

Opuntia ficus-indica for the removal of organic material and turbidity of wastewater from the Frigorífico “La Colonial” slaughterhouse, Callao in 2023




Norma Yhanilu Muguerza Salazar¹, Pamela Alexandra Jacobo Salinas², y Magda Velasquez Marin, Mtr³
^{1,2,3}Universidad Privada del Norte, Perú, N00204404@ upn.edu.pe, N00204855@upn.edu.pe, magda.velasquez@upn.edu.pe

*Abstract– The main problem affecting the world was the contamination of water bodies, which had a negative impact on public welfare and the environment. This was further increased by the productive activity of the farms, which had final effluents with a high organic load, making them fixed sources of contamination, because they had an insufficient system for treating their liquid, solid and gaseous wastes. In addition, due to the lack of information on the functioning, operation and maintenance, only some cities had insufficient wastewater treatment. The “La Colonial” meatpacking plant did not properly treat its wastewater, which went into the sewage system and, finally, into bodies of water, affecting the marine-coastal zone. The main objective of the research was to determine the effectiveness in the removal of turbidity and organic matter of the nopal (*Opuntia ficus-indica*) coagulant through the performance of jar test trials where data on the study parameters were collected. The results showed the removal of BOD5 (Biochemical Oxygen Demand) in 75.32%, TSS (Total Suspended Solids) 97.59% and turbidity 97.68%. In the case of TSS (Total Suspended Solids) (mg/L) and pH, which were maintained, were within the regulations of Supreme Decree No. 010-2019-VIVIENDA - Maximum Allowable Values (MAV) for discharges to the sanitary sewer system. Finally, it was concluded that the most effective dose was 40 mg/L because it had managed to greatly reduce the various parameters in spite of the factors of time and agitation, which played a great role.*

*Key words— Wastewater, *Opuntia ficus-indica*, organic material, turbidity, removal.*

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Opuntia ficus-indica para la remoción de material orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal Frigorífico “La Colonial”, Callao en el 2023

Norma Yhanilu Muguerza Salazar¹, Pamela Alexandra Jacobo Salinas², y Magda Velasquez Marin, Mtr³
^{1,2,3}Universidad Privada del Norte, Perú, N00204404@upn.edu.pe, N00204855@upn.edu.pe, magda.velasquez@upn.edu.pe

Resumen— *El principal problema que afectaba al mundo era la contaminación de los cuerpos de agua, que impactaba negativamente en el bienestar público y el ambiente. Esto se incrementaba más a raíz de la actividad productiva de los camales, los cuales presentaban efluentes finales con alto contenido de carga orgánica, haciendo que fueran considerados fuentes fijas de contaminación; por presentar un insuficiente sistema para tratar sus residuos líquidos, sólidos y gaseosos. Además, debido a la poca información que existía sobre el funcionamiento, operación y mantenimiento, es que solo algunas ciudades realizaban un insuficiente tratamiento de las aguas residuales. El camal Frigorífico "La Colonial", no trataba correctamente sus aguas, las cuales iban al alcantarillado y, por último, a los cuerpos de agua afectando la zona marino-costera. En la investigación se tenía como objetivo principal determinar la eficacia en la remoción de turbidez y materia orgánica del coagulante de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a través de la realización de ensayos de prueba de jarra donde se recolectaron datos sobre los parámetros de estudio. Los resultados mostraban la remoción de la DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en un 75.32%, SST (Sólidos Totales Suspendidos) 97.59% y turbidez 97.68%. En el caso de los SST (Sólidos Totales Suspendidos) (mg/L) y pH, los cuales se mantuvieron, estaban dentro de la normativa del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA – Valores Máximos Admisibles (VMA) para descargas al sistema de alcantarillado sanitario. Por último, se llegó a la conclusión de que la dosis más efectiva era de 40 mg/L pues había logrado reducir en gran medida los diversos parámetros a pesar de los factores de tiempo y agitación, los cuales cumplían un gran papel.*

Palabras claves— *Agua residual, Opuntia ficus-indica, materia orgánica, turbidez, remoción.*

I. INTRODUCCIÓN

A. Realidad problemática

Actualmente, se identifica como el principal problema ambiental la contaminación del agua, la cual tiene una gran trascendencia debido al crecimiento poblacional y los avances tecnológicos que resultan del desmedido consumo de los recursos naturales. Esto se ve agravado por la enorme cantidad de aguas residuales que se vierten directa e indirectamente en los cuerpos de agua sin recibir ningún tipo de tratamiento previo, lo que genera un impacto negativo en el bienestar público y el ambiente [1]. Específicamente, los efluentes finales de la actividad productiva de los camales se caracterizan por su alto contenido de carga orgánica en términos de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno) y SST (Sólidos Totales Suspendidos), considerados altamente contaminantes [2].

En América Latina, aproximadamente el 70% de las aguas residuales no reciben tratamiento, lo que dificulta cerrar el ciclo del agua, especialmente en lo que respecta al reúso, debido a la alta contaminación [3]. Además, la demanda mundial de recursos hídricos, el vertido de aguas residuales y el nivel de contaminación continúan en aumento [4].

En países subdesarrollados, donde solo se trata alrededor del 8% de las aguas residuales en comparación con el 70% de los países desarrollados, el vertido directo de aguas residuales en ríos, lagos y mares tiene impactos negativos en el ambiente y la salud de los habitantes [5].

El crecimiento de la población y del mercado genera que las empresas dedicadas a la producción, industrialización y comercialización de carne, especialmente los mataderos, presenten características negativas que deben abordarse para optimizar la producción y minimizar los impactos ambientales [6]. Los camales, como fuentes fijas de desechos líquidos, emiten olores desagradables y perjudiciales al medio ambiente, y en algunos casos carecen de un sistema adecuado para tratar sus residuos líquidos, sólidos y gaseosos, convirtiéndose en focos de contaminación ambiental [7].

En el Perú, la presencia de camales clandestinos con vertimientos ilegales de efluentes a distintos cuerpos de agua contribuye significativamente a la contaminación [8].

Es preocupante que solo algunas ciudades realicen un tratamiento adecuado de las aguas residuales debido a la falta de información sobre su funcionamiento, operación y mantenimiento [9].

Las inspecciones ambientales se ven obstaculizadas por la amplia gestión de aguas residuales en el país y los problemas relacionados con la calidad del servicio en la administración de efluentes, especialmente a nivel local y distrital [10].

Además, persisten problemas como condiciones antihigiénicas en los mataderos y el manejo inadecuado de la carne durante el sacrificio, almacenamiento y transporte [11]. Para reforzar esta premisa, se puede mencionar el impacto negativo en el ecosistema marino debido a las fuentes contaminantes que vierten agua sin tratar directa e indirectamente [12].

Los mataderos, con un sistema de drenaje considerado fuente infecciosa debido a los insectos y aves carroñeras que transportan sus aguas residuales, ponen en peligro la salud pública y el ecosistema marino si estos efluentes se descargan directamente al océano [2]. Por lo tanto, es necesario que las

aguas residuales de los camales pasen por un tratamiento para minimizar los agentes contaminantes.

En el distrito del Callao se encuentra ubicado el camal Frigorífico "La Colonial", con una carga elevada de material orgánico y turbidez en sus aguas que, de no tratarse correctamente, se vierten en el alcantarillado y, finalmente, en los cuerpos de agua, afectando directamente.

La calidad de los recursos hídricos en el camal se ve deteriorada debido a la ejecución de los animales, sus desechos, evisceración, faenamiento y estabulación [13]. Las principales causas que afectan las aguas en los camales incluyen la orina, heces, desangrado, pelusa, lodos, restos de carne y grasa de los animales sacrificados [14]. Para su tratamiento, se utiliza un proceso de coagulación que implica el uso de sustancias químicas, siendo el sulfato de aluminio una de las más comunes, aunque presenta desventajas como su elevado costo, formación de lodos y alteración del pH [15].

En el contexto mencionado, se buscan tecnologías limpias que empleen coagulantes naturales sin dejar residuos tóxicos al eliminar los parámetros físico-químicos del agua [16]. La planta *Opuntia ficus-indica*, por sus propiedades, resulta idónea para clarificar el agua, eliminando partículas suspendidas como materia orgánica, turbidez, color, entre otros, y ofreciendo resultados óptimos y beneficios ecológicos [17].

La investigación actual tiene como objetivo principal determinar la eficacia en la remoción de turbidez y materia orgánica utilizando el coagulante de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a través de ensayos de prueba de jarra, donde se recopilaban datos sobre los parámetros de estudio.

II. METODOLOGÍA

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, ya que se estimaron las magnitudes u ocurrencias del fenómeno y se determinó si existía una conexión de las variables entre causa y efecto, poniendo a prueba la hipótesis.

El carácter experimental de este estudio se caracterizó por el examen cuantitativo de la gestión o control de la variable independiente, lo que requería un plan de acción, como un programa de intervención o el establecimiento horizontal de los parámetros de rango [18]. Esto implicaba una relación causal entre variables, donde un factor, tratamiento, condición o intervención podía ser manipulado o controlado por el investigador para probar el efecto sobre la variable dependiente que actuaba como variable independiente en un diseño experimental.

Como resultado, en este estudio se estableció el uso y la conexión de causa y efecto de este biocoagulante a través de datos y análisis recopilados en campo y laboratorio, confirmando los hallazgos mediante un diseño experimental basado en el análisis de varianza o ANOVA, y utilizando gráficos para identificar el curso de acción más eficaz.

La investigación explicativa obtuvo un valor óptimo, lo que implicaba tener un listado con los procedimientos,

herramientas, análisis, muestreos, entre otras técnicas que dieran sostenibilidad a la aplicación; el desarrollo y los resultados, de manera inmediata y directa, determinarían y servirían como base para poner en práctica una realidad circunstancial más que desarrollar teorías [19].

Esta investigación se consolidó a un nivel aplicativo, buscando alcanzar la eficiencia en los resultados mediante una metodología viable que redujera la turbidez y materia orgánica de las aguas residuales del matadero Frigorífico "La Colonial" [19].

A. Población, muestra y muestreo

Se consideró como población al caudal total de las aguas residuales, resultado del trabajo, mantenimiento y limpieza en el matadero Frigorífico Camal "La Colonial" ubicado en el distrito del Callao, Perú, las cuales presentaban un gran volumen de materia orgánica y turbidez generada por la matanza de animales en el lugar.

Se recopilaron 110 litros de agua residual del matadero "La Colonial" para el proceso de coagulación utilizando el test de jarras, en diversas condiciones de agitación como 100, 200 y 300 RPM y diferentes tiempos entre 10, 20 y 30 minutos, muestras que se almacenaron en baldes depurados y desinfectados previamente; esta selección de muestra fue de tipo no probabilístico.

Debido a que la selección de las muestras no se basó en fórmulas probabilísticas, se optó por un tipo específico de muestreo por conveniencia.

B. Técnica e instrumento de recolección de datos

Se utilizó la técnica de observación estructurada y el instrumento fue la hoja de recolección de datos para la prueba de jarras. Las hojas se crearon antes de iniciar el procedimiento, basándose en un informe de campo de muestreo de calidad de agua, aprobado por el jefe de calidad y laboratorio de la empresa GREENLAB PERÚ S.A.C.

Los equipos utilizados para la experimentación pertenecen al laboratorio GREENLAB PERÚ S.A.C., los cuales han sido calibrados y/o verificados con una constancia validada por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

C. Procedimiento

Los nopales de *Opuntia ficus-indica* se recolectaron cerca de la intersección de la Avenida Santa Rosa y Sullana. Se puso especial énfasis en asegurar que las plantas no presentaran ningún síntoma de enfermedad u hongos, ya que estos podrían comprometer la seguridad del coagulante.

Los tallos previamente seleccionados fueron pesados con el fin de llevar un control del balance de materia prima y posteriormente elaborarlo para mostrar cuánto material se perdió durante el proceso de elaboración a base del nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural. Las pencas se limpiaron con una escobilla, esponjas y guantes para eliminar la tierra y espinas. Se dio una segunda lavada para retirar los

residuos restantes de la superficie. Se utilizaron pinzas y escalpelos para quitar las espinas con el fin de acelerar el pelado de los tallos y evitar accidentes.

Los tallos se pelaron manualmente con bisturí, pelador y cuchillos; debido a que las hojas de tuna tenían una cutícula gruesa y cerosa, se tomó la decisión de sacar todo porque podría afectar el proceso de secado. Las hojas de tuna se cortaron de manera que se aumentara la superficie para un adecuado secado. Se realizaron varias pruebas con los tamaños de corte y las distintas piezas se secaron durante la misma cantidad de tiempo en cada superficie. Finalmente, se decidió hacer cortes rectangulares de 1 cm de ancho por 6 cm de largo y 1 cm de espesor.

La pulpa de higo chumbo, ya cortada en tiras y sin cáscara, se sometió a un proceso de secado continuo durante 48 horas a una temperatura de 60 ± 1 °C en charolas de aluminio. La deshidratación condujo a una reducción significativa del tamaño y la fragilidad de las tiras.

En el proceso de molienda se empleó un mortero de porcelana, buscando hacer que las partículas del material fueran más pequeñas. Las tiras de tallo de tuna se trituraron y secaron, convirtiéndose en un polvo de color verde amarillento. Para estandarizar el diámetro de las partículas, el polvo obtenido se cernió a través de un tamiz de 0.6 mm de diámetro hasta obtener partículas muy finas. Esto se hizo para fomentar la extracción de pigmentos.

Para eliminar la clorofila del coagulante, se realizó una extracción sólido-líquido sobre el polvo obtenido. Se utilizó 96% de etanol como solvente durante el proceso de extracción Soxhlet de aproximadamente seis horas. Durante este proceso, se notó que el polvo cambiaba de incoloro a amarillo cuando el solvente entraba en contacto con él. Esto resultó en la creación de una solución de color verde oscuro que comprendía tanto el etanol como los pigmentos extraídos del tallo de la tuna.

Cuando se visualizó que la extracción alcanzó su punto máximo, se sacó y se metió en una estufa a 60 °C durante dos horas para quemar el exceso de disolvente aglomerado. Las partículas se homogeneizaron una vez más con una molienda final en el mortero de porcelana.

Como resultado, se produjo un polvo fino de color blanquecino marfil con un diámetro de 0.6 mm.

A temperatura ambiente, se secó el polvo de nopal y este se conservó en el desecador hasta que se necesitara.

D. Caracterización de la penca de tuna

1) Caracterización fisicoquímica de la penca de la tuna

En el laboratorio GREENLAB PERÚ S.A.C. se realizó el proceso de caracterización del tallo de la tuna (*Opuntia ficus-indica*). Los parámetros analizados se seleccionaron considerando la revisión bibliográfica, con el fin de corroborar que la planta empleada para el proyecto presentaba las características adecuadas.

1.1 Determinación de % de humedad

Mediante el método gravimétrico, se determinó la humedad. El procedimiento se basó en pesar 4 muestras de tallo de tuna, que pesaban alrededor de 5 g cada una; posteriormente, se secaron las muestras en una estufa a 65 °C durante un período de 4 horas [20].

La siguiente fórmula se utilizó para calcular la humedad:

$$\%Humedad = \frac{m_o - m_f}{m_o} \times 100\% \quad (1)$$

Donde:

- m_o = Masa inicial de la muestra (g)
- m_f = Masa final de la muestra (g)

1.2 Determinación de % de ceniza

Se empleó el método físico gravimétrico para determinar el porcentaje de ceniza del tallo de la tuna. Se colocaron muestras de aproximadamente 5 g cada una en crisoles de porcelana y luego se calentaron en un horno a 600 °C durante dos horas para producir cenizas blanquecinas [20].

La siguiente fórmula se utilizó para el cálculo del porcentaje de ceniza:

$$\%Cenizas = \frac{m_f}{m_o} \times 100\% \quad (2)$$

Donde:

- m_o = Masa inicial de la muestra (g)
- m_f = Masa final de la muestra (g)

1.3 Determinación de pH

Se utilizó el multiparámetro (Hatch) para medir con precisión el pH de la solución. Primero, se prepararon las muestras, lo cual implicó limpiar y pelar las hojas de tuna, y luego triturarlas para acelerar la mezcla durante 10 minutos a alta velocidad. Finalmente, el mucílago se filtró con una tela y se realizó la medición del pH de la solución.

Promediando los valores obtenidos de las tres mediciones, se calculó el pH:

$$pH = \frac{pH_1 + pH_2 + pH_3}{3} \quad (3)$$

E. Validez y confiabilidad de información

La veracidad de una investigación y el grado en que se cree libre de errores se conocía como validez, lo cual iba de la mano con la confiabilidad de los resultados de las técnicas e instrumentos al medir las variables, siendo más precisas y exactas las mediciones apropiadas para los objetivos del estudio [21]. La validez del contenido de la ficha técnica se realizó en base a la base de datos de los autores citados en este estudio, quienes obtuvieron resultados que cumplieron con su objetivo de investigación y trabajaron en base al método científico. Además, para la medición de los parámetros se empleó el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: Supplement to the 19th Edition, un libro validado internacionalmente que proporcionaba detalles sobre los diversos métodos utilizados para analizar las aguas residuales y

estudiar la calidad del agua; asimismo, los equipos estaban correctamente calibrados y contaban con un certificado emitido por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

F. Aspectos éticos de la investigación

El estudio se apegó a las normas del código de ética en investigación de la Universidad Privada del Norte, cuyo objetivo era fomentar el respeto a la integridad y la autonomía.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados de la investigación se obtienen con la finalidad de buscar la dosis óptima del coagulante en polvo a base de nopal que tenga mayor eficiencia para poder remover la materia orgánica y turbidez del agua residual del camal Frigorífico “La Colonial”. Se realizan doce corridas aplicando diferentes dosis del coagulante: 25, 40 y 50 mg/L, con tres velocidades: 100, 200 y 300 RPM, y en diferentes tiempos: 10, 20 y 30 minutos. Se descubre que la dosis más eficiente se relaciona directamente con las variables de concentración, tiempo y velocidad. Respecto a los análisis realizados al agua del camal, en la tabla 1 se pueden observar los resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados antes de tratar el agua mediante la adición del coagulante en polvo. Observar la tabla I.

TABLA I
ANÁLISIS FISICOQUÍMICO INICIAL DEL EFLUENTE DEL CAMAL “LA COLONIAL”

Parámetros	Unidad	Resultados
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	1120
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	3570
pH	unidad	7.55
Sólidos Totales Suspendedos	mg/L	766.5
Turbiedad	NTU	132

1) *Evaluación la eficiencia del coagulante natural Opuntia ficus-indica en la remoción de material orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal Frigorífico “La Colonial”, Callao en el 2023.*

En la Prueba de Normalidad, la significancia es mayor a 0.05. Siguiendo una distribución normal, se aplica una prueba paramétrica (ANOVA). Con respecto a la prueba de homogeneidad de varianza, la significancia es >0.05, cumpliéndose la homogeneidad. Por último, se analiza la prueba de “ANOVA” de un factor; siendo el valor de $p < 0.05$, se concluye que existe suficiente evidencia para comprobar que por lo menos un tratamiento es diferente a los demás en eficiencia de remoción. Además, se realizó una prueba de Post hoc con gráficos de medias para cada parámetro, de manera que se pueda apreciar la diferencia en los tratamientos.

ANOVA

% de remoción de Turbidez					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	20636.766	3	6878.922	8766.029	<.001
Dentro de grupos	6.278	8	.785		
Total	20643.044	11			

Fig. 1 ANOVA para el % de remoción de Turbidez.

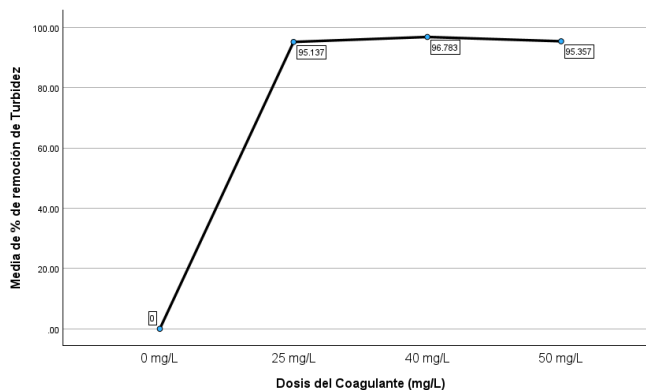


Fig. 2 Dosis óptima para el % de remoción de Turbidez.

ANOVA

% de remoción de DBO5					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	12276.027	3	4092.009	5606.452	<.001
Dentro de grupos	5.839	8	.730		
Total	12281.866	11			

Fig. 3 ANOVA para el % de remoción de DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno).

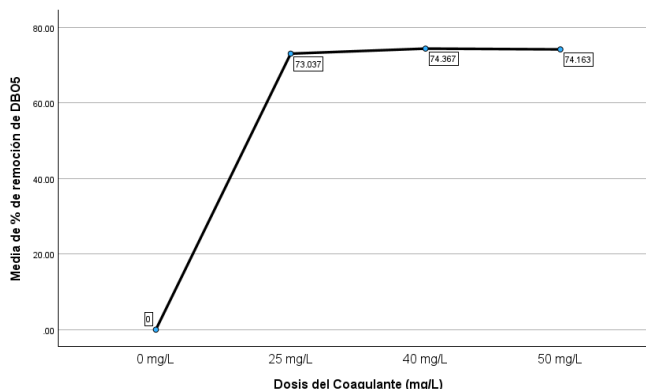


Fig. 4 Dosis óptima para el % de remoción de DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno).

ANOVA					
% de remoción de DQO					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	6168.290	3	2056.097	1058.947	<.001
Dentro de grupos	15.533	8	1.942		
Total	6183.823	11			

Fig. 5 ANOVA para el % de remoción de DQO (Demanda Química de Oxígeno).

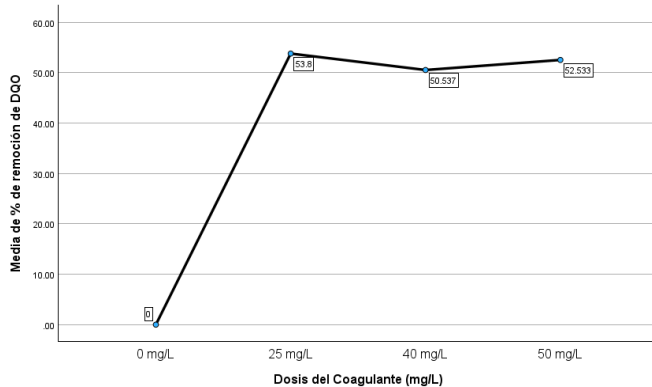


Fig. 6 Dosis óptima para el % de remoción de DQO (Demanda Química de Oxígeno).

ANOVA					
% de remoción de SST					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	20846.804	3	6948.935	16269.089	<.001
Dentro de grupos	3.417	8	.427		
Total	20850.221	11			

Fig. 7 ANOVA para el % de remoción de SST (Sólidos Totales Suspendidos).

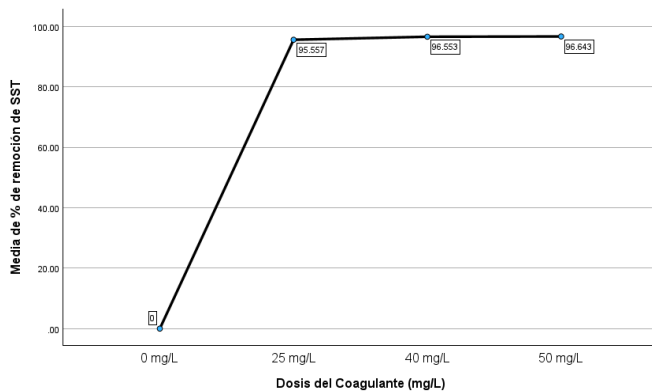


Fig. 8 Dosis óptima para el % de remoción de SST (Sólidos Totales Suspendidos).

Según las corridas respecto a los parámetros de material orgánico que corresponde a DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), la corrida N° 4 con una dosis de 40 mg/L logra remover un 75.32%. En el caso del DQO (Demanda Química de Oxígeno), la corrida N° 2 con una dosis de 25 mg/L tiene el

mayor porcentaje de remoción, siendo 55.18%. Para los SST (Sólidos Totales Suspendidos), la corrida N°12 con una dosis de 50 mg/L logra remover un 97.59%. En cuanto a la turbidez, en la corrida N°3 se puede apreciar que la remoción es de 97.68%, siendo admisible a lo esperado.

Se obtiene una alta remoción en los parámetros fisicoquímicos. Esta fue del 97.68% en la turbidez, en cuanto a la muestra presente de material orgánico se obtuvo una remoción de: 75.32% en DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), 55.18% en DQO (Demanda Química de Oxígeno) y 97.32% en SST (Sólidos Totales Suspendidos). Así mismo, se encuentra que la eficiencia del coagulante es similar a otras investigaciones, en las cuales se obtuvo una remoción del 97.79% de turbidez, 78.04% de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), 59.82% de DQO (Demanda Química de Oxígeno), 98.99% de SST (Sólidos Totales Suspendidos), 1440,33 us/cm de conductividad y 7,00 de pH [22]. De acuerdo a los resultados obtenidos, se aprecia una elevada eficiencia con el empleo del *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural, por lo que, el proceso que conlleva el análisis muestra una viabilidad en el uso del nopal, puesto que se obtiene una respuesta adecuada al tratar el agua residual del camal Frigorífico "La Colonial".

Basado en los resultados alcanzados, se puede afirmar que existe una eficiencia mayor al 70% en ciertos de los parámetros fisicoquímicos analizados en la muestra de agua residual del camal Frigorífico "La Colonial". En una investigación previa, se obtuvo un 75% de remoción de turbidez, además de la reducción del color al 100% y la minimización del pH, sólidos totales disueltos (TSD), salinidad y conductividad eléctrica [5]. Asimismo, en otra investigación se reporta una eficiencia en la remoción de turbidez y de SST (Sólidos Totales Suspendidos) del 78.77% [23]. La evaluación en base a los autores expuestos brinda resultados favorables con eficiencia mayor al 70% en la remoción de turbidez y materia orgánica, además de comprobar la hipótesis planteada. En síntesis, se detalla que la evaluación del *Opuntia ficus-indica* alcanzó superar el 70% al remover los parámetros propuestos.

2) Concentración inicial de material orgánica y turbidez del efluente del camal Frigorífico "La Colonial" y su comparación con los VMA del Decreto Supremo N° 001-2015-VIVIENDA.

En la Tabla 2, se presentan los VMA para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario y la comparación con la concentración inicial del efluente del camal Frigorífico "La Colonial", donde se verificará que la turbidez cumplirá con la normativa, ya que esta no establece un rango máximo. En el caso de la materia orgánica, el DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) no cumple con lo estipulado, pues el máximo es de 500 mg/L y presenta 1120 mg/L. Para el DQO (Demanda Química de Oxígeno), se verifica que aún se encuentra muy alto, ya que el máximo según la norma es de 1000 mg/L y en los resultados la

concentración fue de 3570 mg/L. Además, para los SST (Sólidos Totales Suspendidos), que tienen un máximo de 500 mg/L, se obtuvo 766.50 mg/L. Finalmente, la normativa indica que el valor del pH debe estar entre 6.0 y 9.0, obteniéndose un valor de 7.55.

En primera instancia, la concentración inicial sin tratamiento del agua residual del camal en los parámetros físico-químicos fue de: Turbidez 132; DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) 1120 mg/L; DQO (Demanda Química de Oxígeno) 3570 mg/L; SST (Sólidos Totales Suspendidos) 766.50 mg/L y pH 7.55. Esto concuerda con lo reportado en la investigación de Córdova [24], donde los valores iniciales de la muestra de agua residual son de turbidez 85, DQO (Demanda Química de Oxígeno) 1500 mg/L, pH 7.25, OD 2.66 PPM y DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) 751 mg/L. Al comparar nuestros resultados con los VMA, para el parámetro de turbidez no se presenta un valor máximo admisible, pero para la DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), SST (Sólidos Totales Suspendidos) y pH sí se cuentan con valores. Es importante destacar que los valores iniciales están por encima de lo establecido por la normativa, lo que indica la necesidad de un tratamiento para reducir dichos valores.

De acuerdo a la guía de los VMA para descargas al sistema de alcantarillado sanitario según el Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, se afirma que los parámetros de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), SST (sólidos totales suspendidos) superan los valores, mientras que la turbidez estaría conforme, ya que no tiene un valor estipulado. Sin embargo, los resultados son similares a un estudio que encontró que las aguas residuales del camal en el río Ilave tienen índices de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno) y SST (Sólidos Totales Suspendidos) que superan los VMA [25]. A pesar de que los resultados reportados están dentro de los VMA, muestran una alta carga de materia orgánica en la muestra, lo que indica que los valores iniciales analizados están fuera del rango óptimo de la calidad del agua, siendo necesario su tratamiento. Observar tabla II.

TABLA II
VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO SEGÚN EL DECRETO SUPREMO N° 021-2009-VIVIENDA

Parámetros	Unidad	VMA para descargas al sistema de alcantarillado sanitario	Concentración inicial del efluente del camal Frigorífico "La Colonial"
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	-	1120
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	-	3570
pH	Unidad	6 – 9	7.55
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	-	766.50
Turbiedad	NTU	-	132

3) Identificación de la dosis óptima del *Opuntia ficus-indica* para la remoción de material orgánico y turbidez de las aguas residuales del camal Frigorífico "La Colonial", Callao en el 2023.

Los resultados se observan en las figuras 9, 10, 11 y 12, demostrando que la dosis óptima depende de varios factores como la concentración, velocidad y tiempo de sedimentación; siendo diferente para cada parámetro a tratar. En el caso de la turbidez, SST (Sólidos Totales Suspendidos) y pH, la dosis de coagulante más eficaz es de 40 mg/L, ya que se aprecia una reducción significativa de la contaminación. Sin embargo, para los parámetros de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno), las dosis óptimas son de 50 mg/L y 25 mg/L respectivamente, demostrando que no necesariamente debe ser la misma dosis que para los otros parámetros. Se obtienen varios valores óptimos con una dosis de coagulante de 40 mg/L en una muestra de agua residual del camal de 1L, con una velocidad de agitación de 300 RPM y un tiempo de 30 minutos. En línea con una investigación, la dosis óptima del coagulante a base de *Opuntia ficus-indica* fue de 50 mg/L; además, se demostró que la remoción más alta se logró con una velocidad de 200 RPM para dicha dosis mencionada [26]. Los resultados reportados muestran una alta eficiencia basada en la dosis del coagulante natural, evidenciando la influencia en la dosis óptima del *Opuntia ficus-indica* para valores de porcentaje adecuados.

Se informa una dosis óptima que es mayor a 30 mg/L, excepto en el parámetro de DQO (Demanda Química de Oxígeno), según los resultados obtenidos en la remoción de los parámetros físico-químicos del agua residual del camal. Según una investigación, la dosis óptima del coagulante es superior a 50 ml/L para la reducción de los parámetros de turbidez y SST (Sólidos Totales Suspendidos) [27]. Los resultados muestran una óptima remoción de materia orgánica y turbidez con una dosis mayor a 30 mg/L, validada con el test de jarra que reportó su eficiencia en la medición de la dosis del coagulante natural *Opuntia ficus-indica*.

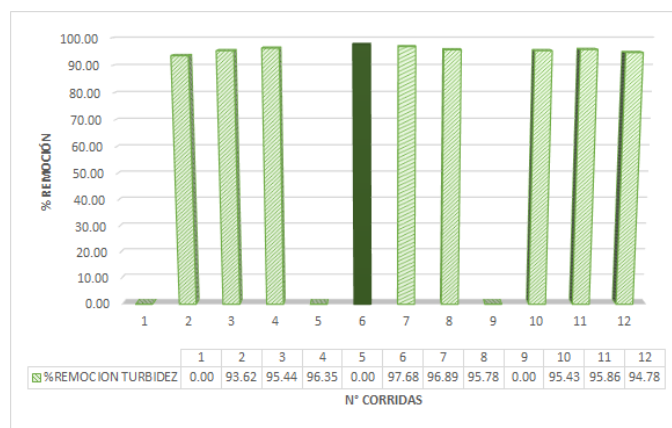


Fig. 9 Porcentaje de remoción de turbidez.

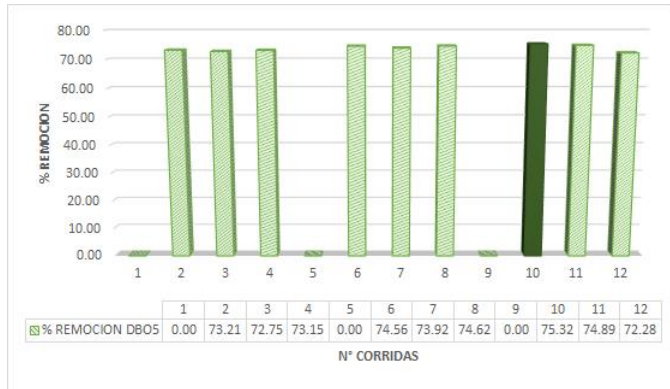


Fig. 10 Porcentaje de remoción de DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno).

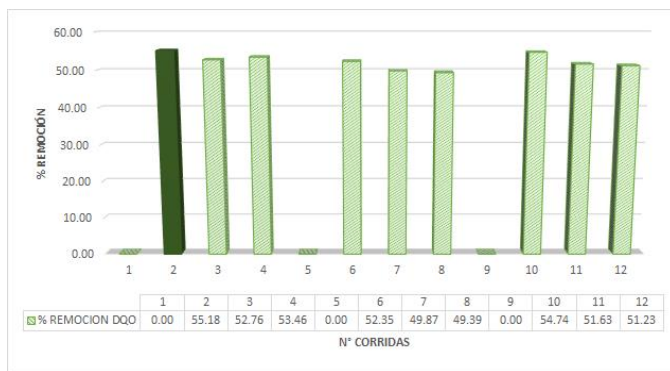


Fig. 11 Porcentaje de remoción de DQO (DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO).

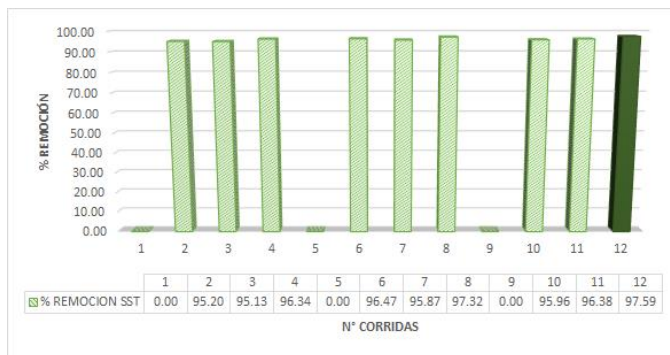


Fig. 12 Porcentaje de remoción de SST (Sólidos Totales Suspendidos).

4) Comparar los resultados obtenidos del tratamiento *Opuntia ficus-indica* con los límites establecidos por el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA para los VMA para descargas al sistema de alcantarillado sanitario para material orgánica y turbidez.

En las figuras 13, 14, 15, 16 y 17, se muestran los resultados obtenidos comparando la eficiencia entre el coagulante de nopal y los VMA del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA para la materia orgánica y turbidez de las aguas residuales. Se observa que, en

el caso de la turbidez, esta normativa no tiene un máximo admisible para este parámetro, pero se destaca que se logró reducir de 132 NTU a 3.06 NTU. En cuanto a la DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno), no supera los 500 mg/L, ya que se obtuvo un resultado de 276.42 mg/L. Para el parámetro de la DQO (Demanda Química de Oxígeno), supera los 1000 mg/L, con una concentración de 1600.07 mg/L, mientras que los SST (Sólidos Totales Suspendidos) cumplen con la normativa de 500 mg/L, logrando una concentración de 18.47 mg/L. Además, el pH se mantuvo dentro del rango esperado entre 6.0 y 9.0 en todo momento. En la investigación de Gómez [28] se obtuvieron los siguientes valores de turbidez, DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno) después del tratamiento: 41.4 NTU, 590.25 mg/L y 815.75 mg/L respectivamente. Los valores según los LMP son de 500 mg/L para DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y 1000 mg/L para DQO (Demanda Química de Oxígeno), no habiéndose reportado un valor máximo admisible para la turbidez en las descargas de aguas residuales no domésticas. Se compara los VMA post tratamiento con la *Opuntia ficus-indica*, donde algunos de estos valores se encuentran dentro de lo establecido para los efluentes vertidos a cuerpos de agua, demostrando la efectividad del tratamiento y permitiendo un segundo uso al agua tratada.

El porcentaje final en comparación con los VMA del DS N° 010-2019-VIVIENDA muestra que la turbidez está por debajo del 91%, los SST (Sólidos Totales Suspendidos) en un 65% y el pH dentro de los valores aceptables para efluentes con descarga al sistema de alcantarillado con el uso del coagulante natural a base de *Opuntia ficus-indica*. En una investigación se evidencia una reducción significativa en los parámetros físico-químicos, sin embargo, estos resultados exceden los valores máximos admisibles [29]. Se reportan valores óptimos que se encuentran dentro de los VMA del DS N° 010-2019-VIVIENDA.

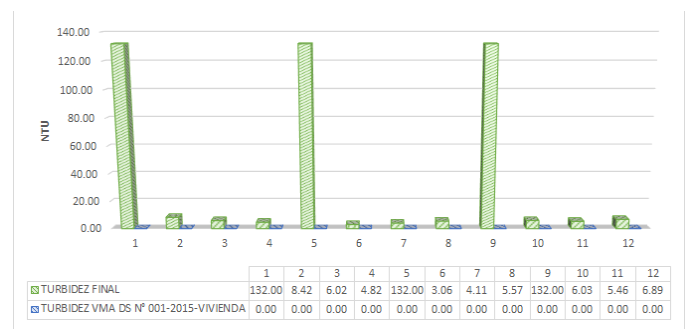


Fig. 13 Comparación de turbidez (NTU) con el VMA DS N° 001-2015-VIVIENDA.

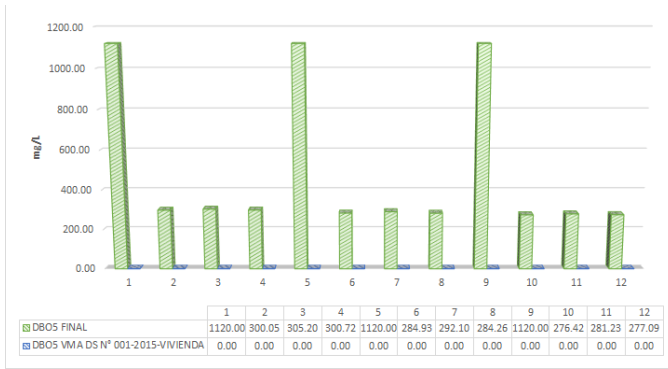


Fig. 14 Comparación del DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) (mg/L) con el VMA DS N° 001-2015-VIVIENDA.

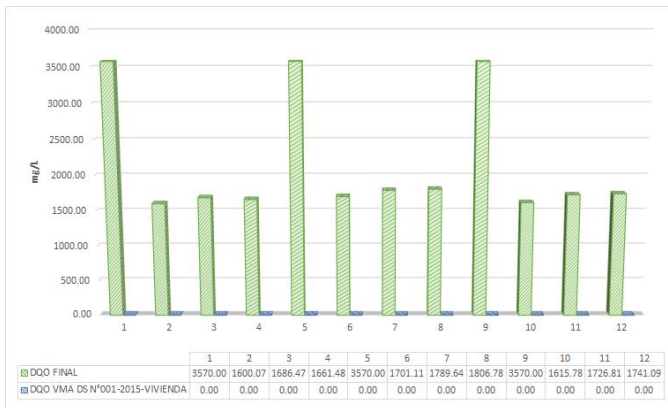


Fig. 15 Comparación del DQO (Demanda Química de Oxígeno) (mg/L) con el VMA DS N° 001-2015-VIVIENDA.

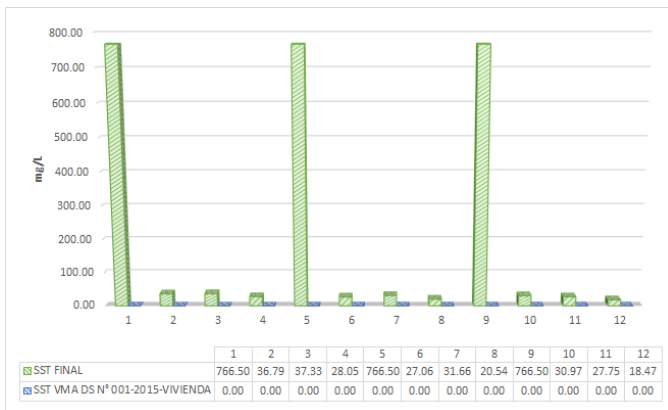


Fig. 16 Comparación del SST (Sólidos Totales Suspendidos) (mg/L) con el VMA DS N° 001-2015-VIVIENDA.

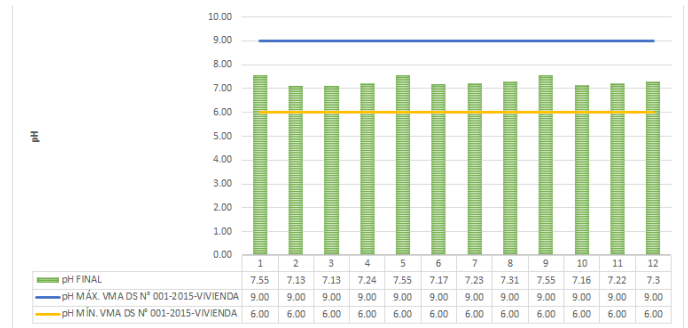


Fig. 17 Comparación del pH con el VMA DS N° 001-2015-VIVIENDA.

1) Implicancia teórica

La presente investigación aborda un tema de interés en la aplicación de un coagulante natural para tratar las aguas residuales del camal, dando a conocer a la comunidad científica las ventajas e importancia del uso de plantas silvestres en la remoción de parámetros que afectan la calidad del agua y los beneficios que conlleva este proceso. Además, se busca contribuir con la información sobre el proceso y los resultados obtenidos para servir como referencia en nuevas investigaciones basadas en este tema.

2) Implicancia práctica

Se obtienen resultados eficientes en la investigación al tratar las aguas residuales del camal con el coagulante natural obtenido de la planta *Opuntia ficus-indica* en polvo, el cual remueve algunos parámetros que afectan la calidad del agua. Este enfoque representa un aporte beneficioso en términos económicos, ambientales y sociales, contribuyendo a prácticas amigables y a la reducción de la contaminación ambiental.

A. Conclusiones

Se estudia la eficiencia del *Opuntia ficus-indica* para la remoción de materia orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal Frigorífico "La Colonial". Con base en lo expuesto, se alcanza una eficiencia del 75.32% para la DBO_5 (Demanda Bioquímica De Oxígeno), 55.18% para la DQO (Demanda Química De Oxígeno) y 97.32% para los SST (Sólidos Totales Suspendidos), así como 97.68% de remoción en la turbidez. Se puede inferir que el porcentaje de eficiencia en ciertos parámetros supera el 70%, lo que indica un resultado adecuado.

En concordancia con el primer objetivo específico, se indica la concentración inicial y se compara con los VMA del DS N° 010-2019-VIVIENDA en los parámetros de materia orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal Frigorífico "La Colonial". Los resultados iniciales reportados indican una turbidez de 132 NTU, 1120 mg/L en la DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno), 3570 mg/L de DQO (Demanda Química de Oxígeno) y 766.50 mg/L de SST (Sólidos Totales Suspendidos). De acuerdo con lo expuesto, se deduce que los resultados en los parámetros reportados superan los VMA del DS N° 010-2019-VIVIENDA.

En relación con el segundo objetivo específico, se identifica la dosis óptima del *Opuntia ficus-indica* para la remoción de materia orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal Frigorífico "La Colonial". La dosis óptima del coagulante para algunos parámetros es de 40 mg/L para una muestra de 1L con una velocidad de agitación de 300 RPM/30 min. Según lo mencionado, la dosis óptima del *Opuntia ficus-indica* muestra una alta eficiencia en los resultados de los porcentajes de remoción.

En cuanto al tercer objetivo específico, se compara la concentración final de remoción del tratamiento con el coagulante natural *Opuntia ficus-indica* con los VMA estipulados en el DS N° 010-2019-MINAM para los parámetros de materia orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal Frigorífico "La Colonial". Se obtiene una concentración final de turbidez de 3.06 NTU, 276.42 mg/L en la DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), 1600.07 mg/L de DQO (Demanda Química de Oxígeno) y 20.54 mg/L de SST (Sólidos Totales Suspendidos). En comparación con los VMA, la DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), SST (Sólidos Totales Suspendidos) y pH no superan los LMP después del tratamiento con el coagulante natural *Opuntia ficus-indica*.

REFERENCIAS

- [1] Aguirre, S., Piranaque, N., y Cruz, R. (2018). Sustancias naturales: Alternativa para el tratamiento de agua del río Magdalena en Palermo, Colombia. *Información Tecnológica*, 29(3), 59-70. <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v3i2.314>.
- [2] Sánchez Ruiz, P. (2018). Impacto en la salud pública y el ambiente que producen las actividades de sacrificio de animales para consumo humano en el Camal Municipal de la ciudad de Moyobamba. [Tesis de Título, Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto].
- [3] Banco Mundial (31 de diciembre 2013). Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas. World Bank; Banco Mundial. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>.
- [4] WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). 2017. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>.
- [5] Montenegro, P. (2019). Comparación de la eficiencia del mucílago de *Opuntia ficus indica* y goma de *Caesalpinia spinosa* en la mejora de la calidad de agua residual de camal [Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/43789/Montenegro_VJP-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [6] Sánchez Delgado, J. C. (2020). Propuesta de un sistema de gestión de residuos sólidos que permita reducir la contaminación en el Camal Municipal de la ciudad de Jaén, 2018. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].
- [7] Naranjo Santa, K. (2014). Caracterización fisicoquímica y microbiológica según la normatividad mexicana nom-002-semarnat-1996 de las aguas residuales provenientes del taller de tecnología de cárnicos del área de procesos alimentarios de la universidad tecnológica de huejotzingo. [Tesis de Título, Universidad Tecnológica de Pereira].
- [8] DIRESA Huánuco. (2013). Identificación y diagnóstico de los puntos de vertimientos de las aguas residuales de la ciudad de Huánuco. <http://www.minsa.gob.pe/diresahuano/SAMBIENTAL/2013/PLANAGUA.pdf>.
- [9] MVCS. (2015). Plan Estratégico Sectorial Multianual 2008 - 2015. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/25388/RM_2008_920.pdf?v=1530747288.
- [10] Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827.
- [11] RPP. (03 de junio del 2013). Camales municipales de Lambayeque presentan insalubridad. RPP noticias. <https://rpp.pe/peru/actualidad/camales-municipales-de-lambayeque-presentan-insalubridad-noticia-600629>.
- [12] La República (2013). ALFIO, LEYVA. ALA identificó 45 fuentes contaminantes que afectan a mar lambayecano. <https://larepublica.pe/archivo/733497-ala-identifico45fuentes-contaminantes-que-afectan-a-mar-lambayecano>.
- [13] Medina-Valderrama, C., Uriarte-Tirado, W., Cardenas-Vásquez, E., y Orrego-Zapo, S. (2020). Tratamiento de aguas residuales de camales mediante tecnologías avanzadas de oxidación: proceso fenton. *Revista INGENIERÍA UC*, 27(2), 165-174. <https://www.redalyc.org/journal/707/70764230005/html/>.
- [14] Sánchez Martínez, D. V. (2017). Calidad del agua. *Boletín Científico De La Escuela Superior Atotonilco De Tula*, 4(7). <https://doi.org/10.29057/esat.v4i7.2202>.
- [15] Cevallos Coox, N. N., Burgos Briones, G. A., & Córdova Mosquera, A. (2022). Evaluación de la eficacia de coagulantes sintéticos y naturales en el tratamiento de aguas residuales generadas en la producción de harina de pescado. *Publicaciones en ciencia y tecnología*, 16(2), 54-68. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6993155>.
- [16] Meza-Leones, M., Riaños-Donado, K., Mercado-Martínez, I., Olivero-Verbel, R., y Jurado-Eraso, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revistas UIS Ingeniería*, 17(2), 95-104. <http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias>.
- [17] Casas Camargo, D. P., y Montes Gazabón, L. E. (2014). Utilización de Tuna (*Opuntia Ficus-Indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *AVANCES investigación en ingeniería*, 11(1).
- [18] Arias. (2021). Diseño y metodología de la investigación. https://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/2260/1/Arias-Covinos-Dise%C3%B1o_y_metodologia_de_la_investigacion.pdf.
- [19] Gonzales, A., Oseda, D., Ramírez, F., & Gave, J. (2011). ¿Cómo aprender y enseñar investigación científica? (Primera edición). <https://isbn.cloud/9786124601903/como-aprender-y-ensenar-investigacion-cientifica/>.
- [20] Morejón Díaz, B. J. (2017). Utilización del mucílago de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir Grande, provincia del Carchi. Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6621>.
- [21] Villabona, Á., Paz, I., & Martínez, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v15n1/v15n1a14.pdf>.
- [22] Sarduy Domínguez, Y. (2007). El análisis de información y las investigaciones cuantitativa y cualitativa. *Revista Cubana de Salud Pública*, 33(3), 0-0. <https://doi.org/10.1590/s0864-34662007000300020>
- [23] Gonzales, K., Meneses, N., & Sánchez, M. (2022). 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 [universidad nacional del callao]. <http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/7564/TEISIS%20-%20GONZALES%20-%20MENESES%20-%20SANCHEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [24] Terán, J. (2022). Evaluación de la eficiencia del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para la disminución de la turbidez del río Carrizal en época lluviosa. https://repositorio.espm.edu.ec/bitstream/42000/1887/1/TIC_IA19D.pdf
- [25] Córdova, E. (2019). Aplicación de sulfato de aluminio y tuna (*Opuntia ficus-indica*) para la remoción de materia orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal municipal Tumán 2018 [Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/38710/C%3b3rdova_MEA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [26] Cruz Morales, X. C., (2013). Identificación y diagnóstico de los puntos de vertimientos de las aguas residuales de la ciudad de Huánuco. <https://docplayer.es/11882365-Identificacion-y-diagnostico-de-los->

puntos-de-vertimientos-de-las-aguas-residuales-de-la-ciudad-de-huanuco.html

- [27]Quintero, P., & Sánchez, P. (2020). Análisis de la capacidad desinfectante y de remoción de turbidez de la tuna (opuntia ficus-indica) en aguas del río Teusacá en la vereda el salitre, la calera [Universidad Libre]. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/19223/Trabajo%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [28]Gómez, L. (2021). Determinación de la dosificación óptima de opuntia para la potabilización del agua cruda del canal azúcar – Rio Verde. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6938/1/UPSE-TIC-2022-0004.pdf>
- [29]Gabino, R. (2018). Opuntia ficus-indica como coagulante para remoción de sólidos suspendidos totales del efluente de beneficio en avícola La Chacra [Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5029/2/IV_FIN_107_TE_Gabino_Curinahui_2018.pdf