

**LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y
Humanidades, Asunción, Paraguay.**

ISSN en línea: 2789-3855, 2025, Volumen VI

**Eficiencia de *Opuntia ficus indica* y *Vicia faba*
como coagulantes naturales en la remoción de la
turbiedad de las aguas residuales del río
Chumbao**

Efficiency of *Opuntia ficus indica* and *Vicia faba* as natural
coagulants in turbidity removal from the wastewater of the
Chumbao river

Oliver León Manchi

1002220182@unajma.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0001-5114-8951>

Universidad Nacional José María Arguedas

Andahuaylas – Perú

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i2.3872>

Artículo recibido: 24 de abril de 2025.

Aceptado para publicación: 08 de mayo de
2025.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.


Redilat
Red de Investigadores
Latinoamericanos

NÚMERO

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i2.3872>

Eficiencia de *Opuntia ficus indica* y *Vicia faba* como coagulantes naturales en la remoción de la turbiedad de las aguas residuales del río Chumbao

Efficiency of *Opuntia ficus indica* and *Vicia faba* as natural coagulants in turbidity removal from the wastewater of the Chumbao river

Oliver León Manchi

1002220182@unajma.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0001-5114-8951>

Universidad Nacional José María Arguedas
Andahuaylas – Perú

Artículo recibido: 24 de abril de 2025. Aceptado para publicación: 08 de mayo de 2025.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen


El tratamiento de aguas residuales involucra múltiples etapas, siendo la coagulación y floculación fases cruciales en la eliminación de diversos contaminantes. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de *Opuntia ficus indica* y *Vicia faba* como coagulantes en la reducción de la turbiedad de las aguas residuales del río Chumbao. El estudio experimental consistió en evaluar los efectos del pH y dosis de los coagulantes en la remoción de la turbiedad, sólidos disueltos totales (Tds) y la variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). Los resultados revelaron que los coagulantes *Opuntia ficus indica* y *Vicia faba* mantuvieron una mayor estabilidad en condiciones alcalinas. En este medio, se logró una remoción de turbiedad del 97.53 % con *Opuntia ficus indica* y del 89.98 % con *Vicia faba*. La remoción de Tds alcanzó 27 % y 34 %, respectivamente, mientras la reducción de DBO₅ fue del 77.06 % para el *Opuntia ficus indica* y del 65.59 % con *Vicia faba*.

Palabras clave: dosis, pH, coagulación, floculación

Abstract

Wastewater treatment involves multiple stages, with coagulation and flocculation being crucial phases in the removal of various contaminants. This research aimed to evaluate the efficiency of *Opuntia ficus indica* and *Vicia faba* as coagulants in reducing the turbidity of wastewater from the Chumbao River. The experimental study evaluated the effects of pH and coagulant doses on turbidity removal, total dissolved solids (TDS), and the variation of Biochemical Oxygen Demand (BOD₅). The results revealed that the coagulants *Opuntia ficus indica* and *Vicia faba* maintained greater stability under alkaline conditions. In this environment, a turbidity removal of 97.53% was achieved with *Opuntia ficus indica* and 89.98% with *Vicia faba*. The removal of TDS reached 27% and 34%, respectively, while the reduction of BOD₅ was 77.06% for *Opuntia ficus indica* and 65.59% for *Vicia faba*.

Keywords: dose, pH, coagulation, flocculation

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons. 

Cómo citar: León Manchi, O. (2025). Eficiencia de *Opuntia ficus indica* y *Vicia faba* como coagulantes naturales en la remoción de la turbiedad de las aguas residuales del río Chumbao. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 6 (2), 2895 – 2909.
<https://doi.org/10.56712/latam.v6i2.3872>

INTRODUCCIÓN

El deterioro de los cuerpos de agua se ha intensificado en las últimas décadas debido a la urbanización no planificada, la expansión industrial y diversas actividades antrópicas. Estos procesos han generado una disminución significativa en la calidad del agua, principalmente por la descarga de aguas residuales sin un tratamiento adecuado, lo que incrementa la concentración de los contaminantes y partículas en suspensión (Gorczewski y Capuano, 2022).

Uno de los efectos más notorios de la inadecuada gestión de las aguas residuales es el aumento de la turbidez en los cuerpos de agua, un indicador clave de la contaminación y calidad del agua. La alta turbidez afecta negativamente la vida acuática, reduce la penetración de la luz solar y, por lo tanto, el equilibrio de los ecosistemas acuáticos (Choque, 2019). A medida que se acumulan sedimentos, materia orgánica y microorganismos, la vida acuática sufre, y la disponibilidad del oxígeno y nutrientes se ve comprometida, lo que reduce la biodiversidad y afecta a las especies (Aguilar et al. 2002). Sin embargo, el uso de aguas grises asociadas con alta turbidez por parte de los agricultores locales no se debe principalmente a la escasez de agua, sino a que las consideran una fuente de nutrientes para las plantas, a pesar de los riesgos inherentes (Krisht et al., 2024).

La remoción de la turbidez y otros contaminantes, se ha recurrido tradicionalmente a coagulantes químicos como el sulfato de aluminio y cloruro férrico, aunque efectivos, estos coagulantes presentan desventajas tanto económicas como ambientales. En términos económicos su adquisición y manejo representan costos considerables, en el ámbito ambiental, su uso genera subproductos tóxicos que pueden acumularse en los ecosistemas acuáticos y contribuyendo a los problemas de contaminación secundaria (Gorczewski y Capuano, 2022).

La capacidad coagulativa de *Opuntia ficus indica* radica en que sus componentes están a base de proteínas ricos en polisacáridos aniónicos, estos grupos aniónicos interactúan con las cargas iónicas de los coloides en el agua lo cual facilita la formación de flóculos (Gonzales et al., 2022). De la misma manera, la acción coagulativa de *Vicia faba* radica en sus componentes proteicas catiónicas y en menor proporción los taninos y ácido fítico presentes en la harina de haba, muestran las capacidades coagulativas (Moreira y Moreira, 2022).

En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de *Opuntia ficus indica* y *Vicia faba* como coagulantes naturales en la remoción de la turbiedad de las aguas residuales, puesto que, estas especies presentan alta capacidad de remover la turbiedad y su bajo costo de implementación.

METODOLOGÍA

Tipo de investigación

El tipo de investigación es básica, de acuerdo a Sampiere, et al. (2014, p. 128), menciona que, en los estudios de tipo básica tienen como finalidad producir conocimientos y teorías, aunque los conocimientos generados pueden ser útiles en el futuro en resolver problemas prácticos.

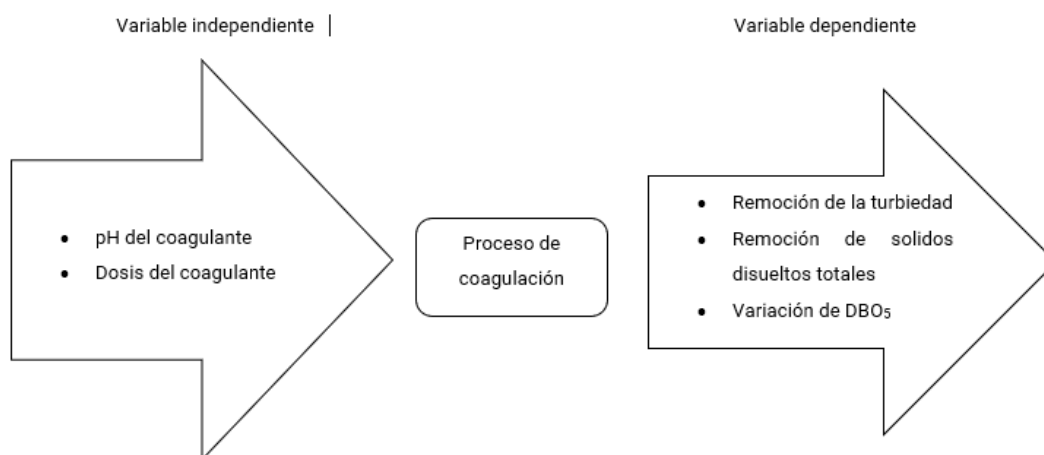
Según Sampiere et al. (2014), "El enfoque cuantitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar la hipótesis" (p.38).

Diseño de investigación

Bernal (2014, p. 162), afirma que la investigación experimental implica la manipulación de la variable independiente y medir su efecto sobre la variable dependiente, a continuación, en la Figura 1 se muestra el esquema del diseño de la investigación.

Figura 1

Esquema del diseño experimental



Extracción de los coagulantes

Para obtener un coagulante natural eficaz, se siguió la metodología desarrollada por Chuiza et al. (2019). Las hojas del *Opuntia ficus indica* se lavaron con una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 1 % para eliminar impurezas. Posteriormente, se procedió a separar manualmente las cutículas de la parte mesófila, la cual fue cortada en tiras y secadas en una estufa a 90 °C durante 24 horas. Este material fue tamizado para obtener partículas finas y consistentes. Para eliminar pigmentos se utilizó etanol al 96 % como solvente y secado en la estufa a 70 °C durante 3 horas. Para preparar una solución coagulante a una concentración del 2 %, se disolvió 60 g de la harina del coagulante en 3 L de agua destilada, la mezcla se agitó cuidadosamente hasta homogeneizar. Finalmente, se prepararon soluciones para ajustar el pH (5, 7.6 y 10.2) utilizando ácido clorhídrico (HCl al 37 %) e hidróxido de sodio (NaOH a 0.1 N).

En el caso de *Vicia faba*, las semillas se sometieron a un proceso de limpieza para retirar impurezas externas. Posteriormente, fue secado en una estufa a 60 °C durante 4 horas, una vez secas fueron triturados. Este material fue tamizado para obtener partículas finas y consistentes. Para eliminar pigmentos se utilizó etanol al 96 % como solvente y secado en la estufa a 70 °C durante 3 horas. Para preparar una solución coagulante a una concentración del 10 %, se disolvió 300 g de la harina del coagulante en 3 L de agua destilada, la mezcla se agitó cuidadosamente hasta homogeneizar. Finalmente, se prepararon soluciones para ajustar el pH (5, 7.6 y 10.2) utilizando ácido clorhídrico (HCl al 37 %) e hidróxido de sodio (NaOH a 0.1 N).

Recolección de muestras de agua

Las muestras de las aguas fueron recolectadas del río Chumbao, sector Santa Rosa, debido a que el punto identificado es considerado un alto nivel de contaminación establecidas mediante el Índice de Calidad de Agua (ICA) de Dinius, que lo clasifica como un área altamente contaminada, además, este sector presenta elevados riesgos sanitarios (Choque, 2019).

Tratamientos

Se aplicaron 9 tratamientos diferentes para cada una de las especies de los biocoagulantes.

Tabla 1

Matriz del diseño experimental con el biocoagulante *Opuntia ficus indica*

Tratamiento	Factor 1: pH	Factor 2: Dosis (mg/l)	Respuesta *
T1	5	D1 (15 mg/l OF-I)	R1
T2	5	D2 (20 mg/l OF-I)	R2
T3	5	D3 (25 mg/l OF-I)	R3
T4	7.6	D1 (15 mg/l OF-I)	R4
T5	7.6	D2 (20 mg/l OF-I)	R5
T6	7.6	D3 (25 mg/l OF-I)	R6
T7	10.2	D1 (15 mg/l OF-I)	R7
T8	10.2	D2 (20 mg/l OF-I)	R8
T9	10.2	D3 (25 mg/l OF-I)	R9

Nota: * Los resultados de la respuesta se obtuvieron por triplicado.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2

Matriz del diseño experimental con el biocoagulante *Vicia faba*

Tratamiento	Factor 1: pH	Factor 2: Dosis (mg/l)	Respuesta *
T1	5	D1 (15 mg/l OF-I)	R1
T2	5	D2 (20 mg/l OF-I)	R2
T3	5	D3 (25 mg/l OF-I)	R3
T4	7.6	D1 (15 mg/l OF-I)	R4
T5	7.6	D2 (20 mg/l OF-I)	R5
T6	7.6	D3 (25 mg/l OF-I)	R6
T7	10.2	D1 (15 mg/l OF-I)	R7
T8	10.2	D2 (20 mg/l OF-I)	R8
T9	10.2	D3 (25 mg/l OF-I)	R9

Nota: * Los resultados de la respuesta de obtuvieron por triplicado

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3

Leyenda del diseño de la investigación

T: Tratamientos
D: Dosis de coagulante
OF-I: <i>Opuntia ficus indica</i>
VF: <i>Vicia faba</i>
R: Resultados de la variable de respuesta

Fuente: elaboración propia.

Análisis de datos

Los datos obtenidos se representaron con tablas dinámicas, que incluyen valores de promedios, desviación estándar y coeficiente de variabilidad. Así mismo, se sometieron análisis de varianza (ANOVA), Correlación de Rho Spearman y pruebas Post Hoc a un nivel de significancia del 5%, considerando como criterio, donde se acepta la hipótesis nula H_0 si $\alpha > 0.05$. Para lo cual se planteó las hipótesis estadísticas:

Interacción del efecto de la dosis de los coagulantes y la remoción de la turbiedad

Hipótesis nula (H0): No hay diferencia significativa de la dosis en la remoción de la turbiedad.

Hipótesis alterna (H1): Existe diferencia significativa de la dosis en la remoción de la turbiedad.

Interacción del efecto del pH de los coagulantes en la remoción de la turbiedad

Hipótesis nula (H0): No hay diferencia significativa del pH en la remoción de la turbiedad.

Hipótesis alterna (H1): Existe diferencia significativa del pH en la remoción de la turbiedad.

RESULTADOS

Tabla 4

Características iniciales de las muestras del agua residual

Parámetro inicial	Valores	Unidad
Turbidez	383 (*) 572 (**)	NTU
TDS	130 (*) 168 (**)	mg/L
DBO5	83.70	mg/L

Nota: * Los valores para turbiedad y TDS fueron tomados el 24 de marzo, ** Los valores para turbiedad y TDS fueron tomados el 26 de marzo

Resultados en la remoción de la turbiedad con el coagulante *Opuntia ficus indica*

La turbiedad inicial fue de 383 NTU

Tabla 5

Actividad floculante del coagulante Opuntia ficus indica

Tratamiento	Turbiedad				
		S	C.V.	*	% Remoción promedio
Control	378.000	0.000	0.000	A	1.3100
Ácido	111.588	10.965	0.098	B	69.759
Neutro	37.817	7.971	0.211	C	89.300
Alcalino	15.261	6.841	0.448	D	96.011

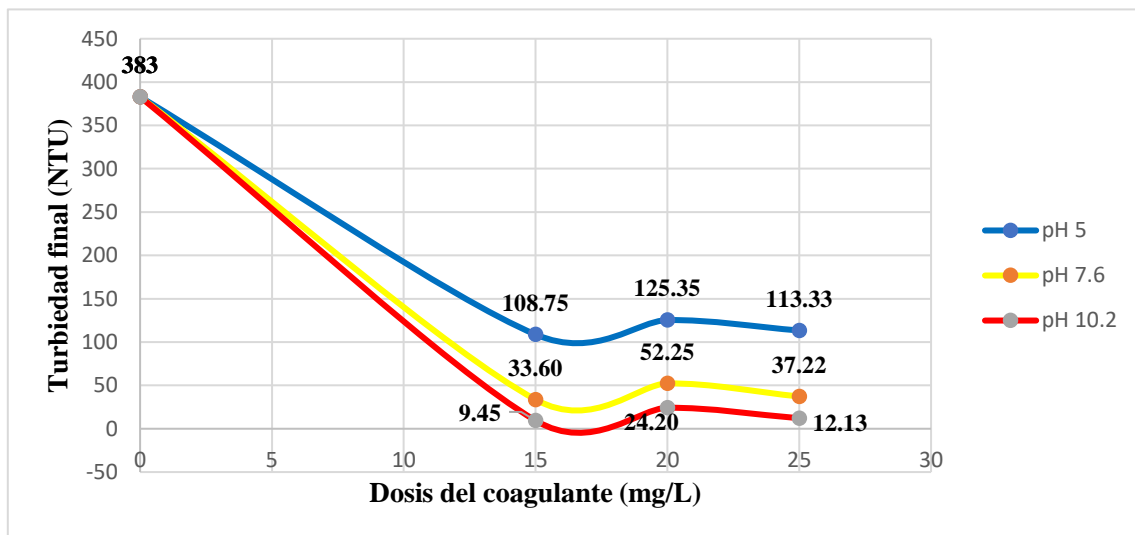
Donde: \bar{X} promedio, S desviación estándar, C.V. coeficiente de variación, * significa una diferencia significativa.

El gráfico 1 muestra que el coagulante *Opuntia ficus indica* a pH alcalina 10.2 logró reducir la turbiedad a 9.45, 24.20 y 12.13 NTU a dosis 15, 20 y 25 mg/L respectivamente. A pH neutro 7.6, la turbiedad se

redujo a 33.6, 52.25 y 37.22 NTU a dosis 15, 20 y 25 mg/L respectivamente. Finalmente, a pH ácido 5, se logró reducir la turbiedad a 108.75, 125.35, 113.33 NTU a dosis 15, 20 y 25 mg/L respectivamente. Lo que representa valores de remoción más bajos.

Gráfico 1

Análisis de variación de la turbidez en función a dosis y pH

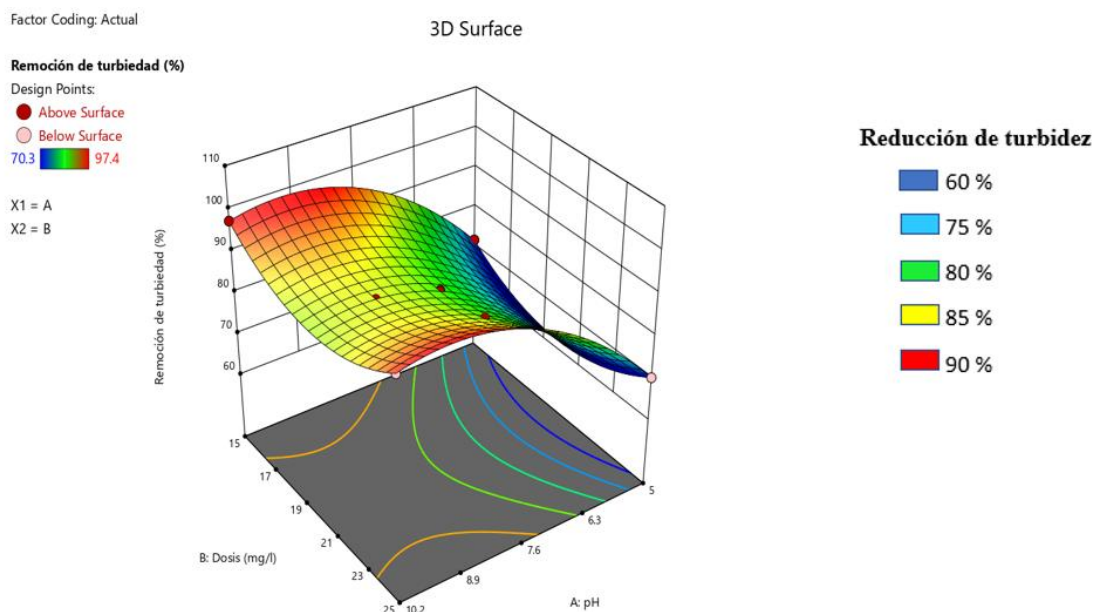


Análisis de metodología de superficie de respuesta

Los efectos interactivos de pH y dosis del biocoagulante y su interacción sobre la remoción de la turbiedad también se pueden ver en superficies tridimensionales como se muestra en la Figura 3, las variables pH y dosis en los ejes X e Y, y la remoción de la turbiedad en el eje Z como respuesta. Los resultados indican que las condiciones óptimas para la remoción de la turbiedad en el río Chumbao se alcanzó a pH alcalino 10.2 y una dosis 15 mg/L, logrando una eficiencia de remoción del 97.53 %. Por otro lado, a pH neutro 7.6, la eficiencia de remoción fue de 91.23 % a la misma dosis. Sin embargo, a pH ácido 5, la eficiencia fue considerablemente menor, alcanzando un máximo 71.61 %. Estos resultados muestran que la eficiencia de eliminación de la turbiedad es máxima en condiciones alcalinas y con dosis 15 y 25 mg/L, disminuyendo a bajos niveles de pH (Figura 2).

Figura 2

Diseño de superficie de respuesta (RSM)



Correlación de Rho de Spearman

La Tabla 6 indica una correlación alta entre las variables analizadas. Se observó que la variable pH con la variable remoción de la turbiedad (0.943) presentó correlación positiva alta y significativa (<0.05), sin embargo, la variable dosis con la variable remoción de turbiedad (-0.157) presentó una correlación negativa baja.

Tabla 6

Matriz correlacional de las variables de estudio

		pH	Dosis	Remoción de turbiedad
pH	Coeficiente de correlación	1.000	0.000	,943**
	Sig. (bilateral)		1.000	0.000
	N	27	27	27
Dosis	Coeficiente de correlación	0.000	1.000	-0.157
	Sig. (bilateral)	1.000		0.043
	N	27	27	27
Remoción de turbiedad	Coeficiente de correlación	,943**	-0.157	1.000
	Sig. (bilateral)	0.000	0.043	
	N	27	27	27

Nota: El coeficiente de correlación indica el grado de relación entre las variables.

Análisis de Kruskal – Wallis y pruebas Post Hoc para la comparación de grupos de pH

De acuerdo con la Tabla 7 (p<0.05), la hipótesis nula queda sin efecto, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna. Este último quiere decir que existe al menos una diferencia significativa en la remoción de turbiedad entre diferentes niveles de pH del coagulante.

Tabla 7

Prueba de hipótesis

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	No hay diferencia significativa en la remoción de turbiedad entre diferentes niveles de pH del coagulante.	Prueba de Kruskal-Wallis	,000	Se rechaza la hipótesis nula.
El nivel de significación es de 0.05.				

Se infiere que el factor pH del biocoagulante *Opuntia ficus* indica influyó significativamente en la eficiencia de remoción de la turbiedad, además, fue un factor fundamental en la optimización del proceso de coagulación y floculación de las muestras de las aguas residuales.

Resultados en la remoción de la turbiedad con el coagulante *Vicia faba*

La turbiedad inicial fue de 572 NTU

Tabla 8

Actividad floculante del coagulante *Vicia faba*

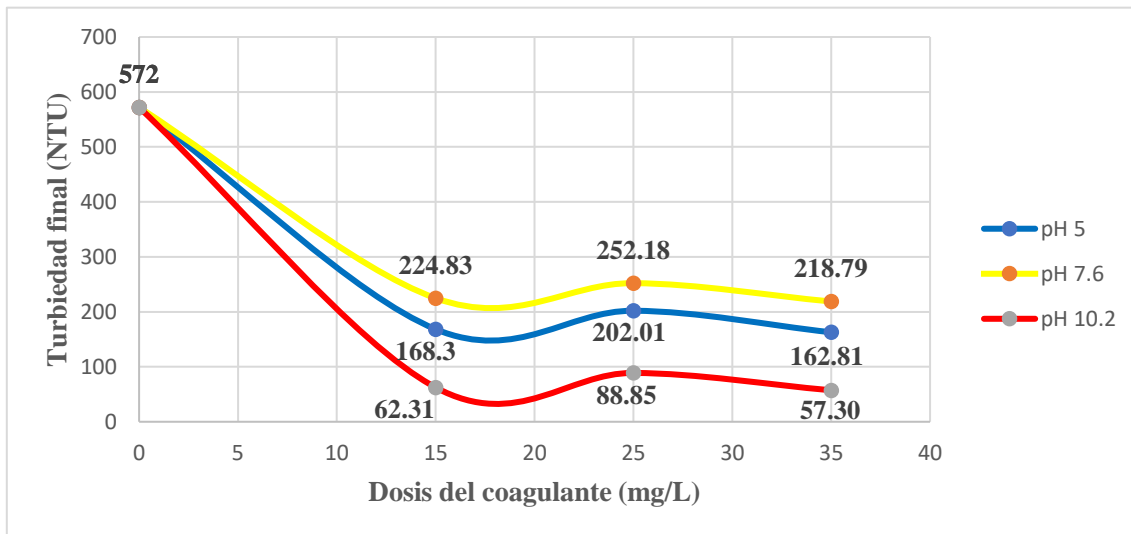
Tratamiento	Turbiedad				
		S	C.V.	*	% Remoción promedio
Control	177.710	0.000	0.000	A	1.220
Ácido	233.493	18.633	0.105	B	68.931
Neutro	69.480	15.895	0.068	C	59.179
Alcalino		15.018	0.216	D	87.852

Donde: \bar{X} promedio, S desviación estándar, C.V. coeficiente de variación, * significa una diferencia significativa.

En la Figura 4, se aprecia que el coagulante *Vicia faba* logró reducir significativamente la turbidez a pH alcalina 10.2, alcanzando valores de 62.31, 88.85 y 57.3 NTU a dosis 15, 25 y 35 mg/L respectivamente. A pH neutro 7.6, la reducción de la turbidez fue menor, con valores de 224.83, 252.18 y 218.79 NTU a las mismas dosis. Finalmente, en condiciones ácidas (pH 5), la turbidez se redujo a 168.3, 202.01, 162.81 NTU para las respectivas dosis. Es importante destacar que la turbiedad inicial fue de 572 NTU.

Gráfico 2

Análisis de variación de la turbidez en función a dosis y pH

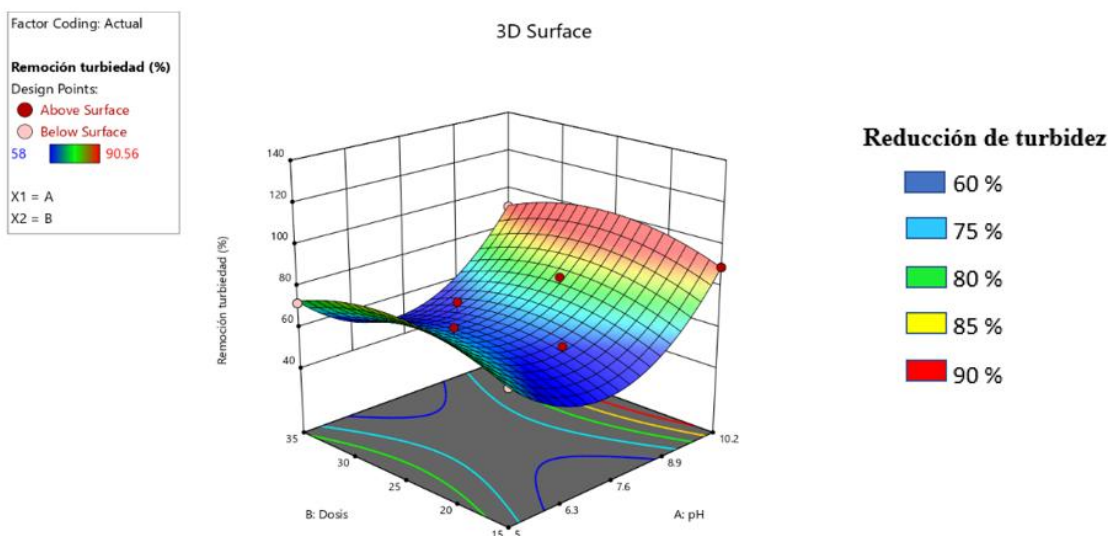


Análisis de metodología de superficie de respuesta

La metodología de superficie de respuesta (RSM) tal como se muestra en la Figura 4 mostró que las condiciones óptimas para la reducción de la turbidez con *Vicia faba* se alcanzaron a un pH alcalino 10.2 y una dosis 35 mg/l, con una eficiencia de remoción superior al 85 %. En contraste, a pH neutro 7.6, la eficiencia fue inferior al 60 %, mientras que a pH ácido 5, las remociones oscilaron entre el 64 y el 70 %. Esto indica que la remoción de la turbidez fue más efectiva en condiciones alcalinas.

Figura 3

Diseño de superficie de respuesta (RSM)



Correlación de Rho de Spearman

En la Tabla 8, se muestra la correlación de los variables analizados. Se observó que el pH con la remoción de la turbiedad (0.472) presentó correlación positiva moderada y significativa ($p < 0.05$), de manera similar, la dosis con la remoción de turbiedad (0.122) presentó una correlación positiva baja.

Tabla 9

Matriz correlacional de las variables de estudio

		pH	Dosis	Remoción de turbiedad
pH	Coeficiente de correlación	1.000	0.000	,472*
	Sig. (bilateral)		1.000	0.013
	N	27	27	27
Dosis	Coeficiente de correlación	0.000	1.000	0.122
	Sig. (bilateral)	1.000		0.043
	N	27	27	27
Remoción de turbiedad	Coeficiente de correlación	,472*	0.122	1.000
	Sig. (bilateral)	0.013	0.043	
	N	27	27	27

Nota: El coeficiente de correlación indica el grado de relación entre las variables.

Análisis de Kruskal – Wallis y pruebas Post Hoc para la comparación de grupos de pH

De acuerdo con la Tabla 9 ($p < 0.05$), se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna. Este último quiere decir que existe al menos una diferencia significativa en la remoción de turbiedad entre diferentes niveles de pH del coagulante.

Tabla 10

Prueba de hipótesis

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	No hay diferencia significativa en la remoción de turbiedad entre diferentes niveles de pH del coagulante.	Prueba de Kruskal-Wallis	,000	Rechazar la hipótesis nula.
El nivel de significación es de 0.05.				

Remoción de TDS y DBO5

La remoción de los sólidos disueltos totales (TDS) con los biocoagulantes *Opuntia ficus indica* y *Vicia faba* no fueron tan efectivas, ya que en todos los niveles de dosis y pH evaluados las remociones fueron muy similares no se evidenciaron variaciones significativas tal como se aprecia en la Tabla 9. Sin embargo, la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) a distintas condiciones de pH, resultó ser muy eficiente y prometedor en la implementación en el tratamiento con los biocoagulantes.

Tabla 11

Remoción de TDS y DBO5

Tratamiento	<i>Opuntia ficus indica</i>		<i>Vicia faba</i>	
	% Remoción promedio de TDS	% Remoción promedio de DBO5	% Remoción promedio de TDS	% Remoción promedio de DBO5
Ácido	21.54	39.67	26.19	52.09
Neutro	24.87	77.06	20.63	62.72
Alcalino	27.95	54.12	34.52	65.59

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos con *Opuntia ficus indica* son consistentes en estudios previos, como el de Marín et al. (2017), donde se reportó una remoción de turbiedad del 63 % al 90 % a pH ácido y una remoción superior al 94 % a pH 9. Otros estudios, como el de Choudhary et al. (2019), también indican una alta eficiencia en la remoción de la turbiedad a pH alcalino. Sin embargo, el rendimiento del coagulante puede variar dependiendo de la composición de las aguas residuales, como se menciona en Martínez et al. (2022), donde enfatiza que factores como la concentración de contaminantes, la carga coloidal, y la dureza del agua influyen en la eficacia del coagulante. De manera similar, Choudhary et al. (2019) explica que la variación en la eficiencia del coagulante se debe a la influencia del pH en la estabilidad de los polisacáridos y mucílagos presentes en la planta. En condiciones alcalinas, la estructura molecular del coagulante se vuelve más favorable para la aglomeración de las partículas, lo que resulta en una mayor remoción de turbidez. Por el contrario, en condiciones ácidas, puede ocurrir la hidrólisis de las cadenas de polisacáridos, reduciendo la eficacia de la remoción. En cuanto al parámetro de TDS estudios realizados por Martínez et al. (2022), se reportó que el coagulante penca mostró una eficiencia de remoción de 30 % de Tds en condiciones alcalinas, lo cual es superior a los valores obtenidos en este estudio. Sin embargo, Wan et al. (2019) también observaron que en condiciones ácidas la remoción de Tds fue significativamente menor (20.1 %), similar a lo encontrado en este estudio. La diferencia en la remoción de Tds en distintos niveles de pH se atribuye a la mayor ionización de los sólidos disueltos en medios alcalinos (Chuiza et al., 2019). Aunque el coagulante muestra potencial para eliminar Tds, su efectividad en la remoción no es tan alta como en otros parámetros como la turbidez. Esto se debe a que los sólidos disueltos están compuestos en gran mayoría en iones, además, la carga de las partículas de los sólidos disueltos tiene cargas mucho menores y no presentan superficies definidas, lo que limita la eficiencia de los polímeros, la remoción de este parámetro a través de la coagulación y floculación es muy limitado (Osorio et al., 2020). Finalmente, el DBO5 observado se alinea con los hallazgos de Jaco et al. (2022), quienes reportaron una remoción del 85 % DBO5 en condiciones neutras al utilizar *Opuntia ficus indica* en el tratamiento de aguas grises, mientras que Raúl et al. (2019), no lograron remociones eficientes (13,9 %) con el mismo coagulante en condiciones neutras en efluentes lácteos, lo que podría atribuirse a la complejidad de los compuestos orgánicos en los efluentes lácteos.

De la misma manera, los resultados sugieren que el coagulante *Vicia faba* es altamente efectivo en medios alcalinos, lo cual se alinea con estudios previos de Kukić et al. (2015), quienes encontraron que la actividad de coagulación es mejor en los rangos de pH 4-5 y 8-10 y menor a pH 7. De la misma manera los resultados obtenidos por Moreira y Moreira (2022), quienes reportaron una remoción máxima de turbidez del 93.13 % a pH 9.6 utilizando concentraciones y dosis de coagulantes similares, a diferencia de condiciones neutras y ácidas que fueron notablemente inferiores. Ambos estudios destacan el pH alcalino como un factor determinante para maximizar la eficiencia de *Vicia faba* como coagulante natural. La explicación en cuanto a la menor eficiencia de pH neutro se atribuye al punto isoeléctrico (IEP) del coagulante, donde las cargas superficiales son nulas, lo que resulta en una solubilidad mínima de las proteínas y, por lo tanto, el extracto tiene baja actividad de aglomeración y formación de floculantes (Huisa y Gonzales, 2022). Este fenómeno ya había sido observado por Kukić

et al. (2015), quienes señalaron que la actividad coagulante de *Vicia faba* disminuye significativamente cerca del IEP, debido a la baja aglomeración y formación de flóculos. En tanto, para el parámetro TDS se compararon con estudios realizados por Huaroma (2018), se reportó que el coagulante *Vicia faba* mostró una eficiencia de remoción de 25 % de Tds en condiciones alcalinas, lo cual es inferior a los valores obtenidos en este estudio. Sin embargo, en condiciones neutras la remoción de Tds (19.23 %), fue similar a lo encontrado en este estudio. Esto refuerza lo afirmado por (Moreira y Moreira, 2022), quienes señalaron que la diferencia en la remoción de contaminantes en distintos niveles de pH se atribuye a la disminución en la actividad de los sitios activos del coagulante con condiciones neutras y ácidas, tal como también lo indican (Chuiza et al., 2019).

Limitaciones

Las condiciones climáticas dificultaron la recolección de las muestras, ya que las lluvias dificultaron el acceso del lugar de muestreo.

Algunas muestras de agua presentaron características no homogéneas debido a la variación de las descargas residuales en el río Chumbao, lo que puede influir en los resultados.

Recomendaciones

Dado que la eficiencia de los coagulantes naturales varía significativamente con el pH, es necesario evaluar la influencia de pH en una variedad más amplia en condiciones alcalinas, donde ambos coagulantes han mostrado mayor eficiencia.

Se sugiere investigar la eficiencia de estos coagulantes en aguas residuales con otras características y niveles de contaminación.

Evaluación de otros parámetros, analizar fosfatos, nitratos, DQO, metales pesados *Escherichia coli* y los contaminantes emergentes (cafeína y microplásticos).

CONCLUSIÓN

El factor dosis de *Opuntia ficus indica* tuvo un efecto significativo (valor $p < 0.05$) en la remoción de la turbidez, aunque presentó una correlación negativa baja (-0.157). Por su parte, la dosis correspondiente a 15 mg/L mostró los mejores resultados, logrando remover la turbidez en un rango de 71.61 % a 97.53 % de acuerdo a los distintos niveles de pH. Por otro lado, el factor dosis de *Vicia faba* tuvo un efecto significativo (valor $p < 0.05$) en la remoción de la turbidez, con una correlación positiva baja (0.122). Por su parte, la dosis correspondiente a 35 mg/L mostró los mejores resultados, logrando remover la turbidez en un rango de 71.54 % a 89.98 % a distintos niveles de pH.

Por su parte, el factor pH de los coagulantes influyó notablemente en la eficiencia de remoción de los parámetros analizados, el pH de *Opuntia ficus indica* tuvo un efecto significativo (valor $p < 0.05$) en la remoción de la turbidez, del mismo modo presentó una correlación positiva alta (0.943). Por su parte, el pH correspondiente a 10.2 mostró los mejores resultados, logrando remover la turbidez en un rango de 96.83 % a 97.53 %. De igual forma, se observó la reducción de los Tds en un rango de 27.69 % a 28.46 %, mientras que la DBO5 se redujo en 54.12 %. De misma manera, el factor pH de *Vicia faba*, tuvo un efecto significativo (valor $p < 0.05$) en la remoción de la turbidez, aunque presentó una correlación positiva moderada (0.472). Por su parte, el pH correspondiente a 10.2 mostró los mejores resultados, logrando remover la turbidez en un rango de 84.47 % a 89.98 %. De igual forma, se observó la reducción de los Tds en un rango de 32.74 % a 36.31 %, mientras que la DBO5 se redujo en 65.59 %.

REFERENCIAS

Aguilar, M. I., Llorens, M., Saéz, J., Soler, A., y Ortuño, J. F. (2002). Tratamiento físico-químico de aguas residuales Coagulación-Floculación. Murcia, 1(1), 50-67.

Bernal Torres, C. (2014). Metodología de la investigación para administración, economía, humanidades y ciencias sociales. In Pearson Educación.

Chuiza, M. R., Vargas, J. A., y Borja, D. F. (2019). Clarificación de un agua residual de una industria láctea mediante coagulación con Tuna (*Opuntia ficus indica*). Scielo, 1(1), 40-47.

Choque, D., Choque, Y., Solano, A., y Ramos, P. B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de. Tecnología Química, 38(2), 298-309. doi:<https://doi.org/10.1590/2224-6185.20182>

Choque, D. (2019). Cafeína y barrido UV-Vis y el índice de calidad de agua en la microcuenca altoandina del río Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, Perú. Scielo.Org, 3, 619–637.

Choudhary, M., Ray, M. B., y Neogi, S. (2019). Evaluation of the potential application of cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a bio-coagulant for pre-treatment of oil sands process-affected water. Separation and Purification Technology, 209(May 2018), 714–724. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.033>

Gonzales, K. G., Meneses, M. N., y Sanchez, E. 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, Cañete. In Repositorio institucional-ANC, Callao-Perú, Tesis de pregrado. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/7564>.

Gorczewski, C., y Capuano I, M. (2022). Realities and utopias of the 2030 Agenda: an analysis of human right to access potable water in the Brazilian constitutional text. Revista Justicia y Derecho, 5(1), 1–14. <https://doi.org/10.32457/rjyd.v5i1.1565>.

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista L, M. D. (2014). Metodología de la investigación (6°ed.). México: McGraw Hill Interamericana Editores S.A. de C.V.

Huaroma, H. W. (2018). Determinación de los parámetros hidráulicos en la floculación ortocinética utilizando la vicia faba para la remoción de turbiedad del río Monterrey. In Repositorio institucional-UNSAM, Huaraz, Áncash-Perú. Tesis de pregrado. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2464>

Huisa, M. J., y Gonzales, A. (2022). Uso de la Vicia faba para la remoción de la turbiedad del agua del río Ichu-Huancavelica. In Repositorio institucional-UNH, Huancavelica-Perú. Tesis de pregrado. <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/5063>

Jaco, E., Gómez, W., Loroña, F., Zamora, N., y Huaman, N. (2022). Las aguas residuales grises y su aplicación en un sistema piloto. Scielo, 004, 157–171.

Krisht, G., Said, R. B., Aboujaoude, L., Hajjar, T., Kamaledine, F., Soufi, A. R., Bashour, I., Yanni, S. F., Mohtar, R., y Dare, A. (2024). Irrigating with treated wastewater. En Elsevier eBooks, 4(1), 32-40. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-90386-8.00091-7>.

Kukić, D.V., Šćiban, M.B., Prodanović, J.M., Tepić, A.N., y Vasić, M.A. (2015). Extracts of fava bean (*Vicia faba* L.) seeds as natural coagulants. Ecological Engineering. 5(1), 84:229-232. doi:10.1016/j.ecoleng.2015.09.008

Marín, Y.A.C., Granadillo, K.W.L., Millán, L.E., González, B.Y., Fuentes, S.L, y González, E.C.G. (2017). Efecto del pH de aguas con alta turbidez en la eficiencia del coagulante *Opuntia ficus indica*. *Scielo*, 2(1), 79-89. doi:10.21840/siic/153376

Martínez, R., Vargas, S. V., Rodríguez, F., y Jonathan, M. P. (2022). Removal of heavy metals present in water from the Yautepec River Morelos México, using *Opuntia ficus indica* mucilage. *Ecological Engineering*. 7(4). <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100160>

Moreira, J., y Moreira, C. (2022). Aplicación de coagulantes naturales obtenidos de las semillas de habas (*Vicia faba*) y durazno (*Prunus persica*) en la potabilización del agua. *Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 9(1), 54-67. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/215/2152932006/>

Osorio, R. M. A., Carrillo, B. W. E., Costales, N. J. H., Riera, G. E. J., y Loor, L. X. A. (2020). La calidad de las aguas residuales domésticas The quality of domestic waste water A qualidade das águas residuais domésticas. *Polo Del Conocimiento*, 6(3), 228–245. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2360>

Raúl, M., Hugo, S., Antonio, J., Chuiza, M. R., Vargas, J. A., y Borja, D. F. (2019). Clarificación de un agua residual de una industria láctea mediante coagulación con Tuna (*Opuntia ficus indica*). 4(1).

Wan, J., Chakraborty, T., Xu, C., y Ray, M. B. (2019). Treatment train for tailings pond water using *Opuntia ficus-indica* as coagulant. *Separation and Purification Technology*, 2(1), 448–455. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.083>

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia [Creative Commons](#) 