

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Almidón de Artocarpus altilis para tratar aguas residuales
domésticas y propuesta de reúso**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Christopher Louis Saavedra Meza
Celeste Carolina Panduro Hurtado

Asesor:

Mtro. Carmelino Almestar Villegas

Tarapoto, agosto 2023

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Carmelino Almestar Villegas, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Almidón de Artocarpus altilis para tratar aguas residuales domésticas y propuesta de reúso”** de los autores Christopher Louis Saavedra Meza y Celeste Carolina Panduro Hurtado tiene un índice de similitud de 13% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Tarapoto, a los 29 días del mes de agosto del año 2023.



Carmelino Almestar Villegas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En San Martín, Tarapoto, Morales, a 11 día(s) del mes de agosto del año 2023, siendo las 08:30 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mtra. Betsabeth Padilla Macedo, el (la) secretario(a): Ing. Seyel Rengifo Arevalo y los demás miembros: Mtro. Jhon Patrick Ríos Bartra y Ing. Ericka Nayda Perales Domínguez y el (la) asesor(a) Mtro. Carmelino Almestar Villegas con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Almidón de Artocarpus altíllis para tratar aguas residuales domésticas y propuesta de reúso"

del(los) bachiller(es): a) Christopher Louis Saavedra Meza
 b) Celeste Carolina Panduro Hurtado
 c).....
 conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Ambiental

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (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 al (a la) / a (los) (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:

Bachiller-(a): Christopher Louis Saavedra Meza

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy Bueno

Bachiller -(b): Celeste Carolina Panduro Hurtado

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy bueno

Bachiller -(c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (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.]

 Presidente/a



 Secretario/a

Asesor/a


 Bachiller (a)

Miembro


 Bachiller (b)

Miembro

 Bachiller (c)

Resumen

La investigación consistió en analizar la eficiencia de la semilla de pan de árbol (*Artocarpus altilis*), para el tratamiento de agua residual doméstica, considerando los parámetros (pH, temperatura, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno e índice de Willcomb), estos parámetros se analizaron antes y después del tratamiento. Se utilizaron tres dosis; 600 mL, 800 mL, 1000 mL. Siendo los resultados para la muestra control pH; 9.67, CE; 200, temperatura 17.7 °C, DBO; 219.6, Willcomb; 0, según su dosificación, en el parámetro de pH; se obtuvo 8,97 en 600 ml, 8,48 en 800 mL, 8,09 en 1000 mL, en cuanto a la CE; 220 mμ/cm en 600 mL, 230 mμ/cm en 800 mL, 240 mμ/cm en 1000 mL, con respecto a la temperatura; 19,1°C en 600 mL, 19,0°C en 800 mL, 19,1°C en 1000 mL, por otro lado en la DBO5 el resultado fue; 198,4 mg/L en 600 mL, 172,0 mg/L en 800 mL, 211,8 mg/L en 1000 mL y finalmente el índice de willcomb; los valores alcanzados fueron 4 en 600 mL y 800 mL, 6 en 1000 mL. Se concluye que, los resultados comparados con el D.S N°004-2017-MINAM, Categoría 3-D1 para riego vegetal resulta beneficioso, el coagulante hizo efecto en una concentración de pH, en el parámetro de CE se observó un ligero cambio, del mismo modo el parámetro de DBO5, comparando con la normativa, el parámetro que está dentro del ECA es pH, se recomienda tratamientos complementarios para disminuir la carga orgánica.

Palabras clave: Aguas residuales domésticas, coagulante natural, riego vegetal

Abstract

The research consisted of analyzing the efficiency of tree bread seed (*Artocarpus altilis*), for the treatment of domestic wastewater, considering the parameters (pH, temperature, electrical conductivity, biochemical oxygen demand and Willcomb index), these parameters were analyzed before and after treatment. Three doses were used; 600 mL, 800 mL, 1000 mL. Being the results for the control sample pH; 9.67, EC; 200, temperature 17.7 °C, BOD; 219.6, Willcomb; 0, according to its dosage, in the pH parameter; 8.97 was obtained in 600 mL, 8.48 in 800 mL, 8.09 in 1000 mL, as for EC; 220 mμ/cm in 600 mL, 230 mμ/cm in 800 mL, 240 mμ/cm in 1000 mL, with respect to temperature; 19.1°C in 600 mL, 19.0°C in 800 mL, 19.1°C in 1000 mL, on the other hand in BOD5 the result was; 198.4 mg/L in 600 mL, 172.0 mg/L in 800 mL, 211.8 mg/L in 1000 mL and finally the willcomb index; the values reached were 4 in 600 mL and 800 mL, 6 in 1000 mL. It is concluded that, the results compared with the D.S N°004-2017-MINAM, Category 3-D1 for vegetable irrigation is beneficial, the coagulant made effect in a pH concentration, in the EC parameter a slight change was observed, likewise the BOD5 parameter, comparing with the regulation, the parameter that is within the ECA is pH, complementary treatments are recommended to decrease the organic load.

Keywords: Domestic wastewater, natural coagulant, vegetable irrigation.

Introducción

Como parte de la vida cotidiana, realizamos actividades diarias que generan aguas residuales, las cuales tienen sustancias contaminantes de gran impacto para los cauces de aguas y para el medio ambiente (Nimesha et al., 2022), muchos de los cuerpos de agua resultan estar contaminados con materias inorgánicas, orgánicas y biológicas, aumentando el daño para las personas que hacen uso del recurso hídrico (Mahmood & Zaki, 2019) es por ello, que resulta necesario el tratamiento de estas aguas para minimizar sus impactos (Ekman, 2020). Una de las maneras convencionales, son las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que limpian y minimizan la contaminación del agua (Hao et al., 2019). también, se hace empleo de otros mecanismos de tratamiento de agua, como los conocidos coagulantes químicos, estos pueden ser el sulfato de aluminio que son eficientes, aunque resultan tóxicos, costosos y son relacionados con problemas hacia la salud (Koul et al., 2022), siendo así que, una alternativa ambientalmente sustentable son los coagulantes naturales de origen vegetal por su disponibilidad, seguridad para la salud y biodegradabilidad (Alazaiza et al., 2022).

Con respecto al reúso de las aguas residuales tratadas como medio de riego, es una alternativa para satisfacer la demanda urbana y abordar la escasez de agua, siendo así que, para su aplicación se tiene que considerar pautas adecuadas y manejo de aguas residuales, para limitar los efectos negativos que se pueda presentar a largo plazo (Hashem & Qi, 2021). El efecto que se puede conseguir, es el crecimiento de las plantas y la calidad de estas, teniendo de este modo un cambio notorio en los parámetros de crecimiento (longitud del fruto, diámetro y peso secado al horno) (Makhadmeh et al., 2021). Las aguas residuales domésticas, tratadas con humedales artificiales es una alternativa factible para la utilización en el riego por la composición que posee, sin embargo, se requiere un control apropiado para no generar riesgos en la salud (Miller Gil & Fábrega Duque, 2022).

El distrito de San Roque de Cumbaza, cuenta con una planta de tratamiento, actualmente operativa, sin embargo, el 90% de sus pobladores desconoce la gestión que se lleva a cabo, siendo así, que el producto final del tratamiento no está siendo aprovechado (Cruz et al., 2017).

Esta investigación acerca del almidón de pan de árbol (*Artocarpus artilis*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas, nos permitió analizar la eficacia de la semilla de pan de árbol para el tratamiento de aguas residuales domésticas y su aprovechamiento en el riego de vegetales, realizando la evaluación de las características fisicoquímicas (pH, temperatura, conductividad, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)) del agua residual antes y después del tratamiento, asimismo, se realizó la comparación de la calidad del agua residual tratada con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, de la categoría 3 (D1: Riego de vegetales).

Materiales y métodos

Esta investigación fue de tipo explicativo experimental según (Hernández et al., 2019), pues se analizó la intervención del coagulante de semilla de pan de árbol (*Artocarpus altilis*) y experimental, ya que, se manipuló la variable independiente con la finalidad de reducir la concentración de pH, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).

Población

La cantidad de semillas de pan de árbol (*Artocarpus altilis*) que se empleó para la investigación fue de 1 kilo, obteniendo una proporción de 14 gramos de almidón. Asimismo, se requirió 25 litros de agua residual.

Muestra

El muestreo fue no probabilístico, considerando 10 litros que fueron enviados a laboratorio y la muestra con la que se trabajó fueron 3 dosis de 600 mg/L, 800 mg/L y 1000 mg/L. Para la toma de muestras se siguió la metodología establecida en el protocolo indicado en la R.M. 273-2013-VIVIENDA. Teniendo una muestra precisa, es decir, tomada de un determinado lugar y tiempo para realizar un análisis independiente, siendo representativa del agua residual municipal generada del distrito de San Roque de Cumbaza (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2013).

Las muestras se colocaron en unos frascos estériles para evitar su contaminación y proceder a su envío a un laboratorio acreditado por el INACAL.

Los parámetros evaluados fueron: pH, conductividad eléctrica, DBO5 y temperatura, teniendo 10 muestras en cada parámetro.

Obtención del coagulante natural

El coagulante natural se obtuvo del almidón a base de semillas de pan de árbol (*Artocarpus altilis*). Para comenzar, se recolectó el fruto de pan de árbol. Luego, se continuó con la extracción del pericarpio para su lavado y primer descascarado de la vaina. Seguidamente, se airearon las semillas para luego someterlas al secado por medio de una estufa de laboratorio a temperatura de 65°C por dos periodos de 2.5 horas. Después, se retiró el endocarpio de la vaina deshidratada, para su posterior molienda en una máquina de moler manual. El resultado, se trituro con ayuda de un mortero y un pilón de laboratorio, obteniendo de esta manera granos de menor tamaño. Se continuó, con el tamizado, utilizando un colador de metal fino casero, separando de este modo los gránulos de menor dimensión. Adquiriendo, 990 gramos de harina de pan de árbol.

Conforme a ello, se colocó la harina sobre una tela tocuyo y se remojó con 3 litros de agua destilada. Enseguida, se exprimió la masa formada dentro de un recipiente de plástico de 6 litros, el líquido extraído se dejó reposar por un periodo de 24 horas para sedimentar el almidón. Al pasar las 24 horas de reposo se retiró el agua excedente y el almidón sedimentado se puso sobre un recipiente de vidrio para su secado en estufa a unos 65°C por un periodo de 2 horas con 30 minutos, el resultado del secado se extrajo y se trituro con ayuda del pilón y mortero para obtener gránulos. Para terminar, se destiló con un tamiz N° 100 (150 micras), teniendo como resultado 14 gramos de almidón de pan de árbol.

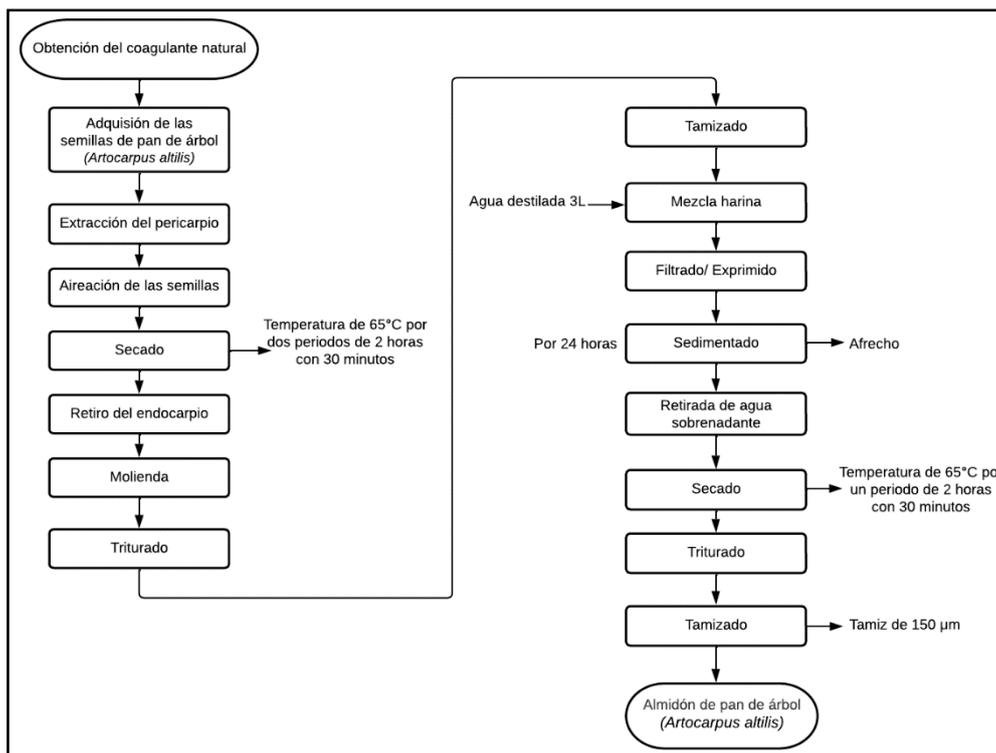


Figura 1. Diagrama de flujo de la obtención del coagulante

Fuente: Adaptado de Apaéstegui & Arce, (2019)

Prueba de test de jarra

Una vez obtenido el almidón de pan de árbol, en el laboratorio se preparó solución madre del coagulante, en un matraz volumétrico de 1000 ml se mezcló 10 gramos de almidón con 1000 ml de agua destilada y se movió hasta homogeneizar la mezcla.

Para la prueba de jarras se determinaron 3 concentraciones del coagulante natural de pan de árbol, 600, 800 y 1000 mg/L, cada una con 3 repeticiones. En 3 vasos precipitados de 1000 mL se agregó 60 mL, 80 mL y 100 mL de la muestra madre por separado y se completó a los 1000 mL del contenido restante, es decir, para la concentración de 60 mL se añadió con 940 mL con la muestra obtenida de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San Roque de Cumbaza y así respectivamente para las concentraciones de 80 mL y de 100 mL. En el equipo de test de jarras se realizó dos tipos de mezcla, mezcla rápida con 200 RPM en un periodo de 1 minuto y mezcla lenta con 40 RPM en

un periodo de 15 minutos. Luego, se dejó sedimentar por 20 minutos, para proceder a examinar los parámetros de pH, conductividad y temperatura.

Técnicas

Se utilizó la técnica observacional. En cuanto a la confiabilidad y validez de los datos que se obtuvieron, los instrumentos a utilizar estuvieron calibrados por los laboratorios acreditados por INACAL, asimismo, se realizó el llenado de la cadena de custodia para tener un mejor control de las muestras.

Análisis estadístico

Para procesar los datos se empleó el programa SPSS 22 empleando la estadística descriptiva, como media y desviación estándar. Asimismo, se utilizó la prueba de análisis de varianza para determinar la diferencia significativa entre los tratamientos.

Resultados

Análisis de los parámetros fisicoquímicos

pH

El menor valor de pH se obtuvo para la dosis de 1000 mg/L con un valor de 8,09 (ligeramente alcalino), mientras que para el control el pH fue mayor (9,67). Las únicas dosis que cumplieron el valor de referencia del D.S. 004-2017-MINAM,

categoría 3, D1 fueron 800 mg/L y 1000 mg/L de coagulante de almidón de pan de árbol. Ver Tabla 1

Tabla 1. Valores de pH de los tratamientos

Tratamiento / control	Dosificación de coagulante	Repeticiones			Promedio	ECA
		1	2	3		
T0	0 mg/L		9,67		9,67	
T1	600 mg/L	8,95	8,96	8,99	8,97	6,5 –
T2	800 mg/L	8,66	8,47	8,31	8,48	8,5
T3	1000 mg/L	8,28	8,08	7,92	8,09	

Fuente: Elaboración de los autores

Conductividad eléctrica

Para este parámetro no se observó alguna diferencia significativa, ya que la muestra control tuvo un valor de 200 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), mientras que para los tratamientos aplicados de 600 mg/L, 800 mg/L y 1000 mg/L los resultados fueron 220 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), 230 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y 240($\mu\text{S}/\text{cm}$) respectivamente, no sobrepasando el nivel indicado en el ECA de agua de la categoría 3, D1. Ver Tabla 2

Tabla 2. Valores de conductividad de los tratamientos

Tratamiento /control	Dosificación de coagulante	Repeticiones			Promedio	ECA
		1	2	3		
T0	0 mg/L		200 $\mu\text{S}/\text{cm}$		200	2500
T1	600 mg/L	230	220	220	220	(μS
T2	800 mg/L	240	230	230	230	/cm)
T3	1000 mg/L	240	240	240	240	

Fuente: Elaboración de los autores

Temperatura

Los análisis de temperatura mostraron que existe una diferencia entre los promedios de la muestra control y las muestras con tratamiento, debido a la manipulación de estas. Ver Tabla 3

Tabla 3. Valores de la temperatura de los tratamientos

Tratamiento / control	Dosificación de coagulante	Repeticiones			Promedio	ECA
		1	2	3		
T0	0 mg/L		17,7		17,7	Variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada
T1	600 mg/L	19,1	18,1	19,1	19,1	
T2	800 mg/L	19,1	18,1	19,1	19,0	
T3	1000 mg/L	19,1	18,1	19,1	19,1	

Fuente: Elaboración de los autores

DBO5

El menor valor de DBO5 tuvo la dosis de 800 mg/L con un valor de 172,0 mg/L, mientras que para la muestra control el DBO5 fue mayor 219,6. Existiendo una diferencia significativa, sin embargo, ninguno de los tratamientos cumplió el valor referencial del D.S. 2004-2017-MINAM, Categoría 3, D1. Ver Tabla 4

Tabla 4. Valores de la DBO5 de los tratamientos

Tratamiento / control	Dosificación de coagulante	Repeticiones			Promedio	ECA
		1	2	3		
T0	0 mg/L		219,6		219,6	15 mg/L
T1	600 mg/L	194,4	259,8	141,0	198,4	
T2	800 mg/L	173,4	162,0	180,6	172,0	
T3	1000 mg/L	200,4	194,4	240,6	211,8	

Fuente: Elaboración de los autores

Análisis del Índice de Willcomb

Los valores de índice de Willcomb se obtienen por observación directa al momento de realizar las pruebas de jarras, se pudo observar que para las muestras expuestas a las concentraciones de 600 mg/L y 800 mg/L se consiguió un valor de 4 (Dispersa: flóculo de tamaño grande relativamente, precipitación lenta), y para muestra con 1000 mg/L se obtuvo un valor de 6 (Claro: Flóculo de tamaño considerablemente grande, pero precipita con lentitud). Ver Tabla 5

Tabla 5. Valores del Índice de Willcomb de los tratamientos

Tratamiento / control	Dosificación de coagulante	Repeticiones			Promedio
		1	2	3	

T0	0 mg/L		0		0
T1	600 mg/L	4	4	4	4
T2	800 mg/L	4	4	4	4
T3	1000 mg/L	6	6	6	6

Fuente: Elaboración de los autores

Análisis de varianza de la DBO

Al realizar el análisis de varianza de la DBO5 entre tratamientos, se encontró un p-valor de 0,467; es decir, no existe diferencia significativa entre tratamientos; lo cual significa que todos presentaron un valor de DBO similar después de la adición del coagulante de almidón de pan de árbol. Ver Tabla 6

Tabla 6. Análisis de varianza de la DBO5

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Entre tratamientos	2460,56	2	1230,28		
Dentro de los tratamientos	8518,8	6	1419,80	0,87	0,467
Total	10979,36	8			

Fuente: Elaboración de los autores

Análisis de la eficiencia

Al determinar las eficiencias porcentuales de eliminación de la DBO, se encontró un menor valor promedio para dosis de 1000 mg/L (3,4%) mientras que la mayor eficiencia se alcanzó con la dosis de 800 mg/L 21,6%. Ver Tabla 7

Tabla 7. Valores de la eficiencia porcentual de eliminación de la DBO

Tratamiento / control	Dosificación de coagulante	Repeticiones			Promedio
		1	2	3	
T1	600 mg/L	11,4	-18,5	35,7	9,5
T2	800 mg/L	20,9	26,1	17,6	21,6
T3	1000 mg/L	8,6	11,4	-9,7	3,4

Fuente: Elaboración de los autores

Discusión

En la dosis de almidón 1000 mg/L de pan de árbol, se obtuvo un pH de 8,09 siendo el menor valor obtenido; considerando que el agua residual antes del tratamiento tenía un pH de 9,67, disminuyendo significativamente, debido a la presencia de ácidos orgánicos. Del mismo modo, se puede observar en la

investigación del (Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana - IIAP, 2015) nos dice que el fruto de pan de árbol contiene 0.6 mg de ácido ascórbico por cada 100 mg, es por tal motivo que, el valor de pH llega a ser modificado al someterlo al almidón de pan de árbol. (Apaéstegui & Arce, 2019) en su investigación obtuvo que el almidón de pan de árbol ayudó a bajar el pH aún más con un valor de 6.69, demostrando que en otras concentraciones y diferentes velocidades para la prueba de jarras se puede obtener un mejor resultado, lo cual nos reafirma que el almidón de pan de árbol ayuda con la regulación del pH en el agua. En un trabajo realizado con una especie parecida al pan de árbol que es la Jaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*) evidenciaron la relación que existe al trabajar con un pH nivelado de entre 1.5 a 3.0 se puede obtener favorables resultados para las concentraciones de DBO5 (Mardarveran & Mokhtar, 2020).

En cuanto a la conductividad no se observó tanta diferencia significativa al aplicar el tratamiento, podemos tomar a (Apaéstegui & Arce, 2019) que muestra como resultados de su investigación que el almidón de pan de árbol no tiene alguna inferencia para modificar la conductividad eléctrica.

Para la DBO el tratamiento de almidón, si tuvo diferencia significativa, en la concentración de 800 mg/L disminuyendo a 172.0 mg/L en comparación a la muestra control que tuvo un 219.6 mg/L, sin embargo, no se logró cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental. Asimismo, posteriores investigaciones indican que, el coagulante natural a comparación de otros coagulantes químicos alcanzó menor porcentaje de remoción para DBO, así señala (Dearmas Duarte & Hernández, 2015). Mientras que (Campo Vera et al., 2018) al trabajar con coagulantes a base de quitosano y cáscara de naranja no resultan efectivos para parámetros biológicos, por otro lado (Abeyasiriwardana, 2019) recomienda el uso de lodos activados para la disminución de DBO5, siendo el mejor tratamiento para la disminución de DBO5. Existió una repetición de la concentración de 600 mg/L en la cual el DBO5 aumento a 259 mg/L, esto se puede ver en la investigación de (Choque-Quispe et al., 2018), en este parámetro los resultados obtenidos para DBO5 se incrementaron al usar coagulantes naturales de tres tipos de cactus, se debe a que la concentración de DBO5 de la solución madre se mantiene suspendida en el flóculo y no llega a sedimentarse, es un punto importante a tener en cuenta, ya que, indica que para esa solución madre el agua residual no llega a descontaminar si se quiere aplicar dentro de los procesos para una planta de tratamiento de aguas residuales.

De acuerdo a la normativa D.S. 004-2017 MINAM, se encontró que el agua después del tratamiento cumple con los parámetros pH (800 mg/L y 1000 mg/L), CE y temperatura para el riego de vegetales tanto restringido como no restringido. Sin embargo, la DBO no cumplió el ECA. Por lo cual se recomienda realizar tratamientos adicionales como filtros percoladores o humedales artificiales, a fin de reducir la carga orgánica del agua residual.

Conclusiones

Los resultados obtenidos antes del tratamiento son pH; 9.67, CE; 200, temperatura 17.7 °C, DBO; 219.6, Willcomb; 0. Después del tratamiento con las dosificaciones de 600 mL, 800 mL, 1000 mL, en el parámetro de pH; se obtuvo 8,97 en 600 ml, 8,48 en 800 mL, 8,09 en 1000 mL, en cuanto a la CE; 220 m μ /cm en 600 mL, 230 m μ /cm en 800 mL, 240 m μ /cm en 1000 mL, con respecto a la temperatura; 19,1°C en 600 mL, 19,0°C en 800 mL, 19,1°C en 1000 mL, por otro lado en la DBO5 el resultado fue; 198,4 mg/L en 600 mL, 172,0 mg/L en 800 mL, 211,8 mg/L en 1000 mL y finalmente el índice de willcomb; los valores alcanzados fueron 4 en 600 mL y 800 mL, 6 en 1000 mL.

Siendo así, concluimos que, los resultados del pan de árbol como coagulante natural, en el tratamiento de aguas residuales municipales comparados con el D.S N°004-2017-MINAM, Categoría 3–D1 para riego vegetal resulta beneficioso, debido a que, sí se presentó diferencias significativas en los parámetros de pH e índice de willcomb; en cambio, para conductividad eléctrica se estimó un ligero cambio, del mismo modo en el parámetro DBO5, sin embargo, el resultado de este parámetro, no alcanzó a cumplir el ECA en ninguna de las dosificaciones.

Es por ello, que se recomienda hacer futuras investigaciones sobre los coagulantes naturales, como alternativa para el tratamiento de aguas residuales, ya que estas aguas, ocasionan impactos negativos en los cuerpos receptores. También considerar nuevas dosificaciones, ya que, se pudo evidenciar que el almidón de pan de árbol logra obtener mejores resultados a diferentes dosificaciones. Cabe señalar que, para un mejor cumplimiento del estándar de calidad ambiental para riego vegetal, al finalizar los tratamientos de agua residual; se puede adicionar filtros percoladores y humedales artificiales para disminuir la carga orgánica.

Agradecimiento

Agradecemos a la Municipalidad Distrital de San Roque, por la facilidad al ingreso de sus instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales, de este modo, se pudo recolectar las muestras correspondientes para la ejecución de la presente investigación.

Referencias

Abeywardana, I. (2019). Predicción de la cinética de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y nutrientes en un sistema de tratamiento de aguas residuales con algas Fedbatch a escala piloto. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211926419305661>

Alazaiza, M. Y. D., Albahnasawi, A., Ali, G. A. M., Bashir, M. J. K., Nassani, D. E., Al Maskari, T., Amr, S. S. A., & Abujazar, M. S. S. (2022). Application of Natural Coagulants for Pharmaceutical Removal from Water and Wastewater: A Review. *Water*, 14(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/w14020140>

Apaéstegui, A., & Arce, A. (2019). "Eficiencia del almidón de maíz (*Zea mays*) y pan de árbol (*Artocarpus altilis*) para la remoción de la turbidez del agua de la quebrada Limón – Moyobamba 2019". <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55492>

Campo Vera, Y., Delgado, M. A., Roa, Y., Mora, G., Carreño Ortiz, J., Campo Vera, Y., Delgado, M. A., Roa, Y., Mora, G., & Carreño Ortiz, J. (2018). Evaluación preliminar del efecto del Quitosano y cáscara de naranja en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 565-572. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.990>

Choque-Quispe, D., Choque-Quispe, Y., Solano-Reynoso, A. M., & Ramos-Pacheco, B. S. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 38(2), 298-309.

Cruz, A., Noemi, E., Calles, C., Garcia, C., Taly, A., Infante, H., & Rosmery, D. (2017). Evaluación y diagnóstico de la planta de tratamiento de aguas residuales de san roque de Cumbaza, unidad de pretratamiento (captación y cribado)—Tarapoto 2017. <https://es.scribd.com/document/356232875/Diagnostico-Ptar-San-Roque-Final-Total-Arreglado#>

Dearmas Duarte, D., & Hernández, L. (2015). Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6, 183. <https://doi.org/10.22490/21456453.1415>

Ekman, M. (2020). Environmental Impacts of a Wastewater Treatment Plant. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135419304567>

Hao, X., Wang, X., Liu, R., Li, S., van Loosdrecht, M. C. M., & Jiang, H. (2019). Environmental impacts of resource recovery from wastewater treatment plants. *Water Research*, 160, 268-277. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.068>

Hashem, M. S., & Qi, X. (2021). Treated Wastewater Irrigation—A Review. *Water*, 13(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/w13111527>

Hernández, R., Baptista, P., & Fernández, C. (2019). Metodología de la investigación. <http://archive.org/details/hernandezetal.metodologiadelainvestigacion>

Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana - IIAP. (2015). Cultivo de las plantas medicinales.

<http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/CDinvestigacion/IIAP/iiap2/CapituloIII-32.htm#TopOfPage>

Koul, B., Bhat, N., Abubakar, M., Mishra, M., Arukha, A. P., & Yadav, D. (2022). Application of Natural Coagulants in Water Treatment: A Sustainable Alternative to Chemicals. *Water*, 14(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/w14223751>

Mahmood, N. A. C., & Zaki, Z. Z. M. (2019). The Effectiveness of Raw and Dried *Artocarpus Heterophyllus* (Jackfruit) Seed as Natural Coagulant in Water Treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 601(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/601/1/012010>

Makhadmeh, I. M., Gharaiebeh, S. F., & Albalasmeh, A. A. (2021). Impact of Irrigation with Treated Domestic Wastewater on Squash (*Cucurbita pepo* L.) Fruit and Seed under Semi-Arid Conditions. *Horticulturae*, 7(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7080226>

Mardarveran, P., & Mokhtar, N. M. (2020). Analysis of *Artocarpus Heterophyllus* peel as a natural coagulant using response surface methodology (RSM). *Jurnal Teknologi*, 82(4), Article 4. <https://doi.org/10.11113/jt.v82.14451>

Miller Gil, L., & Fábrega Duque, J. (2022). Reuse of Treated Domestic Wastewater by Employing Artificial Wetlands in Panama. *Air, Soil and Water Research*, 15, 11786221221074400. <https://doi.org/10.1177/11786221221074401>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2013). Resolución Ministerial N.º 273-2013-Vivienda. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/13762-273-2013-vivienda>

Nimesha, S., Hewawasam, C., Jayasanka, D., Murakami, Y., Araki, N., & Maharjan, N. (2022). Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 8(1). <https://doi.org/10.22034/GJESM.2022.01.08>