

## Artículo Original

### Tratamiento de agua residual mediante aplicación de sulfafo de aluminio y biopolímero natural de tamarindo (*Tamarindus indica*)

#### WASTEWATER TREATMENT BY APPLYING ALUMINUM SULFAFO AND NATURAL TAMARIND BIOPOLYMER (*Tamarindus indica*)

Yurka Fernández-Gutiérrez§\*, Carmen Ruiz-Huamán§\*\*

Recibido: 24 noviembre de 2020 / Aceptado: 30 diciembre de 2020

§Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur- UNTELS, Perú

#### Resumen

Dentro del tratamiento primario de aguas residuales se encuentran dos procesos interrelacionados, la coagulación y la floculación, donde se busca disminuir la carga de la turbidez, para lo cual se emplean aditivos químicos denominados coagulantes. En razón al interés que existe de innovar nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, el objetivo de este trabajo fue determinar las dosis óptimas y comparar la eficiencia de remoción de la turbidez y variación en el nivel de pH; entre un coagulante químico sulfato de aluminio y un biocoagulante obtenido a partir de restos de tamarindo. Para evaluar los parámetros de turbidez y pH las muestras fueron sometidas al test de jarras para representar las etapas de coagulación y floculación. Se trabajaron tres repeticiones de las concentraciones empleadas 5, 10 y 15 ml, para ambos tratamientos. Los resultados obtenidos mostraron que la remoción de turbidez por el coagulante químico fue más eficiente en un margen del 40% respecto al tratamiento con biocoagulante. El tratamiento con biocoagulante con dosis de 10 ml reflejó mejor desempeño en contraste con otros del mismo grupo; mientras que, para el sulfato de aluminio, la dosis con mejores resultados fue la de 15 ml. El estudio muestra la importancia de presentar alternativas a los tratamientos convencionales con coagulantes químicos que afectan a largo plazo a nuestra salud, y que además conlleva a efectos secundarios dentro del mismo proceso de tratamiento de aguas.

*Palabras clave:* aguas residuales, biocoagulante, neutralización, remoción, sulfato de aluminio.

#### Abstract

Within the primary treatment of wastewater there are two interrelated processes, coagulation and flocculation, which seek to reduce the turbidity load, for which chemical additives called coagulants are used. Due to the interest that exists to innovate new technologies for wastewater treatment, the objective of this work was to determine the optimal doses and compare the efficiency of removal of turbidity and variation in the pH level; between a chemical coagulant aluminum sulfate and a biocoagulant obtained from tamarind remains. To evaluate the turbidity and pH parameters, the samples were subjected to the jar test to represent the coagulation and flocculation stages. Three repetitions of the concentrations used 5, 10 and 15 ml were worked, for both treatments. The results obtained showed that the removal of turbidity by the chemical coagulant was more efficient in a margin of 40% with respect to the treatment with biocoagulant. Biocoagulant treatment with a dose of 10 ml reflected better performance in contrast to others in the same group; while, for aluminum sulfate, the dose with the best results was 15 ml. The study shows the importance of presenting alternatives to conventional treatments with chemical coagulants that affect our health in the long term, and that also lead to side effects within the same water treatment process.

*Keywords:* sewage water; biocoagulant; neutralization; removal; aluminum sulfate.

## INTRODUCCIÓN

En el tratamiento primario de aguas residuales, se tiene un proceso denominado coagulación, cuyo propósito es la formación de pequeñas partículas y la desestabilización de suspensiones coloidales para favorecer la precipitación de sustancias inorgánicas, y posteriormente, eliminarlas por sedimentación o filtración (Cogollo, 2010); para dicho proceso es común el uso de coagulantes químicos, siendo el sulfato de aluminio el de mayor uso en los países en vías de desarrollo, por ser rentables, de fácil acceso y alta eficacia para favorecer la remoción de color, turbiedad y microorganismos patógenos (Restrepo, 2009).

Por otro lado, el proceso de la floculación incluye la agitación lenta de grumos coagulados, y su función es permitir que los flóculos recién formados se aglomeren para aumentar su tamaño y peso necesarios para facilitar el asentamiento (Andía, 2000).

A través de los años se ha investigado el uso de coagulantes poliméricos naturales derivados de diversas especies vegetales o animales. Esta idea se basa en el alto potencial de resiliencia que tiene la naturaleza (Muhammad *et al.*, 2015). Resalta entre ellos el almidón de yuca y de plátano (Solis *et al.*, 2012); el quitosano, biopolímero que muestra una alta remoción de partículas suspendidas en el agua de cola (Ruiz *et al.*, 2020), la aplicación de *Mangifera indica* (Carpio *et al.*, 2020) y *Cactus lefaria* (Hernández *et al.*, 2013).

También se incluye a la especie *Tamarindus indica*, que ha sido usada en aguas residuales tratadas (Gurdián y Coto, 2011). Es un árbol oriundo de los trópicos de Europa. Sin embargo, se ha extendido en las regiones tropicales y subtropicales, alcanzando la región del Caribe, América Central y el norte de la América del Sur (Guardado y Hernández, 2017). Perteneció al grupo de las Leguminosas (Leguminosae), a la subfamilia Caesalpinioideae, y a la tribu Detarieae, y género *Tamarindus* el cual es monotípico que contiene una única especie la cual es *Indica*. Sus propiedades como agente coagulante se deben a que sus semillas contienen almidón, proteína y aceite. La parte proteica de la semilla es rica en ácido glutámico (18%) y ácido aspártico (11.6%) según Gurdián y Coto (2010).

Dado a la importancia de innovar con nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, esta investigación tuvo como finalidad aportar evidencias en la efectividad del biocuagulante en base a *Tamarindus indica* comparado con el sulfato de aluminio en términos de nivel de remoción de turbidez y variación de pH, dentro del proceso coagulación-floculación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### ÁMBITO DE ESTUDIO

El estudio se efectuó utilizando aguas residuales domésticas extraídas del Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR), ubicado en la ciudad de Lima (12°00'51''S - 77°03'02''O), Perú

El trabajo experimental se realizó en las instalaciones del laboratorio de Química perteneciente a la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS), ubicado en Lima (12°12'48''S - 76°55'55''O) - Perú, durante los meses de marzo y mayo del 2019.

## TOMA DE MUESTRA DE AGUA RESIDUALES

Se realizó de acuerdo con los lineamientos establecidos en el “Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales” de la Oficina de Medio Ambiente del Ministerio de Construcción, Vivienda y Saneamiento (Oficina de Medio Ambiente [OMA], 2013).

## OBTENCIÓN DEL BIOCOAGULANTE DEL TAMARINDO (*Tamarindus indica*)

Se aplicó la metodología descrita por Guardado y Hernández García (2017), la cual fue ligeramente modificada, considerando lo que se señala a continuación.

Primero se realizó el despulpado y la hidratación, para ello, se retiró la pulpa de la semilla de forma manual, luego se sometió a un proceso de hidratación de 3 a 4 días (facilitando la extracción de los cotiledones). Una vez hidratada, se removió de forma manual la capa marrón hasta obtener los cotiledones de color blanco. Luego se procedió con el secado, la cual se llevó a cabo en una estufa, durante 12 horas a una temperatura de 50°C. Posteriormente se procedió con la molienda, que se hizo primero con empleo de un molino manual para la reducción de tamaño de las mismas y luego con un mortero y pilón. Paso seguido fue la maceración (extracción sólido-líquido) donde se agregaron 5 g del polvo de la semilla en la fase anterior en 100 ml de agua destilada (concentración al 5%) y se mantuvo en una agitación constante durante 20 minutos a una temperatura de 60 °C, se conservó en dicha temperatura para evitar la desnaturalización de las proteínas (Rubí *et al.*, 2012). Finalmente se dejó reposar a temperatura ambiente durante 20 min hasta observar 2 fases (una acuosa y otra viscosa). La fase acuosa se usó como floculante y la parte viscosa es el residuo que se desecha.

## PREPARACIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO

Se preparó una solución madre de sulfato de aluminio al 5% (en un litro de agua destilada se disolvieron 50 g de sulfato de aluminio), tomando como referencia a Hanan (2009). Esto debido a que, al realizar la comparación de remoción o variación de parámetros, se necesitó asegurar las concentraciones y verificando que las condiciones a evaluar sean las mismas.

## TEST DE JARRAS

La eficiencia de remoción y variación de los parámetros evaluados, de ambos coagulantes, se estableció a través de la prueba de jarras; método más utilizado a nivel de laboratorio para la simulación del proceso de coagulación-floculación (Cabrera *et al.*, 2009).

En base a los objetivos planteados se empleó 3 diferentes dosis 5,10 y 15 ml a la misma concentración de ambos coagulantes y a su vez 3 repeticiones de cada dosis. Se realizó por triplicado cada una de las concentraciones de acuerdo con los métodos establecidos en American Public Health Association (APHA, 2005). Se trabajó con 2 velocidades de mezclas; una rápida a 100 rpm durante 2 minutos, y la otra lenta a 30 rpm por 20 minutos, culminando con la fase de sedimentación, en la cual se dejó el agua en reposo por un lapso de 1 hora. Después de la sedimentación, se procedió a recolectar una muestra del sobrenadante de cada tratamiento, para la medición de los parámetros fisicoquímicos: turbidez y pH, según los métodos estándar de la APHA (2005).

## RESULTADOS

Al inicio del estudio, se caracterizó el agua residual y se determinó una turbidez de 226 NTU, temperatura de 26,3 °C y pH de 6,8 (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización inicial del agua residual

Parámetro	Valor	Unidad de medida
Turbidez	226	NTU
Temperatura	26.3	°C
pH	6.8	Unidades

Los resultados de turbidez del agua residual (Tabla 2) muestran que el tratamiento con sulfato de aluminio redujo mejor la turbidez del agua, respecto al tratamiento con biopolímeros, resultando más efectiva la dosis de 15 ml. Sin embargo, el tratamiento con biopolímeros mostró efecto, puesto que redujo la turbidez de 226 a 130,33 UNT (promedio del experimento con dosis de 10 ml).

Tabla 2. Valores de turbidez en la fase de postratamiento con biomolímico de *Tamarindus indica* y con sulfato de aluminio

Dosis	Tratamiento	Uso con biopolímico		Uso con sulfato de aluminio	
		Turbidez	Turbidez Promedio	Turbidez	Turbidez promedio
5 ml	T1	139,00		55,30	
	T2	132,00	136,67	54,30	48,47
	T3	139,00		35,80	
10 ml	T4	131,00		46,20	
	T5	133,00	130,33	59,10	57,43
	T6	127,00		67,00	
15 ml	T7	170,00		31,40	
	T8	180,00	172,00	39,50	39,87
	T9	166,00		48,70	

En relación al pH, También se observó una mayor reducción en el tratamiento con sulfato de aluminio, respect al tratamiento con biopolímico (Tabla 3).

Tabla 3. Medición de pH post tratamiento con sulfato de aluminio.

Dosis	Tratamiento	Aplicación de biopolímico		Aplicación de sulfato de aluminio	
		pH	pH promedio	pH	pH promedio
5 ml	T1	7,23		6,78	
	T2	7,17	7,18	6,74	6,73
	T3	7,13		6,66	
10 ml	T4	6,98		6,37	
	T5	7,02	7,02	6,32	6,31
	T6	7,06		6,25	
15 ml	T7	7,00		5,60	
	T8	7,05	7,04	5,64	5,92
	T9	7,08		6,52	

La eficiencia de remoción calculada a partir de los promedios de cada dosis y tratamiento, respecto a la muestra inicial muestran que la dosis más eficiente fue la de 10 ml para el caso del tratamiento con biopolímero y la de 15 ml para el caso de los tratamientos con sulfato de aluminio, tal como se puede apreciar en la Tabla 4.

El mayor porcentaje de remoción de turbidez para el tratamiento con biopolímero fue de 42,33% con una dosis de 10 ml. Mientras que para el tratamiento con sulfato de aluminio fue de 82,36% con una dosis de 15 ml (Tabla 4).

En relación a la variación del pH, los números negativos indican acidificación. Según los resultados obtenidos, la mayor variación de pH para el tratamiento con biopolímero fue de 5,43% con una dosis de 5 ml, con tendencia a la neutralización; mientras que, para el tratamiento con sulfato de aluminio fue de 12,57% con una dosis de 15 ml, con tendencia a la acidificación (Tabla 4).

Tabla 4. Eficiencia de remoción de turbidez con ambos coagulantes y Porcentaje de variación de pH con ambos coagulantes

Dosis	Eficiencia (%) de remoción: $(Ti-Tf/Ti)*100$		Variación (%) del pH: $((Tf-Ti)*100/7)$	
	Biopolímero	Sulfato de aluminio	Biopolímero	Sulfato de aluminio
5 ml	39,53	78,55	5,43	-1,00
10 ml	42,33	74,99	3,14	-7,00
15 ml	23,89	82,36	3,43	-12,57

Ti: Medida inicial; Tf: Promedio medida final

## DISCUSIÓN

Respecto a la turbidez, Guardado y Hernández (2017) obtuvieron un valor de remoción de turbidez del 55,3% con una dosis de 8 ml/l de biocoagulante, bajo un pH de operación óptimo de 5, y con 20 min de tiempo de agitación; mientras que en este estudio se obtuvieron niveles de remoción del 42,44% con una dosis de 10 ml/l. En relación a estos, los resultados dependen mucho de los valores iniciales de la muestra a tratar. Por otro lado, Gurdián y Coto (2010) alcanzaron una remoción de turbidez superior al 20%, el cual se asemeja a este estudio ya que se logró como menor nivel de remoción de 23,89%, y uno mayor de 42,33%.

A pesar de los resultados favorecedores para el coagulante químico, en cuanto a la turbidez, se debe tener en cuenta que, para su uso, las cantidades van a variar de acuerdo al pH de la muestra a tratar. Cuya consecuencia es la acidificación del agua en tratamiento, como se pudo corroborar. Por consiguiente, en lo sucesivo se debiera usar más químico para neutralizar la muestra, antes de su reutilización o vertido en cuerpos naturales. Además de generar lodos como parte residual, que debiera También precindir su tratamiento como residuo peligroso, antes de ser dispuestos.

Cabe mencionar también que en la extracción del biopolímero (biocoagulante) en base a *Tamarindus indica*, no se requirió el uso de más sustancias químicas. Lo cual lo hace una alternativa mucho más amigable con el ambiente. Del mismo modo, se recomienda un estudio más detallado para combinar diversos coagulantes orgánicos, que puedan obtener mejores resultados de remoción de los parámetros estudiados o incluso otros igualmente importantes. También sería de interés ampliar investigaciones relacionadas con la mezcla o combinación del coagulante biológico a base de polímeros de tamarindo y otros coagulantes

químicos naturales; que, combinados en diferentes proporciones, pueden ofrecer mayores niveles de remoción. De esta manera, se ofrecería alternativas para reducir el uso de coagulantes químicos.

Finalmente, se recomienda llevar a cabo un estudio económico para analizar la viabilidad de producir coagulantes orgánicos a base de tamarindo, dado que en el país actualmente estos restos orgánicos, no son aprovechados.

### Referencias

- Andía, C., Y. (2000). Tratamiento de agua: coagulación y floculación. *Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico*. Lima-Perú: SEDAPAL.  
<http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>
- American Public Health Association (2005). Standart methods for examination of water and wastewater (21st ed). Washington, D.C: Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF).
- Cabrera, N., Hernández, A., Simancas, E., Ayala, J., & Almanza, K. (2017). Coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* en el tratamiento de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. *Scientia Et Technica* 22 (1): 109-112
- Carpio, M., Ruiz, C., Esenarro, D., Rodriguez, C. Garcia, Godilia. & Breña, J. (2020). Natural coagulant based on mango seeds (*Mangifera indica L*) in removal of turbidity of domestic wastewater. *International Journal of Advanced Science and Technology* 29(7)2726-2734.  
<http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/18144>
- Cogollo, F., M. (2010). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del Hidroxicloruro de Aluminio. *Revista DYNA*, 78(165), 18-27.  
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636>
- Guardado-Pacheco, O., A. & Hernández-García, A., M. (2017). Evaluación de la efectividad de floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales provenientes de lavandería industrial, utilizando el Cladodio de Nopal (*Opuntia ficus-indica*) y la semilla de Tamarindo (*Tamarindus indica*) (tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, San Salvador.  
<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15099/>
- Gurdián, R., & Coto Campos, J., M. (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://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/issue/view/20](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/issue/view/20)
- Hanan, A. (2009). Upgrading of Wastewater Treatment Plant by the Use of Coagulation Flocculation Process. *Ain Shams Journal of Civil Engineering Egypt* 2:57-63.
- 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(2), 91-96.  
<https://www.researchgate.net/publication/341056924>
- Solis, R., Laines, J., R. & Hernández, J., R. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(3), 229-236.  
<https://www.redalyc.org/pdf/370/37023183005.pdf>
- Muhammad, I., Abdulsalam, S., Abdulkarim, A., & Bello, A. (2015). Watermelon Seed as a Potential  
*Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo* (2020) 6(2):28-34

Coagulant for Water Treatment. *Global Journal of Researches in Engineering: Chemical Engineering*, 15(1) 1-29. [https://globaljournals.org/GJRE\\_Volume15/2-Water-Melon-Seed.pdf](https://globaljournals.org/GJRE_Volume15/2-Water-Melon-Seed.pdf)

Oficina de Medio Ambiente (2013). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. Recuperado de <http://ww3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/anexo-rm-273-2013-vivienda.pdf>

Ruiz, C., Esenarro, D., Rodriguez, C., Garcia, G., Veliz, M. & Brena, J. (2020). Chitosanin the removal of tailwater from the fishing industry to obtain food incipient. *International Journal of Advanced Science and Technology* 29(7). 4951-4960. <http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/23546>

Restrepo, Osorno, H., A. (2009). *Evaluación del proceso coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Sede Medellin Facultad de Minas. <https://core.ac.uk/download/pdf/11051313.pdf>

Rubí, M., Martínez, D., Carrasquero, S., Rincón, A., Vargas, L., & Delgado, M. (2012). Eficiencia de las semillas de *Hymenaea courbaril* como coagulante natural en el proceso de clarificación del agua. *REDIELUZ*, 2(2), 123-128. <https://www.researchgate.net/publication/275970440>