

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE COAGULANTES NATURALES EN LA REMOCIÓN DE
TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO CAPLINA, TACNA**
**COMPARATIVE ANALYSIS OF NATURAL COAGULANTS IN THE REMOVAL OF
TURBIDITY FROM THE WATER OF THE CAPLINA RIVER, TACNA**

Autores: ¹Luis Rodrigo Guillermo Alca Ticona, ²R.J. Fred Bruce Capia Arenas, ³Marco Antonio Flores Martínez y ⁴Henry Kevin Cardenas Quenta.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-1092-5618>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-5566-9769>

³ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-1568-9644>

⁴ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-3747-8198>

¹E-mail de contacto: lrgalcat@unjbg.edu.pe

²E-mail de contacto: rjfbcapiaa@unjbg.edu.pe

³E-mail de contacto: mafloresm@unjbg.edu.pe

⁴E-mail de contacto: hkcardenasq@unjbg.edu.pe

Afiliación: ¹²³⁴*Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Artículo recibido: 30 de Septiembre del 2024

Artículo revisado: 3 de Octubre del 2024

Artículo aprobado: 27 de Noviembre del 2024

¹Estudiante del VIII ciclo de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

²Estudiante del VIII ciclo de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

³Estudiante del VIII ciclo de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

⁴Estudiante del VIII ciclo de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y el polvo de semilla de moringa (*Moringa oleifera*) como coagulantes naturales para la remoción de la turbidez del agua del río Caplina en Tacna, Perú. Las muestras se recolectaron en el cercado de Tacna, con una turbidez inicial de 168.80 unidades nefelométricas de turbidez. Se prepararon tres dosis para cada coagulante: 0.2, 0.4 y 0.6 gramos/100 mililitros en el caso del almidón de yuca, y 0.35, 0.40 y 0.45 gramos/100 mililitros para el polvo de semilla de moringa. El diseño experimental fue completamente al azar, con tres tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. El proceso experimental comprendió la preparación de los coagulantes, su aplicación al agua, y la agitación para llevar a cabo la coagulación, evaluando la turbidez final tras 48 horas. Los resultados indicaron que ambos coagulantes lograron una reducción significativa de la turbidez inicial, siendo la dosis de 0.45 gramos/100 mililitros de polvo de semilla de moringa la más eficiente. Se concluye que tanto el almidón de yuca como el polvo de semilla de

moringa son alternativas sostenibles y eficientes para el tratamiento del agua del río Caplina, destacándose por su potencial en la remoción de turbidez.

Palabras clave: Coagulantes naturales, Turbidez, Tratamiento, Dosis, Remoción.

Abstract

This research aimed to evaluate the efficiency of cassava starch (*Manihot esculenta*) and moringa seed powder (*Moringa oleifera*) as natural coagulants for the removal of turbidity from Caplina River water in Tacna, Peru. Samples were collected in the Tacna district, with an initial turbidity of 168.80 nephelometric turbidity units. Three doses were prepared for each coagulant: 0.2, 0.4, and 0.6 grams/100 milliliters for cassava starch, and 0.35, 0.40, and 0.45 grams/100 milliliters for moringa seed powder. The experimental design was completely random, with three treatments and three repetitions per treatment. The experimental process included the preparation of the coagulants, their application to the water, and agitation for coagulation, assessing the final turbidity after 48 hours. The results indicated that both coagulants achieved a significant reduction in initial turbidity, with

the 0.45 grams/100 milliliters dose of moringa seed powder being the most efficient. It is concluded that both cassava starch and moringa seed powder are sustainable and efficient alternatives for the treatment of Caplina River water, standing out for their potential in turbidity removal.

Keywords: Natural coagulants, Turbidity, Treatment, Dose, Removal.

Sumário

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar a eficiência do amido de mandioca (*Manihot esculenta*) e o pó de semente de moringa (*Moringa oleifera*) como coagulantes naturais para a remoção da turbidez da água do rio Caplina em Tacna, Peru. As amostras foram coletadas no centro de Tacna, com uma turbidez inicial de 168,80 unidades nefelométricas de turbidez. Foram preparadas três doses para cada coagulante: 0,2, 0,4 e 0,6 gramas/100 mililitros para o amido de mandioca, e 0,35, 0,40 e 0,45 gramas/100 mililitros para o pó de semente de moringa. O desenho experimental foi completamente aleatório, com três tratamentos e três repetições por tratamento. O processo experimental incluiu a preparação dos coagulantes, sua aplicação na água e a agitação para a coagulação, avaliando a turbidez final após 48 horas. Os resultados indicaram que ambos os coagulantes conseguiram uma redução significativa da turbidez inicial, sendo a dose de 0,45 gramas/100 mililitros de pó de semente de moringa a mais eficiente. Conclui-se que tanto o amido de mandioca quanto o pó de semente de moringa são alternativas sustentáveis e eficientes para o tratamento da água do rio Caplina, destacando-se pelo seu potencial na remoção de turbidez.

Palavras-chave: Coagulantes naturais, Turbidez, Tratamento, Dose, Remoção.

Introducción

El agua es un recurso esencial, indispensable para la supervivencia de todos los seres vivos; sin embargo, solo una pequeña fracción de la cantidad total de agua en el planeta es accesible para el uso humano (Moreno et al., 2021). El agua dulce en el mundo representa solo el 2,5 %

de las fuentes hídricas, de las cuales el 1 % está disponible para el uso diario necesario de la población, mientras que el 1,5 % se destina a actividades industriales y agrícolas. (Herrera et al., 2022).

El río Caplina se localiza en el departamento de Tacna, con una longitud de 100 km. Sus aguas presentan altos niveles de turbidez debido a la erosión del suelo, la actividad minera y la descarga de aguas residuales tanto domésticas como industriales (Sicuán et al., 2018). En muchos casos, las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) reciben esta agua contaminada, lo que ha tenido un impacto ambiental negativo considerable.

La turbidez se considera un indicador de la calidad del agua, ya que mide la cantidad de partículas suspendidas que pueden afectar la claridad, el sabor y el olor del agua, y ocasionar complicaciones en los procesos de potabilización y tratamiento de aguas residuales (Guzmán et al., 2014). En el tratamiento de agua, la coagulación consiste en añadir sales con carga trivalente, como sulfato de aluminio o cloruro férrico, seguido de una mezcla rápida, lo que provoca la desestabilización de las partículas coloidales responsables de la turbidez. También se ha encontrado que la exposición al aluminio representa un riesgo para la salud, asociándose con enfermedades como el Alzheimer, lo que resalta la necesidad de disminuir la concentración de estos coagulantes inorgánicos en el tratamiento del agua. Por otro lado, la floculación, que implica una mezcla lenta, facilita la aglomeración de las partículas desestabilizadas y su posterior sedimentación, produciendo un agua más clara y pura (Moreno et al., 2021).

Los coagulantes químicos, como el sulfato de aluminio, se utilizan ampliamente en la potabilización del agua, pero su uso puede generar desventajas, como la producción de grandes volúmenes de lodos que requieren tratamiento adecuado, y posibles efectos adversos en la salud debido a la bioacumulación

de subproductos derivados de su aplicación (Davis et al., 2018).

Por otra parte, los coagulantes naturales, especialmente los de origen vegetal, se presentan como una alternativa prometedora a los coagulantes químicos convencionales en el tratamiento de aguas. Estos coagulantes se caracterizan por ser renovables, no tóxicos, biodegradables y económicamente viables, además de tener una gran capacidad para eliminar la turbidez del agua. (Nimesha, et al., 2022).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es analizar de manera comparativa la eficiencia de dos coagulantes naturales como el almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y el polvo de semilla de moringa (*Moringa oleífera*) para la reducción de la turbidez del agua del río Caplina.

Materiales y Métodos

En esta investigación se evaluó la capacidad del almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y el polvo de semilla de moringa (*Moringa oleífera*) en la remoción de la turbidez en el agua del río Caplina, para luego determinar el coagulante natural con mayor capacidad de remoción. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) tanto para el almidón de yuca como para el polvo de semilla de moringa. Cada muestra contó con 3 tratamientos y 3 repeticiones en el software IBM SPSS STATISTICS 25.

Para la obtención del almidón de yuca se siguieron los siguientes pasos: se pesaron 500 gramos de yuca suave, posteriormente se realizó un lavado exhaustivo. Luego, se procedió al picado y, a continuación, la yuca fue licuada. La mezcla obtenida se dejó sedimentar durante aproximadamente tres horas. Transcurrido este tiempo, se eliminó cuidadosamente el sobrenadante de la mezcla sedimentada. Finalmente, el almidón de yuca obtenido secó a temperatura ambiente, en un lugar sombreado, durante 10 horas. Al completar este proceso, el

almidón adquirió una textura similar a la harina en polvo, lista para ser utilizada en el experimento (Aziz et al., 2016).

Para la extracción del polvo de semilla de moringa se utilizaron 30 gramos de semillas obtenidas comercialmente en un empaque. No se utilizó vainas verdes debido a que estas no tienen la misma actividad de coagulante. Las semillas recolectadas se sometieron a un proceso de secado en horno a 105 °C durante 10 minutos, tras lo cual fueron trituradas en un mortero de porcelana. Posteriormente, el material fue tamizado, obteniéndose un polvo fino de aproximadamente 20 gramos (Paz et al., 2022).

El estudio se realizó en junio (estación de invierno) del año 2024, las muestras fueron tomadas del río Caplina en el cercado de Tacna, ciudad de Tacna con las coordenadas siguientes 18° 1'15.71"S de latitud y 70°15'35.24"O de longitud, seguido del protocolo nacional de monitoreo de la calidad del agua, obteniéndose los parámetros más relevantes como la turbidez, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto. En la parte experimental, se dispuso de 100 ml de agua del río Caplina para poder medir la turbidez inicial. Una vez obtenido los resultados en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) se procedió a preparar el tratamiento. Se pesó 0,2 g/100 ml, 0,4 g/100 ml y 0,6 g/100 ml de almidón de yuca se llevó a un vaso de 100 ml de agua sin tratar y se diluyó durante 10 minutos, aplicándose el mismo procedimiento para cada tratamiento con sus 3 respectivas repeticiones de las mismas. Se siguió el mismo procedimiento para el polvo de semilla de moringa, utilizando dosis de 0,35 g/100 ml, 0,40 g/100 ml y 0,45 g/100 ml. luego se esperó 48 horas para poder medir los resultados.

Resultados y Discusión

Los parámetros iniciales obtenidos del río Caplina se visualizan en la siguiente tabla (Ver tabla 1).

Tabla 1. Parámetros iniciales de la muestra del río Caplina

Turbidez (NTU)	168,80
Temperatura ° C	22,1
pH	4,33
Conductividad eléctrica (µS/cm)	1400
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,26

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 1 indica que la turbidez registrada fue de 168.80 NTU, indicando un alto nivel de partículas suspendidas. Asimismo, el pH de 4.33 refleja condiciones ácidas en el agua del río Caplina. Por otro lado, la conductividad eléctrica se registró en 1400 µS/cm, sugiriendo una alta presencia de sales disueltas. El oxígeno disuelto, con un valor de 8.26 mg/L, indica una buena saturación de oxígeno.

Tabla 2. Prueba de Normalidad en los tres tratamientos del almidón de yuca

Tratamiento	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
T1	,245	3	.	,971	3	,671
T2	,228	3	.	,982	3	,743
T3	,237	3	.	,977	3	,707

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Prueba de Normalidad en los tres tratamientos del polvo de semilla de moringa

Tratamiento	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
T1	,292	3	.	,923	3	,463
T2	,184	3	.	,999	3	,927
T3	,177	3	.	1,000	3	,970

Fuente: Elaboración propia.

En las pruebas de normalidad realizadas con el almidón de yuca (Tabla 2) y el polvo de semilla de moringa (Tabla 3), los resultados del estadístico Shapiro-Wilk indican que los datos de ambos coagulantes presentan distribuciones normales en todos los tratamientos, con valores

de significancia superiores a 0.05. Esto valida la aplicación de pruebas paramétricas para el análisis posterior.

Tabla 4. Prueba de homogeneidad de varianzas del almidón de yuca respecto a la turbidez

Prueba de homogeneidad de varianzas				
Turbidez	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Se basa en la media	1,307	2	6	,338
Se basa en la mediana	,580	2	6	,588
Se basa en la mediana y con gl ajustado	,580	2	3,830	,602
Se basa en la media recortada	1,250	2	6	,352

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Prueba de homogeneidad de varianzas del polvo de semilla de moringa respecto a la turbidez

Prueba de homogeneidad de varianzas				
Turbidez	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Se basa en la media	1,286	2	6	,343
Se basa en la mediana	1,207	2	6	,363
Se basa en la mediana y con gl ajustado	1,207	2	3,434	,401
Se basa en la media recortada	1,283	2	6	,344

Fuente: Elaboración propia.

Las pruebas de homogeneidad de varianzas para el almidón de yuca (Tabla 4) y el polvo de semilla de moringa (Tabla 5) indican que los tratamientos poseen varianzas homogéneas, ya que, para el almidón de yuca, el estadístico de Levene basado en la media muestra una significancia de 0.338, mientras que, para el polvo de semilla de moringa, este valor es de 0.343. Estos resultados confirman que no existen diferencias significativas en la dispersión de los datos entre los tratamientos, respaldando la validez de los análisis posteriores.

Tabla 6. Prueba de homogeneidad de varianzas del almidón de yuca respecto a la turbidez (ANOVA)

Turbidez					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.

Entre grupos	83,560	2	41,780	6,136	,035
Dentro de grupos	40,851	6	6,808		
Total	124,411	8			

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 7. Prueba de homogeneidad de varianzas del polvo de semilla de moringa respecto a la turbidez (ANOVA)

Turbidez					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	70,776	2	35,388	24,257	,001
Dentro de grupos	8,753	6	1,459		
Total	79,526	8			

Fuente: *Elaboración propia.*

En las Tablas 6 y 7 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para los coagulantes de almidón de yuca y polvo de semilla de moringa respecto a la turbidez del agua tratada. Los resultados indican que ambos coagulantes lograron reducciones significativas de la turbidez inicial de 168.80 NTU. En particular, el almidón de yuca mostró una diferencia significativa entre sus tratamientos, con un valor de $p = 0.035$, lo que evidencia la efectividad del incremento en las dosis evaluadas (0.2, 0.4 y 0.6 g/100 ml). Por su parte, el polvo de semilla de moringa presentó una reducción más pronunciada, siendo la dosis de 0.45 g/100 ml la más efectiva, con una reducción promedio de 41.73 NTU.

Tabla 8. Prueba HSD de Tukey para tratamientos con almidón de yuca respecto a la turbidez tratada

Turbidez				
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		Sig.
		1	2	
T2	3	50,9967		
T3	3	56,6700	56,6700	
T1	3		58,0333	
Sig.		,083	,805	

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 9. Prueba HSD de Tukey para tratamientos con polvo de semilla de moringa respecto a la turbidez tratada

Turbidez			
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T3	3	41,7333	
T2	3	43,6333	
T1	3		48,4000
Sig.		,212	1,000

Fuente: *Elaboración propia.*

Respecto a los resultados de la prueba HSD de Tukey para los tratamientos con almidón de yuca (Tabla 8) y polvo de semilla de moringa (Tabla 9), respectivamente, evaluando las diferencias en la turbidez tratada. Para el almidón de yuca, el tratamiento T2 (0.4 g/100 ml) registró el menor promedio de turbidez tratada con 50.9967 NTU, mostrando un rendimiento superior frente a T3 (0.6 g/100 ml) y T1 (0.2 g/100 ml), que alcanzaron valores de 56.67 NTU y 58.0333 NTU, respectivamente. Por otro lado, para el polvo de semilla de moringa, T3 (0.45 g/100 ml) logró la mayor eficiencia con un promedio de 41.7333 NTU, seguido de T2 (0.40 g/100 ml) con 43.6333 NTU, y T1 (0.35 g/100 ml) con 48.4000 NTU. Aunque las pruebas no revelaron diferencias significativas entre los subconjuntos ($p > 0.05$), los datos descriptivos evidencian que las dosis intermedias y altas son más efectivas para ambos coagulantes, resaltando su potencial en la remoción de turbidez del agua tratada.

Según Paz et al. (2022), en su estudio sobre el tratamiento de aguas del río Caplina utilizando coagulantes naturales, obtuvo una remoción de turbidez de hasta el 75 % empleando polvo de semilla de moringa. En nuestra investigación, llegó a alcanzar un porcentaje de remoción de 75.3 %, evidenciando la viabilidad de este coagulante en condiciones similares.

De manera similar, los hallazgos coinciden con los reportados por Aziz et al. (2016), quienes utilizaron coagulantes naturales para la purificación de aguas y concluyeron que la eficiencia de remoción mejora significativamente al optimizar las dosis. Estos resultados también corroboran la capacidad del almidón de yuca y el polvo de semilla de moringa como alternativas sostenibles frente a coagulantes químicos convencionales.

Conclusiones

Se concluye que tanto el almidón de yuca como el polvo de semilla de moringa son alternativas sostenibles y eficientes para el tratamiento del agua del río Caplina, destacándose por su potencial en la remoción de turbidez. El almidón de yuca alcanzó un porcentaje de remoción del 69.8 %, mientras que el polvo de semilla de moringa logró un porcentaje de remoción del 75.3 %, demostrando una mayor eficiencia en comparación con el almidón de yuca.

Referencias Bibliográficas

Aziz, A., Jayasuriya, N., & Fan, L. (2016). Adsorption Study on Moringa Oleifera Seeds and Musa Cavendish as Natural Water Purification Agents for Removal of Lead, Nickel and Cadmium from Drinking Water. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 136(1), 012044. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/136/1/012044>

Davis, P., Shokouhian, M., & Ni, S. (2018). Loading estimates of lead, copper, cadmium and zinc in runoff from a parking lot and the effectiveness of porous pavement. Water Research.

Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2014, junio). Reducción de la

turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión.

Herrera Bustamante, M., Sanchez Trujillo, G., Díaz Ruiz, J., & Calderón Celis, M. (2022). Comparativa de eficiencia en la remoción de turbidez en aguas superficiales del río Mashcón mediante la dosificación de almidón de *Solanum tuberosum*, mucílagos de *Salvia hispánica* y *Opuntia ficus-indica* en la provincia de Cajamarca, 2022. Proceedings of the 2nd LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development.

Moreno Caso, G., Ortega Quispe, A., Valerio Deudor, L., & Camargo Hinostroza, D. (2021). Aplicación Del Almidón De *Solanum Tuberosum* (Papa) Como Coagulante Natural En El Tratamiento Del Agua De La Laguna Punrún - Perú. Proceedings of the 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology.

Nimesha, S.; Hewawasam, C.; Jayasanka, D.; Murakami, Y.; Araki, N.; Maharjan, N. (2022). Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment. Glob. J. Environ. Sci. Manag.

Paz, T., Cruz, P., Atencio, A., & Rebaza, T. (2022). Optimización de dos coagulantes naturales coadyuvados por hidróxido de sodio para la potabilización de aguas del río Caplina. Revista Veritas et Scientia - UPT, 11(1), Article 1.

<https://doi.org/10.47796/ves.v11i1.600>

Sicuán, G., Yupanqui, L., & Pacheco, J. (2018). Calidad del agua del río Caplina, Tacna Perú. Revista Peruana de Biología, 15(1), 107-112.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Luis Rodrigo Guillermo Alca Ticona, R.J. Fred Bruce Capia Arenas, Marco Antonio Flores Martinez y Henry Kevin Cardenas Quenta.