

Artículo Científico / Scientific Article

Coagulante orgánico a base de *Tamarindus indica* como tratamiento terciario en aguas residuales

Utilization of organic coagulant based on Tamarindus indica as tertiary treatment in wastewater

Eduardo Ariel Ruiz Murillo.¹ 

¹Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Dirección para recibir correspondencia: e_Ariel_ruiz2@hotmail.com

Recibido: 06/02/2023

Revisión: 05/08/2023

Aceptado: 04/09/2023

Resumen

La protección de los recursos hídricos a través de la implementación de procesos de tratamiento de las aguas residuales que son depositadas en estos se ha convertido en un gran reto para la región centroamericana, dado que cada vez es más notoria la eutrofización de los cuerpos de agua derivado de las descargas de agua residual con significativas concentraciones de nitrógeno y fósforo. Derivado de lo anterior, se ha estado realizando diversas investigaciones para proponer mecanismos locales que permitan reducir estos nutrientes, siendo uno de ellos la utilización de la semilla de *Tamarindus indica* debido a que su composición química se ha encontrado ácido glutámico lo cual según Campos y colaboradores (2003) son responsables de su capacidad de coagulación. En este estudio se analizó el desarrollo de un coagulante a base de la semilla de *Tamarindus indica* para evaluar su capacidad de reducción de fosfato-P y nitrato-N en aguas residuales proveniente del tratamiento secundario, obteniéndose una reducción máxima de $46.42 \pm 24.06\%$ para el fosfato-P y de $37.87 \pm 29.61\%$ para el nitrato-N, aplicando dosis de 120 y 95 miligramos de coagulante orgánico respectivamente. Por lo anterior la semilla de *Tamarindus indica* puede ser una opción para reducir el fosfato y nitrato cuando se requieran reducciones menores a 50%.

Palabras claves: nitratos, fosfatos, coagulación agua residual, nutrientes, eutrofización, dosis de coagulante.

Abstract

The protection of water resources through the implementation of wastewater treatment processes has become a significant challenge for the Central American region, due to the increasing eutrophication of water bodies caused by the discharge of wastewater with high concentrations of nitrogen and phosphorus. Consequently, various research efforts have been undertaken to propose local mechanisms to reduce these nutrients. One such method involves the use of *Tamarindus indica* seeds, as their chemical composition includes glutamic acid, which, according to Campos et al. (2003), is responsible for their coagulation capacity. This study analyzed the development of a coagulant based on *Tamarindus indica* seeds to evaluate its effectiveness in reducing phosphate-P and nitrate-N in secondary treated wastewater. The results showed a maximum reduction of $46.42 \pm 24.06\%$ for phosphate-P and $37.87 \pm 29.61\%$ for nitrate-N, using doses of 120 and 95 milligrams of organic coagulant, respectively. Therefore, *Tamarindus indica* seeds may be an option for reducing phosphate and nitrate when reductions of less than 50% are required.

Key words: nitrates, phosphates, wastewater coagulation, nutrients, eutrophication, coagulant dosage.



Introducción

El objetivo básico del tratamiento de aguas es proteger la salud y promover el bienestar de los individuos miembros de la sociedad.

El retorno de las aguas residuales a los ríos o lagos nos convierte en usuarios directos o indirectos de ellas y a medida que crece la población, aumenta la necesidad de proveer sistemas de tratamiento o de renovación que permitan eliminar los riesgos para la salud y minimizar los daños al ambiente.

En la concepción clásica, el problema de la población y el agua es que los ríos se consideran los receptores naturales de las aguas residuales, con su correspondiente carga de contaminantes y nutrientes. Las cargas o concentración de contaminantes y nutrientes constituyen el objeto por regular, mediante las leyes, decretos o normas, para establecer la calidad apropiada del agua, de acuerdo con los diferentes usos de esta.

En ecología el término eutrofización designa el enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema. El uso más extendido se refiere específicamente al aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático. Eutrofizado es aquel ecosistema o ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes.

El desarrollo de la biomasa en un ecosistema viene limitado, la mayoría de las veces, por la escasez de algunos elementos químicos, como el nitrógeno y el fósforo que los productores primarios necesitan para desarrollarse y a los que se les llama factores limitantes.

La contaminación puntual de las aguas, por efluentes urbanos, o difusa, por la contaminación agraria o atmosférica, puede aportar cantidades importantes de esos elementos limitantes. El resultado es el aumento de la producción primaria (fotosíntesis) con importantes consecuencias sobre la composición, estructura y dinámica del ecosistema.

Partiendo de esta premisa, el estudio toma importancia al determinar si un coagulante desarrollado a partir de semilla molida de *Tamarindus indica* puede lograr una eficiencia de remoción de nitratos y de fosfatos en un rango superior al 50% en aguas

residuales provenientes de un tratamiento secundario de una planta de tratamiento de aguas residuales, y con ello contribuir a reducir el aporte de nutrientes de actividades antropogénicas a cuerpos hídricos receptores de aguas residuales.

En ese sentido, como antecedente es de referir que los fosfatos y compuestos de fósforo se encuentran en las aguas naturales en pequeñas concentraciones.

Los compuestos de fósforo que se encuentran en las aguas residuales o se vierten directamente a las aguas superficiales provienen de restos de fertilizantes eliminados del suelo por escorrentía o si son regados de forma aérea por medio de aviones por el viento; excreciones humanas y animales; y detergentes o productos de limpieza.

Según Tchobanoglous (1985) la carga de fosfato total se compone de ortofosfatos, polifosfatos y compuestos de fósforo orgánico, siendo normalmente la proporción de ortofosfatos la más elevada.

Los compuestos del fósforo (particularmente el ortofosfato) se consideran importantes nutrientes de las plantas (Tchobanoglous, 1985), estos facilitan el crecimiento de algas en las aguas superficiales, pudiendo provocar la eutrofización de las aguas (Oyarzo Vargas, 2007).

Tan sólo un gramo de fosfato-P ($\text{PO}_4\text{-P}$) provoca el crecimiento de hasta 100 gramos de algas (Vargas & Romero, 2006). Si el crecimiento de algas es excesivo, cuando estas algas mueren, los procesos de descomposición pueden dar como resultado una alta demanda de oxígeno, agotando el oxígeno que presenta el agua.

En la reducción química del fósforo, los productos químicos que se han utilizado para eliminar el fósforo incluyen las sales metálicas y la cal (Oyarzo Vargas, 2007). Las sales metálicas más comunes son el cloruro de hierro y el sulfato de aluminio. También se utilizan entre otros el sulfato de hierro y el cloruro de hierro II, que se puede obtener como subproducto en la elaboración de aceros (aguas de decapado). El uso de polímeros combinados con sales de hierro y aluminio también ha proporcionado resultados satisfactorios. La cal no se emplea con mucha frecuencia, puesto que genera una gran producción de fangos.

En continuidad a la narrativa toma lugar las semillas de *Tamarindus indica* como coagulante, para lo cual Campos y colaboradores (2003) analizaron por cromatografía de líquidos de alto rendimiento (high-performance liquid chromatography-HPLC) los componentes de la semilla de la *Moringa oleífera*, también usada como coagulante natural y concluyeron que las sustancias responsables de la coagulación son aminoácidos solubles en medio acuoso y con carga formal negativa y positiva.

De acuerdo con Urbano Borja y colaboradores (2022), en el análisis realizado por ellos a la semilla de *Tamarindus indica* se obtuvo grupos funcionales de aminas y grupos carboxilo, en los cuales según el trabajo citado por ellos de Monge & Quijano (2002) se encuentran presentes el ácido glutámico y aspártico, los que según Campos y colaboradores (2003) se encuentran presentes en la *Moringa oleífera* y ellos los responsabilizan de su capacidad de coagulación ya que presentan cargas positivas y negativas que desestabilizan las partículas.

La utilización de la semilla de *Tamarindus indica*, como coagulante ha sido recientemente estudiada en varios países, dentro de los cuales se puede mencionar el estudio realizado por Álvarez Suazo y Aguilar Carrera (2017), quienes alcanzaron una eficiencia en remoción de turbiedad de 94.30% en el proceso de coagulación floculación para una fuente de suministro de agua potable, valor superior al alcanzado por Fernández Gutiérrez y Ruiz Huamán (2020) quienes realizaron su investigación con agua residual, alcanzando una eficiencia de remoción máxima de turbiedad de 42.33% utilizando la semilla de *Tamarindus indica* con una dosis de 10 mililitros por litro, mientras que al utilizar sulfato de aluminio como coagulante alcanzaron una remoción de 82.36% de turbiedad con una dosis de 15 mililitros por litro.

A pesar de estos resultados, otros estudios no han tenido resultados tan favorables, como el realizado por Effendi y colaboradores (2017) quienes aplicaron un coagulante a base de semilla de *Tamarindus indica* con dosis de 0.3 g/L, 0.4 g/L, y 0.5 g/L, alcanzando solo buenos resultados en la reducción de TSS ($24.32 \pm 9.74\%$) y en mercurio ($59.70 \pm 33.33\%$), sin embargo la DQO se incrementó en vez de reducirse, lo cual pudo darse por la presencia de materia orgánica e inorgánica de la semilla de tamarindo, lo cual ha sido reportado en

otros estudios como los realizados por Poerwanto y colaboradores (2015) y Ramadhani y Moesriati (2013) citados por Effendi y colaboradores (2017).

Como seres parte de esta sociedad, se tiene el deber moral y la obligación de cumplir con el Objetivo de Desarrollo Sostenible siete, el cual, entre otros asuntos, trata sobre el cuidado del recurso agua para la subsistencia de la especie humana. Por ello se espera que esta investigación contribuya a buscar mejores opciones en aras de la supervivencia humana como especie.

Bajo esta premisa, el estudio tiene como objetivo general establecer de forma experimental cual es la capacidad de reducción de fosfato-P y nitrato-N al utilizar coagulante fabricado a partir de semillas *Tamarindus indica* en aguas residuales de la salida del sedimentador secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales, de la universidad de San Carlos de Guatemala.

Materiales y método

El enfoque de la investigación radica en la modalidad cuantitativa de diseño científico experimental.

En lo que respecta a la característica de la población, esta se enmarca bajo la interpretación de la variable dependiente e independiente, donde la variable dependiente se define como la concentración de nitratos-N y fosfatos-P después del tratamiento y la variable independiente corresponde a la concentración de coagulante a base de *Tamarindus indica* utilizada en la investigación.

En este sentido, la investigación se centró en determinar la diferencia entre las concentraciones de fosfatos-P y nitratos-N obtenida al aplicar el coagulante a base de semilla de *Tamarindus indica*.

La variable independiente del estudio contó con seis (6) grados de manipulación ya que esta se modificó seis veces, respondiendo cada modificación a una concentración diferente de coagulante a base de semilla de *Tamarindus indica* (95, 100, 105, 110, 115, y 120 miligramos por litro).

Los criterios aplicados en este estudio fueron:

- Las semillas de tamarindo fueron adquiridas en un local comercial de Guatemala y trasladadas hasta el laboratorio donde se realizó el ensayo,
- Las concentraciones de fosfatos-P y nitratos-P iniciales (línea base) se determinó cuando las muestras de agua residual de la salida de la planta de tratamiento de agua residual se encontraban en el laboratorio.
- El coagulante orgánico a base de semillas de *Tamarindus indica* se obtuvo a partir de los cotiledones de las semillas.

En relación con el procedimiento utilizado para obtener el coagulante orgánico, se utilizaron los pasos siguientes:

- Se separaron las semillas de tamarindo de la pulpa, luego se retiró la membrana que cubre la semilla y esta última se golpeó ligeramente para someterla a un proceso de hidratación durante un período de 5 a 7 días.
- Se colocó en un vaso de precipitado 5 gramos del polvo de semilla de *Tamarindus indica* mezclándolo con agua destilada hasta completar 100 ml de solución.
- Se colocó la suspensión obtenida en la plancha de agitación elevando la temperatura hasta alcanzar 65°C, y obtener una mezcla viscosa que se dejó reposar a temperatura ambiente para separar la fase acuosa y el sedimento del fondo.
- Se recolectaron 23 muestras puntuales de agua residual de la salida del sedimentador secundario de la planta de tratamiento de agua residual de la Universidad de San Carlos de Guatemala de forma aleatoria durante los meses de marzo y abril.
- Se utilizaron 6 dosis de coagulante orgánico a base de semilla de *Tamarindus indica* (95, 100, 105, 110, 115, y 120 miligramos por litro) para evaluar el comportamiento de las concentraciones de nitratos y fosfatos inicial y final.
- Se utilizó la prueba de jarras para realizar el ensayo, colocando en cada jarra una dosis de coagulante orgánico.

Para definir el tamaño mínimo de la muestra del experimento se consideró el procedimiento de Ott y

Longnecker (2010) quienes utilizan la fórmula siguiente:

$$n = \frac{z_{\alpha/2}^2 \cdot S^2}{E^2} \quad (1)$$

Donde:

n = número de muestras.

z = es el área bajo la curva normal.

S = desviación estándar.

E = error por estimación.

α = nivel de significancia = 0.05

NC = nivel de confianza = 0.95

Para este cálculo, se asumió un 95% de nivel de confianza por lo que el nivel de significancia fue del 5%. El cálculo de las muestras se determinó de la siguiente manera: $\alpha = 0.05$, entonces $\frac{\alpha}{2} = 0.025$, esto porque hay dos colas o dos posibles hipótesis estadísticas (Ho, Ha).

Considerando el valor de $z = 1.96$, y dado que no se tenía un estudio previo para determinar la varianza de los datos, se asumió que la relación de la desviación estándar (S) con el error (E) era de 2 a 1, por lo que lo que $S^2/E^2 = 4$.

De lo anterior se obtuvo que $n = 4 \times (1.96)^2 = 15.366 \approx 16$ muestras. Considerando la disponibilidad de presupuesto se optó por realizar un total de 23 muestras tomadas de forma puntual y aleatoria durante los meses de marzo y abril.

Para calcular la variación de concentración inicial y final de fosfatos-P y nitratos-N se empleó la fórmula siguiente:

$$E_R = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

E_R , es la variación de la concentración del parámetro a medir en mg/l

S_o , Concentración inicial del parámetro a medir en mg/L.

S, Concentración final del parámetro a medir en mg/L.

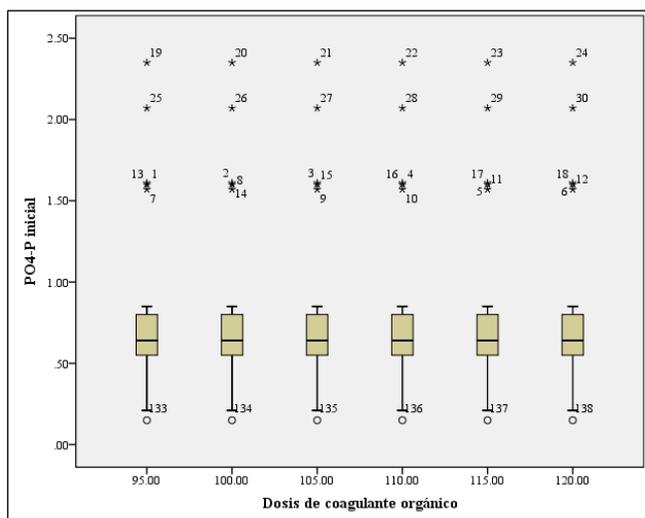
Valores positivos de la ecuación No. 2 indican remoción de la concentración del parámetro evaluado.

Luego de recolectar las muestras, estas se tabularon en una hoja de cálculo electrónica, asimismo los datos tabulados se ordenaron para realizar el análisis estadístico de normalidad y comparación de medias en el software SPSS Statistics 22 versión de prueba.

Resultados

En la figura 1 se observa el diagrama de caja y bigotes de los valores de fosfato-P inicial con las 6 concentraciones diferentes de coagulante orgánico utilizadas en el estudio.

Figura 1. Diagrama de caja y bigotes de los valores de fosfato-P inicial para las distintas dosis de coagulante orgánico utilizadas.



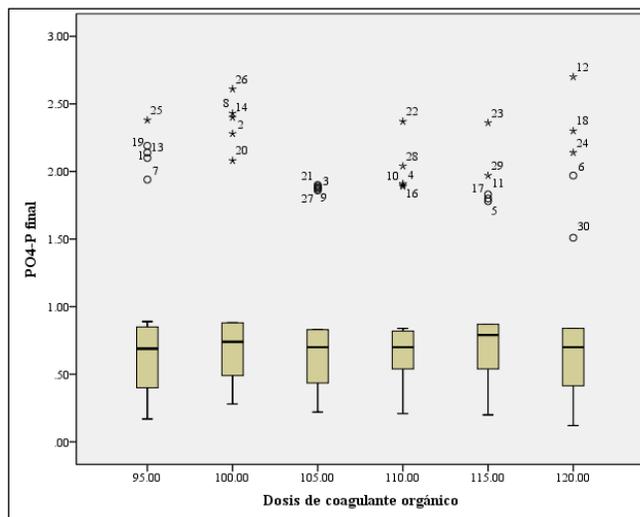
Cada uno de los datos obtenidos de fosfato-P inicial fueron agrupados por dosis de coagulante orgánico para aplicar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, obteniéndose en cada uno de estos 6 grupos una significancia menor a 5%, lo cual indica que los datos obtenidos no responden a una distribución normal.

En la figura 2 se observa el diagrama de caja y bigotes de los valores de fosfato-P final con las 6 concentraciones diferentes de coagulante orgánico utilizadas.

Al igual que con los datos de fosfato-P inicial, los datos de fosfato-P final fueron sometidos a la prueba de normalidad obteniéndose una significancia menor a

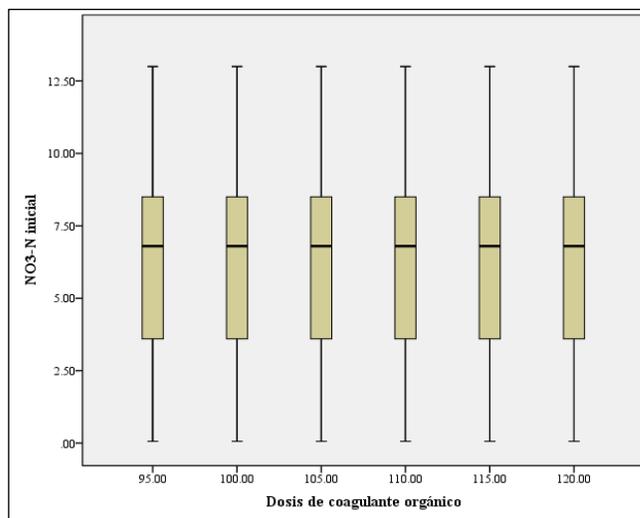
5%, con lo cual se confirma la hipótesis que los datos no presentan una distribución normal.

Figura 2. Diagrama de caja y bigotes de los valores de fosfato-P final para las distintas dosis de coagulante orgánico utilizadas.



En la figura 3 se observa el diagrama de caja y bigotes de los valores de nitrato-N inicial con las 6 concentraciones diferentes de coagulante orgánico utilizadas.

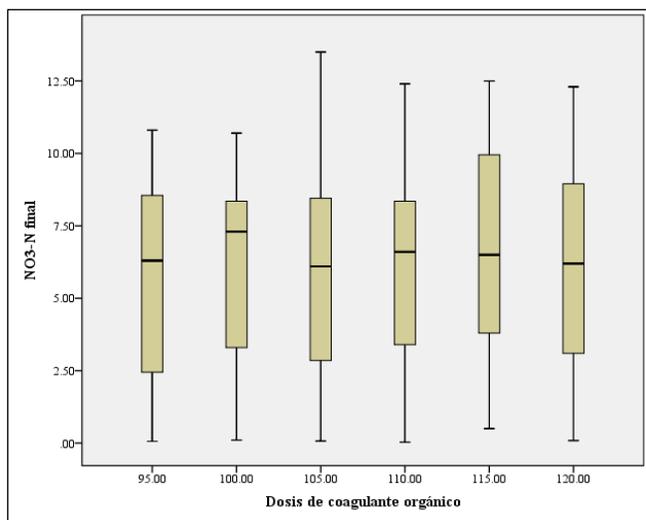
Figura 3. Diagrama de caja y bigotes de los valores de nitrato-N inicial para las distintas dosis de coagulante orgánico utilizadas.



Los datos de nitrato-N inicial se sometieron a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk obteniéndose significancias superiores a 5% para las 6 dosis de coagulante orgánico utilizadas por lo que estos datos si responden a una distribución normal.

En la figura 4 se observa el diagrama de caja y bigotes de los valores de nitrato-N final con las 6 concentraciones diferentes de coagulante orgánico utilizadas.

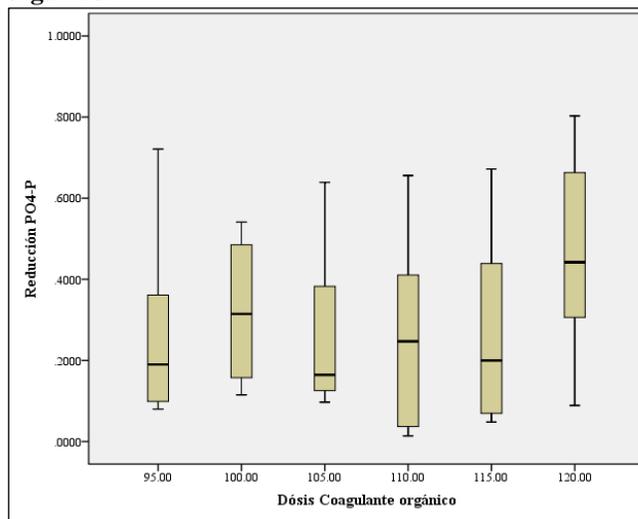
Figura 4. Diagrama de caja y bigotes de los valores de nitrato-N final para las distintas dosis de coagulante orgánico utilizadas.



Los datos de nitratos-N final se sometieron a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, obteniéndose significancias superiores a 5% en las 6 dosis de coagulante orgánico utilizada, por lo que los datos obtenidos para estas dosis muestran una distribución normal.

Con los resultados de fosfatos-P se calculó el porcentaje de reducción obtenido para cada dosis de coagulante orgánico utilizado, observando que en muchos de los casos el valor final de fosfato es superior al inicial, razón por la cual estos datos no se consideraron para el análisis de la investigación, resultando este proceso en los datos que se muestran en la gráfica mostrada en la figura 5.

Figura 5. Diagrama de caja y bigotes del porcentaje de reducción de fosfatos-P a distintas dosis de coagulante orgánico.



Los datos de porcentaje de reducción de fosfato-P para las diferentes concentraciones de coagulante orgánico fueron sometidos a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, obteniéndose significancias superiores a 5% en las concentraciones de coagulante orgánico de 100, 110, 115 y 120 miligramos por litro, por lo que estos datos si responden a una distribución normal. Las concentraciones de coagulante orgánico de 95 y 105 presentaron una significancia menor a 5%, por lo que su comportamiento no responde a una distribución normal.

La mediana para los porcentajes de reducción de fosfato-P en las dosis de coagulante orgánico que no cumplieron con la prueba de normalidad se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Mediana para los porcentajes de remoción de fosfato-P en las concentraciones de coagulante orgánico que no cumplieron con la prueba de normalidad.

Concentración (mg/L)	Mediana	
	% de reducción de fosfato-P (PO4-P)	
95	19.00	
105	16.45	

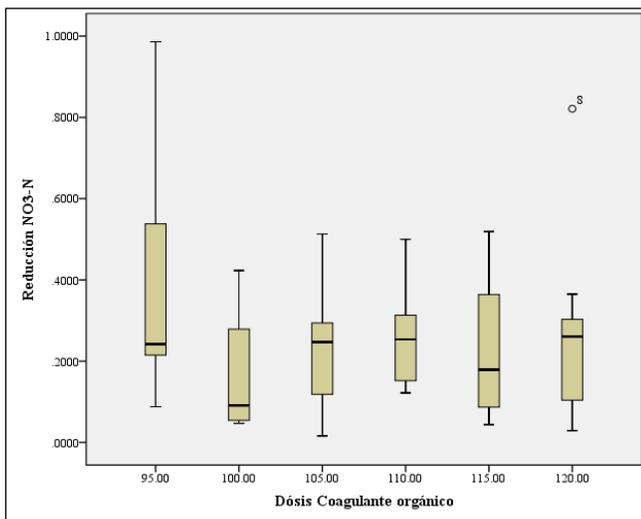
La media del porcentaje de reducción de fosfato para las concentraciones de 100, 110, 115 y 120 miligramos por litro considerando que estas sí cumplieron con la prueba de normalidad, se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Media para los porcentajes de remoción de fosfato-P a distintas concentraciones de coagulante orgánico.

Concentración (mg/L)	N	Media % de reducción de fosfato (PO4-P)
100	4	32.13±19.76
110	7	25.89±26.26
115	7	27.67±25.84
120	8	46.42±24.06

Con los resultados de nitrato-N se calculó el porcentaje de reducción para cada dosis de coagulante orgánico observándose para este parámetro que en muchos de los casos el valor final de nitrato-P fue superior a la concentración inicial, razón por la cual estos datos no se consideraron para el análisis de la investigación, resultando este proceso de depuración en los datos que se muestran en la gráfica mostrada en la figura 6.

Figura 6. Diagrama de caja y bigotes del porcentaje de reducción de nitrato-N a distintas dosis de coagulante orgánico.



Los datos de porcentaje de reducción de nitrato-N de las diferentes concentraciones de coagulante orgánico fueron sometidos a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, obteniéndose en las dosis de 95, 105, 110, y 115 miligramos por litro valores con significancia superior a 5%, por lo que estos datos si responden a una distribución normal.

La mediana para los porcentajes de reducción de nitrato-N en las dosis de coagulante orgánico que no

cumplieron con la prueba de normalidad se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Mediana para los porcentajes de remoción de nitrato-N en las concentraciones de coagulante orgánico que no cumplieron con la prueba de normalidad..

Concentración (mg/L)	Mediana % de reducción de nitrato-N (NO3-N)
100	9.10
120	26.05

La media del porcentaje de reducción de nitrato-N para las concentraciones de 95, 105, 110, y 115 miligramos por litro considerando que estas sí cumplieron con la prueba de normalidad, se muestra en la tabla 2.

Tabla 4. Media para los porcentajes de remoción de nitrato-N a distintas concentraciones de coagulante orgánico.

Concentración (mg/L)	N	Media % de reducción de nitrato-N (NO3-N)
95	9	37.87±29.61
105	11	23.10±14.92
110	10	26.42±11.79
115	9	24.20±17.11

Discusión de resultados

Los datos obtenidos de fosfatos-P en la salida de la planta de tratamiento de agua residual de la Universidad de San Carlos de Guatemala muestra un comportamiento que no responde a la prueba de normalidad realizada, comportamiento que puede deberse a la variabilidad del flujo que ingresa a la planta según los horarios en los cuales se tiene mayor o menor uso de los servicios sanitarios y/o aportaciones al drenaje del campus universitario. Otro factor que pudo definir esta variabilidad es el hecho de no haber captado las muestras objeto del estudio en el mismo horario.

El mismo comportamiento observado en el fosfato-P inicial se tuvo en el fosfato-P final (ver figura 2), donde la prueba de normalidad resulto con una significancia menor a 5% por lo que los datos obtenidos no responden a una distribución normal, situación que tiene relación con el comportamiento del fosfato-P inicial.

El porcentaje de reducción de fosfato más bajo fue de $25.89 \pm 26.26\%$ con la dosis de coagulante orgánico de 110 miligramos por litro (ver tabla 2) con una concentración de fosfato-P inicial con mediana de 0.61 miligramos por litro.

La reducción de fosfato-P más alta fue de $46.42 \pm 24.06\%$ con una dosis de coagulante de 120 miligramos por litro (ver tabla 2) con una concentración de fosfato-P inicial con mediana de 0.55 miligramos por litro.

En cuanto a los datos de nitrato-N inicial, se puede apreciar en la figura 3 que el valor promedio de la concentración inicial es similar en las 6 concentraciones de coagulante utilizado, mientras que en la figura 4 si se aprecian algunas diferencias en las concentraciones de nitrato-N final. La prueba de normalidad tanto para la concentración inicial como para la concentración final de nitrato-N presentó una significancia superior a 5% para todas las concentraciones de coagulante orgánico utilizado.

El porcentaje de reducción de nitrato-N más bajo fue de $24.20 \pm 17.11\%$ (ver tabla 4) con la dosis de coagulante orgánico de 115 miligramos por litro y una concentración media de 7.01 ± 3.29 miligramos por litro de nitrato-N inicial.

La reducción de nitrato-N más alta fue de $37.87 \pm 29.61\%$ (ver tabla 4) con una dosis de coagulante de 95 miligramos por litro y una concentración media de 7.22 ± 3.11 miligramos por litro de nitrato-N inicial.

Luego del análisis de ANNOVA y prueba post hoc de Scheffe realizado a las dosis de coagulante y remoción de fosfato-P y nitrato-N, se determinó que existe homogeneidad en los resultados, por lo que no existe diferencias significativas en los valores promedio de remoción en función de la dosis de coagulante, por lo que se puede indicar que las remociones obtenidas no varían significativamente al aplicarse dosis de coagulante en el rango de 95 a 120 miligramos por litro.

Es importante observar que las dosis donde se obtienen mejores resultados de reducción de fosfatos-P es de 120 miligramos por litro y para nitratos-N de 95 miligramos por litro, estando estas dosis en el rango que proponen Véliz y colaboradores (2015) quienes

recomiendan dosis de 100 miligramos por litro de coagulante cuando se realizan procesos de coagulación-floculación en aguas residuales.

Finalmente es importante indicar que con base en los resultados obtenidos en este estudio no se puede afirmar que el coagulante orgánico a base de semilla de *Tamarindus indica* pueda ser un sustituto de los coagulantes convencionales como lo afirma Gurdían López & Coto Campos (2011), dado que sus porcentajes de reducción se encuentran por debajo de 50% para fosfato-P y nitrato-N en agua residual.

A pesar de lo anterior, la reducción obtenida si pudiera apoyar en reducciones de nitrato y fosfato cuando estos requieran reducciones menores a 50%.

Conclusiones

El coagulante orgánico a base de semilla de *Tamarindus indica* puede alcanzar una reducción de fosfato de $46.42 \pm 24.06\%$ con una dosis de coagulante orgánico de 120 miligramos por litro y concentración inicial de 0.55 miligramos por litro, y una reducción de nitrato de $37.87 \pm 29.61\%$ con una dosis de coagulante orgánico de 95 miligramos por litro y una concentración inicial de 7.22 ± 3.11 miligramos por litro.

La semilla de *Tamarindus indica* puede ser una opción para reducir concentraciones de fosfato y nitratos en agua residual, cuando se requieran reducciones menores a un 50%.

Es importante continuar este tipo de estudios para evaluar la viabilidad económica para la aplicación de coagulantes orgánicos en el tratamiento de agua residual.

Agradecimientos

A la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, así como al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) por el apoyo dado durante la ejecución de esta investigación.

Financiamiento

Este trabajo fue financiado con recursos del autor y del Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD).

Conflicto de interés

El autor declara no tener ningún tipo de conflicto de interés que pudiera haber influido en esta investigación.

Como citar este documento

Ruiz Murillo. E.A. (2023). Coagulante orgánico a base de *Tamarindus indica* como tratamiento terciario en aguas residuales. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 18(2), Artículo e1541.

<https://doi.org/10.36829/08ASA.v18i2.1541>

Consentimiento informado

No aplica.

Contribuciones de autor

Conceptualización, trabajo de campo, tabulación, análisis y escritura: E.A.R.M.

Referencias

Álvarez Suazo, T.Y., & Aguilar Carrera, F.A.D. (2017). Uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante orgánico para la remoción de turbiedad y color en el agua para potabilización. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 12(1), 43-49.
<https://doi.org/10.36829/08ASA.v12i1.1428>

Campos, J., Colina, G., Fernández, N., Torres, G., Sulbarán, B., & Ojeda, G. (2003). Caracterización del agente coagulante activo de las semillas de *Moringa oleifera* mediante HPLC. *Revista de investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(2), 28-34.
https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/1455

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.
https://www.researchgate.net/publication/315809430_Tamarindus_indica_Seed_as_Natural_Coagulant_for_Traditional_Gold_Mining_Wastewater_Treatment

Fernández Gutiérrez, Y., & Ruiz Huamán, C. (2020). Tratamiento de agua residual mediante

aplicación de sulfato de aluminio y biopolímero natural de tamarindo. *Revista de investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(2), 28-34.
https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/1455

Gurdián López, R., & Coto Campos, 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.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835564>

Ott, R. & Longnecker, M. (2010). *An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis* (Sixth Edition ed.). Texas A&M University.

Oyarzo Vargas, M. J. (2007). Precipitación Química del Fósforo Mediante la Adición de Sulfato de Aluminio en Plantas de Tratamiento de Aguas. 12ª Región, Chile.

Tchobanoglous, G. (1985). *Ingeniería sanitaria: Redes de alcantarillado y bombeo de aguas residuales*. Barcelona: Labor.

Urbano Borja, M. R., Silvia Eugenia, U. G., Quiñonez Alvarado, M. D. P., Soto Velásquez, M. A., & Cevallos García, K. F. (2022). Evaluación de semillas de tamarindo como coagulante para disminuir la carga contaminante en el tratamiento de aguas, en relación a un coagulante comercial. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2), 577-596.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.1908

Vargas, M., & Romero, L. G. (2006). *Aprovechamiento de algunos coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica*. Tecnología en Marcha. Costa Rica.

Véliz E., Llanes, J.G., Fernández, L.A., & Bataller, M. (2015). Coagulación-floculación, filtración y ozonización de agua residual para reutilización en riego agrícola. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(1), 17-34.
<https://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/1147/1051>