

# Eco-friendly Coagulant in the Treatment of Turbidity in the Water of the Mashcón River

Gladys S. Licapa-Redolfo<sup>1</sup>, Paulo C. Poma<sup>2</sup>, Rolando Licapa-Redolfo<sup>3</sup>, Gary Christiam Farfán Chilicaus<sup>4</sup>, Maryuri Vega- Eras<sup>5</sup>

<sup>1,2,5</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, [Gladys.licapa@upn.edu.pe](mailto:Gladys.licapa@upn.edu.pe); [N00179583@upn.pe](mailto:N00179583@upn.pe); [maryuri.vega@upn.edu.pe](mailto:maryuri.vega@upn.edu.pe)

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Perú, [dinner.licapa@unsch.edu.pe](mailto:dinner.licapa@unsch.edu.pe)

<sup>4</sup>Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, [gfarfanc@unitru.edu.pe](mailto:gfarfanc@unitru.edu.pe)

*Abstract - This study evaluated the efficacy of Opuntia ficus-indica extract as a coagulant in the removal of turbidity from the Mashcón river water, which had an initial turbidity of 130 NTU. It was investigated how both retention time and coagulant dosage influenced the results. At a 40-minute retention time, removal ranged from 7.0% to 89.7%, with coagulant dosages from 15 to 70 g/L. However, efficacy improved by increasing the time to 80 minutes, achieving removals of up to 84.1% for 30 g/L, reducing turbidity to as low as 20.70 NTU. A retention time greater than 120 minutes did not show significant improvements, suggesting a saturation point beyond which extra time does not improve removal. It is crucial to emphasize that tests were carried out in triplicate for each dosage and retention time, which gives robustness to the results. This study underlines the importance of optimizing both the coagulant dose and the retention time to achieve the best results in turbidity removal. In conclusion, the optimal combination for turbidity removal is a retention time of 80 minutes and a coagulant dose of 30 g/L, highlighting the efficacy of the Opuntia ficus-indica extract as a potent coagulant in improving water quality.*

**Keywords:** Removal efficiency, turbidity, Opuntia ficus-indica coagulant, retention time.

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LEIRD).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LEIRD).

**DO NOT REMOVE**

# Coagulante Ecológico en el tratamiento de la Turbidez del agua del Río Mashcón

Gladys S. Licapa-Redolfo<sup>1</sup>, Paulo C. Poma<sup>2</sup>, Rolando Licapa-Redolfo<sup>3</sup>, Gary Christiam Farfán Chilicaus<sup>4</sup>, Maryuri Vega- Eras<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, [Gladys.licapa@upn.edu.pe](mailto:Gladys.licapa@upn.edu.pe); [N00179583@upn.pe](mailto:N00179583@upn.pe); [maryuri.vega@upn.edu.pe](mailto:maryuri.vega@upn.edu.pe)

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Perú, [dinner.licapa@unsch.edu.pe](mailto:dinner.licapa@unsch.edu.pe)

<sup>4</sup>Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, [gfarfanc@unitru.edu.pe](mailto:gfarfanc@unitru.edu.pe)

**Resumen** – En este estudio se evaluó la eficacia del extracto de *Opuntia ficus-indica* como coagulante en la remoción de turbidez del agua del río Mashcón, cuya turbidez inicial era de 130 NTU. Se investigó cómo el tiempo de retención y la dosificación del coagulante influían en los resultados. A 40 minutos de retención, la remoción varió del 7.0% al 89.7%, en dosificaciones de 15 a 70 g/L. Sin embargo, la eficacia mejoró al aumentar el tiempo a 80 minutos, obteniendo remociones de hasta el 84.1% para 30 g/L, reduciendo la turbidez a tan solo 20.70 NTU. Un tiempo de retención mayor a 120 minutos no mostró mejoras significativas, sugiriendo un punto de saturación más allá del cual el tiempo extra no mejora la remoción. Es crucial recalcar que las pruebas se realizaron por triplicado para cada dosificación y tiempo de retención, lo que otorga robustez a los resultados. Este estudio subraya la importancia de optimizar tanto la dosis de coagulante como el tiempo de retención para obtener los mejores resultados en la remoción de turbidez. En conclusión, la combinación óptima para la remoción de turbidez es un tiempo de retención de 80 minutos y una dosis de coagulante de 30 g/L, destacando la eficacia del extracto de *Opuntia ficus-indica* como un potente coagulante en la mejora de la calidad del agua.

**Palabras clave:** Eficiencia de remoción, turbidez, coagulante de *Opuntia ficus-indica*, tiempo de retención.

## I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la polución del agua provocada por las descargas residenciales es un problema de alcance global, y se debe mayormente a la ausencia de un sistema apropiado para recoger esta agua. Aparte de esto, los contaminantes encontrados en los residuos domésticos tienen diversos y heterogéneos efectos en los cuerpos de agua donde se liberan, el medio ambiente circundante y la salud de las personas. [1]

El Perú está avanzando de manera continua en la gestión de los recursos hídricos, la protección de la salud y la implementación de tecnología y productividad, orientándose en un enfoque sistemático para el uso eficiente del agua y la generación de aguas residuales derivadas de las actividades humanas y productivas [2], sin embargo, existen desafíos significativos. La contaminación del agua, en particular, es una

preocupación constante, contribuyendo a altos índices de contaminación y la creación de focos infecciosos [3].

Para contrarrestar estos problemas, se ha buscado reemplazar los coagulantes tradicionales con alternativas económicas y más limpias, algunas de ellas de origen vegetal. Los coagulantes naturales, que son sustancias solubles en agua que provienen de materiales vegetales o animales, actúan de manera similar a los coagulantes sintéticos en el proceso de clarificación del agua.

Además, la escasez de agua se está convirtiendo en un problema cada vez más apremiante en todo el mundo. Con una de cada cinco personas careciendo de acceso a agua potable y con más de 30,000 niños que mueren antes de los cinco años debido a enfermedades que podrían evitarse con un tratamiento de agua adecuado, la necesidad de soluciones eficientes y efectivas para el tratamiento del agua es cada vez más urgente [4].

El nopal es un cactus robusto y densamente ramificado que alcanza una altura de entre 0,6 y 1,00 metros. Presenta tallos jugosos y afilados con espinas, los cuales son ovalados, se ramifican lateralmente, y miden de 15 a 30 cm de largo y 13 a 21 cm de ancho. Cuenta con diferentes tipos de espinas, algunas más grandes que otras, con un promedio de 3,6 espinas, y flores individuales que carecen de tallo. Además, las hojas del nopal, conocidas como cladodios, albergan mucílagos, los cuales, al entrar en contacto con agua, se disuelven para formar soluciones coloidales o geles [5]. El uso del mucílago de los cladodios, también conocidos como tallos o raquetas, como coagulantes y floculantes naturales es particularmente significativo. Este componente es capaz de precipitar las impurezas presentes en el agua destinada al consumo humano, mejorando su potabilidad. Este uso es muy valioso debido a sus beneficios en términos de biodegradabilidad, baja toxicidad y baja generación de lodos [6].

En este contexto, se realizará una investigación detallada centrada en el río Mashcón, específicamente en la aplicación del extracto de *opuntia ficus-indica* como un potencial

coagulante-floculante para mejorar la calidad del agua. La finalidad de este trabajo es explorar la viabilidad de este coagulante ecológico y amigable con el medio ambiente para reducir la turbidez del agua, un indicador clave de su calidad, y así contribuir a los esfuerzos por gestionar eficientemente los recursos hídricos y reducir la contaminación del agua en el río Mashcón.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Tipo de Investigación

Este tipo de investigación se basa en la medición cuantitativa y el análisis estadístico para establecer patrones y tendencias y para formular predicciones. En este estudio, el enfoque cuantitativo implica la recopilación y el análisis de datos numéricos sobre la turbidez del agua antes y después del tratamiento con *Opuntia ficus-indica*.

### B. Diseño de la Investigación

- a) Diseño de Investigación Experimental: En este caso, se manipulan las variables para observar los efectos resultantes [7]. En este estudio, la turbidez del agua no sólo se medirá en su estado natural en el río, sino que luego se alteró esta condición a través de la aplicación del tratamiento con *Opuntia ficus-indica*. Esta manipulación incluyó la variación en el tiempo de retención del tratamiento y la dosis del coagulante ecológico utilizado. Después de la intervención, se volverá a medir la turbidez para observar los cambios producidos por el tratamiento.
- b) Diseño de Investigación Descriptivo Transversal: Este diseño de investigación implica observar y describir el estado de las cosas tal como son en un solo punto en el tiempo. En este estudio, la turbidez del agua se medirá antes y después del tratamiento en un solo momento, proporcionando una "instantánea" de los efectos del tratamiento con *Opuntia ficus-indica*.

### C. Recopilación de Muestras de Agua

En esta etapa de la investigación, se recogerán muestras de agua del río Mashcón desde distintos accesos o canales representativos del río. Este río, situado en la región nororiental del Perú, está expuesto a diversas fuentes de contaminación, lo que resalta la importancia de recoger muestras de estos accesos a lo largo del río para obtener una visión más holística de la turbidez del agua. En cada uno de estos accesos se recogieron 3 litros de agua, haciendo un total de 18 litros recolectados. Con respecto a las muestras, se tomaron 12 muestras, cada una de ellas se aplicaron tratamientos por triplicado, para asegurar la consistencia de los resultados obtenidos, es decir un total de 36 tratamientos + 1 muestra de testigo, siendo un total de 37muestras.

### D. Medición de Turbidez Inicial

Una vez recolectadas las muestras de agua del río Mashcón, se midió la turbidez inicial utilizando un turbidímetro el cual resultó 130 NTU. Estas mediciones proporcionaron la línea de base que se utilizó para calcular el porcentaje de remoción de la turbidez aplicando el mucílago de *opuntia ficus-indica*.

### E. Preparación del Tratamiento

El coagulante se extrajo de los cladodios de *Opuntia ficus-indica*, planta que se encuentra ampliamente distribuida en el Perú. La extracción implicó recolectar las pencas del nopal, triturarlos y luego filtrar la mezcla para obtener el coagulante, lo cual se muestra en la figura 1. Este fue aplicado a las muestras de agua recolectadas del río Mashcón.



Fig. 1. Procedimiento de obtención del coagulante *Opuntia ficus-indica*

### F. Medición de la Turbidez Post-Tratamiento

Después de un tiempo predeterminado de tratamiento, se realizará una nueva medición de la turbidez en las muestras de agua. Esta medición post-tratamiento será esencial para determinar el impacto de la *Opuntia ficus-indica* en la reducción de la turbidez del agua del río Mashcón se muestran en las tablas I, II y III.

### G. Análisis de datos

Se realizó un análisis estadístico de los resultados recopilados, enfocándose en la comparación de la turbidez antes y después del tratamiento. Este análisis permitió evaluar la reducción de la turbidez observada fue significativa y el uso

del *Opuntia ficus-indica* puede ser una opción viable para el tratamiento de aguas de río superficiales.

#### H. Interpretación y Presentación de Resultados

En esta última fase, los datos son interpretados y presentados en un formato adecuado y comprensible. Las conclusiones extraídas proporcionan una visión clara de la efectividad de la *Opuntia ficus-indica* como un posible agente de tratamiento ecológico amigable con el medio ambiente para la reducción de la turbidez del agua en el río Mashcón. Esta información es relevante para las autoridades locales, empresas prestadoras de servicios para potabilización y organizaciones encargadas del manejo de los recursos hídricos en la región.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados presentados del análisis de turbidez a diferentes tiempos de retención (40, 80, 120 minutos) demuestran que la capacidad de remoción varía de forma significativa.

#### A. Resultados obtenidos luego de 40 minutos

A los 40 minutos de retención, la capacidad de remoción fluctúa entre 7.0% y 89.7% en respuesta a una dosificación que varía de 15 a 70 g/L, respectivamente que podemos visualizar en la Tabla I y de igual forma en la Figura 2. Esto se refleja en una turbidez post-tratamiento que varía desde 130 NTU sin tratamiento hasta 13.38 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez) los que se muestran en la tabla I.

TABLA I  
REMOCIÓN DE TURBIDEZ A LOS 40 MINUTOS

Muestra	Tiempo (min)	Turbidez(NTU)	Dosificación (g/L)	Remoción de Turbidez (%)
1	40	120.9	15	7.0
2	40	89.78	30	30.9
3	40	93.77	50	27.9
4	40	13.38	70	89.7

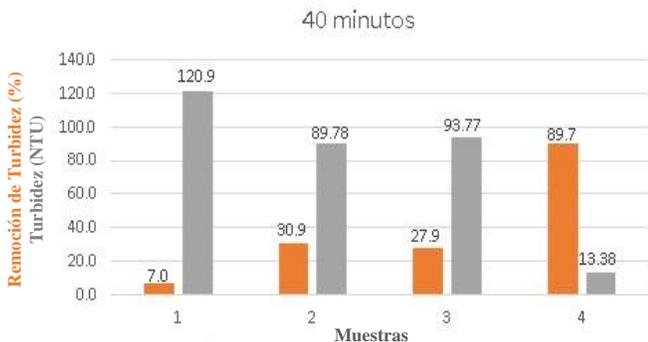


Figura 2. Resultados de la Remoción de Turbidez y Turbidez Final Utilizando *Opuntia ficus-indica* como Coagulante a los 40 Minutos

Esto indica que podría existir un límite en la eficacia de la remoción de turbidez al aumentar la dosificación dentro de este intervalo de tiempo. Sorprendentemente, al incrementar la dosificación a 70 g/L, la remoción de turbidez aumenta drásticamente al 89.7% los que se observan en la fig. 1. Al menos en el tiempo de retención de 40 minutos, existe una dosificación óptima en algún lugar alrededor de 70 g/L para maximizar la remoción de turbidez.

Los resultados obtenidos en nuestro estudio respaldan estas afirmaciones. Por ejemplo, observamos una alta eficiencia en la remoción de turbidez con dosificaciones relativamente bajas de la *Opuntia ficus-indica*. Esto sugiere un requerimiento menor de coagulante, lo cual puede reducir el volumen de lodo producido y generar ahorros económicos. Además, el hecho de que la eficacia del coagulante no parece mejorar con tiempos de retención más largos podría sugerir un efecto limitante en la carga iónica del agua tratada. Asimismo, hay estudios que utilizan estos coagulantes para tratar aguas crudas de ríos, agua potable, agua de canales, lagos o agua contaminado con lodos, sin embargo, no hay se encontró tratamiento de aguas grises con coagulantes ecológicos; se evidencian estudios que coinciden en la eficacia del mucílago extraído del nopal para la clarificación del agua [8].

#### B. Resultados obtenidos luego de 80 minutos

A los 80 minutos de retención, la capacidad de remoción aumenta considerablemente, oscilando entre 67.4% y 84.1% para las dosificaciones de 70 y 30 g/L, respectivamente. Esto resulta en una turbidez que varía de 42.33 a 20.70 NTU lo cual podemos visualizar en la Tabla II y en la Figura 2.

TABLA II  
REMOCIÓN DE TURBIDEZ A LOS 80 MINUTOS

Muestra	Tiempo (min)	Turbidez (NTU)	Dosificación (g/L)	Remoción de Turbidez (%)
1	80	25.40	15	80.5
2	80	20.70	30	84.1
3	80	26.20	50	79.8
4	80	42.33	70	67.4

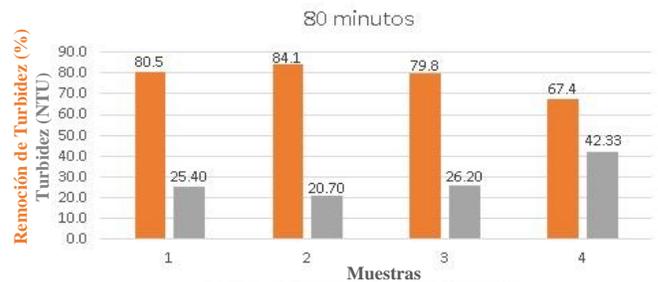


Figura 3. Resultados de la Remoción de Turbidez y Turbidez Final Utilizando *Opuntia ficus-indica* como Coagulante a los 80 Minutos

La remoción de turbidez mejora considerablemente a través de todas las dosificaciones como podemos observar en la Tabla II y en la Figura 3. A 15 g/L, la remoción de turbidez aumenta más de diez veces a 80.5% en comparación con la misma dosificación a los 40 minutos. A 30 g/L, la remoción de turbidez llega al 84.1%, lo que sugiere que la eficacia del coagulante continúa mejorando en este punto. Sin embargo, a dosificaciones más altas de 50 g/L y 70 g/L, la remoción de turbidez disminuye a 79.8% y 67.4% respectivamente. Esto indica que la eficacia del coagulante puede haber alcanzado su pico en algún lugar entre los 30 y 50 g/L para este tiempo de retención. De igual forma hay investigaciones en aguas grises que mencionan las características fisicoquímicas del agua a tratar es fundamental para aplicar la dosis de coagulante, es decir cuanto mayor es la concentración de sólidos suspendidos totales que son los responsables de la turbidez mayor es la dosis del coagulante *Opuntia ficus indica* a aplicar en el tratamiento [8].

Aquello sugiere que el proceso de coagulación a partir del coagulante de *Opuntia ficus-indica* es altamente eficaz para la remoción de turbidez en aguas crudas de río. Sin embargo, la eficacia no parece mejorar con tiempos de retención más largos, lo que puede estar relacionado con el hecho de que el coagulante ya ha alcanzado su capacidad máxima de remoción a los 80 minutos, en ese sentido también hay investigación que demuestran que el es un factor determinante en la remoción de turbidez [3].

Estos resultados se enmarcan en el contexto de las ventajas de utilizar coagulantes naturales, como la *Opuntia ficus-indica*, en el tratamiento de agua, tal como lo sugieren en otras investigaciones [9]. Según estos autores, los coagulantes naturales presentan varias ventajas en comparación con coagulantes sintéticos como el alumbre ( $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ). Estas ventajas incluyen una dosis reducida del coagulante, una producción de lodo disminuida, un menor incremento en la carga iónica del agua tratada, y ahorros económicos del orden del 25–30%.

Al principio, a los 40 minutos de retención en la prueba de jarras, la capacidad de remoción varía entre 7.0% y 89.7% con una dosificación que oscila entre 15 a 70 g/L. A medida que aumenta el tiempo de retención, la capacidad de remoción aumenta, alcanzando un rango entre 67.4% y 84.1% a los 80 minutos de retención con dosificaciones de 70 y 30 g/L respectivamente. Sin embargo, no observamos una mejora significativa en la capacidad de remoción después de 80 minutos, lo que sugiere que el coagulante de la *Opuntia ficus-indica* ha alcanzado su capacidad máxima de remoción en este punto.

### C. Resultados obtenidos a los 120 minutos

A los 120 minutos de retención, la capacidad de remoción sigue siendo alta, pero no se observa una mejora significativa

respecto a los 80 minutos, variando entre 67.0% y 82.7% para las dosificaciones de 70 y 30 g/L, respectivamente, y con una turbidez resultante de 42.90 a 22.48 NTU indicados en la Tabla III y en la Figura 3.

TABLA III  
REMOCIÓN DE TURBIDEZ A LOS 120 MINUTOS

Muestra	Tiempo (min)	Turbidez(NTU)	Dosificación (g/L)	Remoción de Turbidez (%)
1	120	31.36	15	75.9
2	120	22.48	30	82.7
3	120	30.39	50	76.62
4	120	42.90	70	67.00

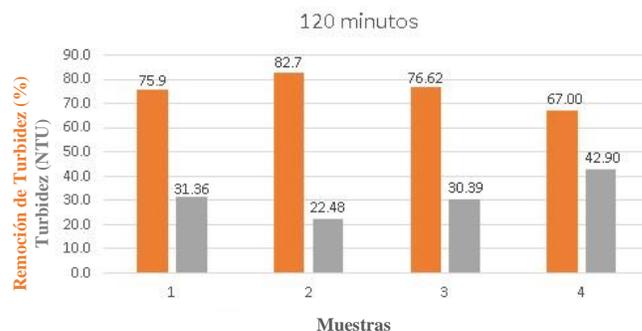


Figura 4. Resultados de la Remoción de Turbidez y Turbidez Final Utilizando *Opuntia ficus-indica* como Coagulante a los 120 Minutos

Los resultados indican una eficacia variada del coagulante. A 15 g/L, la remoción de turbidez disminuye ligeramente a 75.9% en comparación con el mismo nivel de dosificación a los 80 minutos. A 30 g/L, la remoción de turbidez sigue siendo alta a 82.7%, pero no tan alta como a los 80 minutos. A dosificaciones más altas de 50 g/L y 70 g/L, la remoción de turbidez sigue disminuyendo a 76.62% y 67.0% respectivamente. Estos resultados sugieren que la eficacia del coagulante puede comenzar a decaer después de cierto punto, y que los tiempos de retención más largos no necesariamente mejoran la remoción de turbidez.

En estudios complementarios también señalan que los extractos vegetales son eficientes para la remoción de turbidez en comparación con el sulfato de aluminio. Esto concuerda con nuestras observaciones de alta eficiencia en la remoción de turbidez con la *Opuntia ficus-indica*, incluso con tiempos de retención relativamente cortos [10].

En otras evaluaciones destacan la utilidad de la tuna en la ganadería caprina, donde sirve como fuente de alimento durante el período otoño-invernal, contribuyendo a la reducción de la mortalidad caprina y al aumento de la producción de cabritos. Además, los autores indican que el principal costo asociado es la instalación de cercos, pero esto puede ser mitigado utilizando cactus espinosos para cercar. Este uso de la *Opuntia ficus-*

indica tiene un efecto directo en la economía de las comunidades que se dedican a la ganadería caprina [6].

Estos dos enfoques ponen de relieve la versatilidad y utilidad de la *Opuntia ficus-indica* en diversas aplicaciones, desde la ganadería hasta el tratamiento de aguas residuales. Esta planta, por lo tanto, tiene un gran potencial para mejorar la sostenibilidad y eficiencia de las prácticas agrícolas y ambientales. A su vez, destaca la importancia de las investigaciones multidisciplinarias para identificar y aprovechar las múltiples ventajas de los recursos naturales, como la *Opuntia ficus-indica*, en un enfoque de economía circular y sostenibilidad.

Empezando, a los 40 minutos de retención, la capacidad de remoción varía entre 7.0% y 89.7% con una dosificación que oscila entre 15 a 70 g/L. A medida que aumenta el tiempo de retención, la capacidad de remoción aumenta, alcanzando un rango entre 67.4% y 84.1% a los 80 minutos de retención con dosificaciones de 70 y 30 g/L respectivamente. Sin embargo, no observamos una mejora significativa en la capacidad de remoción después de 80 minutos, lo que sugiere que el coagulante de la *Opuntia ficus-indica* ha alcanzado su capacidad máxima de remoción en este punto.

Alternativamente, en investigaciones adicionales indican que el uso de mucílago fresco como coagulante tiene la mayor eficiencia de remoción de turbidez a 1000 NTU, logrando un 95,39% de remoción, y a 500 NTU, logrando un 92,36% de remoción [11]. Estos resultados son más altos que los obtenidos en nuestros estudios con el coagulante de *Opuntia ficus-indica*. No obstante, también señala que no es conveniente realizar el tratamiento de clarificación empleando el mucílago fresco a turbiedades bajas (<20 NTU), una condición que no se examinó en nuestro estudio. También existen hallazgos del uso del mucílago de *Opuntia ficus-indica* con una eficiencia muy significativa sobre la turbidez (96 %) y reducción de la producción de lodos (3,3 ml/l) en comparación con los coagulantes químicos como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico [12].

Mientras que en otros estudios lograron resultados significativos en cuanto a la remoción de sólidos totales y turbidez utilizando el nopal como coagulante. Lograron remover sólidos totales en 57.06%, y la turbidez en 82.45% del efluente agroindustrial [13]. A pesar de eso, indicaron que la eliminación de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) fue insuficiente, alcanzando solamente un 37.88% de remoción. Este coagulante producido a partir del nopal también provocó un cambio de color en el agua a verde, lo que indica que no se realizó un proceso de despigmentación antes de su uso. Dando a conocer de igual forma que, en el estudio no detalla específicamente los tiempos de retención. No obstante, logran una remoción significativa de turbidez.

En otras revisiones, una concentración del 3% de este coagulante natural fue más eficaz en la remoción de la turbiedad del agua en comparación con una concentración del 1%. Además, se observó que la mayor remoción de turbidez se lograba utilizando un volumen de 1 ml de coagulante, en comparación con un volumen de 3 ml. En cuanto a la velocidad de agitación, se encontró que las velocidades de 60 y 180 RPM resultaban más eficaces en la disminución de la turbiedad del agua que otras velocidades ensayadas, siendo la velocidad de 60 RPM la que demostró un mayor efecto [4]. Bajo estas condiciones, se logró una eficacia de remoción de turbiedad del 70.97%. En contraste, nuestros estudios han demostrado que la capacidad de remoción de la turbidez varía significativamente en función del tiempo de retención y de la dosis de coagulante aplicada. En pruebas realizadas a 40 minutos de retención, la capacidad de remoción varió entre un 7.0% y un 89.7%, en respuesta a una dosificación de coagulante que oscilaba entre 15 y 70 g/L, respectivamente. Esto resultó en una turbidez post-tratamiento que variaba entre 120.9 y 13.38 NTU.

Al aumentar el tiempo de retención a 80 minutos, la capacidad de remoción aumentó significativamente, oscilando entre un 67.4% y un 84.1% para dosis de 70 y 30 g/L, respectivamente. Esto se reflejó en una turbidez post-tratamiento que variaba de 42.33 a 20.70 NTU. Sin embargo, al prolongar el tiempo de retención a 120 minutos, la eficacia de la remoción de turbidez seguía siendo alta, pero no se observaba una mejora significativa respecto a los 80 minutos de retención.

La comparación entre los hallazgos de revisiones externas y los nuestros, sugiere que la eficacia de *Opuntia ficus-indica* como coagulante ecológico puede ser influenciada por varios factores, como la concentración del coagulante, el volumen de la solución, la velocidad de agitación, el tiempo de retención y la dosis aplicada. Estas discrepancias subrayan la necesidad de realizar más investigaciones para optimizar estas variables y maximizar la eficacia de la remoción de la turbidez [4].

#### D. Estadística

Se muestran en la tabla 4, que existe una alta significancia estadística, es decir la remoción de turbidez, es variable en función a la dosificación del coagulante ecológico y el tiempo. En ambos casos el valor F (experimental) es mayor al valor P (tabulado),

TABLA IV  
ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ

Fuente	GL	SC		Valor F	Valor p
		Ajust.	MC		
Tiempo (min)	2	11511.1	5755.53	22327.24	0.000
Dosificación (g/L)	3	1945.9	648.64	2516.25	0.000
Tiempo (min)*Dosificación (g/L)	6	10257.8	1709.63	6632.10	0.000
Error	24	6.2	0.26		
Total	35	23720.9			

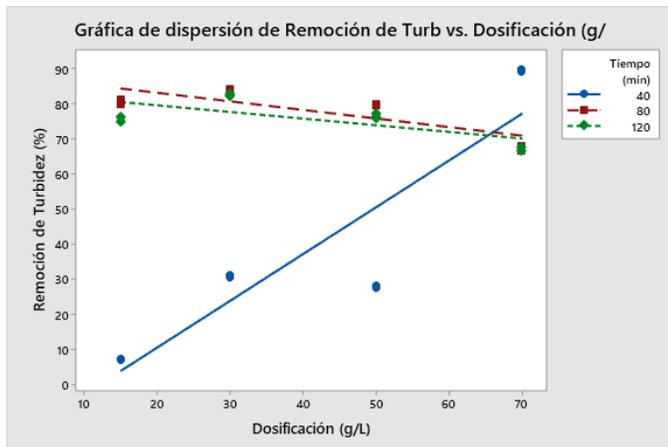


Figura 5. Gráfica de dispersión de Remoción de Turbidez vs Dosificación

En la gráfica mostrada en la Figura 5, podemos visualizar que la remoción de turbidez tiende a aumentar con dosificaciones más altas de coagulante. Esto es lógico porque a medida que la cantidad de coagulante aumenta, hay más capacidad para precipitar y remover partículas suspendidas, lo que reduce la turbidez.

Pero al mismo tiempo, los datos también muestran que no siempre una mayor dosificación resulta en una mayor remoción. En un tiempo de retención de 80 minutos, la dosificación de coagulante de 30 g/L logró una remoción de turbidez mayor (84.1%) que la dosificación de 70 g/L (67.4%). Esto podría sugerir que existe un punto de dosificación óptima, más allá del cual aumentar la cantidad de coagulante no conduce a una mayor eficacia de remoción de turbidez. Además, el tiempo de retención parece tener un impacto considerable en la eficacia del proceso de coagulación. Por ejemplo, una dosis de coagulante de 15 g/L logró una eficacia de remoción de turbidez de solo 7.0% a los 40 minutos, pero mejoró significativamente a 80.5% cuando se aumentó el tiempo de retención a 80 minutos.

#### IV. CONCLUSIONES

Para concluir, se determinó que un período de retención de 80 minutos y una dosis de coagulante de 30 g/L proporcionan un equilibrio óptimo, con una capacidad de remoción que oscila entre 67.4% y 84.1%, disminuyendo la turbidez del agua a valores que varían de 42.33 a 20.70 NTU. Esta eficacia es superior a la obtenida con un tiempo de retención más corto de 40 minutos, donde la capacidad de remoción fluctúa entre 7.0% y 89.7%, y se requiere una dosis más alta de coagulante de 70 g/L para lograr los mismos resultados. Al mismo tiempo, se observa que un tiempo de retención aún más largo de 120 minutos no ofrece una mejora significativa en la eficacia de la remoción de la turbidez, lo que sugiere que puede haber un punto de saturación más allá del cual no se observan ganancias significativas.

Por lo tanto, se puede afirmar que la mejor interacción que influye en la remoción de turbidez es un tiempo de retención de 80 minutos y una dosis de coagulante de 30 g/L. Esta combinación permite una eficacia de remoción de turbidez de hasta el 84.1%, reduciendo la turbidez del agua a valores tan bajos como 20.70 NTU.

#### V. REFERENCIAS

- [1] D. F. Ramírez, G. M. Talero, y R. H. López, «Macroinvertebrados Bentónicos y Calidad Del Agua en un Tramo del Río Bogotá. Cajacá-Colombia», *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 16, n.º 1, pp. 205-214, 2013, [En línea]. Disponible en: [www.cajica-cundinamarca.gov.co](http://www.cajica-cundinamarca.gov.co)
- [2] A. Fernández Estela, «Aguas Residuales en el Perú, Problemática y Uso en la Agricultura», 2011. Accedido: 28 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ana.gov.pe/bitstream/handle/20.500.12543/4516/ANA0003016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [3] A. R. Neciosup Obando, I. Valderrama ramos, y M. Á. Nole Burgos, «Influencia del peso y tiempo de agitación de coagulantes naturales en la remoción de turbiedad del agua del rio Pollo-Otuzco», *Investigación Estadística*, vol. 2, n.º 1, pp. 12-19, 2019.
- [4] F. L. Rojas Cabrera, «Efecto Del Coagulante Natural de Opuntia ficus-indica en la Disminución de Turbiedad en el Agua del Río Grande, Cajamarca 2021», Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, 2022. Accedido: 28 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/5176/Tesis%20F%20C%20A%20Rojas.pdf?sequence=1>
- [5] J. J. Vargas Mamani, G. V. Vera Vargas, y N. A. Suppé Tejada, «Caracterización físico-química, microscópica de barrido y dispersión de rayos x del mucílago de cladodios de Opuntia ficus indica en la región alta de Tacna», *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 85, n.º 3, pp. 305-314, 2019, Accedido: 28 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2019000300003&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2019000300003&script=sci_abstract)
- [6] E. M. Nogués, O. E. Castro, R. J. Correa, M. Puricelli, H. Gómez Pérez, y I. Beale, «Revalorización del Cultivo de la Tuna Forrajera (Opuntia ficus-indica) una Alternativa de Uso Múltiple para las Zonas Áridas y Semiáridas», *Rev Divulg Tec Agric Agroind*, vol. 35, pp. 1-11, 2013, [En línea]. Disponible en: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1996/V3->
- [7] C. Ramos-Galarza, «Editorial: Diseños de investigación experimental», *CienciAmérica*, vol. 10, n.º 1, pp. 1-7, feb. 2021, doi: 10.33210/ca.v10i1.356.

- [8] E. Jaco, W. Gómez, F. Loroña, N. Zamora, y N. Huaman, «Eficiencia de la *Opuntia ficus indica* como coagulante para el tratamiento de las aguas residuales grises y su aplicación en un sistema piloto», *Ingeniería del Agua*, vol. 26, n.º 3, pp. 157-171, jul. 2022, doi: 10.4995/ia.2022.17478.
- [9] L. Guzmán, Á. Villabona, C. Tejada, y R. García, «Reducción de la Turbidez del Agua Usando Coagulantes Naturales: Una Revisión», *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 16, n.º 1, pp. 253-262, 2013, doi: <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.881>.
- [10] L. Guzmán, Á. Villabona, C. Tejada, y R. García, «Reducción de la Turbidez del Agua Usando Coagulantes Naturales: Una Revisión», *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 16, n.º 1, pp. 253-262, 2013, doi: <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.881>.
- [11] H. G. Quispe Jiménez, «Aplicación del Múcilago extraído de Nopal (*Opuntia Ficus - Indica*) en la clarificación del Agua del Río Uchusuma», Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, 2012. Accedido: 28 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/529/TG0393.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [12] O. Bouaouine, M. Baudu, F. Khalil, Chtioui; H., y H. Zaitan, «Comparative study between Moroccan cactus and chemicals coagulants for textile effluent treatment», *Journal of Materials and Environmental Sciences*, vol. 8, n.º 8, pp. 2687-2693, 2017, Accedido: 28 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.jmaterenvironsci.com/>
- [13] J. G. Castillo Vera y I. G. Silva Gil, «Efecto del coagulante - floculante obtenido del cactus de nopal en la turbidez, *dbo5* y sólidos totales del efluente de la empresa Casa Grande S.A.», Trujillo, 2018. Accedido: 28 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11441>