

# Efficacy of the use of *Opuntia ficus-indica* and *Caesalpinia spinosa* in the reduction of turbidity in wastewaters

Chávez-Silva Nayeli Mariana<sup>1</sup> ; Minchán-Huamán Rosmery<sup>1</sup>  and Velásquez-Marín Magda Mtr<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Privada Del Norte (UPN), Cajamarca, Perú, [nayelichavezsilva@gmail.com](mailto:nayelichavezsilva@gmail.com), [rosmerymh.1803@gmail.com](mailto:rosmerymh.1803@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidad Privada Del Norte (UPN), Lima, Perú, [magda.velasquez@upn.edu.pe](mailto:magda.velasquez@upn.edu.pe)

**Abstract**– *The purpose of this study was to evaluate the efficiency of the use of Opuntia ficus-indica and Caesalpinia spinosa in the partial elimination of turbidity in wastewater. To this end, tests were carried out with different doses of both natural coagulants in wastewater. An experimental design was used with five treatments for each coagulant, evaluating parameters such as turbidity, pH, conductivity and temperature before and after treatment. The values obtained were compiled in a previously validated record card, which allowed the measurements of each parameter evaluated to be recorded systematically and reliably. The results showed that the treatment with Caesalpinia spinosa was the most effective, achieving a turbidity removal of 99.34%, with final turbidity values between 4.29 UNT and 5.09 UNT, complying with the limits established by the Environmental Quality Standards (ECA) of Supreme Decree 004-2017-MINAM. On the other hand, the treatment with Opuntia ficus-indica showed a turbidity removal of 92.2%, but the final values remained above the limit of 5 UNT, placing it in subcategory A2. In addition, pH, conductivity and temperature remained within the allowable limits, suggesting that both coagulants are suitable for wastewater processing in the context of potabilization. In conclusion, Caesalpinia spinosa showed superior efficiency in turbidity reduction, being more suitable for this purpose.*

**Keywords**– *Coagulants, flocculation, sedimentation, efficiency.*

# Eficacia del uso de *Opuntia ficus-indica* y *Caesalpinia spinosa* en la reducción de turbidez en aguas residuales

**Resumen**– Este estudio tuvo la finalidad de evaluar la eficiencia del uso de *Opuntia ficus-indica* y *Caesalpinia spinosa* en la eliminación parcial de turbidez en aguas residuales. Con este fin, se realizaron ensayos con diversas dosis de ambos coagulantes naturales en aguas residuales. Se utilizó un diseño experimental con cinco tratamientos para cada coagulante, evaluando parámetros como turbidez, pH, conductividad y temperatura antes y después del tratamiento. Los valores obtenidos fueron recopilados en una ficha de registro previamente validada, que permitió registrar de manera sistemática y confiable las mediciones de cada parámetro evaluado. Los resultados mostraron que el tratamiento con *Caesalpinia spinosa* fue el más efectivo, logrando una remoción de turbidez de 99,34%, con valores finales de turbidez entre 4,29 UNT y 5,09 UNT, cumpliendo con los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Decreto Supremo 004-2017-MINAM. Por otro lado, el tratamiento con *Opuntia ficus-indica* mostró una remoción de turbidez de 92,2%, pero los valores finales permanecieron por encima del límite de 5 UNT, ubicándose en la subcategoría A2. Además, el pH, la conductividad y la temperatura se mantuvieron dentro de los límites permitidos, lo que sugiere que ambos coagulantes son adecuados para el procesamiento de aguas residuales en el contexto de la potabilización. En conclusión, *Caesalpinia spinosa* mostró una eficiencia superior en la reducción de turbidez, siendo más adecuada para este propósito.

**Palabras clave**– Coagulantes, floculación, sedimentación, eficiencia.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la vida, pero su disponibilidad en condiciones saludables y seguras es cada vez más limitada [1]. La gestión de aguas residuales ha sido un desafío creciente, especialmente en sectores como comercio, industria, ganadería, agricultura y vivienda. Es fundamental contar con sistemas eficaces de depuración para enfrentar este reto [2].

Uno de los principales problemas ambientales es la gestión de aguas grises, ya que alrededor del 80% no se trata adecuadamente, lo que puede contaminar cuerpos de agua dulce y marinos, afectando la biodiversidad y poniendo en riesgo la salud humana [3]. En los países industrializados, la contaminación tiene un impacto significativo; por ejemplo, en China, más del 80% de los ríos están contaminados, y en Estados Unidos, dos de cada cinco ríos presentan signos de contaminación [4].

La falta de una directiva nacional de saneamiento en algunos países, como la República Dominicana, resalta la necesidad urgente de desarrollar estrategias claras para mejorar la gestión de efluentes líquidos y proteger el bienestar público [5]. En América Latina, aunque alberga un tercio de las fuentes de agua globales, la distribución desigual de la población ha

convertido a ciertas áreas en focos de contaminación. El 70% de las aguas residuales no se somete a tratamiento, contaminando ríos y afectando la salud pública [6].

A pesar de que el 88% de la población en América Latina tiene acceso a redes de saneamiento, sólo el 60% está conectado a infraestructuras de tratamiento de efluentes. Esta desconexión contribuye a la contaminación de cuerpos de agua superficial, alterando el equilibrio de los ecosistemas y poniendo en peligro la salud pública [7].

Diversos estudios a nivel internacional destacan el uso de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas. Pues se comprobó que el mucílago de *Opuntia ficus-indica* mejora la calidad del agua del río “La Leche”, cumpliendo los ECA del Perú [8]. Del mismo modo, se demostró su eficacia en la clarificación del agua del “Estero Medina”, logrando hasta un 99,18% de reducción de turbidez [9]. Asimismo, se evidenció que *Caesalpinia spinosa* es eficiente en el tratamiento de aguas mineras, reduciendo la turbidez hasta un 97,70%, sin alterar el pH ni generar exceso de lodos [10].

Asimismo, a nivel nacional se evaluó el uso de *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa* para reducir turbidez en aguas residuales del sector azucarero, logrando eficiencias de 86,69% y 82,35%, respectivamente, gracias al mucílago de estas plantas [11]. También se comparó el mucílago de *Opuntia ficus-indica* y la goma de *Caesalpinia spinosa* en aguas residuales de camales, destacando con una reducción de turbidez del 97,19% [12]. Por otro lado, se analizó el efecto del mucílago de nopal y alumbre en el río Zaña, logrando hasta un 99,82% de remoción de turbidez, aunque con desequilibrios en pH y oxígeno disuelto [13]. En base a ello, es clave considerar factores como la dosis, pH, temperatura y velocidad de mezcla al utilizar estas plantas como coagulantes [14].

La dosis de coagulante influye en la reducción de la turbidez del agua, ya que una cantidad insuficiente no neutraliza las partículas, mientras que un exceso puede generar turbidez residual. Para determinar la dosis óptima, se emplea el test de jarras [14]. Asimismo, el pH es un parámetro clave, clasificándose en ácido (0-6), neutro (7) o básico (8-14) [15].

La temperatura también juega un papel importante, ya que influye en las reacciones químicas y se mide con termómetros en escalas como Celsius, Fahrenheit y Kelvin [16]. Además, la velocidad de mezcla es determinante en la formación de flóculos, pues una agitación rápida inicial seguida de una disminución progresiva favorece su crecimiento y sedimentación [12].

Por otro lado, la turbidez del agua residual es causada por partículas en suspensión que absorben la luz, reduciendo su

claridad [17]. Su concentración inicial, medida en unidades nefelométricas (NTU) o mg/L, afecta la eficiencia del tratamiento, requiriendo dosis adecuadas de coagulantes para su remoción [18]. Finalmente, la eficacia del tratamiento se define como la capacidad del sistema para optimizar la eliminación de contaminantes sin comprometer otros aspectos del proceso [19].

Por ende, esta investigación resalta la relevancia de analizar los diferentes factores que afectan la calidad del agua, especialmente el uso de coagulantes naturales como *Opuntia ficus-indica* y *Caesalpinia spinosa*. Por un lado, estos coagulantes ofrecen una solución ecológica y sostenible para reducir la turbidez en aguas residuales, lo que permite un tratamiento más accesible y menos dependiente de productos químicos sintéticos. Por otro lado, al evaluar su eficacia, este estudio contribuye al conocimiento científico y ofrece datos cruciales para futuras investigaciones sobre soluciones más sostenibles en el tratamiento de aguas.

Para ello, se evalúa la eficiencia del uso de *Opuntia ficus-indica* y *Caesalpinia spinosa* en la reducción de turbidez en aguas residuales. Se identificarán las dosis ideales de estos coagulantes, 0,800 g, 1,000 g, 1,200 g y 1,400 g para *Opuntia ficus-indica* y 0,05 g, 0,07 g, 0,09 g y 0,11 g para *Caesalpinia spinosa*, con el objetivo de determinar su efectividad en la disminución de turbidez. Además, se analizará la calidad del agua residual antes y después del tratamiento con ambos coagulantes y se compararán los resultados obtenidos con los estándares de calidad ambiental establecidos en el Decreto Supremo 004-2017-MINAM.

## II. MATERIALES Y METODOLOGÍA

En este trabajo se sigue un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recolección de datos precisos para evaluar la eficacia de *Opuntia ficus-indica* y *Caesalpinia spinosa* como coagulantes naturales en la reducción de turbidez en aguas grises, utilizando métodos estadísticos [20]. Su diseño es experimental, manipulando variables independientes (dosis de los coagulantes) para analizar su impacto en la variable dependiente, que es la reducción de turbidez, utilizando la prueba de jarras en el proceso de coagulación-floculación [21]. Además, tiene alcance aplicable, pues busca mejorar las condiciones del agua procesada, garantizando que cumpla con los estándares y sea viable en diferentes contextos [22].

Además, por su tipo es aplicada, ya que se enfoca en soluciones prácticas que contribuyan al desarrollo cultural y científico en el tratamiento de aguas residuales [23], buscando aplicar el conocimiento para resolver un problema real.

La tabla I muestra el diseño del experimento usando los coagulantes *Opuntia ficus-indica* y *Caesalpinia spinosa* en cuatro niveles de concentración con cinco repeticiones.

TABLA I  
DETALLE DEL TRATAMIENTO

Tratamiento	Dosis de concentración de <i>Opuntia ficus - indica</i>	Dosis de concentración de <i>Caesalpinia spinosa</i>
M1	0,800 g/L	0,05 g/L
M2	1,000 g/L	0,07 g/L
M3	1,200 g/L	0,09 g/L
M4	1,400 g/L	0,11 g/L
M1	0,800 g/L	0,05 g/L
M2	1,000 g/L	0,07 g/L
M3	1,200 g/L	0,09 g/L
M4	1,400 g/L	0,11 g/L
M1	0,800 g/L	0,05 g/L
M2	1,000 g/L	0,07 g/L
M3	1,200 g/L	0,09 g/L
M4	1,400 g/L	0,11 g/L
M1	0,800 g/L	0,05 g/L
M2	1,000 g/L	0,07 g/L
M3	1,200 g/L	0,09 g/L
M4	1,400 g/L	0,11 g/L
M1	0,800 g/L	0,05 g/L
M2	1,000 g/L	0,07 g/L
M3	1,200 g/L	0,09 g/L
M4	1,400 g/L	0,11 g/L

Asimismo, la población de estudio está constituida por aguas residuales, y la muestra está compuesta por una selección limitada de estas, dado que no es viable estudiar toda la población [24]. Pues, se emplea un muestreo no probabilístico, basado en la conveniencia del investigador [25].

Para establecer la muestra, se emplean criterios, es decir, las muestras deben ser de aguas residuales domésticas y urbanas, sin haber sido tratadas, para reflejar condiciones naturales de turbidez y contaminantes. Se requiere un volumen mínimo de agua residual que permita realizar pruebas representativas de coagulación y floculación. Se excluyen aguas tratadas o potables, ya que el estudio se centra en aguas con niveles elevados de turbidez, así como aguas provenientes de procesos industriales o instalaciones especializadas, debido a sus características diferentes a las de las aguas residenciales

## II. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### A. Datos generales

#### 1) Prueba de normalidad

$H_1$ : La distribución de los datos de la variable no sigue una distribución normal.

$H_0$ : La distribución de los datos sigue una distribución normal.

Si  $p > 0,05$ , se acepta la  $H_0$ .

Si  $p < 0,05$ , se rechaza la  $H_0$ .

comunes. También se descartan muestras con contaminantes químicos específicos no comunes en aguas residuales.

La técnica de recolección utilizada fue la observación experimental, crucial para obtener datos precisos y efectivos para responder a la pregunta de investigación [26]. Del mismo modo, los instrumentos utilizados fueron fundamentales para facilitar la recopilación de datos. Por ello, se empleó una ficha de registro validada, diseñada por Acevedo y Huamán [27], para registrar la información durante el experimento de prueba de jarras, la cual ha sido previamente evaluada y aprobada, asegurando su correcta aplicación para la recopilación de datos y obtención de resultados confiables. En lo que respecta a la confiabilidad, esta se garantiza mediante el uso de un laboratorio acreditado por INACAL y equipos calibrados, lo que permitió obtener mediciones precisas.

Además, se consultó literatura relevante, como tesis y artículos científicos sobre la implementación de coagulantes naturales como *Opuntia ficus-indica* y *Caesalpinia spinosa* en la reducción de turbidez en aguas residuales, lo que permitió validar los métodos y herramientas empleados en esta investigación.

Para obtener los datos, se sigue un proceso detallado. Primero, se recoge una muestra de 25 L de agua residual. Luego, se seleccionan los agentes coagulantes naturales *Opuntia ficus-indica* y *Caesalpinia spinosa*. En el caso de *Opuntia ficus-indica*, se limpian y trocean las paletas de tuna, que se deshidratan al sol aproximadamente 5 o 6 días, licúan y cuelan para obtener el polvo de mucílago puro [28][29]. Para *Caesalpinia spinosa*, se seleccionan las vainas maduras, se extraen las semillas y se secan a 23 °C por aproximadamente 3 días, luego se trituran para separar la cáscara del endosperma, y este último se tritura nuevamente para obtener la goma de tara [30].

Posteriormente, se realiza una prueba de jarras mediante coagulación-floculación y un tiempo de sedimentación de 60 minutos para *Opuntia ficus-indica* y 15 minutos para el coagulante de *Caesalpinia spinosa*, con 5 repeticiones y cuatro dosis diferentes para ambos coagulantes, utilizando velocidades de mezcla lenta (50 RPM) y rápida (200 RPM) [31].

Además, luego de aplicar el instrumento, se analizó la información utilizando estadística descriptiva e inferencial en el software IBM SPSS Statistics 29 y Microsoft Excel. Se calcularon los porcentajes de remoción de turbidez y otros parámetros, comparando los resultados con la normativa peruana para aguas residuales. Esta comparación permitió evaluar el cumplimiento de los estándares y la viabilidad de los tratamientos en situaciones reales.

Finalmente, este estudio cumple con los principios éticos establecidos en el “Código de ética para la investigación científica en UPN”, asegurando el cumplimiento de nuestras responsabilidades como investigadores. Para ello, se citó correctamente cada fuente consultada, respetando los derechos de autor y garantizando la integridad académica. Como se señala la ética en la investigación es esencial para el uso adecuado de citas y referencias [20].

TABLA II  
PRUEBA DE NORMALIDAD DE *Caesalpinia spinosa* y *Opuntia ficus-indica*

		Shapiro-Wilk				
<i>Caesalpinia spinosa</i>	Dosis	0,05 g/L	0,07 g/L	0,09 g/L	0,11 g/L	
	Porcentaje remoción	Sig.	0,005	0,039	0,073	0,175
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Dosis	0,800 g/L	1,000 g/L	1,200 g/L	1,400 g/L	
	Porcentaje remoción	Sig.	0,437	0,763	0,240	0,476

De la Tabla II, según la prueba de Shapiro Wilk, los valores de significancia en las diferentes dosis para ambos coagulantes son mayores que 0,05. Por lo tanto, las distribuciones son normales y se puede aplicar la prueba paramétrica ANOVA.

#### 2) Prueba de homogeneidad de varianzas

$H_1$ : Las varianzas son diferentes, los grupos no son homogéneos.

$H_0$ : Las varianzas son iguales, los grupos son homogéneos.

Si  $p > 0,05$  se acepta la  $H_0$

Si  $p \leq 0,05$  se rechaza la  $H_0$

TABLA III

PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE *Caesalpinia spinosa* y *Opuntia ficus-indica*

		<i>Caesalpinia spinosa</i>	<i>Opuntia ficus-indica</i>
		Sig.	Sig.
% Remoción	Se basa en la media	0,200	0,036
	Se basa en la mediana	0,200	0,048
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,200	0,092
	Se basa en la media recortada	0,200	0,031

De la Tabla III, en lo referente al coagulante *Caesalpinia spinosa*, la significancia es de 0,157, por lo que se acepta la  $H_0$  ya que es  $> 0,05$ . Por ende, las varianzas son iguales y los grupos son homogéneos. Por otro lado, para *Opuntia ficus-indica*, dado que el valor de significancia es 0,036, menor que 0,05, se rechaza la hipótesis nula planteada ( $H_0$ ). Esto significa que las varianzas no son iguales, lo que indica que los grupos no son homogéneos.

*B. Evaluación de la eficiencia del uso de Opuntia ficus-indica y Caesalpinia spinosa en la reducción de turbidez en aguas residuales*

$H_1$ : El uso de *Opuntia ficus-indica* y *Caesalpinia spinosa* son eficientes para la reducción de turbidez en aguas residuales.

$H_0$ : El uso de *Opuntia ficus-indica* y *Caesalpinia spinosa* no son eficientes para la reducción de turbidez en aguas residuales.

TABLA IV

PRUEBA DE ANOVA DE *Caesalpinia spinosa*

% Remoción	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,434	3	0,145	2,083	0,143
Dentro de grupos	1,111	16	0,069		
Total	1,545	19			

En la Tabla IV se presenta la prueba de ANOVA para el coagulante *Caesalpinia spinosa* donde arrojó un valor de  $p = 0,143$ , superior al nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ . Esto indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ), sugiriendo que no existen diferencias significativas en la eficiencia de remoción entre los tratamientos evaluados.

TABLA V

PRUEBA DE ANOVA DE *Opuntia ficus-indica*

% Remoción	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	114,490	3	38,163	21,443	<0,001
Dentro de grupos	28,476	16	1,780		
Total	142,966	19			

De acuerdo con la Tabla V, el resultado de la prueba ANOVA de un factor fue menor que 0,001, lo que llevó al rechazo de la hipótesis nula ( $H_0$ ) y confirmó que al menos una de las medias difiere significativamente.

Ambos resultados respaldan la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), ya que indican que los coagulantes *Opuntia ficus-indica* y *Caesalpinia spinosa* son efectivos en la reducción de turbidez en aguas residuales. En este sentido, *Opuntia ficus-indica* logró una remoción del 92,2%, mientras que, por otro lado, *Caesalpinia spinosa* alcanzó una eficiencia del 99,34%, lo que evidencia su mayor capacidad coagulante.

Estos resultados coinciden con estudios previos. Por ejemplo, en una investigación se observó que la goma de *Caesalpinia spinosa* redujo la turbidez en un 97,19%, mientras que el mucílago de *Opuntia ficus-indica* alcanzó un 48,38% de remoción [12]. De manera similar, otro estudio destacó que *Caesalpinia spinosa* es altamente eficiente para reducir la turbidez, logrando un 97,7% de remoción en aguas de la industria minera [10]. Aunque ambos coagulantes demostraron efectividad, *Caesalpinia spinosa* resultó ser más eficiente que *Opuntia ficus-indica*, lo que resalta su potencial para mejorar la calidad del agua y cumplir con la normativa ambiental.

*C. Identificación de la dosis (0,800 g, 1,000 g, 1,200 g, 1,400 g) ideal del coagulante de Opuntia ficus-indica para la reducción de turbidez en aguas residuales.*

Los resultados mostraron que las dosis más bajas fueron más efectivas. En la Tabla VI, se observa que con dosis de 0,800 g/L y 1,000 g/L, la turbidez inicial de 235 UNT y 258 UNT respectivamente, se redujo significativamente a 18,26 UNT y 23,80 UNT. Sin embargo, a medida que la dosis aumentó a 1,200 g/L y 1,400 g/L, la reducción de turbidez fue menor, con valores de 25,38 UNT y 35,44 UNT, lo que sugiere que dosis mayores no proporcionan una mejora proporcional.

En la Figura 1, la dosis de 0,800 g/L presentó la mayor eficiencia de remoción con un 92,91%, seguida por la de 1,000 g/L (90,78%), y las dosis de 1,200 g/L y 1,400 g/L con 90,17% cada una.

TABLA VI  
TURBIDEZ INICIAL Y FINAL DE ACUERDO A LAS DOSIS DE *Opuntia ficus-indica*

Dosis	Turbidez inicial (UNT)	Turbidez final (UNT)
0,800	235	18,26
1,000	258	23,80
1,200	246	25,38
1,400	270	35,44

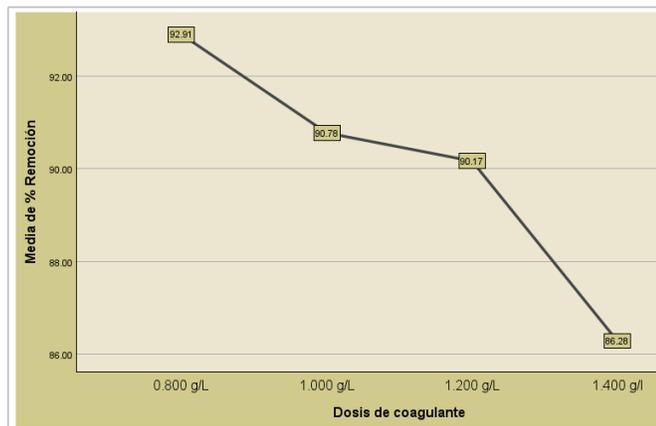


Fig. 1 Prueba post hoc -dosis óptima de *Opuntia ficus-indica*

Estos resultados coinciden con un estudio en el cual se observó que *Opuntia ficus-indica* también es efectiva en la reducción de turbidez, con una remoción de entre 98,73% y 99,18% al utilizar una dosis de 200 mg/L de mucílago fresco [9]. Aunque las condiciones experimentales variaron, ambos estudios refuerzan la eficacia de *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural para mejorar la calidad del agua. Por lo tanto, se concluye que la dosis de 0,800 g/L es la más eficiente para la reducción de turbidez en aguas residuales.

Asimismo, *Opuntia ficus-indica* posee una alta eficacia como coagulante natural gracias a la presencia de ácido poligalacturónico, un polisacárido aniónico derivado del ácido galacturónico, que constituye el principal componente activo de su mucílago [32]. Este mucílago es una sustancia viscosa compuesta por largas cadenas de hasta 30,000 monosacáridos, cuya función natural es retener agua mediante la formación de redes moleculares [33]. Estas redes, al interactuar con el agua residual, actúan mediante mecanismos de adsorción y puente: los grupos funcionales aniónicos del mucílago se unen a las partículas coloidales presentes en el agua, neutralizando sus cargas y permitiendo la formación de flóculos más grandes y estables. Este proceso favorece la sedimentación de sólidos suspendidos, logrando una significativa reducción de la turbidez [34].

#### D. Identificación de la dosis (0,05 g, 0,07 g, 0,09 g, 0,11 g) ideal del coagulante de *Caesalpinia spinosa* en la disminución de turbidez en aguas residuales.

De acuerdo con los datos obtenidos, la Tabla VII muestra la reducción de turbidez en función de distintas dosis de *Caesalpinia spinosa*, evidenciando que, a medida que la dosis aumenta, la turbidez disminuye significativamente. La dosis de 0,07 g/L presentó la mayor eficiencia, reduciendo la turbidez inicial de 684 UNT a 3,41 UNT, con una remoción del 99,51%. Le siguieron las dosis de 0,09 g/L (99,41%), 0,05 g/L (99,32%) y 0,11 g/L (99,11%).

Asimismo, en la figura 2 se observa que, si bien todas las dosis lograron una alta eficiencia, la de 0,07 g/L fue la más efectiva, resaltando su potencial para mejorar la claridad del agua y optimizar la remoción de sólidos suspendidos.

TABLA VII  
TURBIDEZ INICIAL Y FINAL DE ACUERDO A LAS DOSIS DE *Caesalpinia spinosa*

Dosis	Turbidez inicial (UNT)	Turbidez final (UNT)
0,05	493	4,51
0,07	684	3,41
0,09	837	4,19
0,11	837	6,51

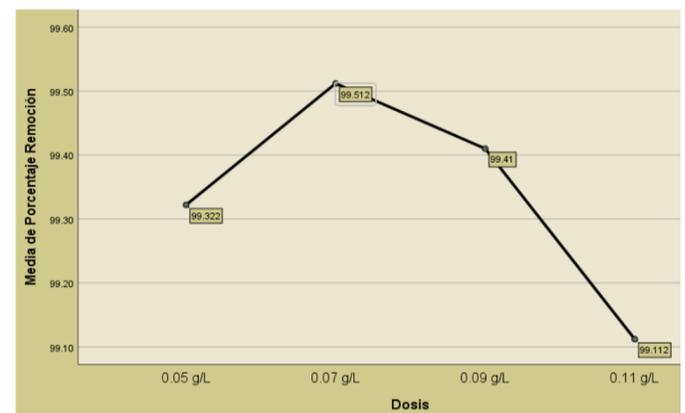


Fig. 2 Prueba post hoc -dosis óptima de *Caesalpinia spinosa*

Este resultado se alinea con un estudio previo en donde se observó una eficiencia de hasta el 97,70% en la reducción de turbidez, dependiendo del pH del agua. Aunque las condiciones experimentales y el tipo de agua utilizado en ambos estudios son diferentes, ambos sugieren que *Caesalpinia spinosa* es una alternativa efectiva y versátil en la coagulación natural, adaptándose a diversas condiciones de pH sin afectar significativamente este parámetro [10]. Además, se destacó que

este coagulante genera menos lodo residual que los convencionales, lo que representa un beneficio adicional en la gestión de residuos sólidos. En conjunto, ambos estudios refuerzan la viabilidad de *Caesalpinia spinosa* como una opción sostenible y eficiente para el tratamiento de aguas residuales.

La eficacia de *Caesalpinia spinosa* en la reducción de turbidez se debe a la presencia de galactomanano en su endospermo, un polisacárido hidrocoloide formado por manosa y galactosa, que posee una estructura tridimensional capaz de retener agua [35][36]. Al entrar en contacto con el agua, se rehidrata rápidamente gracias a sus grupos hidroxilos (-OH), lo que facilita su adhesión a las partículas coloidales. Estas moléculas actúan como puentes que forman redes porosas, favoreciendo la floculación y posterior sedimentación [37]. Asimismo [38], la floculación mediante polímeros, ya sean sintéticos o naturales, se basa en la formación de enlaces entre partículas para formar flóculos más grandes y fácilmente sedimentables.

*E. Determinación de la calidad del agua residual antes y después del tratamiento con Opuntia ficus-indica y Caesalpinia spinosa, y compararla con los estándares de calidad ambiental establecidos en el Decreto Supremo 004-2017-MINAM.*

La Tabla VIII muestra los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aguas de Categoría 1: Poblacional y Recreacional, según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, con límites para parámetros como conductividad, temperatura, pH y turbidez. Estos estándares servirán como referencia para evaluar los resultados de los tratamientos con coagulantes naturales.

TABLA VIII  
ECA CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento o avanzado
Conductividad	(µS/cm)	1 500	1 600	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0

Turbiedad	UNT	5	100	**
-----------	-----	---	-----	----

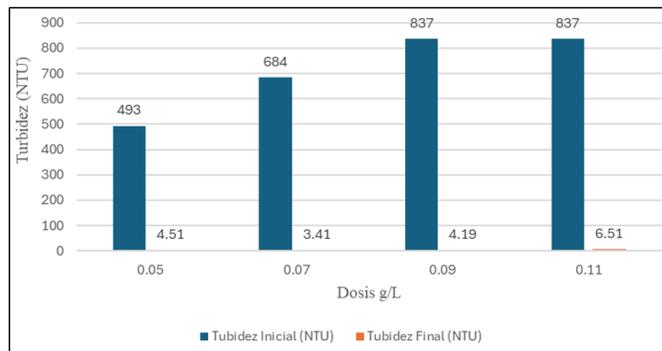


Fig. 3 Turbidez inicial y final en relación a la dosis (g/L) de *Caesalpinia spinosa*

La Figura 3 nos muestra que la conexión entre la dosis del coagulante *Caesalpinia spinosa*, y la turbidez final es variable. La turbidez inicial, entre 493 y 837 UNT, supera el límite de 5 UNT establecido por los ECA. Tras el tratamiento, la turbidez final se reduce significativamente, entre 4,19 y 6,51 UNT, cumpliendo con la normativa para potabilización con desinfección. Cabe recalcar que existe una relación entre la dosis de coagulante y la turbidez final, pues con 0,05 g/L, la turbidez disminuye de 493 UNT a 4,51 UNT, demostrando alta efectividad. Sin embargo, con 0,11 g/L, la turbidez final aumenta a 6,51 UNT, indicando que dosis excesivas reducen la eficacia.

Así pues, estudios sobre el uso de *Caesalpinia spinosa* para remover turbidez en aguas residuales del sector azucarero mostró una reducción de la turbidez de 351 UNT a 61,94 UNT, logrando una eficiencia del 82,35%. Este resultado cumple con los ECA del DS 004-2017-MINAM [11], que establece un límite de 100 UNT para aguas destinadas a potabilización, indicando que el agua tratada es apta para el pretratamiento.

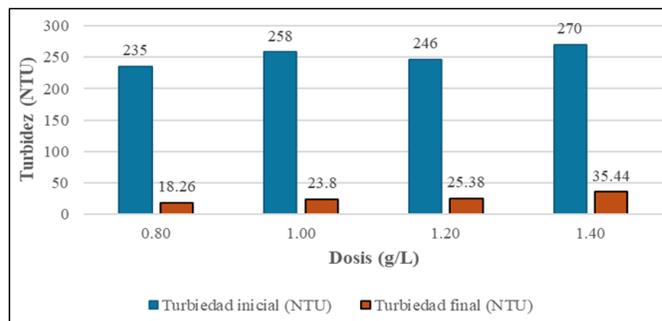


Fig. 4 Turbidez inicial y final en relación a la dosis (g/L) de *Opuntia ficus-indica*

La Figura 4 muestra cómo la turbidez varía según los tratamientos de *Opuntia ficus-indica*. Pues, la turbidez inicial

varía entre 235 UNT y 270 UNT. Así pues, con 0,8 g/L, se obtuvo la mayor reducción de turbidez, de 235 UNT a 18,26 UNT, aunque sigue superando el límite de 5 UNT para la subcategoría A1. Al aumentar la dosis a 1,2 g/L y 1,4 g/L, las reducciones fueron menores, con turbideces finales dentro del rango de la subcategoría A2 (hasta 100 UNT). Sin embargo, se observa que no siempre una dosis más alta resulta en mayor eficacia por lo que, *Opuntia ficus-indica* es efectivo para reducir la turbidez, pero el agua tratada aún necesita un tratamiento adicional para cumplir con los estándares más estrictos.

Esto guarda relación con una investigación [8], sobre la dosis óptima de mucílago de *Opuntia ficus-indica* que muestra que dosis mayores reducen significativamente la turbidez del agua del río La Leche. Con la dosis más alta (100 ml), la turbidez disminuyó a 4,10 NTU, cumpliendo con los estándares de calidad ambiental para agua.

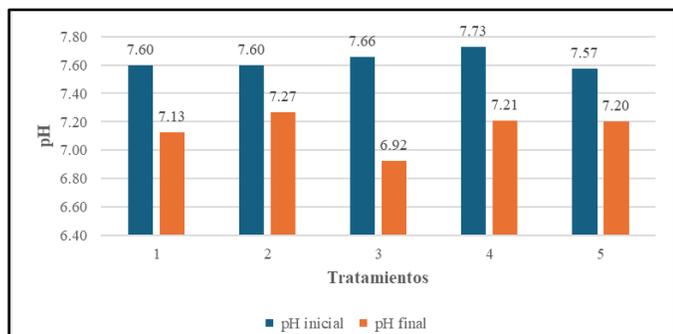


Fig. 5 Comparación del pH inicial y final de *Opuntia ficus-indica*.

La Figura 5 muestra que, tras el tratamiento con *Opuntia ficus-indica*, el pH del agua se mantiene dentro del rango establecido por el DS N° 004-2017-MINAM para aguas destinadas al consumo humano (6,5–8,5). Inicialmente, los valores de pH oscilaron entre 7,57 y 7,73, y después del tratamiento, entre 6,92 y 7,27. Estos resultados son consistentes con un estudio previo en el que se observó que el uso de *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural no altera significativamente el pH del agua tratada [9].

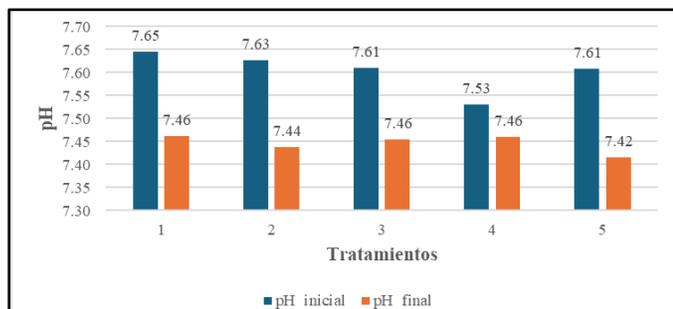


Fig. 6 Comparación del pH inicial y final de *Caesalpinia spinosa*

De acuerdo con la Figura 6, en el tratamiento con *Caesalpinia spinosa*, los valores de pH iniciales variaron entre 7,53 y 7,65, con un promedio de 7,60, mientras que después del tratamiento, los valores finales oscilaron entre 7,42 y 7,46, con un promedio de 7,45. Esto refleja una disminución leve de 0,158 en el pH, indicando un efecto acidificante moderado, pero aún dentro del rango normativo para aguas destinadas a consumo humano. Estos resultados coinciden con el trabajo realizado, en la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, que también encontró que *Caesalpinia spinosa* mantiene el pH dentro de los límites permitidos para la potabilización, a la vez que reduce efectivamente la turbidez en el tratamiento de aguas residuales [39].

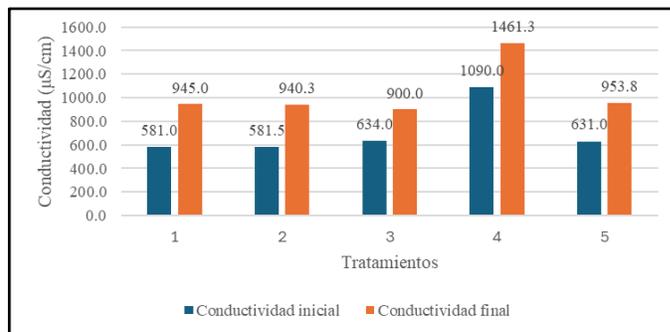


Fig. 7 Comparación de Conductividad inicial y final de *Opuntia ficus-indica*

En la Figura 7, se observa que, tras el tratamiento con *Opuntia ficus-indica*, los valores de conductividad aumentaron, pasando de un rango inicial de 581,0 µS/cm a 1090,0 µS/cm, a valores finales entre 900,0 µS/cm y 1461,3 µS/cm. Según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para la Categoría 1: Poblacional y Recreacional (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM), el límite para la subcategoría A1 es de 1500 µS/cm, lo cual es adecuado para potabilización mediante desinfección. La mayoría de los tratamientos mantuvieron la conductividad dentro de este límite, excepto el tratamiento 4, que se acercó al límite sin superarlo. Este comportamiento es consistente con un estudio realizado, donde se evaluó el uso de *Opuntia ficus-indica* en la clarificación de aguas residuales domésticas, concluyendo que el coagulante natural es efectivo para ser aplicado en el tratamiento de aguas grises de turbiedad baja, media y alta, generando mínimas variaciones en el pH y conductividad [40].

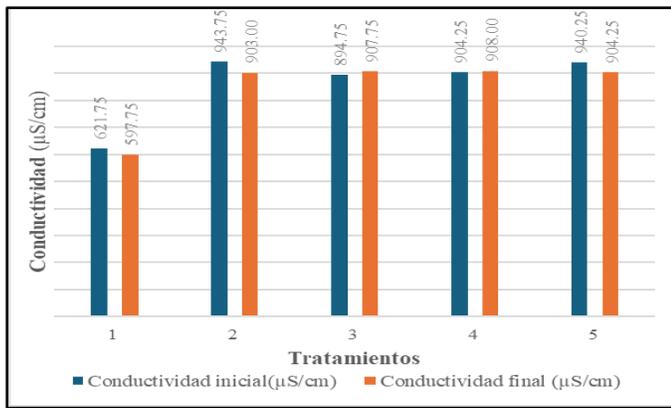


Fig. 8 Comparación de Conductividad inicial y final de *Caesalpinia spinosa*

En cuanto a la figura 8, el tratamiento con *Caesalpinia spinosa*, mostró una ligera disminución en la conductividad promedio, pasando de 860,95 µS/cm a 844,15 µS/cm, lo que sugiere su eficacia en reducir ciertos componentes iónicos en el agua. Según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, el límite de conductividad para aguas potabilizadas es de hasta 1,500 µS/cm, y los valores obtenidos con *Caesalpinia spinosa* están muy por debajo de este umbral, lo que indica que el tratamiento cumple con las normativas de calidad para potabilización. Este hallazgo es respaldado por una investigación en la que también se encontró que el tratamiento con *Caesalpinia spinosa* mejora la calidad del agua, manteniendo la conductividad dentro de los límites aceptables para su consumo [41].

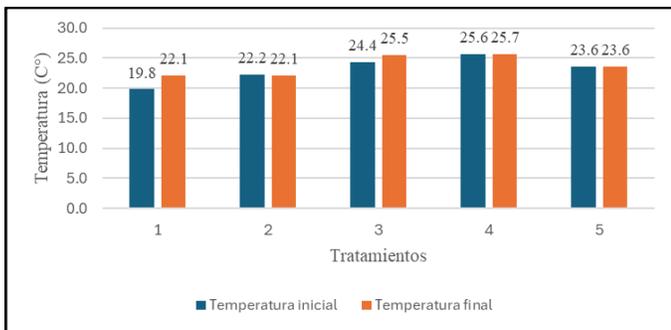


Fig. 9 Comparación de Temperatura inicial y final de *Opuntia ficus-indica*.

En la Figura 9, las temperaturas del agua tratada con *Opuntia ficus-indica* aumentaron ligeramente, de un rango inicial de 19,8 °C a 25,6 °C, a un rango final de 22,1 °C a 25,7 °C. Este cambio está dentro del límite permitido de 3 °C según los ECA del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM para aguas de uso poblacional y recreacional. Los resultados indican que *Opuntia ficus-indica* no genera alteraciones térmicas significativas, siendo adecuado para el tratamiento de aguas sin afectar el entorno acuático. Un estudio [28], aunque no centrado en temperatura, también observó que este coagulante no causa

cambios térmicos importantes, confirmando la eficacia de *Opuntia ficus-indica* dentro de los límites normativos.

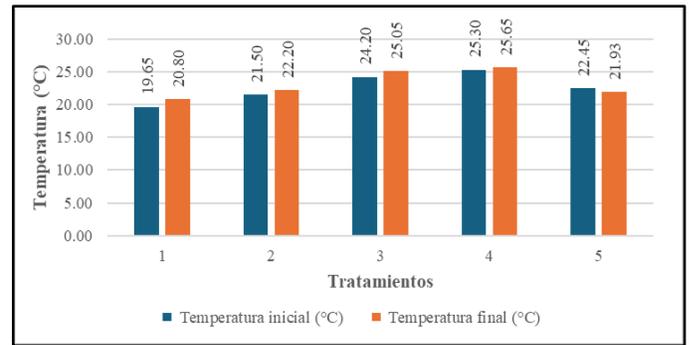


Fig. 10 Comparación de Temperatura inicial y final de *Caesalpinia spinosa*

En la Figura 10, el tratamiento con *Caesalpinia spinosa* produjo un ligero aumento en la temperatura del agua, con un cambio promedio de 0,505°C. Según la normativa del ECA Categoría 1, el límite permitido es de 3°C, por lo que esta variación está dentro del rango aceptable. Esto indica que el tratamiento cumple con la regulación en cuanto a la variación de temperatura. Estudios previos [37] señalan que los biocoagulantes como este mejoran la remoción de turbidez sin generar variaciones significativas en la temperatura, lo que ayuda a preservar la calidad del agua. Además, se ha observado que un ligero aumento de temperatura favorece la eficiencia del proceso, ya que incrementa las colisiones entre partículas coloidales, facilitando su coagulación y sedimentación.

#### IV. CONCLUSIONES

Los coagulantes naturales evaluados, *Opuntia ficus-indica* y *Caesalpinia spinosa*, demostraron ser altamente efectivos en la reducción de turbidez en aguas residuales. *Opuntia ficus-indica* redujo la turbidez en un 92,2%, mientras que *Caesalpinia spinosa* alcanzó una disminución del 99,34%. Estos resultados evidencian el potencial de ambos coagulantes como una solución ecológica, capaz de reducir la dependencia de productos químicos sintéticos en los procesos de purificación de agua.

En relación con el primer objetivo específico, se determinó que la dosis ideal del coagulante *Opuntia ficus-indica* para la reducción de turbidez en aguas residuales se encuentra en rangos bajos. La dosis de 0,800 g/L mostró la mayor eficiencia, con una reducción del 92,91%, seguida por 1,000 g/L con un 90,78%. Al aumentar las dosis a 1,200 y 1,400 g/L, la eficiencia de remoción se mantuvo similar (90,17%), lo que indica que dosis mayores no incrementan proporcionalmente la efectividad del coagulante.

Asimismo, se identificó la dosis ideal del coagulante *Caesalpinia spinosa* para reducir la turbidez en aguas grises. La dosis de 0,07 g/L resultó en una eficiencia de remoción del 99,51%, reduciendo la turbidez de 684 UNT a 3,41 UNT, seguida de cerca por las dosis de 0,09 g/L (99,41%), 0,05 g/L (99,32%) y 0,11 g/L (99,11%). Esto demuestra que este

coagulante es efectivo, especialmente en dosis bajas, aunque las dosis más altas también reducen significativamente la turbidez.

Por otro lado, los resultados mostraron que *Caesalpinia spinosa* logró una turbidez final dentro del límite de 5 UNT, cumpliendo con los estándares para agua potable del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Por su parte, *Opuntia ficus-indica* mejoró la turbidez, aunque superó el límite para la subcategoría A1. Los parámetros de pH, conductividad y temperatura se mantuvieron dentro de los límites permitidos para ambos tratamientos, sugiriendo que estos coagulantes son viables para la potabilización de aguas residuales.

#### AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

El principal agradecimiento es a Dios, luego nos gustaría expresar nuestro más sincero agradecimiento a la tutora Magda Velásquez Marín, por su orientación experta y paciencia a lo largo de este trabajo. Asimismo, agradecemos a todas las personas cuyos estudios y contribuciones han enriquecido esta investigación, su trabajo ha sido fundamental para su desarrollo y conclusión. Finalmente, queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a nuestros padres, por su amor incondicional, apoyo constante y por habernos dado las herramientas necesarias para alcanzar nuestras metas. Sin su aliento y sacrificio, este logro no habría sido posible.

#### REFERENCIAS

- [1] Mendoza-Retana, S., Cervantes-Vázquez, M., Valenzuela-García, A., Guzmán-Silos, T., Orona-Castillo, I., & Cervantes-Vázquez, T. (2021). Uso potencial de las aguas residuales en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(1), 115-126. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342021000100115&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342021000100115&script=sci_arttext)
- [2] Toledo Parra, C. (2024). Inventario de los tratamientos de aguas residuales en 15 poblados de las provincias de Chimborazo y Tungurahua del Ecuador [Tesis para obtención del título, Universidad Nacional de Chimborazo]. Archivo digital. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/12296>
- [3] Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2018) Naciones Unidas advierte que más del 80% de las aguas residuales se vierten al ecosistema sin depurar. FAO. <https://www.fao.org/republica-dominicana/noticias/detail-events/es/c/853936/>
- [4] Rodríguez, H. (2017). *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes*. Clubiagua. <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- [5] Medrano, O. (2019). Retos y oportunidades para una gestión eficiente de los servicios de agua potable, saneamiento y electricidad en la República Dominicana. *Acta universitaria*, 29. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662019000100223&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662019000100223&script=sci_arttext)
- [6] Huamán- Suce, M. (2020). Aprovechamiento de lodos activados provenientes de planta de tratamiento de aguas residuales para la obtención de carbón activado. [Tesis para obtención de Bachiller, Universidad Científica del Sur]. Archivo digital. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1472>
- [7] Isaza, J., & Salgado, S. (2021). Formulación de una metodología de dimensionamiento de lagunas de estabilización para el tratamiento de agua residual doméstica en Latinoamérica. [Tesis para obtención de título profesional, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Archivo digital. <https://repositorio.udistrital.edu.co/handle/11349/27612>
- [8] Samame Toro, Y. Y. (2019). Dosis óptima del mucílago de *Opuntia ficus-indica* para mejorar la calidad del agua del río la Leche, Lambayeque. [Tesis para obtención de título profesional, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35380>
- [9] Guzmán, A. (2021). EFICIENCIA DE LA TUNA *Opuntia ficus-indica* COMO BIOCOAGULANTE PARA LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA DE ESTERO MEDINA, PARROQUIA BELLA MARÍA, PROVINCIA EL ORO [Tesis para obtención de título profesional, Universidad Agraria Del Ecuador]. Archivo digital. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/RUIZ%20GUZMAN%20GERMAN%20ALEXIS.pdf>
- [10] Guzmán, S. (2020). Tratamiento de aguas de drenaje de mina mediante biocoagulación con *Caesalpinia spinosa* (Guarango). [Tesis para obtención de título profesional, Universidad de las Américas]. Archivo digital. <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/12055>
- [11] Segura Pelaez, L. A. (2023). *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa* para la remoción de turbidez en aguas residuales del sector azucarero. [Tesis para obtención de título profesional, Universidad Privada del Norte]. Archivo digital. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33898>
- [12] Montenegro, J. (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. [Tesis para obtención de título profesional, Universidad César Vallejo]. Archivo digital. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/43789/Montenegro\\_VJP-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/43789/Montenegro_VJP-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [13] Arrascue, M. y Figueroa, D. (2023). Remoción de turbidez de las aguas del Río Zaña usando mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y piedra de alumbre. [Tesis para obtención de título profesional, Universidad César Vallejo]. Archivo digital. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/138625>
- [14] Cabrera, I. (2019) Formulación de una mezcla constituida por semillas de moringa (*Moringa oleifera*) y sulfato de aluminio, para ser usada en el proceso de coagulación-floculación en el tratamiento de agua residual. [Tesis para obtención de título profesional, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Archivo digital. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/3941>
- [15] Urquiza E. y Sánchez N. (2019). Extracto del maíz morado como indicador químico. Chakiñan, *Revista De Ciencias Sociales Y Humanidades*, 9, 45-47. <https://doi.org/10.37135/chk.002.09.08>
- [16] Morales, T. (2022). ANÁLISIS DE TEMPERATURA DEL FLUJO DE AIRE DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN NATURAL DE AULAS EN LA ESCUELA PROFESIONAL DE ARQUITECTURA Y URBANISMO, UNA-PUNO. *Revista de arquitectura y urbanismo Taypi*, 1(1), 65-71. <https://revistas.unap.edu.pe/taypi/index.php/taypi/article/view/613/530>
- [17] Gómez Torres, L y Guzmán Guzmán, M. (2023). Análisis del efecto de la suspensión de vertimientos de aguas residuales sobre los niveles de turbidez en la Ciénaga de la Virgen, utilizando teledetección satelital. Universidad de Cartagena. <https://hdl.handle.net/11227/17572>
- [18] Prasca, L. y Vergara, J. (2017). *Valoración de la eficiencia de las semillas del árbol cassia fistula en la remoción de turbidez en agua cruda*. [Tesis para obtención del título, Universidad de Sucre ]. <https://repositorio.unisucre.edu.co/server/api/core/bitstreams/a873ed93-3ece-4322-805f-a8ae6f575836/content>
- [19] RASHUMAN, K. (2024) *Comparación de la eficiencia de tratamiento en la remoción de materia orgánica entre opuntia ficusindica y cloruro férrico para las aguas del río Mantaro-2023*. [Tesis para obtención de título profesional, Universidad Continental]. Archivo digital. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/15535>
- [20] Jiménez, L. (2020). Impacto de la investigación cuantitativa en la actualidad. *Convergence Tech*, 4(1), 59-68. <https://doi.org/10.53592/convttech.v4i1V.35>
- [21] Ramos, C. (2021). Diseños De Investigación Experimental. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 10(1), 1-7. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7890336>
- [22] Supo, J. (2023). Niveles de investigación. *Bioestadístico*. Página web. <https://bioestadistico.com/niveles-de-investigacion>

- [23] Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciaAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
- [24] Cárdenas, J. (2018). Investigación cuantitativa. *trAndeS Serie de Material Docente*, 8, 54-56. [https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/22407/Manual\\_Cardenas\\_Investigaci%C3%B3n.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/22407/Manual_Cardenas_Investigaci%C3%B3n.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- [25] Hernández, O. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 37(3). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-21252021000300002&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-21252021000300002&script=sci_arttext)
- [26] Mendoza, S. y Ávila, D. (2020). Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Boletín Científico de las Ciencias Económicas Administrativas del ICEA*, 9(17), 51-53. <https://doi.org/10.29057/icea.v9i17.6019>
- [27] Acevedo, Y., & Huaman, H. (2021). Eficiencia del coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la remoción de la turbidez del río Ichu-Huancavelica-2019. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio institucional - UNH. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/c6010e2e-7713-4096-bc78-d6b58ffd6fb2>
- [28] Jaco, E., Gómez, W., Loroña, F., Zamora, N., & Huaman, N. (2022). Efficiency of *Opuntia ficus indica* as a coagulant for gray wastewater treatment and its application in a pilot system. *Ingeniería del agua*, 26(3), 157-171. <https://doi.org/10.4995/In.2022.17478>
- [29] Contreras, K., Mendoza, Y., Mendoza, G., Verbel, R. y Mendoza, G. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Producción Limpia*. 10 (1) [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552015000100004&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100004&lng=en&tlng=es).
- [30] Murga-Orrillo, H., Lobo, F., Santos, R., Fernandes, L., Nuñez, E., Chu-Koo, F., Arévalo, L., Arévalo-Hernández, C. y Abanto-Rodríguez, C. (2023). Increased Production of Tara (*Caesalpinia spinosa*) by Edaphoclimatic Variation in the Altitudinal Gradient of the Peruvian Andes. *Agronomía*, 13 (3), 646. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030646>
- [31] Bravo, M. y Gutierrez, J. (2016) Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del río Pollo en Otuzco empleando semillas de *Caesalpinia Spinosa* (Tara). [Tesis para obtención de título profesional, Universidad Nacional de Trujillo]. Archivo digital. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1b3c235b-10e9-4831-b8fd-68500bb03b4f/content>
- [32] Alvares, N. y Ceahua, S. (2021). Remoción de turbidez usando biocoagulantes “*Echinopsis peruviana* y *Opuntia ficus indica*” en muestras con suelo del río Tucuirí, Santo Tomás.[Tesis para obtención de título profesional, USIL]. Archivo digital. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/12267>
- [33] Manrique, F. (2023). Revisión de coagulantes/floculantes naturales obtenidos a partir de semillas de *Moringa oleifera* Lam (Moringa) y del mucílago de la Penca de *Opuntia ficus-indica* (Tuna) usados en la remoción de cromo en aguas residuales de curtiembre. Manrique, 2024). [Tesis para obtención de título profesional, UCSM]. Archivo digital. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/20.500.12920/13328/1/42.0306.IB.pdf>
- [34] Rojas, F. (2022). Efecto del coagulante natural de *Opuntia ficus-indica* en la disminución de turbiedad en el agua del río grande, Cajamarca 2021. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca]. Archivo digital. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5176>
- [35] Sanabria, N. (2011) *Extracción de goma a partir de semillas de Tara (Caesalpinia spinosa) y evaluación de sus propiedades reológicas*. [Título de ingeniero, Universidad Nacional del Centro del Perú] <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1216>
- [36] Bastidas Pimentel, R. M. (2013). Extracción y caracterización de la goma de semilla de Tara (*Caesalpinia spinosa*) provenientes de los distritos de Soraya y Vilcabamba, Apurímac [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. [http://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/435/T\\_0044.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/435/T_0044.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [37] Pereyra, M. (2024) Efecto Coagulante De *Moringa Oleifera*, *Caesalpinia Spinosa* Y *Opuntia Ficus-Indica* En La Clarificación De Agua Por Consumo Humano De La Planta De Tratamiento La Quesera-Celendín, 2022. [Título para optar a bachiller, Universidad Nacional de Cajamarca]. Archivo digital. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/7524>
- [38] Monje, G. y Acero, C. (2024) Determinación De La Dosis Óptima De La Goma De Tara (*Caesalpinia Spinosa*) Cómo Coadyuvante Del Sulfato De Aluminio Para La Remoción De Turbidez Del Río Caplina. *Ciencia y Latina Revista científica*, 8(6), 5162-5175. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i6.15238](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15238)
- [39] De La Torre Maldonado, A. L. (2020). *Caesalpinia spinosa* y *Moringa oleifera* en el tratamiento de aguas residuales del Río Lurín. [Tesis para obtención de título profesional, Universidad Nacional Tecnológica Lima Sur]. Archivo digital. [https://repositorio.untel.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/678/1/T088\\_A\\_74139416\\_T.pdf](https://repositorio.untel.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/678/1/T088_A_74139416_T.pdf)
- [40] Jaco Rivera, E. (2022). Eficiencia de la *Opuntia ficus indica* como coagulante para el tratamiento de las aguas residuales domésticas grises en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad-San Juan de Miraflores. [Tesis para obtención de título profesional, Universidad Nacional Federico Real]. Repositorio Institucional UNFR. <http://190.12.84.13:8080/handle/20.500.13084/5812>
- [41] Terrones Vega, A. C. (2019). Dosis óptima de la goma *Caesalpinia spinosa* para la mejora de la calidad del agua del Río Chancay-Lambayeque. [Tesis para obtención de título profesional, Universidad César Vallejo]. Archivo digital. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35919>