

DOI: 10.24850/j-tyca-2024-04-02

Artículos

Evaluación de la eficacia del tamarindo como ayudante de coagulación de sulfato de aluminio para la remoción de turbidez en aguas para consumo humano

Evaluation of the efficacy of tamarind as a coagulation assistant of aluminum sulfate for the removal of turbidity in water for human consumption

Luz Melynca Villanueva-Barragan¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2248-7422>

Luz Clarita Quispe-Chahuara², ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0429-9938>

Juan Eduardo Vigo-Rivera³, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6597-7336>

¹Universidad Peruana Unión, San Román, Perú, luz.vb@upeu.edu.pe

²Universidad Peruana Unión, San Román, Perú, clarita.qc@upeu.edu.pe

³Universidad Peruana Unión, San Román, Perú, eduardo.vigo@upeu.edu.pe

Autora para correspondencia: Luz Melynca Villanueva-Barragan, luz.vb@upeu.edu.pe



Resumen

La coagulación es un proceso esencial en el tratamiento de aguas, por lo que requiere la adición de floculantes químicos. El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de la pepa, cáscara y pulpa del tamarindo, como ayudante de coagulación de sulfato de aluminio para la remoción de turbidez en aguas para consumo humano. Se aplicó un diseño experimental completamente al azar 6Ax6B de dos factores: factor A: seis tratamientos; factor B: concentraciones aplicadas (correspondientes a las seis dosis) con tres repeticiones por tratamiento; se aplicó la metodología Cepis con pruebas de jarras (300 y 40 rpm en mezcla rápida y floculación) para evaluar la turbidez en seis concentraciones (25, 30, 35, 40, 45 y 50 mg/l), aplicado en muestras simuladas de 100 UNT, encontrando que el tratamiento 4 presentó un porcentaje de remoción (96.6%) reduciendo a una turbidez de 3.40 UNTM; por otro lado, los tratamientos 1, 2, 5 y 6 presentaron una diferencia no significativa, con porcentajes de remoción promedio de 57.12, 57.02, 61.70 y 67.73%, respectivamente; el tratamiento 3 presentó el valor más bajo de remoción. El tratamiento 4 presentó un valor superior a los demás tratamientos. Por esa razón, la pepa de tamarindo es eficiente en la potabilización de las aguas como ayudante de coagulación de sulfato de aluminio.

Palabras clave: coagulantes, remoción, sulfato, tamarindo, turbidez, UNT.

Abstract

Coagulation is an essential process in water treatment, which requires the addition of chemical flocculants. The objective of this research was to evaluate the efficiency of the tamarind seed, peel and pulp as coagulation aid of aluminum sulfate for the removal of turbidity in water for human consumption. A completely randomized 6Ax6B experimental design with two factors was applied: Factor A: six treatments; Factor B: Applied concentrations (corresponding to the six doses) with three repetitions per treatment, the Cepis methodology was applied with jar tests (300 and 40 rpm in rapid mixing and flocculation) to evaluate turbidity in six concentrations (25, 30, 35, 40, 45 and 50 mg/l) applied in simulated samples of 100 UNT, finding that treatment 4 presented a removal percentage (96.6%) reducing to a turbidity of 3.40 UNT; on the other hand, treatments 1, 2, 5 and 6 presented a non-significant difference, with average removal percentages of 57.12, 57.02, 61.70 and 67.73%, respectively; while treatment 3 presented the lowest removal value. Treatment 4 presented a higher value than the other treatments, for that reason the tamarind seed is efficient in the purification of water as an aid in the coagulation of aluminum sulfate.

Keywords: Coagulants, removal, sulfate, tamarind, turbidity, NTU.

Recibido: 02/05/2022

Aceptado: 15/12/2022

Publicado Online: 28/12/2022

Introducción

La contaminación de las aguas en el Perú es un problema amplio debido a las descargas indiscriminadas de desechos municipales no tratados, los sistemas de drenajes deficientes, el crecimiento poblacional y la erosión de las orillas de los ríos (Asrafuzzaman, Fakhruddin, & Hossain, 2011). La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2012) menciona que las sustancias químicas como el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ que se emplean en el tratamiento físico químico del agua pueden ser tóxicas si son ingeridas en altas concentraciones, generando enfermedades como Alzheimer y cáncer, así como el hecho de que afectan considerablemente al pH del agua tratada. Además, presentan efectos nocivos al medio ambiente debido a que tienen muy baja biodegradabilidad en el suelo y agua, formando aglomerados de residuos de lodos que no pueden ser utilizados como biosólidos (Gurdián & Coto-Campos, 2011; Miller, Fugate, Craver, Smith, & Zimmerman, 2008; Vijayaraghavan, Sivakumar, & Vimal, 2011; Yin, 2010).

Los polímeros naturales son métodos alternativos para la eliminación de la turbidez del agua potable, pues son aceptables con el medio ambiente y no generan problemas de salud (Ramirez & Jaramillo, 2014; Sciban, Klasnja, Antov, & Skrbic, 2009). Además, son económicamente viables debido a que pueden ser cultivados de forma local (Sanghi, Bhattacharya, Dixit, & Singh, 2006); estos métodos se basan en el alto potencial de resiliencia que tiene la naturaleza (Muhammad, Abdulsalam, Abdulkarim, & Bello, 2015).

El tamarindo es originario del continente africano y fue introducido a América por los españoles. Pertenece a la familia de las leguminosas. Asimismo, el tamarindo es una fruta versátil, que se puede utilizar para muchos propósitos (Acevedo, Montero, & Tirado, 2014; Ahmed, Ramaswamy, & Sashidar, 2007; Tirado, Acevedo, & Guzmán, 2014). Además, en la extracción del biopolímero no necesita el uso de sustancias químicas, lo cual lo hace una alternativa mucho más amigable con el ambiente (Fernández & Ruiz, 2020).

El tamarindo es reconocido en la tradición popular por sus propiedades antioxidantes, posiblemente relacionadas con la presencia de compuestos bioactivos, sobre todo compuestos polifenólicos (Ferreira *et al.*, 2021; Páez-Peñuñuri, Mercado-Mercado, Blancas-Benitez, Villegas-González, & Sáyago-Ayerdi, 2016). La fracción proteica de la pepa de tamarindo es rica en ácido glutámico (18%), ácido aspártico (11.6%), glicina y leucina (Pérez, 2016); el ácido glutámico y aspártico son los responsables de la coagulación (Campos-Jubisay, Fernández, Torres, Sulbaran, & Ojeda, 2003; Gurdián & Coto-Campos, 2011). La pulpa del tamarindo constituye un 40% de la vaina; presenta distintos tipos de ácidos orgánicos libres, como el ácido málico, cítrico y tartárico; también se han identificado sales de tartrato ácido potásico y ácido nicotínico en menor proporción (Prakash-Saingh *et al.*, 2014; Ramirez-Ramirez, 2019). La cáscara del tamarindo contiene mucílagos, que son polisacáridos heterogéneos, compuestos fenólicos, y tiene actividad antioxidante, por lo que al ponerse en contacto con el agua se abultan y forman soluciones altamente viscosas que pueden permitir la aglomeración de partículas (Agrawal, Mishra, Bajpai, Pal, & Pandey, 2006; Mishra & Bajpai, 2006).

Hernández, Mendoza, Salamanca, Fuentes y Caldera (2013) evaluaron la efectividad de las semillas de tamarindo (pepa) en aguas con alta turbidez inicial de 100, 200, 300 y 350 UNT. Aplicaron cinco concentraciones al 61.83, 74.19, 86.56, 98.93 y 111.3 ppm. Obtuvieron una sola dosis óptima de 61.83 ppm a 100 y 200 UNT, 86.56 ppm a 300 UNT y 74.19 ppm a 350 UNT. Obteniendo porcentajes de remoción para la turbidez entre 72.45 y 89.09% antes de la filtración; y entre 98.78 y 99.71% después del proceso de filtración.

Irigoín-Sánchez y Monteza-Chamaya (2020) determinaron el efecto del pH y la adición de diferentes concentraciones de pepa de tamarindo en la remoción de materia orgánica con turbidez inicial de 278 UNT; realizaron análisis de turbidez, materia orgánica, DBO5 y conductividad; aplicaron concentraciones de 200 ppm, 400 ppm y 600 ppm; con ayuda del método de prueba de jarras, las concentraciones que usaron evidenciaron un mayor porcentaje de remoción, como se refleja en los parámetros: DBO5 con 57.83%, turbidez con 43.46% y materia orgánica (DQO) con 34.68%, respectivamente. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de la pepa, cáscara y pulpa del tamarindo como ayudante de coagulación de sulfato de aluminio para la remoción de turbidez en aguas para consumo humano.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el laboratorio de Monitoreo Ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca, ubicada en la salida a Arequipa km. 6 Chullunquiani de la provincia de San Román-Puno, Perú, siguiendo los siguientes procedimientos, tal como se muestra en la Figura 1.

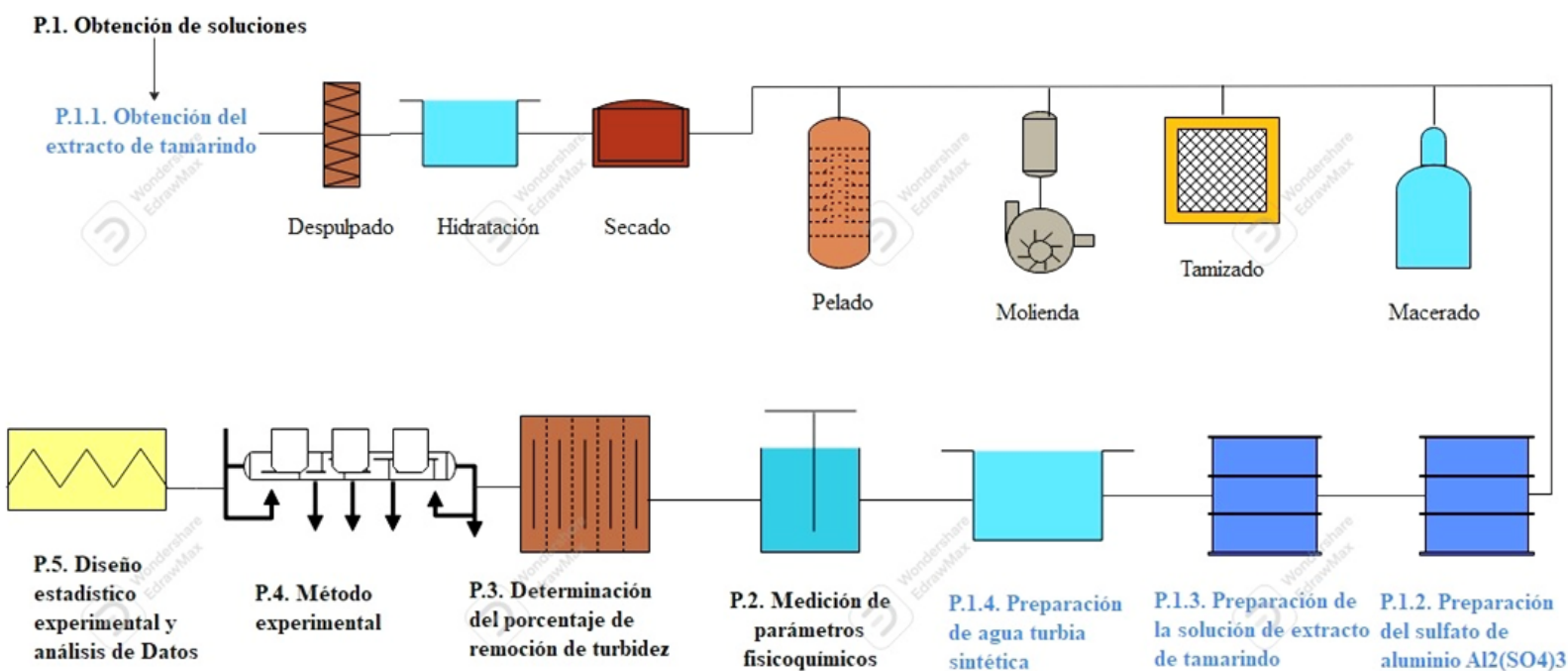


Figura 1. Proceso metodológico.

Obtención de soluciones

Procedimiento para la obtención del extracto de tamarindo de acuerdo con la metodología planteada por Uzodinma, Osagiede y Chikwendu (2020): se emplearon las operaciones unitarias de despulpado, pelado, secado, molido, tamizado.

El tamarindo que se usó en la parte experimental procedía de la selva de Puno, Perú. Se separaron las semillas de la pulpa y cáscara; luego se retiró la membrana que cubre la pepa, y esta última se colocó en agua hirviendo a una temperatura de ebullición durante 10 minutos; después se sometió a un proceso de hidratación por dos días.

Una vez hidratada, la capa marrón se removió de modo manual hasta obtener la pepa de color blanco, para luego secarla en una estufa de marca BINDER a 65 °C durante 12 horas. Después se trituró, por separado, la pepa, pulpa y cáscara con la ayuda de un mortero hasta obtener un polvo de cada una; el polvo se tamizó en una malla de 200 micras.

Preparación del sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: la solución madre se preparó siguiendo lo detallado en la guía del Cepis (2004). Se diluyeron 100 g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ en 1 000 ml de agua destilada, obteniendo una solución de 10%. Para el ensayo de prueba de jarras se prepararon 10 mg/l de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ en 100 mg/l de agua destilada, alcanzando una solución de 1%. A partir de la preparación de la solución se procedió a calcular la cantidad de coagulante que se aplicó a cada jarra mediante la Ecuación (1) de balance de masas (Cánepa-de-Vargas, 2004):

$$P = D \times Q = q \times C \quad (1)$$

Donde:

P = peso de coagulante por aplicar

D = dosis de coagulante (mg/l)

Q = capacidad de la jarra (l)

q = volumen de solución por aplicar (mL)

C = concentración de la solución en mg/l

Preparación de la solución de extracto de tamarindo: para esta fase, los procedimientos se adaptaron de Álvarez-Suazo (2017), y Carrasquero, Martinez, Castro, Díaz y Colina (2019). Se pesaron 5 g del polvo de pepa, cáscara y pulpa por separado en una balanza analítica de marca SARTORIUS; se diluyó en 100 mg/l de agua destilada. Se colocó dicha suspensión en una plancha de agitación de marca VELP a una temperatura de 65 °C, obteniendo así una mezcla viscosa que se dejó reposar a temperatura ambiente por una hora separándose en dos fases: una acuosa y una viscosa, obteniendo el sobrenadante (fase acuosa) de la suspensión coagulante. A partir de esta solución se obtuvo por dilución las tres concentraciones por separado que serán aplicadas en aguas de alta turbidez.

Preparación de agua turbia sintética: el agua turbia sintética se preparó mediante la adición de 50 g de arcilla comercial en cinco litros de agua corriente, agitando durante 30 minutos para lograr una dispersión uniforme de las partículas de arcilla; se dejó hidratar durante 1 hora a temperatura ambiente. De la solución arcilla preparada, denominada

“solución patrón”, se realizaron diluciones con agua corriente hasta obtener una turbidez deseada de 100 UNT.

Medición de parámetros fisicoquímicos

Una vez obtenido el coagulante natural se llevaron a cabo los ensayos relativos a los parámetros fisicoquímicos (turbidez, pH y temperatura) para las muestras de agua en estudio. Para la determinación de la turbidez se usó el turbidímetro de marca VELP; para la medición del pH y temperatura se utilizó un pH-metro HI5521-01 marca Hanna SL.

Determinación del porcentaje de remoción de turbidez

El porcentaje de remoción de turbidez se calculó mediante la Ecuación (2) establecida por Bravo-Guerrero y Gutiérrez-López (2016), y Cánepa-de-Vargas (2004):

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

Donde:

T_i = valores de turbidez inicial en UNT antes de aplicar los coagulantes propuestos

T_f = valores de turbidez final en UNT después de aplicar los coagulantes propuestos en las concentraciones establecidas

Método experimental

Para el estudio se empleó el equipo de prueba de jarras marca VELD modelo JLT6 serie 35387. Se aplicaron seis tratamientos: tratamiento 1 (pepa de tamarindo); tratamiento 2 (cáscara de tamarindo); tratamiento 3 (pulpa de tamarindo); tratamiento 4 (pepa + $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$); tratamiento 5 (cáscara + $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), y tratamiento 6 (pulpa + $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Se trabajó con seis concentraciones experimentales de 25, 30, 35, 40, 45 y 50 mg/l para el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y los componentes del tamarindo. Las condiciones de trabajo en el equipo de test de jarras fueron de 300 rpm durante 5 s para la mezcla rápida, y 40 rpm por 20 minutos para la formación de los flóculos, dejando sedimentar por 20 minutos. Después se procedió a extraer a través de un sifón la muestra sobrenadante a los 6 cm de profundidad en las jarras de un litro, descartando los 10 mg/l de muestra inicial para obtener 30 mg/l de sobrenadante y proceder a determinar los parámetros de monitoreo pH y turbidez final (Cánepa-de-Vargas, 2004).

Diseño estadístico experimental y análisis de datos

Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar 6A x 6B de 2 factores: factor A: seis tratamientos; factor B: seis concentraciones de soluciones; con tres repeticiones, haciendo un total de 108 unidades experimentales (Tabla 1). Los tratamientos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) con nivel de confianza del 95%, $p\text{-value} < 0.05$ para observar si existían o no diferencias estadísticas significativas. Se aplicó

la prueba de C de Dunnett para un análisis de medias y seleccionar el tratamiento con el mejor promedio de remoción mediante el programa estadístico SPSS versión 25 y Excel.

Tabla 1. Diseño experimental para los ensayos de laboratorio.

Tratamientos																		
Dosis (mg/l)	Tratamiento 1 (pepa de tamarindo)			Tratamiento 2 (cáscara de tamarindo)			Tratamiento 3 (pulpa de tamarindo)			Tratamiento 4 (pepa + Al ₂ (SO ₄) ₃)			Tratamiento 5 (cáscara + Al ₂ (SO ₄) ₃)			Tratamiento 6 (pulpa + Al ₂ (SO ₄) ₃)		
D1-25	T1-D1-R1	T1-D1-R2	T1-D1-R3	T2-D1-R1	T2-D1-R2	T2-D1-R3	T3-D1-R1	T3-D1-R2	T3-D1-R3	T4-D1-R1	T4-D1-R2	T4-D1-R3	T5-D1-R1	T5-D1-R2	T5-D1-R3	T6-D1-R1	T6-D1-R2	T6-D1-R3
D2-30	T1-D2-R1	T1-D2-R2	T1-D2-R3	T2-D2-R1	T2-D2-R2	T2-D2-R3	T3-D2-R1	T3-D2-R2	T3-D2-R3	T4-D2-R1	T4-D2-R2	T4-D2-R3	T5-D2-R1	T5-D2-R2	T5-D2-R3	T6-D2-R1	T6-D2-R2	T6-D2-R3
D3-35	T1-D3-R1	T1-D3-R2	T1-D3-R3	T2-D3-R1	T2-D3-R2	T2-D3-R3	T3-D3-R1	T3-D3-R2	T3-D3-R3	T4-D3-R1	T4-D3-R2	T4-D3-R3	T5-D3-R1	T5-D3-R2	T5-D3-R3	T6-D3-R1	T6-D3-R2	T6-D3-R3
D4-40	T1-D4-R1	T1-D4-R2	T1-D4-R3	T2-D4-R1	T2-D4-R2	T2-D4-R3	T3-D4-R1	T3-D4-R2	T3-D4-R3	T4-D4-R1	T4-D4-R2	T4-D4-R3	T5-D4-R1	T5-D4-R2	T5-D4-R3	T6-D4-R1	T6-D4-R2	T6-D4-R3
D5-45	T1-D5-R1	T1-D5-R2	T1-D5-R3	T2-D5-R1	T2-D5-R2	T2-D5-R3	T3-D5-R1	T3-D5-R2	T3-D5-R3	T4-D5-R1	T4-D5-R2	T4-D5-R3	T5-D5-R1	T5-D5-R2	T5-D5-R3	T6-D5-R1	T6-D5-R2	T6-D5-R3
D6-50	T1-D6-R1	T1-D6-R2	T1-D6-R3	T2-D6-R1	T2-D6-R2	T2-D6-R3	T3-D6-R1	T3-D6-R2	T3-D6-R3	T4-D6-R1	T4-D6-R2	T4-D6-R3	T5-D6-R1	T5-D6-R2	T5-D6-R3	T6-D6-R1	T6-D6-R2	T6-D6-R3

Resultados

A continuación se describen los resultados del proceso de combinación del sulfato de aluminio y el coagulante a base de la pepa, cáscara y pulpa de tamarindo. Las cantidades del coagulante se dosificaron a partir de los 25, 30, 35, 40, 45 y 50 mg/l. Los parámetros de turbidez se midieron antes y después del tratamiento. La Tabla 2 muestra los resultados de los valores experimentales de los tratamientos obtenidos, donde se desarrollaron un total de 108 unidades experimentales a una turbidez

inicial de 100 UNT. El tratamiento 4 (pepa + $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) resultó ser el más eficiente, llegando a obtener valores de remoción menores a 1.4 UNT aplicando una dosis de 50 mg/l; por lo tanto, la presencia de los aminoácidos glutámico y aspártico en la pepa de tamarindo permiten desestabilizar y coagular el agua.

Tabla 2. Valores finales de los tratamientos experimentales.

Dosis (mg/l)	Tratamiento 1 (pepa de tamarindo)			Tratamiento 2 (cáscara de tamarindo)			Tratamiento 3 (pulpa de tamarindo)			Tratamiento 4 (pepa + Al ₂ (SO ₄) ₃)			Tratamiento 5 (cáscara + Al ₂ (SO ₄) ₃)			Tratamiento 6 (pulpa + Al ₂ (SO ₄) ₃)		
Turbidez (1.4 UNT)																		
D1-25	46.1	40.8	42.8	45.7	42.2	42.4	70.9	63.1	69.4	6.8	7.6	6.4	43.7	50.8	55.8	41.7	34.6	56.7
D2-30	49.9	37.4	40.4	43.1	42.6	41.8	72.0	63.0	68.4	5.9	4.1	4.3	35.1	45.9	53.2	30.0	30.7	43.2
D3-35	45.1	37.6	41.9	43.7	42.1	39.7	72.9	64.6	68.1	2.8	3.1	3.3	34.0	52.8	49.9	36.9	27.2	55.7
D4-40	45.0	38.6	42.2	42.1	47.7	40.4	68.7	64.5	68.3	2.3	2.3	2.4	23.8	29.8	50.3	31.5	23.0	33.0
D5-45	52.4	35.9	45.0	42.8	42.0	42.6	71.6	61.4	67.2	1.6	1.8	1.8	29.1	39.2	36.0	24.1	24.2	23.0
D6-50	53.2	36.4	43.2	43.3	47.9	39.9	76.2	66.1	68.6	1.8	1.5	1.4	18.7	17.0	24.3	19.3	20.2	25.9
pH (6.22)																		
D1-25	6.76	6.91	7.21	6.79	6.91	6.71	7.46	7.43	7.57	7.04	6.91	6.98	6.92	6.83	6.96	6.82	6.75	7.22
D2-30	6.82	6.22	7.08	6.60	6.87	6.80	7.46	7.16	7.25	7.06	7.01	6.90	6.92	7.90	6.77	6.79	6.70	7.30
D3-35	6.80	7.20	7.03	6.65	6.76	6.79	7.40	7.12	7.13	6.97	6.85	6.87	6.51	6.88	6.73	6.73	6.70	6.59
D4-40	6.75	7.51	7.08	6.66	6.70	6.71	7.39	7.09	7.10	6.90	6.87	6.88	6.77	6.90	6.53	6.80	6.72	6.25
D5-45	6.84	7.31	7.05	6.63	6.75	6.75	7.69	7.13	7.02	6.93	6.79	6.85	6.81	6.80	6.73	6.73	6.70	6.57
D6-50	6.84	7.25	7.15	6.70	6.78	6.79	7.34	7.09	7.10	6.94	6.83	6.83	6.47	6.37	6.55	6.69	6.94	6.45

Respecto a los valores de pH, los resultados no varían de forma notable debido a que el pH inicial fue de 7.19; después de aplicar una dosis de 30 mg/l se obtuvo un cambio menor a 6.22, que según la Norma de Calidad Ambiental está dentro del valor máximo permisible de 6.5 a 8.5 (Minsa, 2011).

La Figura 2 muestra que el tratamiento 4 presentó mayor eficiencia, alcanzando a reducir la turbidez de 100 UNT a 3.40 UNT de esta forma cumple con el parámetro establecido dentro del LMP de agua (5UNT) (D.S. Nº 031-2010 - S.A.); los demás tratamientos no cumplen, pero sí son significativos.

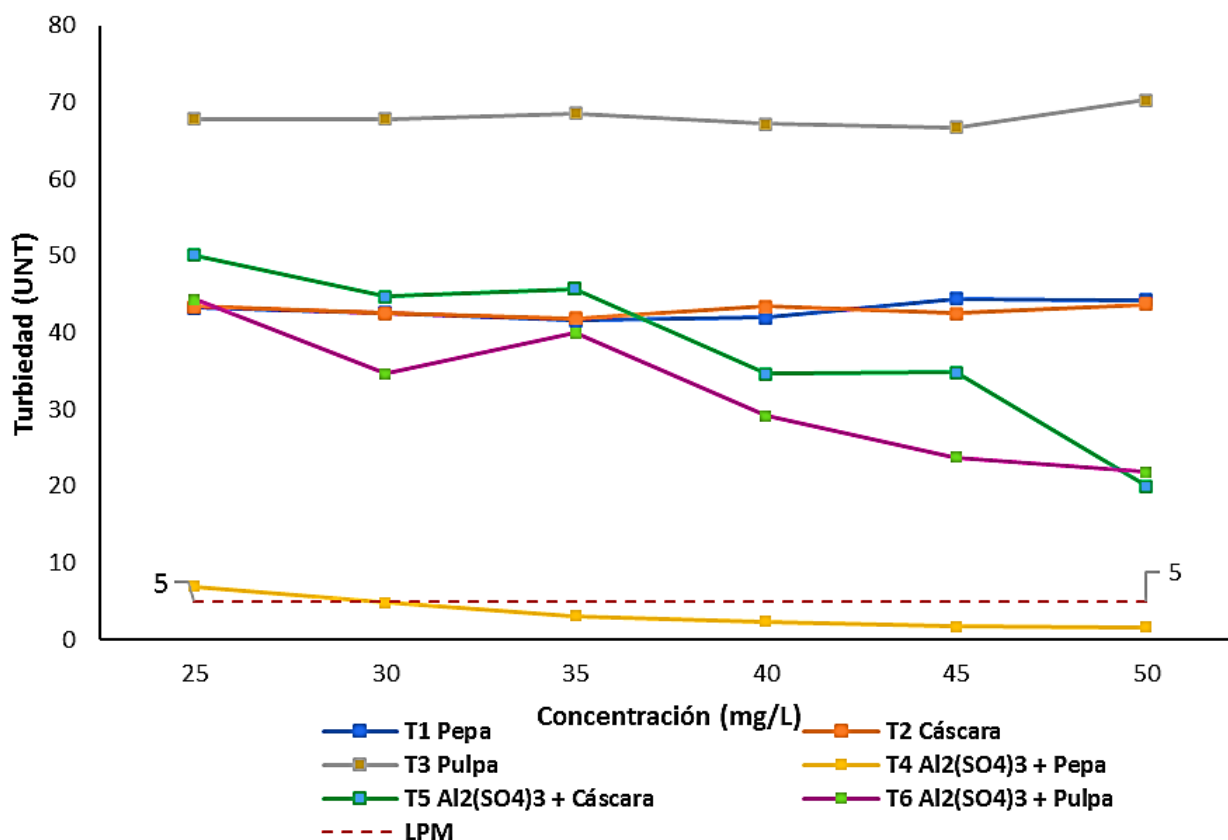


Figura 2. Remoción de turbidez final UNT.

En efecto, los análisis estadísticos muestran que el tratamiento 4 reporta la más alta eficiencia ($p = 0.00 < 0.05$ prueba ANVA), y presentó diferencia significativa en comparación con los otros tratamientos ($p < 0.05$, prueba de C de Dunnett), tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Turbidez final UNT del agua aplicando la pepa, cáscara y pulpa de tamarindo luego del proceso de coagulación-floculación.

Tratamiento	Media	Desviación	Error estándar de la media
Pepa	42.88 b	0.73052	0.29824
Cáscara	42.98 b	1.20899	0.49357
Pulpa	68.05 c	1.25976	0.51430
Pepa-sulfato	3.40 a	2.08038	0.84931
Cáscara-sulfato	38.30 b	10.90248	4.45092
Pulpa-sulfato	32.27 b	8.93480	3.64762
Total	37.98	20.08826	3.34804

Nota: letras iguales indican diferencias no significativas ($p < 0.05$, prueba de C de Dunnett).

A continuación se describen los resultados del porcentaje de remoción de turbidez después del proceso de coagulación-floculación. La Figura 3 muestra que el tratamiento 4 alcanzó un porcentaje de remoción de turbidez del 96.60%, seguido por el tratamiento 6, con un porcentaje del 67.73%.

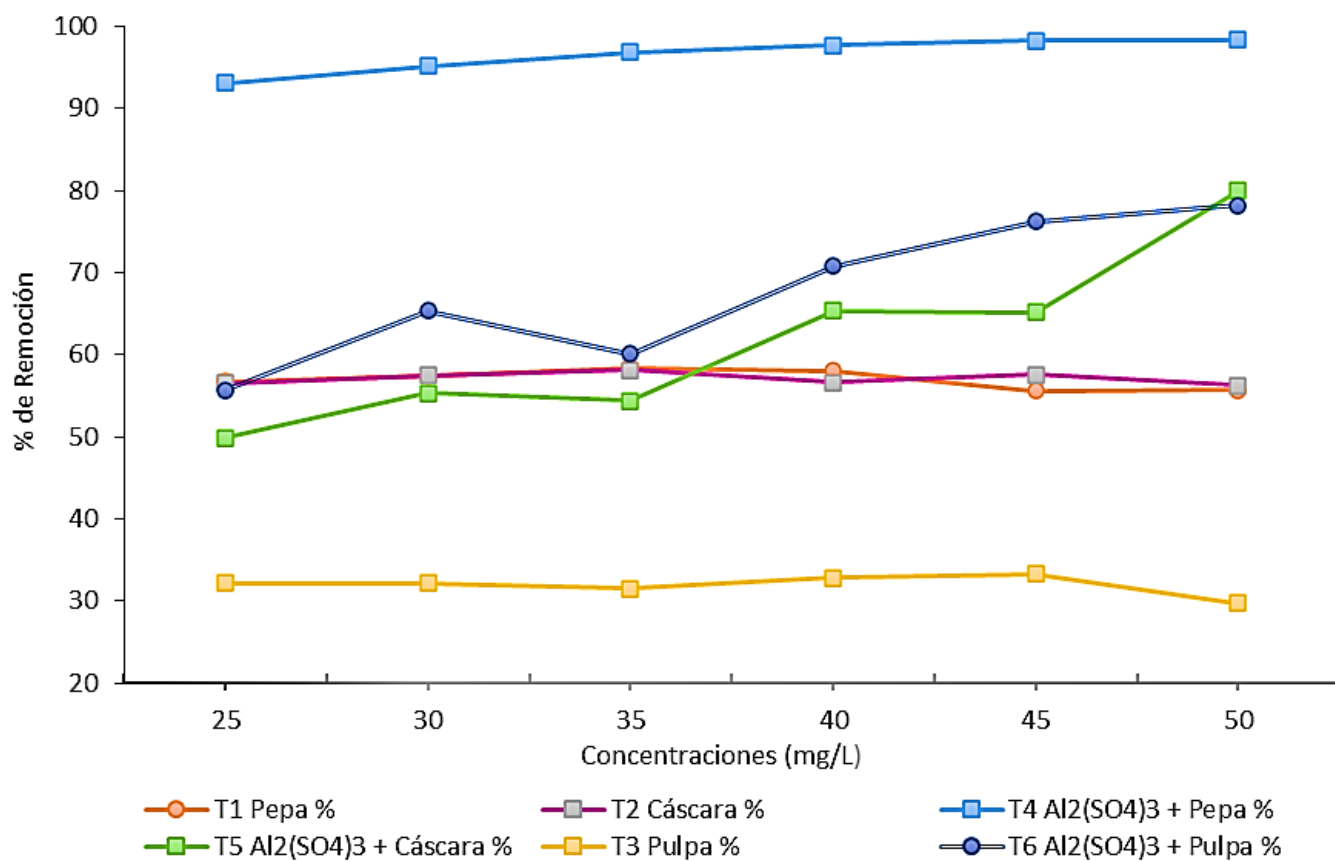


Figura 3. Porcentaje de la eficiencia de coagulante natural y sintético.

La Tabla 4 muestra que el tratamiento 4 presenta diferencia significativa en comparación con los otros tratamientos ($p < 0.05$, prueba de C de Dunnett). Asimismo, se determinó que los tratamientos 1, 2, 5 y 6 presentaron una diferencia no significativa entre sí, con porcentajes de remoción promedio de 57.12, 57.02, 61.70 y 67.73%, respectivamente.

Tabla 4. Porcentaje de remoción de turbidez con nivel de confianza 95%, p -value < 0.05.

Tratamiento	Media	Desviación	Error estándar de la media
Pepa	57.12 b	1.2090	0.4936
Cáscara	57.02 b	0.7305	0.2982
Pulpa	31.95 c	1.2598	0.5143
Pepa-sulfato	96.60 a	2.0804	0.8493
Cáscara-sulfato	61.70 b	10.9025	4.4509
Pulpa-sulfato	67.73 b	8.9348	3.6476
Total	62.10	20.0883	3.3480

Nota: letras iguales indican diferencias no significativas ($p < 0.05$, prueba de C de Dunnett).

Discusión

Para llevar a cabo la eficacia en la actividad coagulante es necesario tener en cuenta algunos parámetros fisicoquímicos como son principalmente dosis del agente coagulante, concentración de contaminantes y pH. Sin embargo, gracias a que son componentes derivados de fuentes naturales no afectan tanto como lo hacen los coagulantes inorgánicos. Los resultados de la presente investigación muestran la eficacia de la aplicación del coagulante a base de tamarindo (pepa, cáscara y pulpa) en la remoción de turbidez, y demostraron que los aminoácidos compuestos en la pepa como "el ácido glutámico y ácido aspártico son los responsables

de la coagulación, ya que éstas tienen cargas negativas y positivas que al entrar en contacto con el agua desestabilizan las cargas de los coloides del agua” (Campos-Jubisay *et al.*, 2003).

El tratamiento 4 llegó a reducir la turbidez hasta con un 96.60% de efectividad, consiguiendo una disminución promedio de turbiedad de 3.40 UNT, los cuales se encuentran dentro del LMP de agua (5UNT) (D.S. 031-2010- SA). Al comparar los resultados con Carrasquero *et al.* (2019), éstos son superiores, pues el autor consiguió un porcentaje de remoción de 97.6% al usar la pepa de tamarindo como ayudante de sulfato de aluminio. Asimismo, se obtuvo un 67.73% de remoción superior a lo adquirido por Guardado y Hernández (2017), quienes lograron un 55.33% de remoción de turbidez al usar extracto de pepa de tamarindo. Sin embargo, el tratamiento 1 reportó un porcentaje de remoción de 57.12%, igual a lo reportado por Salgado-Lozano (2018), donde también el coagulante no logró alterar el pH y el resultado es similar a los de nuestra investigación, dado que el pH se mantiene constante. A su vez, estos resultados son superiores a los adquiridos por Cruz-Ramirez (2019), y Obregón-Isasi y Quispe-Caballero (2020), quienes consiguieron un porcentaje de remoción de 89.4 y 80%, respectivamente, al emplear la pepa de tamarindo como ayudante del $Al_2(SO_4)_3$.

Respecto al nivel de pH (7.19) en el agua, las concentraciones aplicadas de coagulante a base de compuestos de tamarindo no causan un efecto significativo. Para todos los casos se dispersan dentro de los rangos establecidos por los LMP y ECAS (6.5-8.5), lo cual coincide con los resultados de Cruz-Ventura (2020), ya que el pH fue constante entre 6.8 y 7.6. Por otra parte, el estudio de Camacho-Oviedo, Campos-Núñez,

Mercado-Martinez, Cubillán-Acosta y Castellar-Ortega (2020) mostró un pH inicial de 7.54 en el agua que sometió al proceso de coagulación, e indica que es importante destacar que si el valor inicial de pH está dentro del rango óptimo (6.5-8.0) no hay necesidad de un ajuste de pH.

Los valores finales de pH en nuestro estudio muestran disminuciones respecto al pH inicial (Tabla 1); se ve un descenso más lento. Este comportamiento también fue experimentado por Alvarado-Carmona (2011), porque en su trabajo de uso de las cáscaras de papa como coagulante natural en el tratamiento de aguas mostró descensos de pH de 7.76 a 7.46.

Los porcentajes de remoción calculados en cuanto a los coagulantes naturales en base a la pepa, cáscara y pulpa de tamarindo indican que el tratamiento 1 fue el más eficiente, con un porcentaje de remoción de 57.12%; en cuanto a la combinación entre sulfato de aluminio con los coagulantes naturales (pepa, cáscara y pulpa), el más eficiente fue el tratamiento 4, alcanzando un porcentaje de remoción de 96.6%, seguido por el tratamiento 6, con un porcentaje de 67.73%; finalmente, el tratamiento 5, con porcentaje de 61.70%; el tratamiento 3 reportó valor ineficiente. Esto se debe a que las sustancias responsables de la coagulación en la pepa de tamarindo son el ácido glutámico y aspártico. Según Campos-Jubisay *et al.* (2003), y Mathews, Van Holde y Ahern (2003), el ácido glutámico y aspártico son solubles en agua y poseen grupos con cargas formales negativa y positiva que les permiten desestabilizar y coagular las partículas del agua residual, mientras que la cáscara de tamarindo efectivamente contiene grupos funcionales que pudieran estar relacionados con la adsorción, y la pulpa contiene ácido

tartárico y es soluble en agua, pero no tiene la capacidad de formar flocs (Teixeira-Tarley & Zezzi-Arruda, 2004); a partir de estos coagulantes y floculantes de origen vegetal se han informado reducciones de turbidez de al menos 96.6%, como se observa en la Figura 3.

Conclusiones

Los resultados de la presente investigación mostraron la eficiencia de la aplicación del coagulante a base de compuestos de tamarindo (pepa, cáscara y pulpa) en la remoción de turbidez. El tratamiento 4 presentó un valor superior a los demás tratamientos, con un porcentaje de remoción de 96.6%, confirmando que el coagulante utilizado puede constituir una alternativa eficaz para reducir la turbidez en aguas para consumo humano, siendo eficiente en la potabilización de las aguas como ayudante de los floculantes químicos. Técnicamente es factible en zonas rurales, ya que la elaboración es empírica y se necesitan de 10 a 12 semillas de tamarindo para tratar un litro de agua, lo cual permite que el uso de este coagulante obtenga viabilidad para su aplicación en las plantas de tratamiento de aguas superficiales para consumo humano.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Peruana Unión por la formación académica impartida y por habernos permitido hacer uso de sus instalaciones para la realización de esta investigación. También se agradece al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (Pronabec).

Referencias

- Acevedo, D., Montero, P., & Tirado, D. (2014). Propiedades reológicas de la pulpa edulcorada de Tamarindo. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17, 495-501. DOI: 10.31910/rudca.v17.n2.2014.419
- Agrawal, M., Mishra, A., Bajpai, M., Pal, S., & Pandey, S. (2006). Tamarindus indica mucilage and its acrilamide - grafted copolymer as flocculants for removal of dyes. *Colloid and Polymer Science*, 285(2), 161-168. DOI:10.1007/s00396-006-1539-y
- Ahmed, J., Ramaswamy, H., & Sashidar, K. (2007). Rheological characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice concentrates. *Science Direct*, 40(2). DOI: 10.1016/j.lwt.2005.11.002
- Alvarado-Carmona, L. (2011). Uso de las cáscaras de papa como coagulante natural en el tratamiento de aguas potables de la planta "La Diana". *Revista Especializada en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales*. Recuperado de <https://bit.ly/3jMXXib>
- Álvarez-Suazo, T. (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). DOI: 10.36829/08ASA.v12i1.1428
- Asrafuzzaman, M., Fakhruddin, A. N. M., & Hossain, M. A. (2011). Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *ISRN Microbiology*, 2011, 1-7. DOI: 10.5402/2011/632189

- Bravo-Guerrero, M., & Gutiérrez-López, J. (2016). *Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del río Pollo en Otuzco empleando semillas de Caesalpinia spinosa (Tara)* (tesis de grado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3275>
- Camacho-Oviedo, H., Campos-Núñez, D., Mercado-Martínez, I., Cubillán-Acosta, N., & Castellar-Ortega, G. (2020). Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum* L) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 8(1). DOI: 10.17081/invinno.8.1.3572
- Campos-Jubisay, C., Fernández, N., Torres, G., Sulbaran, B., & Ojeda, G. (2003). Caracterización del agente coagulante activo de la semillas de Moringa oleífera mediante HPLC. *Boletín de Centro de Investigaciones Biológicas*, 37(1), 1-9. Recuperado de <https://bit.ly/3L4FvWS>
- Cánepa-de-Vargas, L. (2004). Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. En: OPS (ed.). *Tratamiento de agua para consumo humano* (pp. 217-270). Recuperado de https://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo2/ma1_tomo2_cap11.pdf
- Carrasquero, S., Martínez, M., Castro, G., Díaz, A., & Colina, G. (2019). Remoción de turbidez usando semilla de *Tamarindus indica* como coagulante en la potabilización de aguas. *Revista Bases de la Ciencia*, 4(1). DOI: 10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i1.1424

- Cepis, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2004). Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. En: *Tratamiento de agua para consumo humano*. Tomo I (pp. 217-275). Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Cruz-Ramirez, M. (2019). *Dosis óptima del coagulante de semillas de Tamarindus indica para mejorar la calidad del agua del río Requena-Lambayeque* (tesis de grado). Universidad César Vallejo. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35163>
- Cruz-Ventura, E. (2020). *Evaluación de la semilla Tamarindus indica "tamarindo", como coagulante natural, en el tratamiento fisicoquímico, en las aguas residuales domésticas, en el distrito de Soritor, 2019* (tesis de grado). Universidad Nacional de San Martín Tarapoto. Recuperado de <https://bit.ly/3vLIVA6>
- Fernández, Y., & Ruiz, C. (2020). Tratamiento de agua residual mediante aplicación de sulfato de aluminio y biopolímero natural de tamarindo (*Tamarindus indica*). *Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(2), 28-34. DOI: 10.17162/rictd.v6i2.1455
- Ferreira, W., Osvaldo, R., Pinheiro, G., Silva, L., Souza, D., & De Sousa, K. (2021). Modelado y propiedades termodinámicas del secado de tamarindo (*Tamarindus indica* L.). *Agriambi*, 25. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n1p37-43

- Guardado, P. O., & Hernández, A. (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)*. San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Gurdián, 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), 1-9. Recuperado de <https://bit.ly/34XW4v8>
- 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, 2-7.
- Irigoín-Sánchez, A., & Monteza-Chamaya, P. E. (2020). *Remoción de la concentración de materia orgánica en aguas residuales del camal de José Leonardo Ortiz usando semillas de tamarindo (tamarindus indica)*. Lambayeque, Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Mathews, C., Van Holde, K. E., & Ahern, K. G. (2003). *Bioquímica* (3rd ed.). Madrid, España: Pearson-Addison Wesley.
- Miller, S., Fugate, E., Craver, V., Smith, J., & Zimmerman, J. (2008). Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia* spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment. *Environmental Sciences & Technology*, 42(12), 1-6. DOI: 10.1021/es7025054

- Minsa, Ministerio de Salud. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. DS N° 031-2010-SA*. Recuperado de http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf
- Mishra, A., & Bajpai, M. (2006). Removal of sulphate and phosphate from aqueous solutions using a food grade polysaccharide as flocculant. *Colloid & Polymer Science*, 284, 443-448. DOI: 10.1007/s00396-005-1399-x
- Muhammad, I., Abdulsalam, S., Abdulkarim, A., & Bello, A. A. (2015). Water melon seed as a potential coagulant for water treatment. *Global Journal of Researches in Engineering*, 15(1). Recuperado de https://globaljournals.org/GJRE_Volume15/2-Water-Melon-Seed.pdf
- Obregón-Isasi, D., & Quispe-Caballero, K. (2020). *Eficiencia de las semillas de tamarindo y tara en la remoción de parámetros fisicoquímicos en aguas del río Chillón - 2020*. Trujillo, Perú: Universidad César Vallejo.
- OMS, Organización Mundial de la Salud. (2012). *Informe acerca de los progresos sobre el agua potable y saneamiento*. Recuperado de https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/household_water/es/
- Páez-Peñuñuri, M. E., Mercado-Mercado, G., Blancas-Benitez, F. J., Villegas-González, R. B., & Sáyo-Ayerdi, S. G. (2016). Compuestos bioactivos y propiedades saludables del tamarindo (*Tamarindus indica* L.). *Biotecnia*, 18(1), 1-12. DOI: 10.18633/bt.v18i1.241

- Pérez, F. (2016). *Establecimiento de cultivo in vitro de Tamarindus indica L. para la obtención de antioxidantes*. Toluca, México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Prakash-Saingh, J., Kumar-Singh, S., Chandel, R., Pandey, G., Prakash, A., & Chidambaram, R. (Mar-Apr, 2014). Optimisation of common acidulant (fruitaric acids) to enhance organoleptic quality and shelf life of fruit juices. *International Journal of Pharmacological and Science Review Research*, 25(1), 269-273.
- Ramirez, H., & Jaramillo, Y. (2014). Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 139-151.
- Ramirez-Ramirez, L. (2019). *Evaluación de semillas de tamarindo (Tamarindus indica) como coagulante para disminuir la carga contaminante en el tratamiento de aguas, en relación a un coagulante comercial*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana-Sede Cuenca.
- Salgado-Lozano, M. (2018). *Evaluación de las semillas de tamarindo (Tamarindus indica) en la remoción de turbidez de aguas superficiales*. Sincelejo, Colombia: Universidad de Sucre.
- 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. DOI: 10.1016/j.jenvman.2005.09.015

- Sciban, M., Klasnja, M., Antov, M., & Skrbic, B. (2009). Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology*, 100(24), 6639-6643. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.06.047
- Teixeira-Tarley, C. R., & Zezzi-Arruda, M. A. (2004). Biosorption of heavy metals using rice milling by-products. Characterisation and application for removal of metals from aqueous effluents. *Chemosphere*, 54(7), 987-995. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2003.09
- Tirado, D., Acevedo, D., & Guzmán, L. (2014). Deshidratación osmótica de pulpa de tamarindo (*Tamarindus indica* L.): influencia de la temperatura y la concentración. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 17(1), 123-130. DOI: 10.31910/rudca.v17.n1.2014.947
- Uzodinma, E. O., Osagiede, E. G., & Chikwendu, J. N. (2020). Effect of different processing methods on chemical and pasting properties of Tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed flours. *Agro-Science*, 19(1). DOI: 10.4314/as.v19i1.1
- Vijayaraghavan, G., Sivakumar, T., & Vimal, A. (2011). Application of plant based coagulants for waste water treatment. *Advanced Engineering Research and Studies*, 1(1), 1-2. Recuperado de <https://bit.ly/3NcTrH5>
- Yin, C. Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45(9), 1437-1444. DOI: 10.1016/j.procbio.2010.05.030