

Capacidad coagulante-floculante de *Corryocactus brevistylus* y *Browningia viridis* en la remoción de turbidez de efluentes

Coagulating-flocculant capacity of *Corryocactus brevistylus* and *Browningia viridis* in removing turbidity from effluents

Capacidade coagulante-floculante de *Corryocactus brevistylus* e *Browningia viridis* na remoção de turbidez de efluentes

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i26.352>

Daniela Shamira Damiano Vivancoi

jcquispe@unap.edu.pe

Gilmar Yauris Llacctas

gilmariyaurisllacctas@gmail.com

María del Carmen Delgado Laime

mcdlegado@unajma.edu.pe

Elían Amelia Llano Llano

llanollanoamelia@gmail.com

Eudósia Montoya Cure

montoyacuree@gmail.com

Kevin Irwing Contreras Reynaga

contrerasreynagak@gmail.com

Universidad Nacional José María Arguedas. Andahuaylas-Apurímac, Perú

Artículo recibido: 5 de febrero 2025 / Arbitrado: 10 de marzo 2025 / Publicado: 1 de mayo 2025

RESUMEN

El presente proyecto de investigación aborda la problemática de la contaminación generada por los efluentes del camal municipal del distrito de San Jerónimo, que contienen sustancias contaminantes como materia orgánica, nutrientes y la elevada carga de sólidos suspendidos, incrementando los niveles de turbidez y representando un riesgo para la salud pública y el medio ambiente. El **objetivo** principal de esta investigación es evaluar la capacidad de coagulante-floculante del mucílago extraído de *sanky* (*Corryocactus brevistylus*) y *qaspio* (*Browningia viridis*) para la remoción de turbidez de dichos efluentes. La **metodología** empleada consistió en realizar 6 pruebas de laboratorio para determinar la dosis óptima (0.75 g/L, 1.00 g/L y 1.25 g/L) de mucílago de las cactáceas mencionadas, evaluando su efectividad en la remoción de turbidez. La técnica utilizada fue el análisis físico-químico de los efluentes antes y después del tratamiento, y los instrumentos empleados incluyeron equipos de medición de turbidez y análisis de laboratorio para la determinación de los parámetros contaminantes. Los **resultados** demostraron que ambos mucílagos son eficaces, alcanzando parámetros que satisfacen los estándares ambientales asociados a la turbidez y los sólidos disueltos totales. Sin embargo, el coagulante natural del mucílago de *qaspio* logro mejores resultados, en una dosis de 0.75 g/L por un periodo de 25 a 30 minutos (incluyendo 5 minutos de agitación rápida, 15 minutos de agitación lenta y 10 minutos de sedimentación), logró la remoción del 87.98% de turbidez, una reducción del 37.94% de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y un 35.45% en los sólidos disueltos totales (TDS, ppm).

Palabras clave: Aguas residuales; Coagulación; Efluentes; Floculación; Remoción

ABSTRACT

This research project addresses the problem of pollution generated by municipal effluents from the San Jerónimo district slaughterhouse. These effluents contain pollutants such as organic matter, nutrients, and a high suspended solids content, increasing turbidity levels and posing a risk to public health and the environment. The main **objective** of this research is to evaluate the coagulant-flocculant capacity of mucilage extracted from *sanky* (*Corryocactus brevistylus*) and *qaspio* (*Browningia viridis*) to remove turbidity from these effluents. The **methodology** employed consisted of six laboratory tests to determine the optimal dosage (0.75 g/L, 1.00 g/L, and 1.25 g/L) of mucilage from the aforementioned cacti, evaluating its effectiveness in removing turbidity. The technique used was physical-chemical analysis of the effluents before and after treatment, and the instruments used included turbidity measuring equipment and laboratory analysis to determine the contaminant parameters. The **results** demonstrated that both mucilages are effective, achieving parameters that meet environmental standards associated with turbidity and total dissolved solids. However, the natural coagulant from the sludge mucilage achieved better results. At a dose of 0.75 g/L for a period of 25 to 30 minutes (including 5 minutes of rapid agitation, 15 minutes of slow agitation, and 10 minutes of sedimentation), it achieved 87.98% turbidity removal, a 37.94% reduction in electrical conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$), and a 35.45% reduction in total dissolved solids (TDS, ppm).

Key words: Wastewater; Coagulation; Effluent; Flocculation; Removal

RESUMO

Este projeto de pesquisa aborda o problema da poluição gerada pelos efluentes do matadouro municipal do distrito de San Jerónimo. Esses efluentes contêm poluentes como matéria orgânica, nutrientes e um alto nível de sólidos suspensos, aumentando os níveis de turbidez e representando um risco à saúde pública e ao meio ambiente. O **objetivo** principal desta pesquisa é avaliar a capacidade coagulante-floculante da mucilagem extraída de *sanky* (*Corryocactus brevistylus*) e *qaspio* (*Browningia viridis*) para a remoção de turbidez dos referidos efluentes. A **metodologia** utilizada consistiu na realização de 6 ensaios laboratoriais para determinar a dose ótima (0,75 g/L, 1,00 g/L e 1,25 g/L) de mucilagem das cactáceas supracitadas, avaliando sua eficácia na remoção de turbidez. A técnica utilizada foi a análise físico-química dos efluentes antes e após o tratamento, e os instrumentos empregados incluíram equipamentos de medição de turbidez e análises laboratoriais para determinação de parâmetros contaminantes. Os **resultados** demonstraram que ambas as mucilagens são eficazes, atingindo parâmetros que satisfazem os padrões ambientais associados à turbidez e aos sólidos totais dissolvidos. Entretanto, o coagulante natural da mucilagem de *qaspio* obteve melhores resultados, na dose de 0,75 g/L por um período de 25 a 30 minutos (incluindo 5 minutos de agitação rápida, 15 minutos de agitação lenta e 10 minutos de sedimentação), obteve a remoção de 87,98% da turbidez, redução de 37,94% da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e 35,45% dos sólidos dissolvidos totais (SDT, ppm).

Palavras-chave: Águas residuais; Coagulação; Efluentes; Floculação; Remoção

INTRODUCCIÓN

Actualmente el recurso natural de mayor importancia y que se vincula a las actividades humanas es el agua, representando una gran demanda, al ser de carácter limitado en diversas actividades se suscita su sobreexplotación, conllevando de esta manera a un problema ambiental de gran impacto, la escasez hídrica (1). Una dieta del ser humano incluye el consumo de carne, cuya producción implica el sacrificio de animales, actividad que a su vez consume grandes cantidades de agua. Este proceso se realiza en mataderos o camales, que generan grandes volúmenes de efluentes que suelen contaminar los cuerpos de agua, a causa de las heces, orina, sangre, pelos y otros elementos (2).

Según indica Espinoza (3), estos efluentes se caracterizan por presentar grandes cantidades de materia orgánica, turbidez y entre otros componentes, lo cual repercute negativamente en la calidad del agua. Influenciando directamente en la salud humana y en la capacidad productiva de la población (4). Así mismo, el aumento poblacional global, genera tensiones más sobre los recursos naturales, tal es el caso del agua. Por ello es necesario proponer tecnologías que busquen reutilizar los efluentes para que puedan ser reincorporados en el ciclo de producción, de modo que su vertimiento no afecte la naturaleza y ayude a reducir la demanda hídrica de la actividad (5).

Tomando en cuenta estos factores, se incrementa la demanda de soluciones sustentables para la gestión de aguas residuales en la actualidad constituye un desafío ecológico y sanitario en diversas regiones del mundo. En nuestro país, la inadecuada administración de los efluentes en los camales municipales representa una fuente significativa de contaminación del agua, a causa de la existencia de materia orgánica, nutrientes y la elevada carga de sólidos suspendidos que producen turbidez y modifican la calidad del agua que recibe los cuerpos de agua. En este contexto, la búsqueda de alternativas ecológicas para eliminar contaminantes ha llevado al estudio de coagulantes y floculantes naturales, cuyo empleo podría representar una estrategia respetuosa con el medio ambiente y económicamente viable.

De modo que, el presente estudio propone la remoción de la turbidez de los efluentes de camal municipal perteneciente al distrito de San Jerónimo, ubicado en la provincia de Andahuaylas; a través de la capacidad de coagulación- floculación por acción del mucílago de dos Cactáceas, neutralizando las partículas coloidales, con el objetivo de restaurar la calidad del agua que ha sido contaminada por dicha actividad, permitiendo que pueda ser reaprovechada en otros procesos (6).

El sanky (*Corryocactus brevistylus*) y el qaspio (*Browningia viridis*) son cactáceas originarias de los Andes de Perú, dentro del que se ubica Andahuaylas, ambas especies despertaron un gran interés en el presente estudio de investigación por sus potenciales características de coagulación y floculación. Su estructura abundante en polisacáridos, proteínas, mucílago, así como, distintos componentes bioactivos los cuales podrían ayudar a disminuir de manera eficaz la turbidez en los efluentes líquidos. Por consiguiente, el objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de coagulación y floculación del mucílago deshidratado a diversas dosis (0.75 g/L, 1.00 g/L y 1.25 g/L) extraído de estas especies, con el fin de tratar las aguas residuales procedentes del camal municipal de San Jerónimo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación de tipo experimental, implica la manipulación de variables independientes y dependientes para evaluar la efectividad de diferentes tratamientos en la reducción de impactos ambientales. Se ha empleado el método experimental del test de jarras y diseño de muestreo estratificado, se procedió a evaluar la capacidad coagulante – floculante del mucílago extraído a partir del sanky (*Corryocactus brevistylus*) y qaspio (*Browningia viridis*), con el propósito principal de evaluar la remoción de turbidez de efluentes provenientes del camal municipal del distrito San Jerónimo.

La población está determinada por la cantidad de aguas residuales de los efluentes del camal municipal del distrito de San Jerónimo y la muestra fue de 20 litros de agua residual recolectados del camal municipal de San Jerónimo, Andahuaylas. Este volumen se dividió en 18 submuestras de un litro cada una, las cuales fueron tratadas con diferentes concentraciones de mucílago deshidratado de ambas Cactáceas.

Cabe afirmar que, el muestreo probabilístico consiste en determinar por azar a cada uno de los individuos de la muestra. El punto de muestreo se determinó mediante un levantamiento del sitio para definir el área de extracción, utilizando un método de zonificación aleatoria simple recogiendo las muestras un día determinado en el mismo punto definido. Este punto de referencia es el pozo sedimentador, específicamente en la sección 3 (salida al sistema de alcantarillado público), ubicado en el camal municipal de San Jerónimo de Andahuaylas.

Variables del estudio

- Variable independiente: Capacidad coagulante-floculante del mucílago de sanky y qaspio.
- Variable dependiente: Grado de remoción de turbidez de los efluentes.
- Variables secundarias: pH, conductividad, sólidos disueltos totales y porcentaje de oxígeno disuelto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la Extracción del mucílago de sanky y qaspio tras la obtención de mucílago deshidratado, se recolectaron porciones específicas con su correspondiente peso, para su aplicación en el

tratamiento de aguas residuales del matadero municipal de San Jerónimo. Para este propósito, se extrajo mucílago deshidratado de las especies de sanky y qaspio.

Tabla 1. Pesos de mucílagos deshidratados.

Pesos específicos del mucílago deshidratado	
Mucílago deshidratado de sanky	200 gramos
Mucílago deshidratado de qaspio	180 gramos
Sulfato de Aluminio tipo A	500 gramos

Nota. Los esquejes de sanky (*Corryocactus brevistylus*) fueron recolectados de las quebradas del distrito Rocchacc, Chincheros, Apurímac. En caso del qaspio (*Browningia viridis*) la muestra se obtuvo en el centro poblado de San Fernando del distrito de Incahuasi de la provincia la Convención, ambas muestras fueron aproximadamente 10 kilogramos.

Tabla 2. Medida y porcentaje de rendimiento del mucílago fresco.

Materia prima	Peso Kg	Cantidad de mucílago obtenido en Kg	Rendimiento (%)
Sanky	5	1.80	36
Qaspio	5	0.615	12.3

Nota. Como resultado del proceso, se obtuvieron 1.80 kg de mucílago fresco a partir de los cactus de sanky, lo que representa un rendimiento del 36% respecto al peso inicial del material recolectado. Así mismo, se obtuvo 0.615 kg de mucílago de qaspio, lo que representa el 12.3% de su rendimiento respecto a la materia prima inicial.

Para evaluar el porcentaje de su capacidad en la eliminación de parámetros del agua se utilizó las siguientes fórmulas:

- Efectividad de eliminación del Oxígeno disuelto:

$$\% \text{ Efectividad remoción} = \frac{\text{Colorinicial (UPC)} - \text{Colorfinal (UPC)}}{\text{Colorinicial (UPC)}} \times 100$$

- Efectividad de eliminación de la turbidez:

$$\% \text{ Efectividad remoción} = \frac{\text{Turbiedadinicial (NTU)} - \text{Turbiedadfinal (NTU)}}{\text{Turbiedadinicial (NTU)}} \times 100$$

- Efectividad de eliminación de Sólidos disueltos totales ppm Tds

$$\% \text{ Efectividad remoción} = \frac{\text{SSTinicial} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) - \text{SSTfinal} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{\text{SSTinicial} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)} \times 100$$

Resultados del proceso de tratamiento con mucílago de qaspio (*Browningia viridis*) y sanky (*Corryocactus brevistylus*).

En la Tabla 3, se evidencia los resultados obtenidos durante la prueba del Test de jarras, donde los parámetros evaluados son los

siguientes: Turbidez (UNT), Conductividad eléctrica ($\mu\text{Cm/cm}$), Sólidos disueltos totales ppm TDS, utilizando un periodo de tratamiento de (25, 30 y 35 min) y dosis de (0.75 g/L, 1.00 g/L y 1.25 g/L) de mucílago de qaspio (*Browningia viridis*) y sanky (*Corryocactus brevistylus*).

Tabla 3. Prueba de Jarras para coagulante de qaspio y sanky.

Jarra N°	Dosis de Coag. (g/L)	Tiempo de contacto (min)	Turbiedad (UNT)	Conductividad eléctrica (μCm/cm)	Solidos disueltos totales ppm TDS	pH	Oxígeno disuelto
QASPIO							
1	0.75	25	61.8	754	377	8.48	96.7
		30	101	736	382	8.85	101.7
		35	100.3	822	425	8.33	81.7
2	1	25	101.7	772	388	8.6	97.2
		30	76.9	809	405	8.96	103
		35	149	875	437	8.22	77.5
3	1.25	25	100.1	839	418	8.42	97.1
		30	87	854	427	8.86	107.5
		35	117	914	457	8	87.4
SANKY							
3	0.75	25	110	895	449	8.57	96.6
		30	87.4	945	473	8.84	104.9
		35	78.9	791	395	9.98	103
4	1	25	169.3	1035	517	7.56	102.6
		30	116.6	1065	532	8.84	97
		35	140.6	1194	597	7	108
5	1.25	25	167.3	1087	540	8.44	99.3
		30	127.3	1119	560	8.76	92.4
		35	127	1440	722	8.05	114.6

En la Tabla 3, se presenta las dosis empleadas en la eficiencia de remoción para el coagulante natural de qaspio presentando de esta manera un porcentaje superior de eliminación de turbiedad del 87.98 %, una conductividad eléctrica del 37.94 % y un total de solidos disueltos ppm TDS del 35.45%, respectivamente. Demostrando que a un

tiempo de remoción de 25 y 30 minutos se tiende a visualizar porcentajes más altos, lo cual indica mayor eficiencia en la remoción de los parámetros analizados. Así mismo, los porcentajes más altos de eliminación de turbiedad, conductividad eléctrica y TDS fueron del 84.65%, 33.31% y 32.36% respectivamente.

En ese entender, la mejor capacidad de remoción aplicando el coagulante de sanky, se suscitó en la jarra 1, con una dosis de 0.75 g/L en un tiempo de contacto de 35 minutos. Indicando la condición óptima para maximizar la remoción simultanea de turbiedad, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales. El coagulante de sanky muestra cierto grado de potencial para la remoción de turbiedad en las muestras extraídas del agua del camal municipal de San Jerónimo. Pero su eficiencia no es total y depende de las condiciones de aplicación.

Comparación de la eficiencia de remoción de gaspio y sanky con una dosis de 0.75g/L

En la Figura 1, se evidencia que el mucílago de sanky (*Corryocactus brevistylus*), con una concentración de 0.75 g/L y un periodo de tratamiento de 35 minutos, tuvo mayor capacidad en la eliminación de sólidos disueltos totales (TDS), logrando una reducción del 32.36%, lo que equivale a una disminución significativa de los valores, pasando de 584 g/L a 395 g/L.

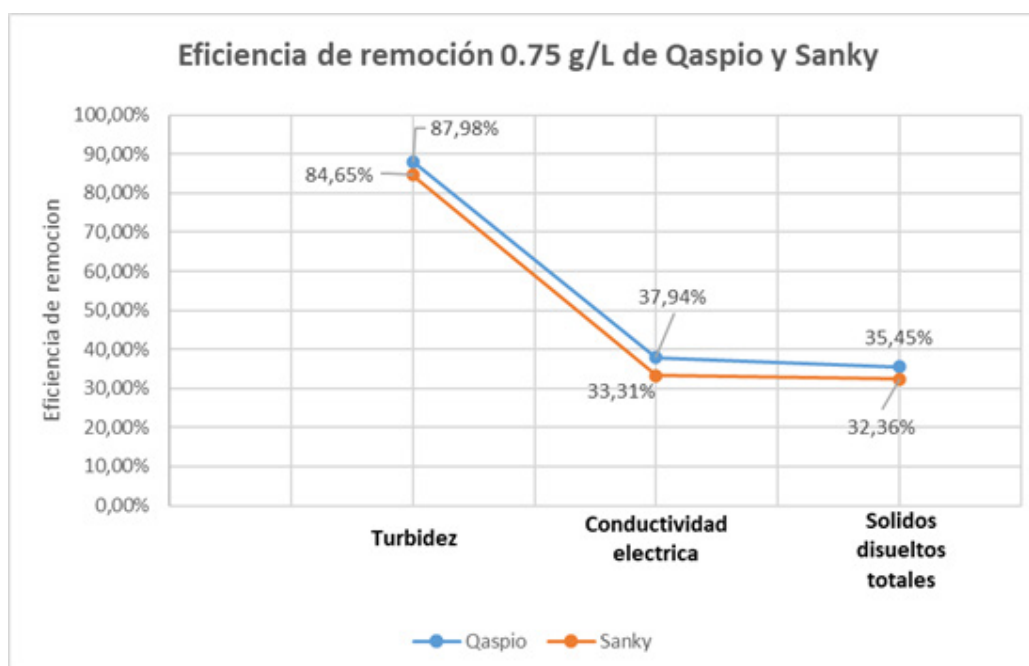


Figura 1. Eficiencia de remoción con la dosis 0.75 g/L de qaspio y sanky.

En la Figura 1, se observa la comparación de los parámetros físicoquímicos (Turbidez, conductividad eléctrica y Sólidos disueltos totales) del agua residual tratada con coagulantes

naturales de qaspio y sanky, siendo el qaspio con mayor eficiencia en la eliminación de turbidez de aguas residuales del camal municipal del distrito de San Jerónimo.

Tabla 4. Prueba de Jarras para coagulante de qaspio y sanky.

Jarra N°	Dosis de Coag. (g/L)	Tiempo de contacto (min)	Parámetros		
			Turbiedad (UNT)	Conductividad eléctrica (μCm/ cm)	Solidos disueltos totales ppm Tds
QASPIO					
1	0.75	25	87.98%	36.42%	35.45%
		30	80.35%	37.94%	34.59%
		35	80.49%	30.69%	27.74%
2	1	25	80.21%	34.91%	33.56%
		30	85.04%	31.79%	30.65%
		35	71.01%	26.22%	25.17%
3	1.25	25	80.53%	29.26%	28.42%
		30	83.07%	27.99%	26.88%
		35	77.24%	22.93%	21.75%
SANKY					
1	0.75	25	78.59%	24.54%	23.12%
		30	82.99%	22.85%	19.01%
		35	84.65%	33.31%	32.36%
2	1	25	67.06%	31.54%	22.26%
		30	77.32%	32.97%	26.03%
		35	72.65%	30.44%	14.9%
3	1.25	25	67.45%	26.22%	24.66%
		30	75.23%	28.41%	21.23%
		35	75.29%	24.37%	24.32%

En la Tabla 4, se presenta las dosis empleadas en la eficiencia de remoción para el coagulante natural de qaspio, presentando de esta manera un porcentaje superior de eliminación de turbiedad del 87.98 %, una conductividad eléctrica del 37.94 % y un total de sólidos disueltos ppm TDS del 35.45%, respectivamente. Demostrando que a un tiempo de remoción de 25 y 30 minutos se tiende a visualizar porcentajes más altos, lo cual indica mayor eficiencia en la remoción de los parámetros analizados. Así mismo se refleja los

porcentajes más altos de eliminación de turbiedad, conductividad eléctrica y TDS con el sanky fueron del 84.65%, 33.31% y 32.36% respectivamente. En ese entender, la mejor capacidad de remoción aplicando el coagulante de sanky, se suscitó en la jarra 1, con una dosis de 0.75 g/L en un tiempo de contacto de 35 minutos. Indicando la condición óptima para maximizar la remoción simultanea de turbiedad, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales.

Discusión

El análisis inicial del agua residual del camal municipal de San Jerónimo se llevó a cabo teniendo en cuenta los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) actuales, de acuerdo a los resultados consideramos lo siguiente:

Turbidez: 514 UNT. Este valor supera considerablemente el límite de 100 UNT establecido por la normativa para aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable (Subcategoría A2). Una turbidez elevada puede indicar una alta concentración de materia suspendida, afectando la claridad del agua y su calidad general. La elevada turbidez representa una inquietud importante, pues puede restringir la entrada de luz solar en el agua, impactando los procesos de fotosíntesis de las vegetaciones acuáticas y alterando las cadenas tróficas. Además, podría indicar la presencia de patógenos o contaminantes químicos adheridos a las partículas suspendidas, lo cual constituye una amenaza para la salud pública.

Sólidos disueltos totales (TDS): 584 mg/L. Este valor se encuentra dentro de los límites establecidos en la Categoría 1, Subcategoría A2 del ECA para aguas superficiales utilizadas en la producción de agua potable, con un límite máximo permitido de 1000 mg/L. Aunque el valor de 584 mg/L se encuentra dentro de las restricciones establecidas para aguas superficiales utilizadas en la producción de agua potable (límite máximo de

1000 mg/L), su presencia indica una contribución significativa de solutos disueltos en el agua. Estos sólidos pueden provenir de diversas fuentes, incluyendo desechos orgánicos e inorgánicos asociados a las actividades del camal. Si bien el nivel actual no representa un riesgo directo según los ECA, un aumento progresivo podría comprometer la calidad del agua a largo plazo y dificultar su tratamiento para consumo humano. Además, niveles elevados de TDS pueden impactar negativamente a los ecosistemas acuáticos, alterando la osmolaridad y afectando la flora y fauna sensibles.

Oxígeno disuelto (OD): 4.5 mg/L. Este nivel se encuentra por debajo del mínimo establecido (≥ 5 mg/L) para la misma subcategoría. Esto sugiere que el agua podría estar experimentando condiciones desfavorables para la vida acuática, particularmente para organismos sensibles que dependen de niveles adecuados de OD. El bajo nivel de OD indica una posible sobrecarga de materia orgánica en el cuerpo receptor. Esto podría estar asociado a la descomposición de residuos biológicos provenientes del camal, favoreciendo procesos como la eutrofización y afectando la biodiversidad acuática. La deficiencia de oxígeno también puede incrementar la proliferación de microorganismos anaerobios, generando malos olores y condiciones adversas para el uso recreativo o potable del agua.

Conductividad eléctrica (CE): 1186 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este valor es inferior al límite de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ establecido para aguas destinadas al riego de vegetales (Categoría 3). Sin embargo, debe interpretarse en función de la carga iónica del agua y su impacto potencial en los ecosistemas receptores. Aunque dentro de los límites aceptables para riego, el valor obtenido podría implicar la presencia de sales disueltas que, en concentraciones mayores, podrían afectar la fertilidad del suelo y los cultivos irrigados con estas aguas.

pH: 6.54, este valor está dentro del rango permitido por el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA para las descargas al sistema de alcantarillado sanitario, que establece un rango de 6 a 9. El pH se encuentra dentro del rango permitido, lo que indica que las aguas residuales no presentan una acidez o alcalinidad extrema. Sin embargo, este parámetro por sí solo no refleja el impacto combinado de otros contaminantes presentes.

La extracción del mucílago se llevó a cabo de acuerdo al método propuesto de Villanueva (7). A partir de 5 kg de materia prima (mucílago fresco), se obtuvo 1.80 kg de mucílago deshidratado de sanky, lo que implica un rendimiento del 36%. De manera similar, para la extracción del mucílago de qaspio, se obtuvo 0.615 kg de mucílago deshidratado utilizando la misma cantidad de materia prima (mucílago fresco), lo que representa un rendimiento del 12.3%. Estos resultados son

comparables a los obtenidos por Balderrama et al. (8) en su investigación, reportaron un rendimiento de 13.6% y 12.3% en la extracción de almidón de oca y papa, respectivamente, obteniendo 0.68 y 0.615 g de almidón a partir de 5 kg de cada tubérculo.

Los resultados obtenidos al aplicar el mucílago deshidratado de qaspio (*Browningia viridis*) en las aguas del camal municipal del distrito mencionado indican que los porcentajes máximos de remoción de turbidez, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales fueron 87.98%, 37.94% y 35.45%, respectivamente, con una dosis de 0.75 g/L de mucílago deshidratado de qaspio (*Browningia viridis*) y un tiempo de tratamiento de 25 a 30 minutos. Este proceso incluyó 5 minutos de agitación rápida, seguidos de 15 minutos de agitación lenta y luego 10 minutos de sedimentación. El pH resultante fue 7.69 y la conductividad eléctrica alcanzó 1186 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Comparando estos resultados con la investigación de Villanueva (7), donde los porcentajes de eliminación de turbidez variaron entre 62 y 90% para Cactus y 60 a 78% para la especie de San Pedro, en su estudio se utilizó cáscara de plátano como coagulante, logrando también una eliminación de sólidos suspendidos totales (SST) del 66.66% con polvo de semilla de papaya, ambos con una dosis de 400 mg/L.

Para un tratamiento de 35 minutos con una dosis de 0.75 g/L de mucílago deshidratado

de sanky (5 minutos de agitación rápida, 15 minutos de agitación lenta y 10 minutos de sedimentación), se obtuvieron porcentajes máximos de eliminación del 84.65%, 33.31% y 32.36% de turbidez, así como de conductividad eléctrica ($\mu\text{Cm/cm}$), y de sólidos disueltos totales ppm TDS. Respecto a los niveles de pH y de los sólidos disueltos en agua tratada, se consiguió una disminución mínima del pH a 7 con una dosis de 1 g/L y 9.98 con una dosis de 0.75 g/L, ambos en un tratamiento de 35 minutos. Además, se registró un incremento en el oxígeno disuelto, de 4.5 g/L a 114.6 g/L a una dosis de 1.25 g/L durante un tratamiento de 35 minutos.

Gonzales et al. (9) trataron aguas residuales de mataderos utilizando un coagulante natural (*Opuntia ficus-indica*) y un coagulante químico (sulfato de aluminio) en donde se obtuvo resultados similares. Para lograr una tasa de eliminación del 97.79% de la turbidez y del 98.99% de los SST, la dosis efectiva combinada de los coagulantes (*Opuntia ficus-indica* + sulfato de aluminio) es de 700 mg/L, y el tiempo de mezcla óptimo es de 30 minutos, donde se redujo a 1440.33 $\mu\text{S/cm}$ de conductividad y pH se mantuvo en 7.0.

Por otro lado, Ortiz et al. (10) utilizó 750 mg/L de almidón de yuca y 250 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, lo que proporcionó una capacidad de remoción de turbidez del 75% y una capacidad de 78% para el color. De igual forma, Massa (11) investigó

la eficacia de las semillas de guanábana como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales residenciales en la región de Ica. Obteniendo como resultado que la dosificación ideal era de 0.8 g/500 ml correspondiente a 1600 mg/L de semilla de guanábana, lo que podría disminuir la turbidez en un 54.78%.

En cuanto a la evaluación de la efectividad del mucílago de qaspio (*Browningia viridis*) y sanky (*Corryocactus brevistylus*), en la remoción de efluentes provenientes del camal municipal de San Jerónimo, los resultados obtenidos muestran diferencias significativas en su desempeño como coagulantes naturales. Con una dosis de 0.75 g/L de mucílago de qaspio deshidratado, se obtuvo un porcentaje superior de eliminación de turbidez (61.8 UNT) y sólidos disueltos totales (377 ppm TDS) en comparación con el mucílago de sanky, que alcanzó 78.9 UNT para la turbidez y 395 ppm TDS. Esto demuestra que el mucílago de qaspio es más eficaz en la remoción de turbidez y sólidos disueltos totales, logrando resultados óptimos con la misma dosis.

El mejor desempeño del mucílago de qaspio podría atribuirse a diferencias en su composición química, como la concentración de polisacáridos y compuestos bioactivos que favorecen la formación de flóculos más densos y estables, lo que facilitó la remoción de agentes contaminantes presentes en el agua. Adicionalmente, el tamaño y la estructura molecular de los componentes del qaspio podrían

influir en su mayor capacidad para neutralizar cargas y capturar partículas suspendidas. Por otro lado, el mucílago de sanky también demostró una eficacia considerable en la eliminación de turbidez y sólidos disueltos totales, aunque con una ligera menor eficiencia que el qaspio. Esto sugiere que, aunque el sanky tiene potencial como coagulante natural, su desempeño podría optimizarse mediante ajustes en la dosis o en las condiciones del tratamiento, como el tiempo de agitación o sedimentación.

CONCLUSIONES

En la presente investigación, los mucílagos extraídos de sanky (*Corryocactus brevistylus*) y qaspio (*Browningia viridis*) presentaron una notable capacidad coagulante-floculante en la remoción de turbidez en los efluentes del camal municipal del distrito de San Jerónimo. Logrando la efectividad de ambas especies de cactáceas en la mejora de la calidad del agua, alcanzando parámetros que cumplen con los estándares ambientales.

De tal manera, se logró identificar que las dosis óptimas de mucílagos, para el coagulante natural de qaspio 0.75 g/L y para el coagulante natural de sanky 1.25 g/L, dependiendo de los tiempos de tratamiento aplicados. Respaldando la viabilidad del uso de los mucílagos como coagulantes naturales en el tratamiento de efluentes provenientes de actividades de mataderos municipales.

Los experimentos realizados con diferentes dosis y tiempos de sedimentación confirmaron que los mucílagos de sanky y qaspio son efectivos para reducir significativamente la turbidez de las aguas residuales. La capacidad coagulante de estos compuestos permite recuperar la calidad del agua de manera sostenible, alcanzando remociones de turbidez superiores al 80% en aguas superficiales.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaramos que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fernández A. El agua: un recurso esencial. Química Viva. 2012. (3); 11: 147-170. <https://n9.cl/9v6r7>
2. Muñoz D. Sistema de tratamiento de aguas residuales de matadero. 2005. (3): 87-98. <https://n9.cl/w88zne>
3. Espinoza S. Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Municipal del Distrito de Tuman. 2017; 1. <https://n9.cl/gbagx4>
4. Bustíos C, Martina M, Arroyo R. Deterioro de la calidad ambiental y la salud en el Perú actual. Revista Peruana de Epidemiología. 2013; 17(1). 1-9. <https://n9.cl/a5fd4o>
5. (INEI) INdEel. Población del departamento de Apurímac totalizó 405 mil 759 personas al 2017. 2018 (22). <https://n9.cl/5viot>
6. El Peruano. Aprueban Consideraciones y Términos de Referencia para la elaboración del Instrumento de Gestión Ambiental del Proceso de Adecuación Progresiva (IGAPAP). 2023 junio (14). <https://n9.cl/yb8fba>
7. Villanueva J. Efecto de tres concentraciones de mucílago de tuna (*Opuntia ficus indica* (L) Miller) y de San Pedro (*Echinopsis pachanoi* (Britton & Rose) Friedrich & G.D. Rowley) en la clarificación del agua. 2019. <https://n9.cl/3k6n9>

8. Balderrama A, Damiano D. Eficiencia del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y papa (*Solanum tuberosum*) en la clarificación de aguas residuales del camal municipal de San Jerónimo. 2022; I. <https://n9.cl/ngse3d>
9. Gonzales G, Meneses, Sanchez E. Acción conjunta de coagulantes (*Opuntia ficus-indica* - sulfato de aluminio) para la reducción de contaminantes del agua residual del camal de res, distrito San Vicente – provincia de Cañete, 2022. (Tesis de Pregrado). 2022; <https://n9.cl/sos20>
10. Ortiz V, Gaspar O, Torres C, Pampillón L. Almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas. Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CIBA). 2018; 7(13). <https://doi.org/10.23913/ciba.v7i13.73>
11. Massa L. Semillas de guanabana (*Annona moricata*) como coagulante-floculante orgánico en el tratamiento de aguas residuales domésticas del Cercado de Ica-2019. (Tesis de Maestría) 2021; <https://n9.cl/b0qa2>