

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS SEMILLAS DE MORINGA OLEÍFERA Y
SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTES PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL
AGUA DEL RÍO CAPLINA, TACNA**

**EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF MORINGA OLEIFERA SEEDS AND ALUMINUM
SULFATE AS COAGULANTS TO IMPROVE THE WATER QUALITY OF THE CAPLINA
RIVER, TACNA**

Autores: ¹Fabiola Del Rocío Apaza Paredes, ²Alexsander Alexis Vargas Mamani, ³Wilkhén Emerson Chura Tello, ⁴Elmer Rubén Ccama Cuenta y ⁵Midwar Joel Nina Paniagua.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-3829-7655>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4207-3000>

³ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-8685-3718>

⁴ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-9458-4194>

⁵ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-2364-5842>

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

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

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

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

⁵E-mail de contacto: mjninap@unjbg.edu.pe

Afiliación: ^{1*} ^{2*} ^{3*} ^{4*} ^{5*} Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Artículo recibido: 15 de Junio del 2024

Artículo revisado: 17 de Junio del 2024

Artículo aprobado: 14 de Julio del 2024

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

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

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

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

⁵ Estudiante del VII ciclo de la carrera profesional de Ingeniera Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Resumen

La presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar la eficiencia del sulfato de aluminio y la moringa oleífera como coagulante para la remoción de la turbidez del agua del río Caplina, ubicado en la región de Tacna al sur del Perú, para ello se preparó dosis de 1, 2, 3, 4 y 5 g/L para cada coagulante, las cuales se le unto en el agua mencionada, midiendo previamente la turbidez que fue de 118 unidades nefelométricas de turbidez, y luego se realizó un test de jarras con dos etapas: primero, una agitación a 200 revoluciones por minuto durante 1 minuto, y después, una agitación a 40 revoluciones por minuto durante 15 minutos. Asimismo, se logró evaluar la eficiencia de la remoción de turbidez de los coagulantes. Los resultados fueron que el sulfato de aluminio tiene una remoción de 87.73 % como mínimo y 92.65 % como máximo, en el caso de la moringa oleífera fue de 88.68 % como mínimo y 92.04 % como máximo. Además, el

diseño completamente al azar (DCA) permitió evidenciar que la dosis de 5 g/L, tanto en el sulfato de aluminio, como en la moringa es eficaz en la remoción de la turbidez. Con los datos obtenidos también se realizó un análisis de varianza que afirma que hay diferencias estadísticamente significativas entre la media de remoción con sulfato de aluminio y Moringa oleífera presente en el agua del río Caplina, pudiendo afirmar ello con 95 % de confianza.

Palabras clave: Turbidez, Coagulante, Test de jarras, Remoción, Dosis.

Abstract

The present investigation was carried out with the objective of evaluating the efficiency of aluminum sulfate and moringa oleifera as a coagulant for the removal of turbidity from the water of the Caplina River, located in the Tacna region in southern Peru, for this purpose doses were prepared of 1, 2, 3, 4 and 5 g/L for each coagulant, which was spread in the mentioned

water, previously measuring the turbidity which was 118 nephelometric turbidity units, and then a jar test was carried out with two stages: first, stirring at 200 revolutions per minute for 1 minute, and then, stirring at 40 revolutions per minute for 15 minutes. Likewise, it was possible to evaluate the efficiency of turbidity removal from the coagulants. The results were that aluminum sulfate has a removal of 87.73% as a minimum and 92.65% as a maximum, in the case of moringa oleifera it was 88.68% as a minimum and 92.04% as a maximum. Furthermore, the completely randomized design (DCA) allowed us to show that the dose of 5 g/L, both in aluminum sulfate and in moringa, is effective in removing turbidity. With the data obtained, an analysis of variance was also carried out which affirms that there are statistically significant differences between the average removal with aluminum sulfate and Moringa oleifera present in the water of the Caplina River, being able to affirm this with 95% confidence.

Keywords: Turbidity, Coagulant, Jar test, Removal, Dose.

Sumário

A presente investigação foi realizada com o objetivo de avaliar a eficiência do sulfato de alumínio e da moringa oleifera como coagulante para remoção de turbidez da água do rio Caplina, localizado na região de Tacna no sul do Peru, para isso foram preparadas doses de 1, 2, 3, 4 e 5 g/L para cada coagulante, que foi espalhado na referida água, medindo previamente a turbidez que foi de 118 unidades de turbidez nefelométrica, e em seguida foi realizado um jar test com duas etapas: primeiro, agitação a 200 rotações por minuto durante 1 minuto e, em seguida, agitação a 40 rotações por minuto durante 15 minutos. Da mesma forma, foi possível avaliar a eficiência de remoção de turbidez dos coagulantes. Os resultados foram que o sulfato de alumínio tem uma remoção de 87,73% como mínimo e 92,65% como máximo, no caso da moringa oleifera foi de 88,68% como mínimo e 92,04% como máximo. Além disso, o delineamento

inteiramente casualizado (DCA) permitiu demonstrar que a dose de 5 g/L, tanto no sulfato de alumínio quanto na moringa, é eficaz na remoção da turbidez. Com os dados obtidos também foi realizada uma análise de variância que afirma que existem diferenças estatisticamente significativas entre a remoção média com sulfato de alumínio e Moringa oleifera presente na água do Rio Caplina, podendo afirmar isso com 95% de confiança.

Palavras-chave: Turbidez, Coagulante, Jar test, Remoção, Dose.

Introducción

El agua es un elemento esencial para la vida en la Tierra, siendo parte importante de los procesos biológicos de todos los seres vivos. Aproximadamente el 71 % de la superficie terrestre está cubierta por agua, siendo el 97.5 % agua salada en los océanos y el 2.5 % restante agua dulce en lagos, ríos y aguas subterráneas. Sin embargo, menos del 1 % de esta agua dulce está disponible para el consumo humano (Aranda y Esquia, 2021).

En la región de Tacna - Perú, el agua potable proviene principalmente de fuentes superficiales, como el río Caplina, río Uchusuma, y también de fuentes subterráneas, como los acuíferos de la Yarada. El río Caplina nace en la cordillera de los Andes y fluye hacia el sur, desembocando en el Océano Pacífico, con una longitud aproximada de 100 km, es uno de los principales abastecedores de agua para la región, tanto para la agricultura como para el consumo humano (Peña et al., 2009).

Sin embargo, tal fuente del río Caplina contienen sólidos suspendidos y disueltos que deben ser tratados en las plantas de potabilización mediante procesos físicos y químicos, ya que su presencia confiere al agua características como turbidez y color que pueden afectar la salud. La forma en cómo se remueve la turbidez del agua es mediante

agentes coagulantes que eliminan hasta el 90 % del material en suspensión (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2022).

Según Arreola y Canepa (2018), los coagulantes son compuestos naturales o sintéticos que se añaden al agua con el fin de eliminar contaminantes orgánicos, inorgánicos y biológicos, formando productos insolubles que precipitan. Los más comunes en las plantas de tratamiento de agua son el sulfato de aluminio y el cloruro de aluminio, los más usados en países en desarrollo por su costo accesible y eficacia para la remoción de color y turbidez.

En el caso del sulfato de aluminio presenta desventajas debido a la formación de aluminio residual, nocivo para la salud. Por ello, se han llevado a cabo estudios para evaluar la eficacia de coagulantes naturales como la Moringa oleífera, Cactus lefaria, Café y semillas de Nirmali. Estos coagulantes no afectan significativamente el pH ni la conductividad del agua, pero sí la turbidez (Fuentes y Molina, 2016).

Uno de los más destacados ha sido el estudio del árbol de Moringa oleífera, considerado el coagulante natural más eficaz en el proceso de purificación de aguas turbias. Este árbol, es capaz de resistir condiciones climáticas extremas y alcanzar alturas de hasta 10 metros (Pritcharda, 2010). Por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia de la remoción de turbidez de los coagulantes Moringa oleífera y del sulfato de aluminio como coagulantes en la remoción de la turbidez del agua del río Caplina en Tacna.

Desarrollo

Se llevó a cabo un estudio de tipo experimental con un enfoque cuantitativo, donde se aplicaron diferentes dosis de los coagulantes naturales y

químicos a muestras de agua, para después medir el parámetro de turbiedad. El diseño estadístico aplicado en la presente investigación es un diseño completamente al azar (DCA), con cinco niveles y tres repeticiones.

Se recolectaron las muestras de agua del río Caplina ubicada en las coordenadas geográficas 17°51'18.48"S de latitud y 70° 7'19.80"O de longitud, siguiendo el protocolo nacional de monitoreo de la calidad del agua, las cuales fueron caracterizadas analizando parámetros de turbidez, conductividad y pH.

Las semillas de Moringa oleífera se recolectaron de la tienda naturista ubicada en la calle Modesto Basadre de Tacna, Perú. Para obtener un polvo firme, se utilizó 1 kg de semillas de Moringa oleífera. Seguidamente se peló la cáscara de las semillas y fueron secadas al sol durante 24 h. Luego se licuó y se tamizó dos veces hasta que se alcanzaron partículas finas.

Se preparó 10 dosis con tres repeticiones cada una, las dosis fueron 1, 2, 3, 4, y 5g/L para la moringa, como también para el sulfato de aluminio. Una vez realizada las dosis, se las puso a prueba con el agua del río Caplina, en un test de jarras a 200 RPM por 1 minuto y 40 RPM durante 15 minutos, cabe mencionar que antes de iniciar el equipo de jarras, se le puso al agua, 5 gotas del neutralizador hidróxido de sodio (NaOH).

Para poder realizar el análisis estadístico se aplicó el ANOVA (análisis de varianza) para poder determinar si existen diferencias significativas entre las medias de tres o más grupo respecto a la remoción de la turbidez con el Sulfato de aluminio y la semillas moringa oleífera en efecto a las dosis aplicadas.

Resultados y Discusión

En el presente estudio se evaluó la eficiencia de los coagulantes Moringa oleífera y sulfato de aluminio para el tratamiento del agua del río Caplina. Se llevaron a cabo una serie de experimentos a escala de laboratorio con el objetivo evaluar la eficiencia de la remoción de turbidez de los coagulantes. Se analizaron diversos parámetros de calidad del agua del río Caplina.

Tabla 1: *Parámetros medidos en el laboratorio de calidad del agua de la Universidad Privada de Tacna.*

Temperatura (°C)	14.2
pH	3.60
Conductividad (μS/cm)	1357
Sólidos disueltos totales (TDS)	882
Turbidez (NTU)	118

Fuente: Los autores

Los experimentos se llevaron a cabo utilizando agua del río Caplina. Se probaron diferentes dosis de los coagulantes, variando entre 1 a 5 mg/L como se muestra en la tabla 2.

Tabla 3 ANOVA para remoción con sulfato de aluminio por diferentes dosis

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	45.3739	4	11.3435	145.55	0.0000
Intra grupos	0.779346	10	0.0779346		
Total (Corr.)	46.1532	14			

Nota. La tabla indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de remoción con sulfato de aluminio presente en el agua del río Caplina, pudiendo afirmar ello con 95 % de confianza.

Fuente: Los autores

Tabla 4 ANOVA para remoción con moringa por diferentes dosis

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	22.9597	4	5.73993	42.58	0.0000
Intra grupos	1.34795	10	0.134795		
Total (Corr.)	24.3077	14			

Nota. La tabla indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de remoción con Moringa presente en el agua del río Caplina, pudiendo afirmar ello con 95 % de confianza.

Fuente: Los autores

Tabla 2: *Remoción de turbidez con Aluminio y Moringa*

Dosis (g/L)	Remoción de turbidez (%)	
	Sulfato de Aluminio	Moringa Oleífera
1	87.73	88.68
2	89.58	89.42
3	90.36	90.46
4	92.02	91.43
5	92.65	92.04

Nota. Promedio de cada dosis (g/L) que se realizó para la remoción de turbidez con el Sulfato de aluminio y la Moringa.

Fuente: Los autores

Resultados de los análisis estadísticos de las pruebas experimentales.

- Diseño factorial de un solo factor
- Número de factores experimentales: 1
- Número de bloques: 1
- Número de respuestas: 2
- Número de corridas: 15
- Grados de libertad para el error: 10

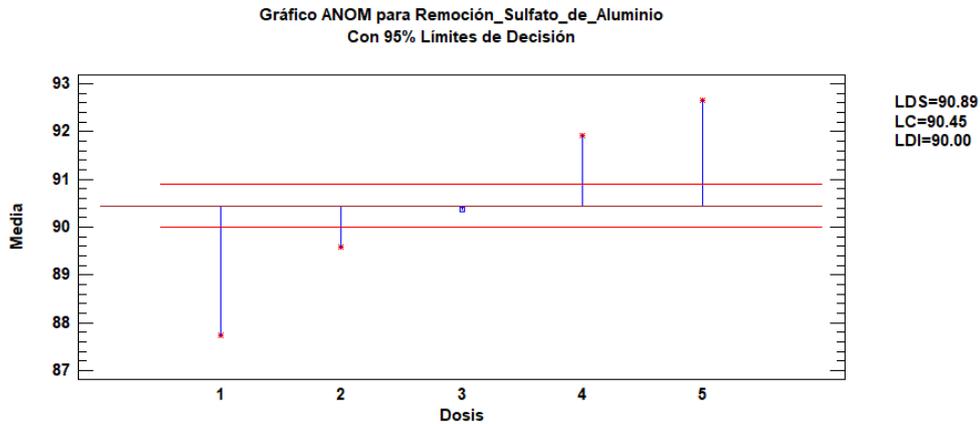


Figura 1 Análisis de Medias de Análisis de Varianza (ANOM) para la remoción de turbidez con sulfato de aluminio.

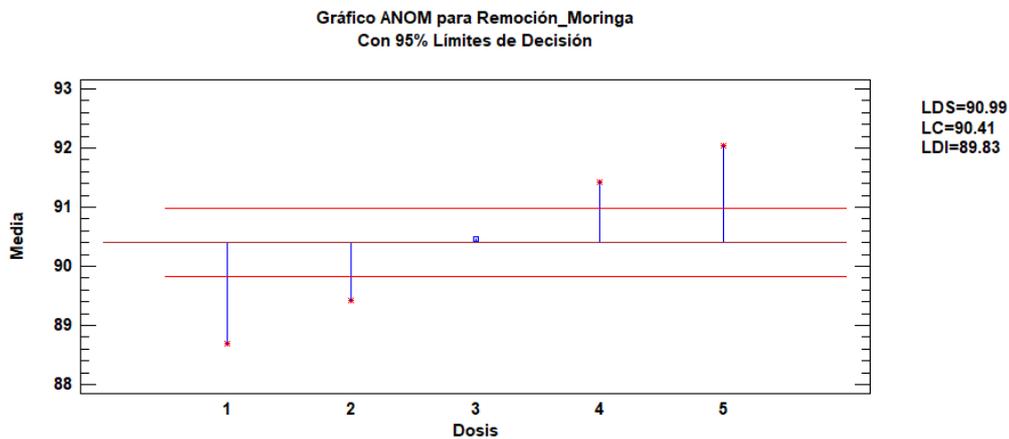


Figura 2 Análisis de Medias de Análisis de Varianza (ANOM) para la remoción de turbidez con Moringa.

En la figura 1 se muestra un análisis de medias de análisis de varianza para la remoción de turbidez con sulfato de aluminio. En el eje vertical (valores de remoción con sulfato de aluminio) que van desde 87 % hasta 93 % y en el eje horizontal (diferentes dosis) aplicadas, de 1 a 5. Por otro lado, la línea central (LC) representa el valor promedio de remoción que es 90.45 %. Asimismo, nos proporciona los límites de decisión superior (LDS) es de 90.89 % y límite de decisión inferior (LDI) es de 90 % respectivamente, que están representando los límites de confianza del 95 % para el proceso.

En la figura 2 se muestra un análisis de medias de análisis de varianza para la remoción de turbidez con sulfato de aluminio. En el eje vertical (valores de remoción con moringa) que van desde 88 % hasta 93 % y en el eje horizontal (diferentes dosis) aplicadas, de 1 a 5. Por otro lado, la línea central (LC) representa el valor promedio de remoción que es 90.41 %. Asimismo, nos proporciona los límites de decisión superior (LDS) es de 90.99 % y límite de decisión inferior (LDI) es de 89.83 % respectivamente, que están representando los límites de confianza del 95 % para el proceso.

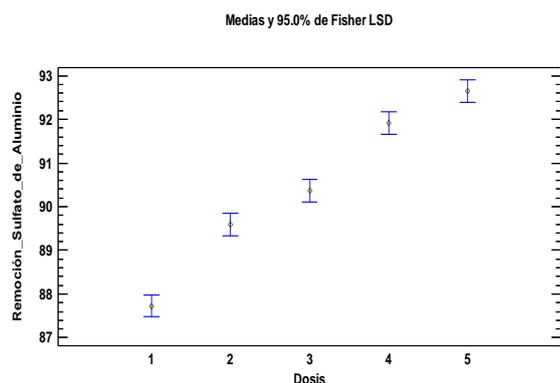


Figura 3: Medias de Fisher LSD, de la remoción de turbidez con el sulfato de aluminio con relación a las dosis

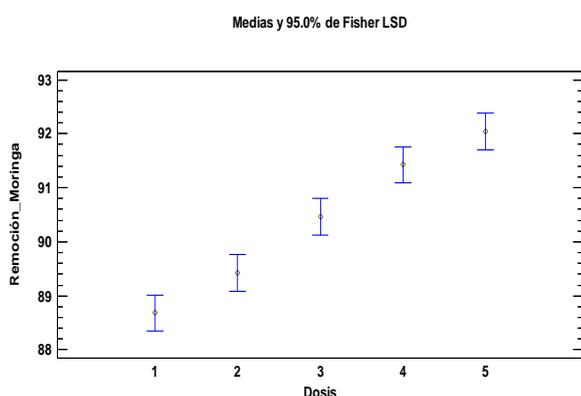


Figura 4: Medias de Fisher LSD, de la remoción de turbidez con la Moringa oleífera en relación a las dosis

En la figura 3 y 4 se observa que el sulfato de aluminio y la semilla de Moringa oleífera, la más eficaz en la clarificación del agua es a medida que se aumenta la dosis de 1 a 5 g/L, logrando una mayor reducción porcentual en la turbidez. Por lo que la gráfica indica que el proceso de remoción de sulfato con aluminio y con moringa es efectivo y que se logra un alto porcentaje de remoción de turbidez.

Según Mejía et al. (2020) de su estudio obtuvo un máximo valor de remoción de la semilla de moringa oleífera de 87 - 88.8% utilizando una solución de 2 mL/L (0,74 g/L), mientras que en nuestra investigación fue de 88.68 % con una solución de 2ml/L (1g/L). Mientras que Murali

et al. (2022) en su estudio utilizaron semillas de Moringa Oleífera como coagulante para analizar la eliminación de turbidez y la reducción de materia orgánica en aguas residuales. Se aplicó una dosis de coagulante de 14.7 mg/l, logrando una reducción de turbidez del 94 %, similar a la obtenida con sulfato de aluminio. Además, se observó una sedimentación rápida y efectiva de los contaminantes.

Una investigación más que corrobora la veracidad de los resultados obtenidos es la realizada por Talledo et al (2018) de su estudio denominado: Eficiencia de biocoagulante a base de la semilla de Moringa oleífera para aplicación de tratamiento de agua usando fuente de captación el río. En el cual obtuvo con una dosis de 100 mg/L o 1 g/L una remoción del 98.68 % de turbidez, aplicando la moringa oleífera, mientras que en nuestra investigación con la misma dosis se obtuvo una remoción de 88.68 %, resultados parecidos, y que varían ligeramente debido a que la turbidez inicial que tuvieron fue distinta su turbidez inicial fue de 1820 NTU y en nuestra investigación realizada fue de 180 NTU.

Tirado et al (2022). En su estudio de investigación titulado: Optimización de dos coagulantes naturales coadyuvados por hidróxido de sodio para la potabilización de aguas del río Caplina. En la cual determinan el rendimiento del coagulante de polvo de semilla de moringa estimado en un 75 % y, el coagulante de almidón de yuca, estimado en un 15.6 %. En esta investigación se ha comprobado que la Moringa oleífera puede sustituir al Sulfato de aluminio.

Conclusiones

Se llegó a la conclusión de los resultados obtenidos que con la dosis de 5 g/L, tanto en la remoción de turbidez con el sulfato de aluminio

y la de la moringa presenta mayor eficacia, eliminando de un 87 % hasta un 92 % de la turbidez del agua del río Caplina, de acuerdo con la turbidez de 118 UNT. Se concluye que el sulfato de aluminio tiene una remoción de 87.73 % como mínimo y 92.65 % como máximo, en el caso de la moringa oleífera fue de 88.68 % como mínimo y 92.04 % como máximo. Asimismo, podemos decir que esta es una alternativa para poder remplazar parcialmente el sulfato de aluminio.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo al Magister Álvaro Herrera docente del curso de Contaminación de Agua de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Jorge Basadre Grohmann de Tacna, Perú y también agradecer a la Universidad Privada de Tacna por permitir el uso de su laboratorio de calidad del agua.

Referencias Bibliográficas

- Aranda Tipismana, O., y Esquia Zelaya, F. (2021). Aplicación del polvo de moringa (moringa oleífera) como coagulante natural en el tratamiento de agua turbia sintética.
- Arreola, S., & Canepa, L. (2018). Moringa oleifera es una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería*, 17(2), 93-101.
- M. Pritcharda, et al., "A comparison between Moringa oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries," *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 35, no. 13-14, pp. 798-805, Dec 2010.
- N. Fuentes Molina, J. Molina Rodríguez, P. Ariza, "Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas", *Producción + Limpia*, vol. 11, no. 2, pp 41-54. Jul 2016.
- Peña Laureano, F., Cotrina Chávez, J., y Acosta Pereira, H. (2009). Hidrogeología de la cuenca del río Caplina-Región Tacna- [Boletín H 1].
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, SUNASS. (2023). Estudio tarifario EPS Tacna S.A. periodo regulatorio 2024-2028. Recopilado de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5566713/4951408-estudio-tarifario-de-eps-tacna-s-a-2024-2028.pdf>
- Mejía Carrillo, W., Urquía Collantes, K., Cabello Torres, J., y Valdiviezo Gonzales, G. (2020). Evaluación de la Moringa oleifera en el tratamiento de aguas con alta turbidez y carga orgánica. *Ingeniería Del Agua*, 24(2), 119–127. <https://doi.org/10.4995/ia.2020.12274>
- Murali A, Hillstead D, Wrobel S, Thomas J, Gonety R, Tarabara V. (2022). Moringa oleifera-derived coagulants for water treatment: Floc structure, residual organics, and performance trade-offs. Recuperado en: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19071-8>
- Talledo, Danya y Acebo, Kevin. Eficiencia de biocoagulante a base de la semilla de Moringa oleifera para aplicación de tratamiento de agua usando fuente de captación el río Guayas. Tesis (Ingeniero Químico). Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2017. 78pp. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/27909/1/MORINGA.pdf>
- Tirado Paz, D., Portugal Cruz, F., Apaza Atencio, A., y Tirado Rebaza, M. (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), 87–98. <https://doi.org/10.47796/ves.v11i1.600>



Esta obra está bajo una licencia de **Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional**. Copyright © Fabiola Del Rocío Apaza Paredes, Alexsander Alexis Vargas Mamani, Wilkhen Emerson Chura Tello, Elmer Ruben Ccama Cuenta y Midwar Joel Nina Paniagua.

