilada

Turbiedad Inicial Agua Cruda	Dosis	Turbiedad Final
50,36	10 mg/L	47,53 ± 1,59
	20 mg/L	46,33 ± 0,55
	30 mg/L	48,37 ± 1,88
148,66	10 mg/L	110,67 ± 1,15
	20 mg/L	115,67 ± 2,08
	30 mg/L	108,67 ± 0,58
300	10 mg/L	125,67 ± 3,78
	20 mg/L	85,07 ± 1,19
	30 mg/L	66,70 ± 0,70

Concentración promedio ± Desviación estándar

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados mostrados en la Tabla 2, es posible afirmar que el extracto de *Tamarindus indica* preparado en agua destilada presenta remociones bastante pobres cuando la turbidez inicial es baja. Sin embargo, la remoción de turbidez aumenta a medida que la turbidez inicial del agua cruda también aumenta. A excepción de la turbidez final lograda en las muestras de agua cruda de 300 UNT, se pudo apreciar que las dosis de coagulante aplicadas, no inciden notablemente en la turbidez final después del tratamiento, lo que permite presumir que la actividad coagulante de las semillas de Tamarindo es baja cuando se utiliza como disolvente el agua destilada. Jung, Kwon, Kye, Abrha & Kang (2018) demostraron que este método de extracción de los

compuestos coagulantes (proteínas cargadas positivamente) de las semillas es normalmente ineficiente debido a la presencia de impurezas no coagulantes como los lípidos y los carbohidratos. El contenido de lípidos puede inhibir el contacto entre los coagulantes y los contaminantes coloidales, haciendo que la formación de los flóculos sea ineficaz, mientras que los carbohidratos pueden aumentar el nivel de materia orgánica en la solución lo que dificulta también la formación del floc (Baptista, Silva, Gomes, Bergamasco, Vieira & Vieira, 2017; Megersa, Beyene, Ambelu & Triest, 2017). En consecuencia, el rendimiento de la coagulación de las proteínas se ve reducido con los efectos adversos derivados de las impurezas. Dicho de otra forma, el agua como solvente no puede extraer las proteínas de las semillas de manera efectiva, por lo tanto, es un pésimo medio de extracción de los compuestos coagulantes de las semillas de *Tamarindus indica*.

En las Tablas 3 y 4 se muestran los resultados de tratabilidad de las muestras de agua, con dosis de coagulante preparado con solución salina y agua de mar, respectivamente.

Tabla 3
Resultados de tratabilidad del coagulante de semillas
de *Tamarindus indica* preparado en solución salina

Turbiedad Inicial Agua Cruda	Dosis	Turbiedad Final
50,2	10 mg/L	41,13 ± 0,67
	20 mg/L	40,60 ± 0,17
	30 mg/L	41,10 ± 0,40
150	10 mg/L	115,00 ± 2,00
	20 mg/L	118,33 ± 0,58
	30 mg/L	123,00 ± 1,00
307,66	10 mg/L	235,33 ± 2,31
	20 mg/L	244,00 ± 1,73
	30 mg/L	242,00 ± 2,00

Concentración promedio ± Desviación estándar

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4
Resultados de tratabilidad del coagulante de semillas
de *Tamarindus indica* preparado en agua de mar

Turbiedad Inicial Agua Cruda	Dosis	Turbiedad Final
53,63	10 mg/L	43,23 ± 0,61
	20 mg/L	42,33 ± 0,32
	30 mg/L	42,93 ± 1,11
147	10 mg/L	114,00 ± 3,00
	20 mg/L	112,33 ± 0,58
	30 mg/L	110,00 ± 1,00
307,33	10 mg/L	234,67 ± 1,15
	20 mg/L	239,00 ± 2,65
	30 mg/L	236,33 ± 0,58

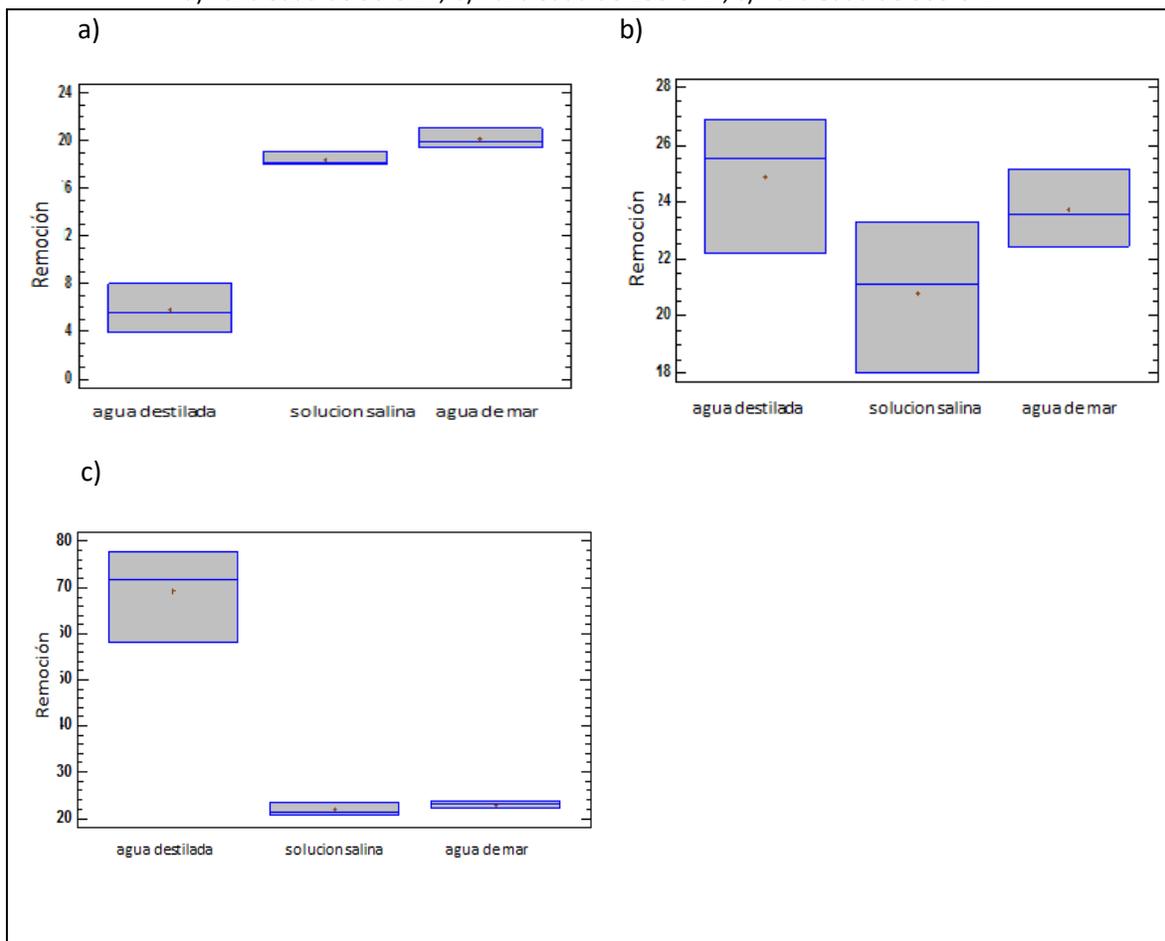
Concentración promedio ± Desviación estándar

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los test de jarras realizados con coagulantes preparados en medios salinos mostraron turbiedades finales muy similares entre ellos, en función de la turbidez inicial del agua. No se observó una clara diferencia entre el uso de la solución salina y el agua de mar en la preparación de las soluciones madres de los

coagulantes. De igual manera, tampoco es posible establecer una clara influencia de las dosis aplicadas sobre la turbidez final obtenida. Estos resultados, junto con los obtenidos en la Tabla 1, demuestran que la turbidez se reduce significativamente cuando la turbidez del agua cruda es alta, independientemente si el coagulante se prepara con solución salina o en agua destilada. Lo anterior no está acorde con lo reportado en la literatura técnica donde se muestran remociones de turbidez superiores al 75% (PhaniMadhavi & Rajkumar, 2013; Carrasquero, Martínez, Castro, López, Díaz & Colina, 2019; Rahman, Sarker, Saha, Jakarin, Shammi, Uddin & Sikder, 2014; Sarker, Rahman, Easha, Moniruzzaman & Uddin, 2014). Se esperaría que las concentraciones finales fueran mucho menores a las reportadas en las Tablas 3 y 4, debido al efecto potencializador que tiene las soluciones salinas sobre las semillas, al extraer más efectivamente las proteínas responsables de la coagulación. Por lo anterior, es posible presumir que las proteínas responsables de la coagulación, son de baja presencia en las semillas de *Tamarindus indica*. Para evaluar si la remoción de turbidez es debido a los procesos físicos que se llevan a cabo en el test de jarras o son el resultado de las interacciones entre el coagulante y los coloides, se comparará las eficiencias de remoción y la actividad coagulante de los extractos de *Tamarindus indica*. En la Figura 1 y 2 se muestran las eficiencias de remoción y la actividad coagulante de los extractos, respectivamente.

Figura 1
 Eficiencia de Remoción de Semillas de *Tamarindus indica* en agua cruda
 a) Turbiedad de 50 UNT; b) Turbiedad de 150 UNT; c) Turbiedad de 300 UNT

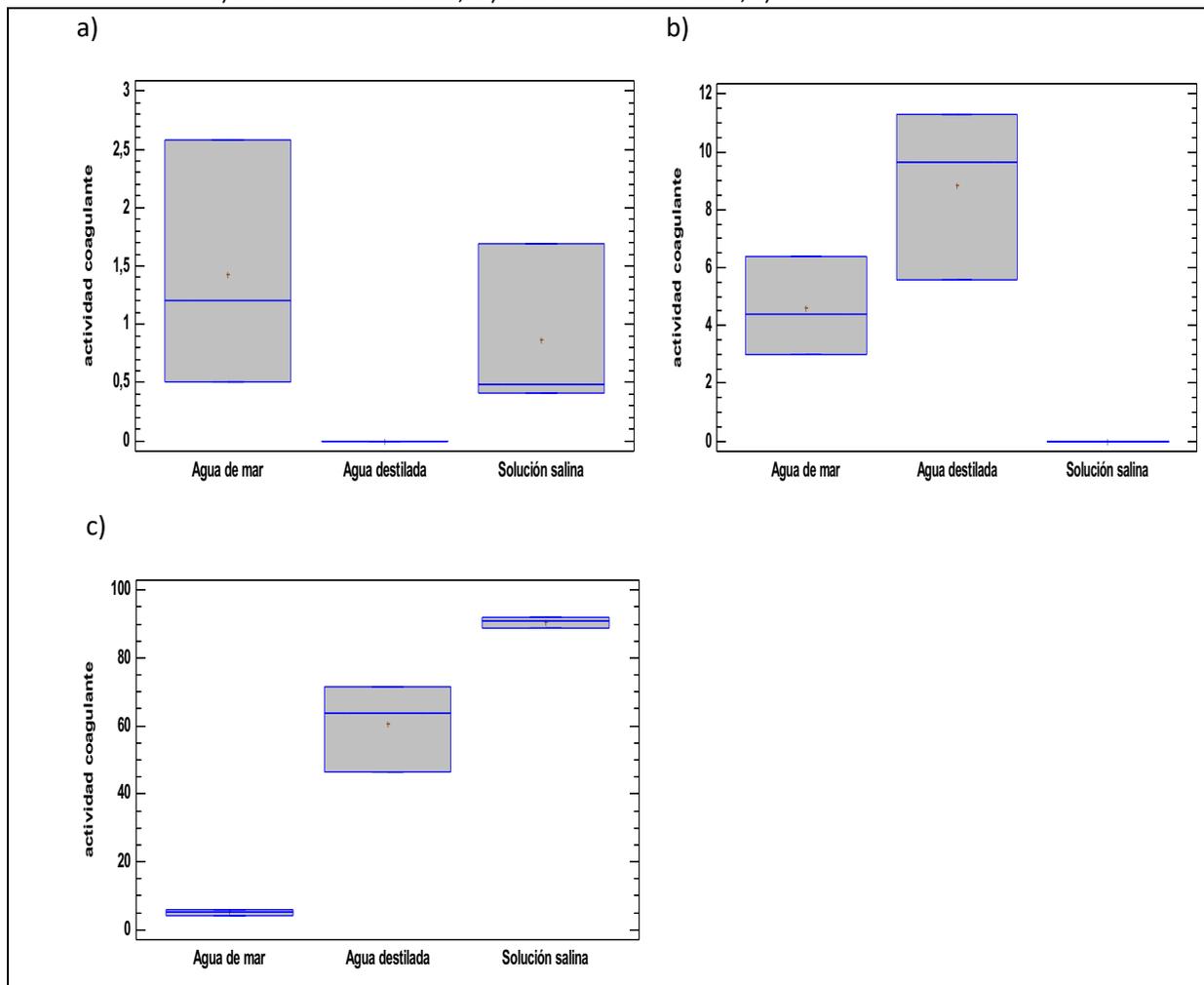


Fuente: Elaboración propia

Para las muestras de agua cruda de 50 UNT (Figura 1a) se lograron eficiencias de remoción de turbidez un poco más alta para los extractos preparados con agua de mar (promedio 20.1%) que para los preparados con solución

salina (promedio 18,4%), en contraste, las eficiencias logradas con agua destilada son muy bajas (promedio 5.9%). La actividad coagulante de las semillas de *Tamarindus indica* (Figura 2a) es nula para los extractos preparados con agua destilada y muy bajos para los preparados con solución salina y agua de mar (entre 0.5% a 2.6%). Lo anterior indica que la remoción de turbidez que se presentó en los ensayos de jarras es debido a los procesos físicos de agitación y sedimentación del método en sí, que por la acción del coagulante.

Figura 2
 Actividad Coagulante de Semillas de *Tamarindus indica* en agua cruda:
 a) Turbiedad de 50 UNT; b) Turbiedad de 150 UNT; c) Turbiedad de 300 UNT



Fuente: Elaboración propia

La Figura 1b, muestra que las remociones obtenidas para el agua cruda con turbidez inicial de 150 UNT, son muy parecidas entre sí, entre el 18% y 27% de eficiencia, de manera independiente de la dosis aplicada y de la solución base de los extractos. Sin embargo, en la Figura 2b se muestra que la actividad coagulante, tanto de los extractos preparados con agua de mar como con agua destilada, tienen mejor desempeño que el extracto preparado con solución salina. Este comportamiento atípico prueba que la presencia de proteínas causantes del efecto coagulante en las semillas de *Tamarindus indica* es poca o que son de muy pobre desempeño.

Finalmente, las muestras de agua con turbidez inicial de 300 UNT fueron las que mayores eficiencias de remoción tuvieron, particularmente los extractos preparados con agua destilada, logrando eficiencias promedio cercanas al 70% (Figura 1C). Estos valores de eficiencias están acordes con los registrados por la literatura técnica, sin embargo, podrían obedecer más a la técnica de ensayo que al efecto coagulante de las semillas de *Tamarindus*

indica. En la Figura 2c se muestra nuevamente un comportamiento atípico en la actividad coagulante, aunque, a diferencia de la Figura 2b, la mejor actividad coagulante la tiene los extractos de solución salina y no los extractos de agua destilada. De todas formas, ese comportamiento reafirma la poca efectividad de las semillas de *Tamarindus indica* sobre el tratamiento de las muestras de agua.

La poca efectividad coagulante hallada para el polvo de semillas de *Tamarindus indica* puede explicarse desde su propia composición bioquímica. La semilla o el grano de Tamarindo generalmente contiene al menos 50-60% de polisacáridos, 18 a 20% de proteínas, 6 a 10% de lípidos y una pequeña cantidad de fibras, azúcar, entre otros compuestos secundarios (Marathe, Annapure, Singhal & Kulkarni, 2002), es decir, que el contenido de polisacáridos es muy superior al de las proteínas en las semillas. Como muchos otros polisacáridos, los polisacáridos de las semillas de Tamarindo son solubles en agua, pero sus moléculas individuales tienden a no hidratarse completamente y, en consecuencia, los agregados supramoleculares permanecen incluso en soluciones muy diluidas. Esto se debe a las interacciones entre las cadenas poliméricas, por lo tanto, el polímero muestra un equilibrio entre el carácter hidrófobo e hidrófilo que no favorece su fácil extracción (Pal, Ghosh, Sen, Jha & Sing, 2009). Sin mencionar que son las proteínas en las semillas de muchos coagulantes naturales, como es el caso de las semillas de *M. olífera*, las responsables del efecto coagulante (Ghebremichael, Gunaratna, Henriksson, Brumer & Dalhammar, 2005) mas que los compuestos polisacáridos.

Para comprobar si existen diferencias estadísticamente significativas en las remociones de turbidez cuando se utilizaron los tres solventes en la preparación de los extractos coagulantes, se realizó una prueba de ANOVAS, cuyos resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5
P-valor de las ANOVAS realizadas a los ensayos de remoción de turbidez

Turbidez inicial	50 UNT	150 UNT	300 UNT
P-valor	0	0.1494	0.0001

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el P-valor de las remociones de turbidez para los ensayos de agua cruda de 50 UNT y 300 UNT son menores a 0,05, es evidente que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los resultados hallados para estos dos tratamientos, es decir, que el tipo de solvente utilizado para la preparación de los extractos de semillas de *Tamarindus indica* influye en las remociones de turbidez logradas en los ensayos de jarras. La prueba de múltiples rangos permitió establecer que cuando se utiliza solución salina o agua de mar, las diferencias estadísticamente significativas no existen entre las remociones logradas, pero si existen diferencias significativas cuando se utiliza agua destilada, siendo este extracto el de más alta eficiencia de remoción de turbidez.

4. Conclusiones

Las semillas de *Tamarindus indica* mostraron un pobre desempeño en la remoción de la turbiedad de las muestras de agua cruda poco turbias, independientemente de la dosis aplicada y del medio solvente utilizado para la preparación de los extractos coagulantes. Se comprobó que los extractos coagulantes preparados en medio salino tienen mejor desempeño que los preparados en agua destilada, sin embargo, las eficiencias que se lograron no son suficientes para considerar este coagulante como una alternativa viable para ser utilizado como un sustituto de los coagulantes inorgánicos, pero podría ser utilizado como un ayudante de coagulación.

Referencias bibliográficas

- American Public Health Association, APHA. (2012). *Standard methods for examination of water and wastewater*. Washington D.C., USA: APHA.
- American Society for Testing and Materials, ASTM.(2008). *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water D2035-08*. Pensilvania, USA: ASTM.
- 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/FeCl₃ 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>
- Antov, M., Sciban, M., & Prodanovic, J. (2012). Evaluation of the efficiency of natural coagulant obtained by ultrafiltration of common bean seed extract in water turbidity removal. *Ecological Engineering*, 49, 48-52.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.08.015>
- 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>.
- Baptista, A. T. A., Silva, M. O., Gomes, R. G., Bergamasco, R., Vieira, M. F., Vieira, A. M. S. (2017). Protein fractionation of seeds of *Moringa oleifera* lam and its application in superficial water treatment. *Separation and Purification Technology*, 180, 114-124. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.02.040>
- Carrasquero, S., Martínez, M. F., Castro, M. G., López., Y, Díaz, A., Colina, G. (2019). Remoción de turbidez usando semillas de *Tamarindus indica* como coagulante en la potabilización de aguas. *Revista Bases de la Ciencia*, 4(1), 19-43. Recuperado de <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/1424/1826>
- 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., Bermúdez, S. & Estrada, A. M. (2014). Eficiencia de la semilla de *Moringa Oleífera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción + Limpia*, 9(1), 9-22. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v9n1/v9n1a01.pdf>
- Feria, J. J., Jove, F., & Mercado, T. (2020). Use of seawater and *Moringa Oleifera* seeds for turbidity removal in water treatment. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 13(1), 66-72. Recuperado de http://irphouse.com/ijert20/ijertv13n1_7b.pdf
- Feria, J. J., Rodiño, 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>
- Francis, J. K., & Lowe, C. A. (2000), *Bioecología de árboles Nativos y Exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales*. Río Piedras, Puerto Rico: USDA

- Ghebremichael, K.A., Gunaratna, K.R., Henriksson, H., Brumer, H., & Dalhammar, G. (2005). A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. *Water Research*, 39(11), 2338-2344. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.04.012>.
- 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. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835564>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC. (2010). *Procedimiento para el ensayo de coagulación- floculación en un recipiente con agua o método de jarras. Norma Técnica Colombiana 3903*. Bogotá, Colombia: Icontec.
- 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>
- Marathe, R.M., Annapure, U.S., Singhal, R.S., & Kulkarni, P.R. (2002). Gelling behaviour of polyose from tamarind kernel polysaccharide. *Food Hydrocolloids*, 16(5), 423-426. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00118-7](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00118-7)
- 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. <http://dx.doi.org/10.21620/ijfaas.2017249-55>
- Megersa, M., Beyene, A., Ambelu, A., Triest, L. (2017). Extraction of natural coagulants from *Maerua subcordata* and *Moringa stenopetala* for use in turbid water treatment. *Desalination and Water Treatment*, 59, 127-134. <https://doi.org/10.5004/dwt.2016.1733>
- Megersa, M., Gach, W., Beyene, A., Ambelu, A., Triest, L. (2019). Effect of salt solutions on coagulation performance of *Moringa stenopetala* and *Maerua subcordata* for turbid water treatment. *Separation and Purification Technology*, 221, 319-324. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.04.013>
- 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>.
- Oladoja, N.A. (2015). Headway on natural polymeric coagulants in water and wastewater treatment operations. *Journal of Water Process Engineering*, 6, 174-192. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.04.004>
- Pal, S., Ghosh, S., Sen, G., Jha, U., & Sing, R. P. (2009). Cationic tamarind kernel polysaccharide (Cat TKP): A novel polymeric flocculant for the treatment of textile industry wastewater. *International Journal of Biological Macromolecules*, 45(5), 518-523. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2009.08.004>
- PhaniMadhavi, T., & RajKumar, R. (2013). Utilisation of natural coagulant for reduction of turbidity from wastewater. *International Journal of ChemTech Research*, 5(3), 1119-1123. Recuperado de [http://www.sphinxesai.com/2013/vol_5_3/pdf/CT=04\(1119-1123\)IPACT.pdf](http://www.sphinxesai.com/2013/vol_5_3/pdf/CT=04(1119-1123)IPACT.pdf)
- Rahman, M. M., Sarker, P., Saha, B., Jakarin, N., Shammi, M., Uddin, M. K., Sikder, Md. T. (2014). Removal of Turbidity from the River Water using *Tamarindus indica* and *Litchi chinensis* Seeds as Natural Coagulant. *International Journal of Environmental Protection and Policy*, 2 (6-2), 13-20. <https://doi.org/10.11648/j.nano.s.2014020602.13>

- 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>
- Sanghi, R., Bhattacharya, B., Dixit, A., Singh, V. (2006). Ipomoea dasysperma seed gum: an effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions. *Journal of Environmental Management*, 81(1), 36-41. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.09.015>
- Sarker, P., Rahman, Md. M., N. J. Easha, Moniruzzaman, Md., & Uddin, Md. K. (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. Recuperado de <https://www.academia.edu/11322226/>
- Soler, W., Durango, H., & Soler, J. P. (2010). Control microbiano de agua de mar mediante microfiltración. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 28(2), 141- 148. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v28n2/v28n2a06.pdf>
- Solís, R., Laines, J., & Hernández, J. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(3), 229-236. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n3/v28n3a5.pdf>
- 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>