



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

3.11

JULIO - SEPTIEMBRE 2024

Artículo

28 - 37

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL EFECTO DE LAS SEMILLAS DE MORINGA OLEÍFERA Y SULFATO DE ALUMINIO SOBRE LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO CAPLINA

R. Calizaya Vizcarra

ORCID: 0009-0007-0504-9291

C. Atencio Layme

0000-0001-5079-4724

D. Alferez Escobar

0000-0002-8948-7171

J. Saira Huaycani

0009-0004-5838-0533

L. Gomez Vizcacho

0009-0000-1966-4059

<https://revista.scienceevolution.com/>



ARTÍCULO

Científico

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL EFECTO DE LAS SEMILLAS DE MORINGA OLEÍFERA Y SULFATO DE ALUMINIO SOBRE LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO CAPLINA

COMPARATIVE EVALUATION OF THE EFFECT OF MORINGA OLEIFERA SEEDS AND ALUMINUM SULFATE ON THE REMOVAL OF TURBIDITY FROM THE WATER OF THE CAPLINA RIVER

Ruth Esther Calizaya Vizcarra¹

recalizayav@unibg.edu.pe

ORCID: [0009-0007-0504-9291](https://orcid.org/0009-0007-0504-9291)

Carin Yaquelin Atencio Layme²

cyatenciol@unibg.edu.pe

ORCID: [0000-0001-5079-4724](https://orcid.org/0000-0001-5079-4724)

Daniela Isabel Alferez Escobar³

dialfereze@unibg.edu.pe

ORCID: [0000-0002-8948-7171](https://orcid.org/0000-0002-8948-7171)

Jair Saira Huaycani⁴

jasairah@unibg.edu.pe

ORCID: [0009-0004-5838-0533](https://orcid.org/0009-0004-5838-0533)

Luis Andre Gomez Vizcacho⁵

lagomezv@unibg.edu.pe

ORCID: [0009-0000-1966-4059](https://orcid.org/0009-0000-1966-4059)

¹²³⁴⁵ UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN. TACNA, PERÚ

Recepción: 01 de Julio del 2024

Publicación: 02 de Agosto del 2024

RESUMEN

El presente estudio evaluó comparativamente la eficacia de las semillas de Moringa oleífera y el sulfato de aluminio en la remoción de turbidez del agua del río Caplina, Tacna, Perú. Se recolectaron muestras de agua en tres puntos del río y se trataron con concentraciones de 20, 40 y 60 mg/L de ambos coagulantes. Los resultados mostraron que el sulfato de aluminio logró una mayor reducción de turbidez, alcanzando un 97.08% de eficiencia en la concentración de 20 mg/L, en comparación con la Moringa oleífera, que obtuvo una eficiencia de 96.01% en la misma concentración. A pesar de la ligera superioridad del sulfato de aluminio en términos de eficiencia, las semillas de Moringa presentan ventajas significativas en sostenibilidad ambiental, ya que son biodegradables y no generan residuos tóxicos. El análisis estadístico ANOVA indicó diferencias significativas en la remoción de turbidez entre las distintas concentraciones de Moringa ($p < 0.05$), destacando la concentración de 20 mg/L como la más efectiva. Estos hallazgos sugieren que la Moringa oleífera es una alternativa viable y ecológica para el tratamiento de agua en comunidades rurales con recursos limitados. Se concluye que la Moringa oleífera se destaca como una opción más sostenible y segura para el tratamiento de agua potable. Se recomienda la realización de investigaciones adicionales para evaluar la eficacia de la Moringa en diferentes contextos y explorar combinaciones con coagulantes naturales y químicos para optimizar la remoción de turbidez y minimizar los impactos ambientales.

Palabra clave: Coagulantes naturales; Eficacia de tratamiento; Impacto ambiental; Moringa oleífera; Remoción de turbidez; Sulfato de aluminio; Tratamiento de agua.

ABSTRACT

The present study comparatively evaluated the efficacy of Moringa oleifera seeds and aluminum sulfate in the removal of turbidity from the water of the Caplina River, Tacna, Peru. Water samples were collected at three points along the river and treated with concentrations of 20, 40, and 60 mg/L of both coagulants. The results showed that aluminum sulfate achieved a greater reduction in turbidity, reaching 97.08% efficiency at a concentration of 20 mg/L, compared to Moringa oleifera, which achieved 96.01% efficiency at the same concentration. Despite the slight superiority of aluminum sulfate in terms of efficiency, Moringa seeds offer significant environmental sustainability advantages, as they are biodegradable and do not generate toxic residues. The ANOVA statistical analysis indicated significant differences in turbidity removal among the different concentrations of Moringa ($p < 0.05$), highlighting the 20 mg/L concentration as the most effective. These findings suggest that Moringa oleifera is a viable and ecological alternative for water treatment in rural communities with limited resources. It is concluded that Moringa oleifera stands out as a more sustainable and safer option for drinking water treatment. Further research is recommended to evaluate the efficacy of Moringa in different contexts and to explore combinations with natural and chemical coagulants to optimize turbidity removal and minimize environmental impacts.

Keyword: Natural coagulants; Treatment effectiveness; Environmental impact; Moringa oleifera; Turbidity removal; Aluminum sulfate; Water treatment.



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

3.11

JULIO - SEPTIEMBRE 2024

Artículo

28 - 37

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL EFECTO DE LAS SEMILLAS DE MORINGA OLEÍFERA Y SULFATO DE ALUMINIO SOBRE LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO CAPLINA

R. Calizaya Viscarra

ORCID: 0009-0007-0504-9291

<https://revista.scienceevolution.com/>

C. Atencio Layme

0000-0001-5079-4724

D. Alferez Escobar

0000-0002-8948-7171

J. Saira Huaycani

0009-0004-5838-0533

L. Gomez Vizcacho

0009-0000-1966-4059

INTRODUCCIÓN

El problema propuesto trata de la evaluación comparativa del efecto de las semillas de Moringa oleífera y el sulfato de aluminio en la remoción de turbidez del agua del río Caplina en Tacna, Perú. La alta turbidez del agua, especialmente durante períodos de precipitaciones, afecta su calidad y presenta desafíos para su tratamiento, lo cual es crítico para las comunidades rurales que dependen de esta fuente.

Se conoce que la turbidez del río Caplina es causada por la presencia natural de minerales como hierro, manganeso y aluminio, provenientes de la composición geológica de la cuenca. Los estudios recientes mencionados líneas abajo, han explorado la eficiencia de la Moringa oleífera como coagulante natural frente a coagulantes químicos tradicionales como el sulfato de aluminio, destacando el potencial de la Moringa por su biodegradabilidad y ausencia de residuos tóxicos.

De esta manera, la revisión bibliográfica pertinente incluye investigaciones de los últimos cinco años, tales como los estudios realizados por la Autoridad Nacional de Agua (2020), que diagnosticaron la calidad del agua del río Caplina, y otras investigaciones que han demostrado la eficacia de la Moringa oleífera como coagulante natural en diferentes contextos.

Según Maylín et al. (2017), las semillas de Moringa Oleífera son un coagulante natural efectivo para clarificar aguas turbias ya que contienen proteínas catiónicas que neutralizan las cargas negativas de las partículas coloidales permitiendo su aglomeración y sedimentación. Estudios han evaluado y experimentado con éxito el uso de las semillas de Moringa Oleífera en el tratamiento de aguas superficiales, obteniendo buenos resultados en la remoción de turbidez (De La Sota Terrel, 2019).

Asimismo, Banchón et al. (2016) señalan que el sulfato de aluminio es el coagulante químico más utilizado en el tratamiento de agua potable, ya que es efectivo y de bajo costo. Sin embargo, su uso excesivo puede generar problemas de salud por la presencia de residuos de aluminio en el agua tratada. Los estudios comparativos entre coagulantes naturales y químicos permiten determinar la eficiencia y viabilidad de cada uno (Cevallos Coox et al., 2022).

Adicionalmente, Meza-Leones et al. (2018) publican una evaluación sobre la eficacia coagulante de las semillas de Moringa oleífera en comparación con el sulfato de aluminio para clarificar el agua de la ciénaga de Malambo. A través de pruebas de jarras, se encontró que el sulfato de aluminio reduce la turbidez en un 96%, mientras que la Moringa oleífera lo hace en un 64%. Aunque menos efectiva, la Moringa es una alternativa viable debido a su baja toxicidad, lo que sugiere su uso parcial para reemplazar al sulfato de aluminio en procesos de tratamiento de agua.

De manera similar, Cohaila & Cáceres (2020), exponen un estudio que evalúa la efectividad de las semillas de Moringa oleífera en la clarificación del agua del río Sama. Los investigadores realizaron experimentos de prueba en frascos comparando las semillas de Moringa con el sulfato de aluminio en diferentes dosificaciones y velocidades de floculación. Los resultados demostraron que las semillas de Moringa redujeron eficazmente la turbidez del agua, comparable al sulfato de aluminio, pero sin producir residuos tóxicos y siendo biodegradables. Esto destaca el potencial de la Moringa como una alternativa sostenible y ecológica para el tratamiento del agua en comunidades rurales.

Por consiguiente, Paz et al. (2022) abordan una investigación que destaca los importantes aportes del polvo de semilla de Moringa oleífera en la remoción de turbidez en aguas residuales. En su estudio demostró que la Moringa es un coagulante natural, eficiente, económico y de bajo impacto ambiental; especialmente útil para comunidades rurales con recursos limitados. Los resultados subrayan su potencial para reemplazar coagulantes químicos tradicionales, mejorando la calidad del agua y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

Por su parte, Cañari Porras & Leon Lopez (2022) en su investigación analizaron la eficiencia de la Moringa oleífera y la Opuntia ficus, como coagulantes naturales para la clarificación del agua. Se aplicaron pruebas de jarras y análisis estadísticos para evaluar la reducción de turbidez, encontrando que Moringa oleífera logró una reducción del 48.57% con una dosis de 40 mg/L, mientras que Opuntia ficus indica alcanzó un 48.10% con una dosis de 65 mg/L. Los resultados sugieren que ambos coagulantes son alternativas sostenibles y eco amigables a los coagulantes químicos tradicionales.





scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

3.11

JULIO - SEPTIEMBRE 2024

Artículo

28 - 37

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL EFECTO DE LAS SEMILLAS DE MORINGA OLEÍFERA Y SULFATO DE ALUMINIO SOBRE LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO CAPLINA

R. Calizaya Viscarra

ORCID: 0009-0007-0504-9291

<https://revista.scienceevolution.com/>

C. Atencio Layme

0000-0001-5079-4724

D. Alferez Escobar

0000-0002-8948-7171

J. Saira Huaycani

0009-0004-5838-0533

L. Gomez Vizcacho

0009-0000-1966-4059



Ahora bien, Vera-Zelada et al. (2023) en su estudio indican que el polvo de semilla de Moringa oleífera es altamente eficaz para reducir la turbidez de las aguas residuales. La investigación demostró que este coagulante natural no solo es una alternativa viable a los métodos convencionales, sino que también es sostenible y económico. Su aplicación es especialmente beneficiosa para comunidades rurales debido a su reducido costo y accesibilidad. Los resultados sugieren que la Moringa oleífera puede ser implementada con éxito en sistemas de tratamiento de aguas residuales en áreas con escasez de recursos. La Moringa disminuye el pH, aumentando la conductividad y la temperatura.

Además, Silva & Oliveira (2024) señalan que el uso de semillas de Moringa oleífera en el tratamiento de agua indica que estas semillas son altamente eficaces como coagulante natural para la clarificación del agua. El sistema de clarificación alternativo, que incluye un floculador de tubo helicoidal y un decantador, demostró ser eficiente, logrando una reducción de turbidez entre 92% y 100%. Este método es una tecnología limpia, prometedora y viable a pesar de la valla presupuestaria de las comunidades rurales del país, para el tratamiento de agua en áreas sin acceso a métodos convencionales, ofreciendo una solución sostenible y accesible.

También, Pérez Beltrán (2017) examina el impacto del uso del sulfato de aluminio en la clarificación del agua, encontrando que el sulfato de aluminio es eficaz en la remoción de turbidez, pero genera residuos tóxicos y puede alterar el pH del agua tratada. Esto presenta riesgos ambientales y de salud. Se compararon alternativas como el cloruro férrico y el policloruro de aluminio, las cuales mostraron ventajas operativas y económicas. Las alternativas permitieron una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes y menores costos operativos.

Por su lado, Melendez Huaroc (2021), explica que el uso del sulfato de aluminio como coagulante puede alterar significativamente el pH del agua tratada, generando residuos tóxicos que complican su gestión y disposición final. Además, del riesgo de contaminar los lodos residuales, afectando negativamente los ecosistemas acuáticos y representando potenciales problemas de salud para los pobladores. Cabe resaltar que el manejo y tratamiento de estos residuos incrementan los costos operativos y tienen un impacto ambiental negativo, por lo que se buscan alternativas más sostenibles como los coagulantes naturales, que no generan residuos tóxicos y son biodegradables.

Mientras tanto, Gaspar Cahuana (2021) en su estudio menciona que el sulfato de aluminio puede alterar significativamente el pH del agua y generar residuos tóxicos que complican su gestión y disposición final. Además, su uso continuado puede tener impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana debido a la presencia de residuos tóxicos en el agua tratada. Los resultados obtenidos mostraron que la dosis óptima tanto del coagulante de penca de tuna como del sulfato de aluminio fue de 300 mg/L, al ser evaluada por un tiempo de 40 minutos; logrando una reducción de turbidez de 99,62% con el coagulante natural, reduciendo la turbidez del agua de 300 UNT hasta 1,13 UNT. Por otra parte, se obtuvo una reducción de turbidez de 98,41% con el coagulante químico, reduciendo la turbidez del agua de 300 UNT hasta 4,67 UNT. Finalmente, se determinó que el coagulante natural de la penca de tuna fue el que logró la mayor reducción de turbidez de las aguas respecto en contraste con el coagulante de sulfato de aluminio.

Luego, Paz et al (2022) en su investigación advierte sobre el uso del sulfato de aluminio para la remoción de turbidez en aguas de río, porque presenta efectos negativos significativos, tales como, la alteración del pH, generación de residuos tóxicos y potenciales riesgos para la salud y el ambiente, además de costos elevados debido a la necesidad de neutralizar el pH. Comparativamente, las semillas de Moringa oleífera, un coagulante natural, muestran una eficiencia similar en la remoción de turbidez sin alterar significativamente el pH, son biodegradables y no generan residuos tóxicos, lo que las convierte en una alternativa más sostenible y económica. Por ende, el estudio concluye que la Moringa oleífera puede sustituir parcialmente al sulfato de aluminio, logrando resultados efectivos con menores impactos negativos.

Posteriormente, Vivas Saltos et al. (2022) explica que el sulfato de aluminio es un coagulante químico ampliamente utilizado debido a su eficacia en la remoción de turbidez y contaminantes del agua. Sin embargo, su uso puede tener impactos ambientales negativos, como la generación de residuos tóxicos y la alteración del pH del agua tratada. Además, se menciona que la Moringa oleífera, aunque menos efectiva en algunos aspectos, presenta ventajas por ser una alternativa ecológica y biodegradable, sin dejar residuos tóxicos. Así mismo, se evalúa la eficiencia del polielectrolito catiónico de Moringa oleífera en la remoción de contaminantes de aguas residuales, comparándolo con sulfato de aluminio.



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

3.11

JULIO - SEPTIEMBRE 2024

Artículo

28 - 37

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL EFECTO DE LAS SEMILLAS DE MORINGA OLEÍFERA Y SULFATO DE ALUMINIO SOBRE LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO CAPLINA
R. Calizaya Vizcarra ORCID: 0009-0007-0504-9291 <https://revista.scienceevolution.com/>
C. Atencio Layme 0000-0001-5079-4724
D. Alferez Escobar 0000-0002-8948-7171
J. Saira Huaycani 0009-0004-5838-0533
L. Gomez Vizcacho 0009-0000-1966-4059



Se aplicó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, sugiriendo que la Moringa es un buen coagulante. La dosis óptima de Moringa (2 m/L), logró una remoción de sólidos suspendidos totales (SST) del 89%, siendo comparable al sulfato de aluminio, pero sin generar residuos tóxicos, posicionándose como una alternativa eco amigable y eficaz en el tratamiento de aguas residuales.

Para culminar, Vargas y Gutierrez (2022) presentan varias desventajas importantes sobre la utilización del sulfato de aluminio en el tratamiento del agua. Este compuesto puede alterar significativamente el pH del agua tratada, requiriendo ajustes adicionales para mantener niveles seguros. La exposición prolongada a los residuos de aluminio en el agua ha sido vinculada con peligrosos problemas de salud, incluyendo enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer. Desde el punto de vista económico, el sulfato de aluminio incrementa los costos operativos debido a la necesidad de neutralizar el pH y manejar los residuos.

Por ello, el objetivo general de esta investigación es evaluar y comparar la eficiencia de un coagulante químico (sulfato de aluminio) y un coagulante de origen natural (Moringa oleífera) para la remoción de turbidez del agua del río Caplina. En cuanto a los objetivos específicos, incluyen determinar los parámetros fisicoquímicos del agua del río Caplina, establecer la concentración ideal de ambos coagulantes para la remoción de la turbidez, y evaluar la eficiencia porcentual (%) de remoción de turbidez del agua.

Como resultado, al finalizar esta investigación buscamos proporcionar una base sólida para la implementación de tecnologías de tratamiento de agua más ecológicas y accesibles, beneficiando especialmente a las comunidades rurales con recursos limitados. La hipótesis que se quiere probar es que la Moringa oleífera, al ser biodegradable y no tóxica, ofrece una alternativa viable y ecológica al sulfato de aluminio en la remoción de la turbidez del agua, con ventajas significativas en términos ambientales y económicos.

MÉTODO

Recolección de muestras de agua

El presente estudio se llevó a cabo en junio de 2024. Se recolectaron muestras de agua en tres puntos del río Caplina, ubicados en el distrito de Pachia, ciudad de Tacna, siguiendo el protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales según la Resolución Jefatural N.° 0264-2024 ANA.

Tabla 1
Localización y caracterización del lugar de estudio

Lugar	Coordenadas	Altitud (m.s.n.m)	Clima
P1-Tacna	17°51'27.55"S 70° 7'19.71"O	711	Clima desértico
P2-Tacna	17°51'26.99"S 70° 7'20.56"O	711	Clima desértico
P3-Tacna	17°51'26.47"S 70° 7'21.27"O	711	Clima desértico

Nota: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2021).

De esta manera, en la Tabla 1 se muestra la localización, coordenadas y altitudes de los puntos de estudio se siguió el protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, según la Resolución Jefatural N.° 010-2016 ANA. Se utilizaron 4.5 litros de agua para la experimentación



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

3.11

JULIO - SEPTIEMBRE 2024

Artículo

28 - 37

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL EFECTO DE LAS SEMILLAS DE MORINGA OLEÍFERA Y SULFATO DE ALUMINIO SOBRE LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO CAPLINA

L. Gomez Vizcacho
0009-0000-1966-4059

J. Saira Huaycani
0009-0004-5838-0533

D. Alferez Escobar
0000-0002-8948-7171

C. Atencio Layme
0000-0001-5079-4724

R. Calizaya Viscarra
ORCID: 0009-0007-0504-9291
<https://revista.scienceevolution.com/>

Figura 1
Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo



Obtención del polvo de semilla de moringa

Las semillas de Moringa oleífera fueron obtenidas del Mercado Grau en Tacna. Posteriormente, las semillas fueron llevadas al laboratorio de aguas de la Universidad Jorge Basadre Grohmann, donde se realizó la molienda para obtener el polvo de semilla. Este proceso siguió las recomendaciones de (Maylín et al., 2017).

Preparación de las soluciones madre de coagulantes

Se prepararon soluciones madre de coagulantes mediante la disolución de 1g. de sulfato de aluminio comercial en 100 ml. de agua destilada. Un procedimiento similar se llevó a cabo con las semillas de Moringa oleífera. Las concentraciones de coagulantes aplicadas en los experimentos fueron de 20, 40 y 60 mg/L para ambos coagulantes.

Experimentación

Para determinar la concentración ideal de los coagulantes (sulfato de aluminio y semillas de Moringa oleífera), se emplearon 18 vasos de precipitados, cada uno conteniendo 250 mL de agua del río Caplina. A cada vaso se le añadieron las concentraciones respectivas (20, 40 y 60 mg/L) de las soluciones madre. El procedimiento experimental incluyó:

- Agitación Rápida: Las muestras se sometieron a una agitación rápida inicial durante 1 minuto para asegurar una dispersión uniforme del coagulante.
- Agitación Lenta: Seguidamente, se aplicó una agitación lenta durante 10 minutos para favorecer la formación de flóculos.
- Sedimentación: Las muestras se dejaron reposar durante 30 minutos para facilitar la sedimentación y la separación efectiva del agua clarificada.

Cada ensayo exploratorio se realizó con tres repeticiones para reducir el margen de error experimental. Los parámetros de turbidez de cada tratamiento se midieron y se calculó la eficiencia de remoción, comparando las concentraciones ideales de ambos coagulantes.

Análisis de resultados

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) y se aplicó la prueba estadística ANOVA para analizar las diferencias significativas entre los tratamientos. La variable dependiente fue la turbidez, medida como respuesta a los tratamientos aplicados. Finalmente, se realizó la prueba de contraste múltiple de Tukey con un 95% de confianza ($p < 0.05$). Las pruebas estadísticas se llevaron a cabo utilizando el software IBM SPSS Statistics.





scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

3.11

JULIO - SEPTIEMBRE 2024

Artículo

28 - 37

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL EFECTO DE LAS SEMILLAS DE MORINGA OLEÍFERA Y SULFATO DE ALUMINIO SOBRE LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO CAPLINA
R. Calizaya Viscarra ORCID: 0009-0007-0504-9291 <https://revista.scienceevolution.com/>
C. Atencio Layme 0000-0001-5079-4724
D. Alferez Escobar 0000-0002-8948-7171
J. Saira Huaycani 0009-0004-5838-0533
L. Gomez Vizcacho 0009-0000-1966-4059



Cálculo de la eficiencia de remoción de turbidez

La eficiencia de remoción de la turbidez (Rt) del río Caplina se calculó mediante la fórmula empleada por Antov et al. (2012):

$$Rt (\%) = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100$$

Donde T_i es la turbidez inicial y la T_f la turbidez final.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros fisicoquímicos del agua del río Caplina

En la Tabla 2, se detallan los parámetros iniciales tomados en el laboratorio antes de efectuar el tratamiento con la Moringa Oleífera y el sulfato de aluminio.

Tabla 2
Parámetros iniciales

Parámetros	Valor
Turbidez	107.13
pH	4.17

Determinación de la concentración ideal

Tabla 3
Análisis de varianza para tratamiento con Moringa Oleífera

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	9,254	2	4,627	20,678	0,002
Dentro de grupos	1,343	6	0,224		
Total	10,596	8			

Nota: Este análisis de varianza (ANOVA) evalúa la efectividad del tratamiento con Moringa Oleífera en la remoción de la turbidez del agua del río Caplina. La significancia (Sig.) de 0,002 indica una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos tratados.

Tabla 4
Prueba de Tukey para tratamiento con Moringa Oleífera

Concentración (mg/L)	N	Subconjunto para alfa < 0.05	
		1	2
20	3	4,2700	
60	3		5,9533
40	3		6,6933
Sig.		1,000	0,214

HSD Tukey Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000. Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Nota: La prueba de Tukey HSD muestra que la concentración de 20 mg/L de Moringa Oleífera forma un subconjunto distinto al nivel de significancia alfa < 0.05, mientras que las concentraciones de 60 mg/L y 40 mg/L no presentan diferencias significativas entre ellas (Sig. = 0.214). Esto sugiere que las concentraciones más altas tienen un efecto similar en la remoción de la turbidez del agua del río Caplina.



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

3.11

JULIO - SEPTIEMBRE 2024

Artículo

28 - 37

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL EFECTO DE LAS SEMILLAS DE MORINGA OLEÍFERA Y SULFATO DE ALUMINIO SOBRE LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO CAPLINA

R. Calizaya Vizcarra
ORCID: 0009-0007-0504-9291
<https://revista.scienceevolution.com/>

C. Atencio Layme
0000-0001-5079-4724

D. Alferez Escobar
0000-0002-8948-7171

J. Saira Huaycani
0009-0004-5838-0533

L. Gomez Vizcacho
0009-0000-1966-4059



Tabla 5

Análisis de varianza para tratamiento con sulfato de aluminio

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,086	2	0,043	1,299	0,340
Dentro de grupos	0,199	6	0,033		
Total	0,285	8			

Nota: Este análisis de varianza (ANOVA) evalúa la efectividad del tratamiento con sulfato de aluminio en la remoción de la turbidez del agua del río Caplina. La significancia (Sig.) de 0,340 indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los grupos tratados.

Tabla 6

Prueba de Tukey para tratamiento con sulfato de aluminio

Concentración (mg/L)	N	Subconjunto para alfa < 0.05
		1
20	3	3,1233
60	3	3,2100
40	3	3,3600
Sig.		0,319

HSD Tukey Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000. Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Nota. La prueba de Tukey HSD muestra que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de 20 mg/L, 60 mg/L y 40 mg/L de sulfato de aluminio en la remoción de la turbidez del agua del río Caplina (Sig. = 0,319). Esto sugiere que todas las concentraciones tienen un efecto similar en la remoción de la turbidez.

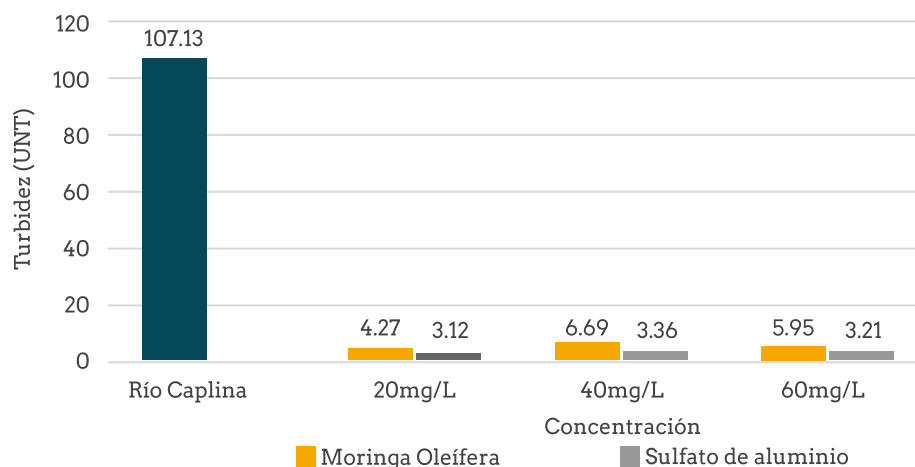
Evaluación de la eficiencia de remoción de turbidez

En el Gráfico 1, se detalla los valores promedios resultantes de turbidez de ambos coagulantes utilizados respecto al valor inicial del agua del río Caplina.

Se observó que el sulfato de aluminio obtuvo una mayor remoción de turbidez, siendo la concentración de 20 mg/L la que consiguió reducir la turbidez inicial de 107.13 UNT a una turbidez final de 3.12 UNT. El coagulante natural (Moringa Oleífera) consiguió disminuir la turbidez inicial de 107.13 UNT a 4.27 UNT.

Gráfico 1

Turbidez final con Moringa oleífera y sulfato de aluminio





scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

3.11

JULIO - SEPTIEMBRE 2024

Artículo

28 - 37

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL EFECTO DE LAS SEMILLAS DE MORINGA OLEÍFERA Y SULFATO DE ALUMINIO SOBRE LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO CAPLINA

R. Calizaya Viscarra

ORCID: 0009-0007-0504-9291

<https://revista.scienceevolution.com/>

C. Atencio Layme

0000-0001-5079-4724

D. Alferez Escobar

0000-0002-8948-7171

J. Saira Huaycani

0009-0004-5838-0533

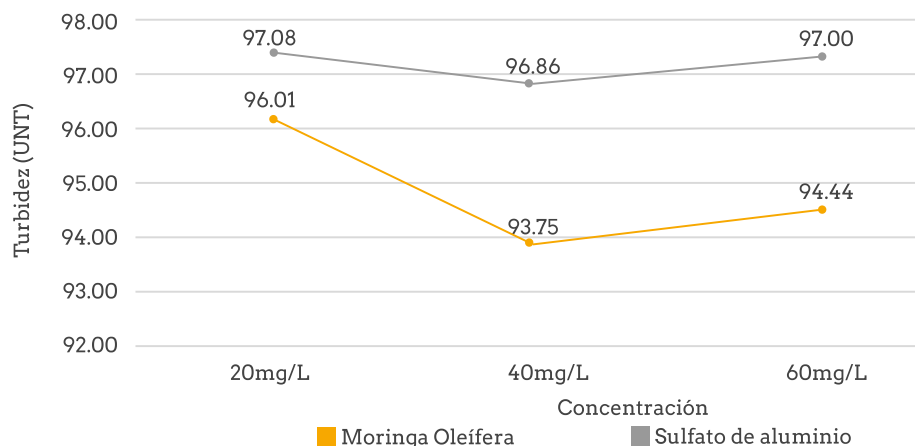
L. Gomez Vizcacho

0009-0000-1966-4059

En la Gráfico 2, se presenta el comportamiento del porcentaje de remoción a medida que se incrementan las dosificaciones tanto para el sulfato de aluminio como para el coagulante natural. De acuerdo a ello, se dio como mejor tratamiento y más efectivo en la disminución de la turbidez al sulfato de aluminio, del cual oscilan valores de 96.86 % a 97.08 % de eficiencia; mientras que para el coagulante de Moringa Oleífera se registraron valores que van de 93.75 % a 96.01 % de eficiencia en la remoción de turbidez.

Gráfico 2

Eficiencia de remoción de turbidez



DISCUSIÓN

Comparación con la remoción de turbidez obtenida por otros autores

El presente estudio compara la efectividad de las semillas de Moringa oleífera y el sulfato de aluminio en la remoción de turbidez del agua del río Caplina, obteniendo resultados que respaldan las investigaciones previas.

Según los datos recopilados, el sulfato de aluminio mostró una mayor capacidad de reducción de turbidez en comparación con las semillas de Moringa. El análisis de la remoción de turbidez mostró que el sulfato de aluminio logró reducir la turbidez inicial de 107.13 UNT a 3.12 UNT con una concentración de 20 mg/L, mientras que las semillas de Moringa oleífera lograron reducirla a 4.27 UNT en la misma concentración. Esto indica que, aunque la Moringa oleífera es efectiva, el sulfato de aluminio presenta una eficiencia ligeramente superior.

Estos resultados están en línea con estudios anteriores, como el de Meza-Leones et al. (2018), que encontró que el sulfato de aluminio reduce la turbidez en un 96%, mientras que la Moringa oleífera lo hace en un 64%. La investigación de Pérez Beltrán (2017) y Melendez Huaroc (2021) también advierte que, aunque el sulfato de aluminio es eficaz, su uso genera residuos tóxicos que pueden alterar el pH del agua tratada, aumentando los costos operativos y representando impactos ambientales negativos.

Impacto Ambiental y Sostenibilidad

El estudio resalta que las semillas de Moringa oleífera, aunque menos eficientes en términos de remoción de turbidez, ofrecen ventajas significativas en términos de sostenibilidad y impacto ambiental. A diferencia del sulfato de aluminio, las semillas de Moringa son biodegradables y no generan residuos tóxicos, lo que reduce los riesgos para la salud y el medio ambiente.

Este aspecto es corroborado por investigaciones como las de Paz et al. (2022) y Vera-Zelada et al. (2023), que enfatizan la importancia de utilizar coagulantes naturales en comunidades rurales con recursos limitados debido a sus beneficios ambientales y económicos.





scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

3.11

JULIO - SEPTIEMBRE 2024

Artículo

28 - 37

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL EFECTO DE LAS SEMILLAS DE MORINGA OLEÍFERA Y SULFATO DE ALUMINIO SOBRE LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO CAPLINA

R. Calizaya Viscarra

ORCID: 0009-0007-0504-9291

<https://revista.scienceevolution.com/>

D. Alferez Escobar

0000-0002-8948-7171

J. Saira Huaycani

0009-0004-5838-0533

L. Gomez Vizcacho

0009-0000-1966-4059



Aplicaciones y Viabilidad en Comunidades Rurales

La Moringa oleífera emerge como una alternativa viable y sostenible para el tratamiento de agua en áreas rurales. Por ello, investigaciones como las de Cohaila & Cáceres (2020) y Silva & Oliveira (2024) destacan su potencial para mejorar la calidad del agua potable en comunidades con acceso limitado a tecnologías convencionales de tratamiento. Estas ventajas se reflejan en la capacidad de la Moringa para promover la autosuficiencia y reducir los costos de tratamiento, beneficiando a las comunidades más vulnerables.

Limitaciones y Recomendaciones

A pesar de los resultados positivos obtenidos con la Moringa oleífera, es importante considerar las limitaciones del estudio, tales como la variabilidad en la calidad de las semillas y las condiciones específicas del agua del río Caplina. Se recomienda realizar estudios adicionales para evaluar la efectividad de las semillas de Moringa en diferentes contextos y con distintas fuentes de agua, así como explorar combinaciones de coagulantes naturales y químicos para optimizar la remoción de la turbidez y minimizar los impactos ambientales.

CONCLUSIONES

Con el análisis de varianza (ANOVA) se concluye que hay diferencias significativas en la remoción de la turbidez del agua del río Caplina, en Tacna, Perú; entre las diferentes concentraciones de Moringa oleífera ($p < 0.05$). La prueba de Tukey indicó que la concentración de 20 mg/L es la más efectiva, formando un subconjunto distinto en términos de eficacia de remoción de turbidez. Estos resultados estadísticos subrayan la importancia de optimizar la concentración de coagulantes para maximizar la eficiencia del tratamiento de agua.

En conclusión, aunque el sulfato de aluminio presenta una mayor eficiencia en la remoción de la turbidez, la Moringa oleífera se destaca como una alternativa ecológica y sostenible, especialmente más adecuada para su uso en comunidades rurales. Los hallazgos de este estudio apoyan la implementación de tecnologías de tratamiento de agua que equilibren la eficacia con la sostenibilidad ambiental, promoviendo así un enfoque más holístico y responsable en la gestión de los recursos hídricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antov, M. G., Sciban, M. B., & Prodanivic, J. M. (2012). Evaluation of the efficiency of natural coagulant obtained by ultrafiltration of common bean seed extract in water turbidity removal. *Ecological Engineering*, 49, 48-52. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.08.015>

Autoridad Nacional de Agua - ANA (2020). Diagnóstico de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca Caplina e Interconexión 13155. https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/5465/ANA0004032_2.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Banchón, C., Baquerizo, R., Muñoz, D., & Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Universidad Tecnológica Equinoccial*, 7(4), 111-126. <https://www.redalyc.org/journal/5722/572261626009/html/>

Cañari Porras, A. S., & Leon Lopez, K. N. (2022). Reducción de turbidez mediante los coagulantes naturales (Moringa oleífera) y (Opuntia ficus-indica) en aguas superficiales de la Quebrada Huaycoloro, 2022 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/33816>

Cevallos Coox, N. N., Burgos Briones, G. A., & Córdova Mosquera, A. (2022). Evaluación de la eficacia de coagulantes sintéticos y naturales en el tratamiento de aguas residuales generadas en la producción de harina de pescado. *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*, 16(2), 54-68. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6993155>

Cohaila, M. A. C., & Cáceres, E. Ó. A. (2020). Efecto de las semillas de moringa (moringa oleífera lam.) en las condiciones para la clarificación del agua del río Sama. *Revista De La Sociedad Química Del Perú*, 86(1), 47-57. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i1.272>



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

3.11

JULIO - SEPTIEMBRE 2024

Artículo

28 - 37

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL EFECTO DE LAS SEMILLAS DE MORINGA OLEÍFERA Y SULFATO DE ALUMINIO SOBRE LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO CAPLINA

R. Calizaya Vizcarra

ORCID: 0009-0007-0504-9291

<https://revista.scienceevolution.com/>

C. Atencio Layme

0000-0001-5079-4724

D. Alferez Escobar

0000-0002-8948-7171

J. Saira Huaycuni

0009-0004-5838-0533

L. Gomez Vizcacho

0009-0000-1966-4059

De La Sota Terrel, G. J. (2019). Uso de las semillas de moringa oleífera Lam. Como coagulante para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil [Grado de Bachiller, Universidad científica]. *Repositorio de la Universidad científica*.

<https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1209>

Gaspar Cahuana, F. (2021). Reducción de la turbidez de las aguas del río Shullcas, utilizando penca de Tuna y Sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación para el tratamiento de agua potable [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. *Repositorio de la Universidad César Vallejo*.

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/CVV_a51a40d52d6639b088f23f6f7e9ca59a

Maylín, R. M., Yosvany, D. D., Susana, R. M., Beatriz, G. A., Elina, F. S., & Danger, T. G. (2017). Empleo de semillas de Moringa oleífera en el tratamiento de residuales líquidos. *Universidad Tecnológica*, 38(2).

http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-0382017000200007&script=sci_arttext

Melendez Huaroc, L. L. (2021). Eficiencia de la Moringa oleífera como coagulante natural en la remoción de turbidez del agua residual doméstica del efluente del UASB-CITRAR [Título Profesional, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. *Repositorio de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur*.

<https://repositorio.untels.edu.pe/xmlui/handle/123456789/576>

Meza-Leones, M., Riaños-Donado, K., Mercado-Martínez, I., Olivero-Verbel, R., & Jurado-Eraso, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95-104.

<https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>

Paz, E. D. T., Cruz, M. F. P., Atencio, J. a. A., & Rebaza, L. U. M. 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), 87-98.

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

Pérez Beltrán, J. P. (2017). Evaluación de la sustitución del agente coagulante -Sulfato de Aluminio- en el proceso actual de coagulación-floculación de agua potable en la empresa EAF SAS ESP [Trabajos de grado, Universidad De América]. *Repositorio de la Universidad De América*.

<https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6371>

Silva, J. R., & Oliveira, D. S. (2024). Tratamiento de agua con tecnologías limpias usando semillas de Moringa oleífera en unidades de clarificación alternativas de bajo costo. *Revista de Tratamiento de Agua*, 6(2), 625-645.

<https://doi.org/10.3390/cleantechnol6020033>

Vargas Humire, S., y Gutierrez Valdivia, V. C. (2022). Aplicación de la semilla de Moringa oleífera como coagulante-floculante en el proceso de reducción de arsénico presente en el agua para consumo humano en el distrito de Candarave, provincia de Candarave, región Tacna [Tesis de licenciatura, Universidad Privada de Tacna]. *Repositorio de la Universidad Privada de Tacna*.

<https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2512>

Vera-Zelada, P., Martínez-Sovero, G., Vera-Zelada, L. A., Minchán-Sapo, J. R., & Pastor-Collantes, D. B. (2023). Efecto del polvo de semilla de Moringa oleífera sobre la turbidez de las aguas residuales en Cajamarca, Perú. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(2), 510.

<https://revistas.unsm.edu.pe/index.php/reacae/article/view/510/1035>

Vivas Saltos, H. T., Calderón Pincay, J. M., Mendoza Cedeño, L. G., y Cedeño Zambrano, J. G. (2022). Remoción de contaminantes en aguas residuales mediante el polielectrolito catiónico extraído de las semillas de Moringa oleífera. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 43(2), 84-96.

<https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/589>

