

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

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

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Por:

Luz Melynca Villanueva Barragan

Luz Clarita Quispe Chahuara

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, mayo de 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

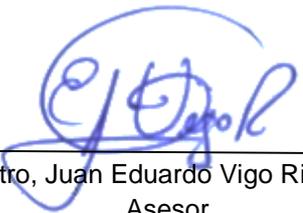
Juan Eduardo Vigo Rivera, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL TAMARINDO COMO AYUDANTE DE COAGULACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ EN AGUAS PARA CONSUMO HUMANO”** constituye la memoria que presentan las Bachilleres **Luz Melynca Villanueva Barragan** y **Luz Clarita Quispe Chahuara** para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 23 días del mes de mayo del año 2022



Mtro, Juan Eduardo Vigo Rivera
Asesor



159

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 20 día(s) del mes de mayo del año 2022 siendo las 12:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Miguel Angel Salcedo Enriquez, el secretario: Ing. Verónica Aydeé Pari Mamani y los demás miembros: Msc. Rose Adeline Gallata Ghura y el asesor: Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: Evaluación de la eficacia del tamarindo como ayudante de coagulación de sulfato de aluminio para la remoción de turbidez en aguas para consumo humano

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) Luz Glorita Quispe Ghahuara b) Luz Melynca Villanueva Barragan conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental (Nombre del Título Profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Luz Glorita Quispe Ghahuara

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato (b): Luz Melynca Villanueva Barragan

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Signature] Presidente

[Signature] Secretario

[Signature] Asesor

[Signature] Miembro

____ Miembro

[Signature] Candidato/a (a)

[Signature] Candidato/a (b)

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 Barragan ^{a*}, Luz Clarita Quispe Chahuara^b y Juan Eduardo Vigo Rivera^c

^aBachiller en Ingeniería Ambiental de la E.P. de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión-Filial Juliaca

^bBachiller en Ingeniería Ambiental de la E.P. de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión-Filial Juliaca

^cMaestro de la E.P. de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión-Filial Juliaca

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 2 factores: Factor A: 6 tratamientos; Factor B: Concentraciones aplicadas (correspondientes a las 6 dosis) con 3 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 6 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 UNT, 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, mientras que el tratamiento 3 presentó el valor más bajo de remoción. Por lo tanto, 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 de turbidez, sulfato de aluminio, tamarindo.

* Autor de correspondencia:

Km. 6 Carretera interoceánica, Chullunquiari, Juliaca

Cel: ^a 941001084 – ^b 946728935

E-mail: ^a luz.vb@upeu.edu.pe, ^b clarita.qc@upeu.edu.pe

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 2 factors was applied: Factor A: 6 treatments; Factor B: Applied concentrations (corresponding to the 6 doses) with 3 repetitions per treatment, the CEPIS methodology was applied with jar tests (300 and 40 rpm in rapid mixing and flocculation) to evaluate turbidity in 6 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. Therefore, 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, Turbidity removal, Aluminum sulfate, Tamarind

1. 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 et al. 2011). La OMS (2012) menciona que las sustancias químicas como el $Al_2(SO_4)_3$ y $Fe_2(SO_4)_3$ que se emplean en el tratamiento físico químico del agua pueden ser tóxicos si son ingeridos en altas concentraciones, generando enfermedades como alzhéimer 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 y Coto, 2011; Miller et al. 2008; Vijayaraghavan et al., 2011; Yin, 2010).

Los polímeros naturales son métodos alternativos para la eliminación de la turbidez del agua potable ya que son aceptables con el medio ambiente y no generan problemas de salud (Ramirez y Jaramillo, 2014; Sciban et al., 2009). Además, son económicamente viables debido a que pueden

ser cultivadas localmente (Sanghi et al. 2006); estos métodos se basan en el alto potencial de resiliencia que tiene la naturaleza (Muhammad et al. 2015).

El tamarindo es originario del continente africano y fue introducido a América por los españoles, pertenece a la familia de las leguminosas. Por otro lado, el tamarindo es una fruta versátil que se puede utilizar para muchos propósitos (Acevedo, Montero, y Tirado 2014; Ahmed, Ramaswamy, y Sashidar 2007; Tirado, Acevedo, y 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 y Ruiz, 2020).

El tamarindo es reconocido en la tradición popular por sus propiedades antioxidantes, posiblemente relacionadas con la presencia de compuestos bioactivos, principalmente compuestos polifenólicos (Ferreira et al., 2021; Páez et al., 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 et al., 2003; Gurdíán y Coto, 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 et al. 2014; Ramirez 2019). La cáscara del tamarindo contiene mucílagos que son polisacáridos heterogéneos, compuestos fenólicos y tiene actividad antioxidante del modo que, al ponerse en contacto con el agua se abultan y forman soluciones altamente viscosas que pueden permitir la aglomeración de partículas (Agrawal et al., 2006; Mishra y Bajpai, 2006).

Hernández et al. (2013) evaluaron la efectividad de las semillas de tamarindo (pepa) en aguas con alta turbidez inicial de 100, 200, 300 y 350 UNT. Aplicaron 5 concentraciones al 61,83; 74,19; 86,56; 98,93 y 111,3 ppm. Ellos 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.

Irigoin y Monteza (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 evidenció 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

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.

2. 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.

2.1. Procedimiento para la obtención del extracto de tamarindo

De acuerdo a la metodología planteada por Uzodinma et al. (2020), se empleó las operaciones unitarias de despulpado, pelado, secado, molido, tamizado.

El tamarindo que se empleó en la parte experimental procedió 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 fue colocada en agua hirviendo a una temperatura de ebullición durante 10 minutos y se sometió a un proceso de hidratación por 2 días.

Una vez hidratada se removió manualmente la capa marrón hasta obtener la pepa de color blanco para luego ser secado en una estufa de marca BINDER a 65°C durante 12 horas. Posteriormente se trituraron la pepa, pulpa y cáscara con la ayuda de un mortero hasta obtener un polvo, los cuales se tamizaron en tamiz de 200 micras.

2.2. Preparación de sulfato de aluminio

La solución madre se preparó siguiendo lo detallado en la guía del Cepis (2004). Se diluyó 100 g de $Al_2(SO_4)_3$ en 1000 ml de agua destilada, obteniendo una solución de 10%. Para el ensayo de prueba de jarras se preparó 10 mL de $Al_2(SO_4)_3$ en 100 mL 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 va aplicar a cada jarra mediante la ecuación 1 de balance de masas (Cánepa 2004).

$$P = D \times Q = q \times C \qquad \text{Ecuación (1)}$$

Donde “P” es peso de coagulante por aplicar, D es la dosis de coagulante (mg/L), Q es capacidad de la jarra (L), q es volumen de solución por aplicar (mL) y C es la concentración de la solución en (mg/L).

2.3. Preparación de la solución de extracto de tamarindo

Para esta fase los procedimientos fueron adaptados de Álvarez (2017); Carrasquero et al. (2019), se pesó 5 g del polvo de pepa, cáscara y pulpa por separado en una balanza analítica de marca SARTORIUS, se diluyó en 100 mL 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 y 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 concentraciones que serán aplicados en aguas de alta turbidez.

2.4. Preparación de agua turbia sintética

El agua turbia sintética fue preparada mediante la adición de 50 g de arcilla comercial en 5 litros de agua corriente, agitando durante 30 minutos para lograr una dispersión uniforme de las partículas de arcilla y 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 deseado de 100 UNT.

2.5. Medición de parámetros fisicoquímicos

Una vez obtenido el coagulante natural se procedió a realizar 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 de marca MILWAUKEE.

2.6. Determinación del porcentaje de remoción de turbidez

El porcentaje de remoción de turbidez fue calculado mediante la ecuación 2 establecida por Bravo y Gutiérrez (2016) y Cánepa (2004).

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

Donde “Ti” son los valores de turbidez inicial en UNT antes de aplicar los coagulantes propuestos, “Tf” son los valores de turbidez final en UNT después de aplicar los coagulantes propuestos en las concentraciones establecidas.

2.7. Método experimental

Para el estudio se empleó el equipo de Prueba de Jarras marca VELP modelo JLT6 serie 35387. Se aplicó 6 tratamientos el tratamiento 1 (Pepa de tamarindo), el tratamiento 2 (cáscara de tamarindo), el tratamiento 3 (pulpa de tamarindo), el tratamiento 4 (pepa + $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), el tratamiento 5 (cáscara + $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) y el tratamiento 6 (pulpa + $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Se trabajó con 6 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, 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 mL de muestra inicial para obtener 30 mL de sobrenadante y proceder a determinar los parámetros de monitoreo pH y turbiedad final (Cánepa 2004).

2.8. Diseño estadístico experimental y análisis de datos

Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar 6Ax6B de 2 factores: Factor A: 6 Tratamientos; Factor B: 6 Concentraciones de soluciones; con tres repeticiones haciendo un total de 108 unidades experimentales, siendo la variable respuesta la turbidez y pH. Los tratamientos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANVA) para observar si existía o no diferencias estadísticas significativa. 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.

3. 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 fueron dosificadas a partir de los 25, 30, 35, 40, 45 y 50 mg/L. Los parámetros de turbiedad se midieron antes y después del tratamiento. La tabla 1 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.

Respecto a los valores de pH, los resultados no varían notablemente debido a que el pH inicial fue de 7.19 y después de aplicar una dosis de 30 mg/L se obtuvo un cambio menor a 6.22 y según

la Norma de Calidad Ambiental está dentro del valor máximo permisible de 6.5 – 8.5 (MINSA 2011).

Tabla 1.

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)				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
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		

La figura 1 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 en el D.S. N° 031-2010 - S.A. y los demás tratamientos no cumplen, pero si son significativos.

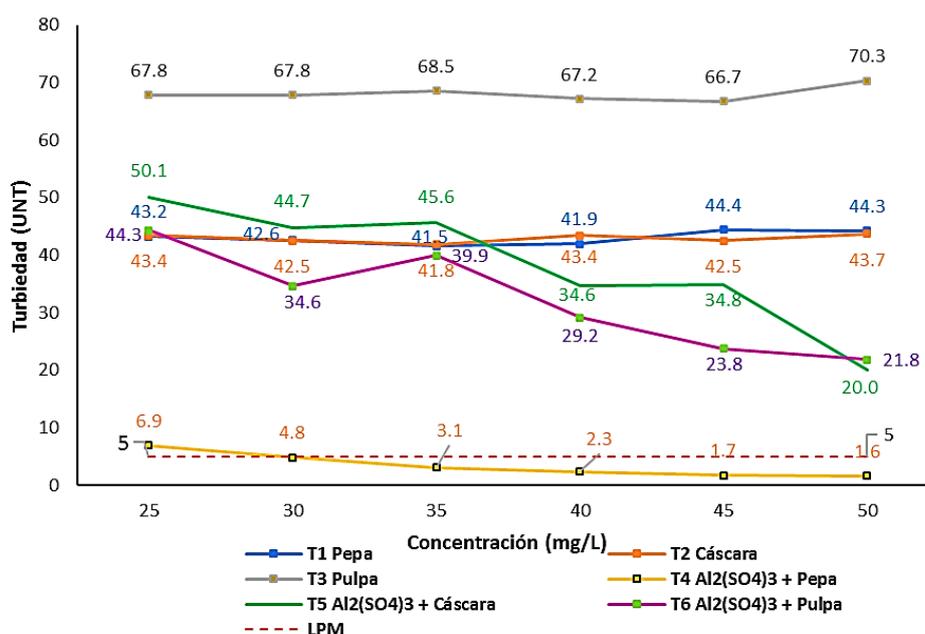


Figura 1. Remoción de turbidez final UNT

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 a los otros tratamientos ($p < 0.05$, prueba de C de Dunnett) tal como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2.

Turbidez final UNT

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 2 muestra que el tratamiento 4, alcanzó un porcentaje de remoción de turbidez 96.60 %, seguido por el tratamiento 6 con un porcentaje de 67.73%.

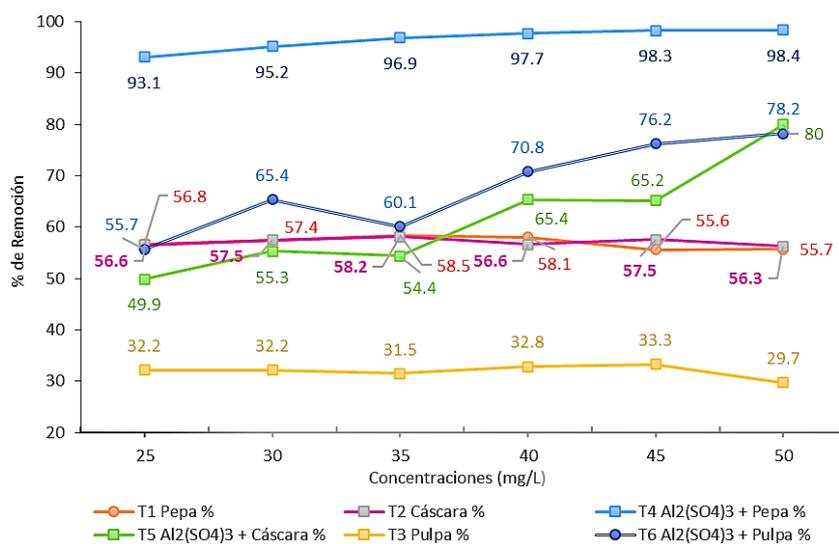


Figura 2. Porcentaje de la eficiencia de coagulante natural y sintético

La tabla 3 muestra que el tratamiento 4 presenta diferencia significativa en comparación a 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 3

Porcentaje de remoción de turbidez

Tratamiento	Media	Desv. 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: En la tabla 3 letras iguales indican diferencias no significativas ($p < 0.05$, prueba de C de Dunnett).

4. Discusión

Los resultados de la presente investigación muestran la eficiencia de la aplicación del coagulante a base de tamarindo (pepa, cáscara y pulpa) en la remoción de turbidez, demostrando que los aminoácidos compuestos en la semilla como el ácido glutámico y ácido aspártico son los responsables de la coagulación, ya que éstos tienen carga negativa y positivas que al entrar en contacto con el agua desestabilizan la cargas de los coloides del agua (Campos et al. 2003).

Según lo establecido por Guardado y Hernández (2017) en su investigación dieron a conocer que el extracto de la pepa de tamarindo tuvo un porcentaje de remoción del 55.33% lo cual coincide con los resultados obtenidos porque el porcentaje de remoción del tratamiento 1 (pepa) llegó hasta 57.12% de efectividad.

A su vez Carrasquero et al. (2019) en su investigación reportan que al aplicar el extracto de la pepa de tamarindo se obtuvo porcentajes de remoción de 97.6%, por ende, los resultados obtenidos de este proyecto se asemejan ya que el tratamiento 4 alcanzó un porcentaje de remoción del 96.6% de esta forma removió hasta 3.40 UNT, los cuales se encuentran dentro del LMP del D.S. 031-2010- SA.

Por un lado Cruz (2019) determinó la dosis óptima del coagulante de semillas de tamarindo con una dosis de 60 mg/l logró una remoción de turbidez de 89.4 %, mientras que en la presente investigación aplicando similares dosis se obtuvo porcentajes de remoción de turbidez de 57.12% sin combinación y con combinación un 96.6%.

Por otra parte Obregón y Quispe (2020), determinaron en su investigación que al usar tamarindo y tara como coagulante puede llegar a disminuir la turbidez hasta un 80% de remoción, y en la presente investigación se obtuvo una disminución de turbidez distinta a dicho autor, pero significativa, llegando a un 57.12% sin combinación y con combinación un 96.6% lo cual indica que pueden ser eficientes como complemento.

Así mismo Salgado (2018) evaluó la eficiencia del polvo de la semilla de tamarindo, evidenciando una eficiencia de 70% en la reducción de la turbidez, como era de esperarse los polielectrolitos del tamarindo mostraron resultados similares a los obtenidos en nuestra investigación ya que la eficiencia se dispersó entre 57.12 % a 96.6%, otro de sus resultados es que el coagulante no logró alterar el pH, que también es un resultado similar a los de nuestra investigación dado que el pH se mantiene constante.

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 (2020) ya que el pH fue constante entre 6.8 -7.6. Por otra parte Camacho et al. (2020) en su estudio 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 se encuentra 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 (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.

Por otro lado, 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%, y 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 porcentaje de 67.73%, finalmente el tratamiento 5 con porcentaje de 61.70%, y el tratamiento que reportó valor ineficiente es el tratamiento 3.

Esto se debe a que las sustancias responsables de la coagulación en la pepa de tamarindo son el ácido glutámico y aspártico. Según Campos et al. (2003); Mathews et al. (2003), el ácido glutámico y aspártico son solubles en agua y poseen grupos con cargas formales negativa y positiva que le 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 tienen la capacidad de formar flocs (Zezzi y Teixeira 2004).

5. Conclusión

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 necesita 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 tratamiento de aguas superficiales para consumo humano.

6. Agradecimiento

Agradecer a la Universidad Peruana Unión por la formación académica impartida y habernos permitido hacer el uso de sus instalaciones para la realización de esta investigación. También agradecer 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. <https://doi.org/10.31910/rudca.v17.n2.2014.419>
- Agrawal, M., Mishra, A., Bajpai, M., Pal, S., & Pandey, S. (2006). Tamarindus indica mucilage and its Acrylamide - grafted copolymer as flocculants for removal of dyes. *Colloid & Polymer Science*, 2.
- Ahmed, J., Ramaswamy, H., & Sashidar, K. (2007). Rheological characteristics of tamarind (Tamarindus indica L.) juice concentrates. *ScienceDirect*, 40(2). <https://doi.org/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*. <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. <https://bit.ly/3jrxJBx>
- 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. <https://doi.org/10.5402/2011/632189>
- Bravo Guerrero Milagros, & Gutiérrez López Jorge. (2016). *Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del río pollo en Otuzco empleando semillas de Caesalpinia spinosa (Tara)* [Universidad Nacional de Trujillo]. <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. <https://doi.org/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. <https://bit.ly/3L4FvwS>
- Cánepa De Vargas, L. (2004). Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. In OPS (Ed.), *Tratamiento de agua para consumo humano* (pp. 217–270).
- 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. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i1.1424
- Cepis. (2004). Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. In Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (Ed.), *Tratamiento de agua para consumo humano* (Tomo I, pp. 217–275).
- Cruz Ramirez, M. (2019). *Dosis optima del coagulante de semillas de Tamarindus indica para*

- mejorar la calidad del agua del Río Reque - Lambayeque* [Universidad Cesar Vallejo]. <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* [Universidad Nacional de San Martín Tarapoto]. <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. <https://doi.org/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. <http://dx.doi.org/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)*. UUniversidad 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. <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.
- Irigoin Sanchez, A., & Monteza, P. (2020). *Remoción de la concentración de materia orgánica en aguas residuales del camal de José Leonardo Ortiz usando semillas de tamarindo (tamarindus indica)*. universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo.
- Mathews, C., Van Holde, K., & Ahern, K. (2003). *Bioquímica* (A. Wesley (ed.); 3rd ed.).
- 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. *Environ Sci*, 42(12), 1–6. <https://doi.org/10.1021/es7025054>
- MINSA. (2011). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. *D.S N° 031-2010-SA*.
- Mishra, A., & Bajpai, M. (2006). Removal of sulphate and phosphate from aqueous solutions using a food Grade Polysaccharide as flocculant. *Colloid & Polymer Science*. 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). <https://bit.ly/3JyvzeX>
- 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*. Universidad Cesar Vallejo.

- OMS. (2012). *Informe acerca de los progresos sobre el agua potable y saneamiento*. 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., & Sáyago Ayerdi, S. G. (2016). Compuestos bioactivos y propiedades saludables del Tamarindo (*Tamarindus indica* L.). *BIOtecnia*, 18(1), 1–12. <https://doi.org/10.18633/bt.v18i1.241>
- Pérez, F. (2016). *Establecimiento de cultivo In vitro de Tamarindus indica L. para la obtención de Antioxidantes*. Universidad Autónoma del estado de Mexico.
- Prakash Saingh, J., Kumar Singh, S., Chandel, R., Pandey, G., Prakash, A., & Chidambaram, R. (2014). Optimization of common acidulant (Fruitaric acids) to enhance organoleptic quality and shelf life of fruit juices. *International Journal of Pharmacological and Science Review Research*.
- 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. *Ingenieria Solidaria*, 10, n(Las fuentes de agua potable están bajo la amenaza creciente de la contaminación), 1–14.
- 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*. 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*. 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. *ScienceDirect*, 1–6. <https://doi.org/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. *El Sevier*, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>
- 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*. <https://doi.org/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. <https://dx.doi.org/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*, I(I), 1–2. <https://bit.ly/3NcTrH5>
- Yin Yang, C. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *ScienceDirect*, 45, 1–8. doi:10.1016/j.procbio.2010.05.030
- Zezi, M. A., & Teixeira, C. . (2004). Biosorption of heavy metals using rice milling byproducts. Characterisation and application for removal of metals from aqueous effluents. *Elsevier*. doi:10.1016/j.chemosphere.2003.09