

	<p>PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DEL EXTRACTO DE SEMILLAS DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE</p>	<p>Disciplina UNESCO 3308.06</p>
<p>ARTICULO INVESTIGACION</p>	<p>Nicolau Penicela Chirinza, Paulino Vasco Mariano Muguirrima, Federico León Zerpa*, Alejandro Ramos Martín, Carlos Alberto Mendieta Pino</p>	

PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DEL EXTRACTO DE SEMILLAS DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE

PROPOSAL FOR THE USE OF MORINGA OLEIFERA SEED EXTRACT AS A COAGULANT IN THE TREATMENT OF DRINKING WATER

Nicolau Penicela-Chirinza¹, Paulino-Vasco Mariano-Muguirrima¹, Federico León-Zerpa^{2*}, Alejandro Ramos-Martín², Carlos-Alberto Mendieta-Pino²

1 Universidad de Zambeze (UniZambeze), Mozambique.

2 Instituto de Estudios Ambientales y Recursos Naturales (iUNAT), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC).

* federico.leon@ulpgc.es

Recibido: 11/Mar/2024 – Revisando: 12/Mar./2024 - Aceptado: 11/Sep./2024 - DOI: <https://doi.org/10.52152/DES11244>

To cite this article: LEON-ZERPA, Federico, CHIRINZA, Nicolau Penicela, MUGUIRRIMA, Paulino Vasco et al. PROPOSAL FOR THE USE OF MORINGA OLEIFERA SEED EXTRACT AS A COAGULANT IN THE TREATMENT OF DRINKING WATER. DYNA Energía y Sostenibilidad, Jan.-Dec. 2024, vol. 13, n. 1, DOI: <https://doi.org/10.52152/DES11244>

<p>ABSTRACT:</p> <p>The aim of this study is to propose the use of Moringa oleifera seed extract as a coagulant in water treatment, with a reference to its efficiency in removing various parameters considered to be the minimum necessary for water potability, compared to the use of aluminium sulphate as a coagulant. The Moringa oleifera seed extract coagulant is easy to acquire and use, and prepared in an optimised way, it complies with the recommended standards for water potability. In environmental terms, its use is recommended because it does not transmit harmful by-products to the environment.</p> <p>Keywords: Coagulant, Moringa oleifera seed, Aluminium sulphate.</p>	<p>RESUMEN:</p> <p>El objetivo de este estudio es proponer la utilización del extracto de semillas de Moringa oleifera como coagulante en el tratamiento del agua, haciendo referencia a su eficacia en la eliminación de diversos parámetros considerados como mínimos necesarios para la potabilidad del agua, en comparación con la utilización de sulfato de aluminio como coagulante. El coagulante a base de extracto de semillas de Moringa oleifera es fácil de adquirir y utilizar y, preparado de forma optimizada, cumple las normas recomendadas para la potabilidad del agua. En términos medioambientales, se recomienda su uso porque no transmite subproductos nocivos al medio ambiente.</p> <p>Palabras clave: Coagulante, semilla de Moringa oleifera, sulfato de aluminio.</p>
---	---

1.- INTRODUCCION

El tratamiento del agua es un proceso en el que se pretende retirar o eliminar la materia orgánica, los lodos, la arena y analizar las características físico-químicas y microbiológicas a través de normas para hacerla apta para el consumo humano¹.

El proceso de coagulación es una etapa esencial en la purificación del agua. Consiste en convertir las partículas en suspensión en flóculos más grandes que puedan sedimentarse o filtrarse fácilmente del agua. Este proceso implica la adición de ciertas sustancias químicas llamadas coagulantes, que tienen la capacidad de ayudar a flocular las partículas suspendidas en el agua. La moringa se utiliza a veces en el proceso de coagulación en el tratamiento del agua, donde se sabe que tiene ciertas proteínas que se cargan positivamente en soluciones y pueden unirse a partículas cargadas negativamente para eliminar la turbidez del tratamiento del agua^{2,3}.

El uso de la semilla de Moringa oleifera como coagulante presenta algunos retos a superar, ya que la semilla sin fraccionar también tiene otros compuestos que se liberan junto con las proteínas catiónicas de interés que pueden causar resultados no deseados, como carbono orgánico residual y citotoxicidad después del tratamiento del agua⁴. El núcleo de las semillas de Moringa oleifera contiene aproximadamente un 36,7% de proteínas, un 34,6% de lípidos y un 5,0% de carbohidratos (p/p), y como consecuencia indeseable, estos compuestos (materia orgánica) pueden facilitar el nuevo crecimiento de microorganismos y conducir a la formación de subproductos de la desinfección^{2,4}. Los polímeros orgánicos naturales se han utilizado durante más de 4.000 años en India, África y China como coagulantes eficaces y como coadyuvantes de coagulación para aguas de alta turbidez de uso doméstico en zonas rurales. A partir del siglo XIX, los coagulantes químicos como el cloruro de hierro III ($FeCl_3$) y el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ empezaron a utilizarse en todo el mundo para tratar el agua de consumo humano, lo que dejó en segundo plano el uso de coagulantes, salvo en las zonas rurales y los países en desarrollo, que aún los utilizan. Sin embargo, los coagulantes químicos tienen un impacto

	<p>PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DEL EXTRACTO DE SEMILLAS DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE</p>	<p>Disciplina UNESCO 3308.06</p>
<p>ARTICULO INVESTIGACION</p>	<p>Nicolau Penicela Chirinza, Paulino Vasco Mariano Muguirrima, Federico León Zepa*, Alejandro Ramos Martín, Carlos Alberto Mendieta Pino</p>	

sobre el medio ambiente y la salud humana debido a su composición y a su mayor coste¹. Por ello, es muy importante utilizar productos naturales para minimizar el impacto ambiental y el aumento innecesario de los costes en el tratamiento del agua^{5,6}.

El objetivo general de este artículo es proponer el uso del extracto de semillas de Moringa oleifera como coagulante en el tratamiento del agua potable, comparando su eficacia con la del sulfato de aluminio como coagulante.

En cuanto al público destinatario, la innovación propuesta se dirige en general a los estudiantes de ingeniería de procesos, química ingeniería, cursos superiores relacionados con el medio ambiente y, por último, cursos destinados al tratamiento de aguas residuales. Cabe señalar que, en cuanto al nivel de los alumnos de los cursos mencionados, la innovación abarca todos los niveles, desde estudiantes de primer curso hasta doctorandos.

El nivel previo de comprensión del tema antes de la aplicación de este trabajo era de conocimientos básicos sobre coagulantes utilizadas en el tratamiento del agua en general, técnicas instrumentales de extracción de compuestos químicos de plantas y de base operaciones de ingeniería química.

El objetivo de aprendizaje es comprender el método de extracción del coagulante de la planta y entender cómo aplicar el coagulante en sistemas de tratamiento de agua potable y medir su eficacia.

El siguiente nivel de comprensión del tema después de aplicar este trabajo es llegar a comprender la extracción y la eficacia de la coagulación en la calidad del agua potable. Los resultados del aprendizaje son la comprensión del uso de los coagulantes como medio de tratamiento del agua potable y la comprensión de las técnicas de extracción a partir de fuentes naturales.

2.- ANTECEDENTES TEÓRICOS

El agua es uno de los componentes fundamentales del desarrollo sostenible y su conservación es esencial para preservar la biodiversidad de nuestro planeta. La urbanización y los cambios en los modelos de producción y consumo en los países industrializados y en desarrollo plantean nuevos problemas para la gestión del ciclo del agua; el saneamiento de las aguas residuales es uno de ellos y representa una doble amenaza para la salud pública y la protección del medio ambiente⁷. Sin embargo, es sumamente imperativo adoptar técnicas destinadas a tratar el agua para cumplir los requisitos de calidad de potabilidad y las normas medioambientales. El proceso de coagulación se utiliza ampliamente en el tratamiento de aguas y aguas residuales, ya que es eficaz para eliminar los sólidos en suspensión, la turbidez, la materia orgánica, el aceite, la demanda química de oxígeno (DQO) y el color. El proceso de coagulación se lleva a cabo principalmente mediante la adición de un coagulante que permite que pequeñas partículas aglomeradas (partículas finas inestables) se formen en flocúlos más grandes que pueden sedimentar. La coagulación y la floculación están interrelacionadas. La coagulación es el proceso de agrupación bajo mezcla a alta velocidad, mientras que la floculación es el proceso de sedimentación bajo mezcla suave. Las partículas coloidales suelen tener carga negativa. Por lo tanto, la coagulación es un proceso químico que implica la neutralización de estas partículas en el agua y las aguas residuales, mientras que la floculación es un proceso físico que implica la formación de flocúlos a partir de partículas neutralizadas durante el proceso de coagulación. Así, durante la coagulación se forman grandes flocúlos, que se agregan y sedimentan durante la floculación^{5,6}.

La sedimentación por coagulación se utiliza ampliamente en el tratamiento del agua por su facilidad de mantenimiento y su bajo coste de explotación. El tratamiento del agua potable depende en gran medida de la sedimentación por coagulación, que representa aproximadamente el 5% del coste total de funcionamiento de las instalaciones de tratamiento del agua⁷⁻⁹.

2.1 Moringa oleifera como coagulante

El mecanismo de coagulación que utiliza la Moringa oleifera para eliminar los contaminantes del agua se debe a la combinación de los mecanismos de coagulación y neutralización de la carga. Es similar al mecanismo de coagulación del sulfato de aluminio¹¹. Las semillas de Moringa oleifera contienen cantidades significativas de proteínas catiónicas solubles, y cuando se muelen en polvo y se añaden al agua turbia, liberan cargas positivas, atrayendo partículas cargadas negativamente, como barro, arcilla, bacterias y otras partículas presentes en el agua. La coagulación se produce cuando las proteínas catiónicas se unen a las partículas negativas, formando copos¹⁰. La Moringa oleifera puede clarificar aguas de turbidez alta, media y baja^{2,12}. Mientras que los coagulantes a base de aluminio son eficaces en un rango restringido de niveles de pH en el tratamiento del agua, el uso de semillas de Moringa oleifera es independiente del pH del agua a tratar para su eficacia. Otro efecto beneficioso que cabe destacar cuando se utiliza Moringa oleifera como coagulante es el efecto del tratamiento biológico del agua, que se produce de forma concomitante con la coagulación. Este efecto se debe a que la Moringa oleifera contiene una sustancia antimicrobiana que actúa sobre los microorganismos que se encuentran en las partículas suspendidas en el agua y acaban siendo eliminados junto con el lodo^{7,9,13}. El uso de semillas y vainas de Moringa oleifera junto con la filtración en el tratamiento del agua muestra buenos resultados y reduce el uso de coagulantes químicos no biodegradables, además de tener las ventajas de una menor generación de lodos, la producción de lodos biodegradables,

	<p>PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DEL EXTRACTO DE SEMILLAS DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE</p>	<p>Disciplina UNESCO 3308.06</p>
<p>ARTICULO INVESTIGACION</p>	<p>Nicolau Penicela Chirinza, Paulino Vasco Mariano Muguirrima, Federico León Zerpa*, Alejandro Ramos Martín, Carlos Alberto Mendieta Pino</p>	

una buena eliminación de la turbidez y el color, la eliminación de casi el 90% de las bacterias y el mantenimiento del pH del agua. Otras ventajas del extracto de semillas de moringa son que es fácil de manipular, implica tecnologías sencillas que pueden manejar profesionales no cualificados y es un extracto biodegradable^{14,15}.

2.2 Calidad del agua potable

Un número significativo de sistemas de abastecimiento de agua que suministran agua potable a la población local y a las comunidades de todo el mundo se alimentan de fuentes de aguas superficiales^{1,13}.

La calidad de las aguas superficiales es importante, entre otras cosas, por su uso generalizado como principal fuente de agua potable para innumerables comunidades de todo el mundo.

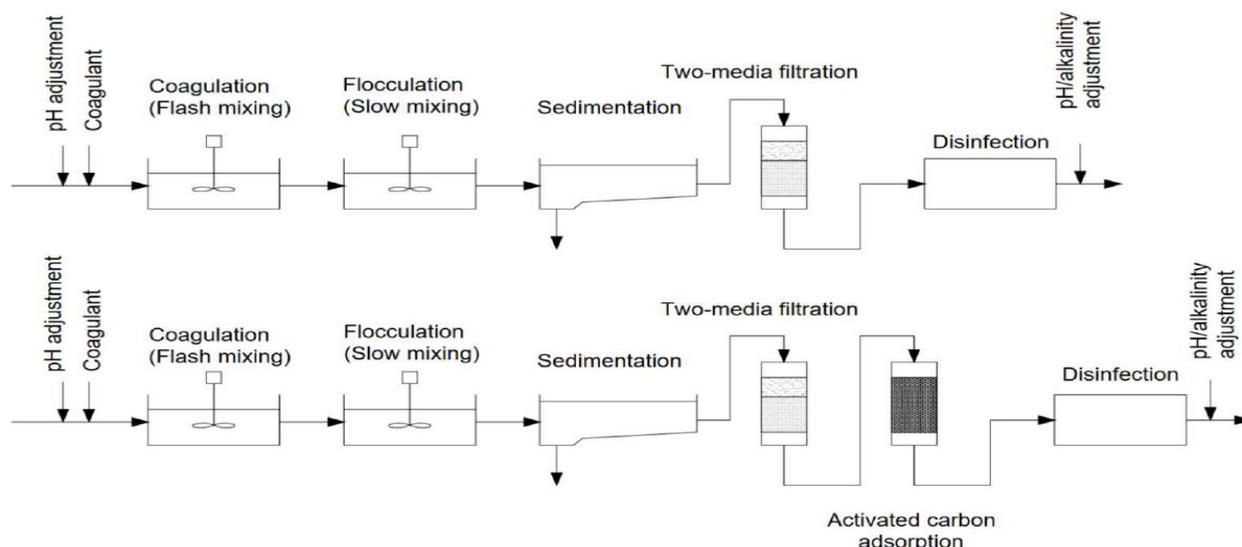


Figura 1: Sistema convencional de tratamiento del agua (adaptado por Takaara).

Aunque los objetivos específicos del tratamiento de las aguas superficiales pueden variar en función de la fuente, la calidad del agua y las normas reglamentarias, los parámetros que suelen requerir una reducción son los mismos para la mayoría de las aguas superficiales e incluyen la turbidez, el color y el contenido de materia orgánica. Los métodos actuales de depuración de aguas superficiales incluyen la adsorción, la filtración por membrana, el intercambio iónico, los procesos de oxidación avanzada y los procesos biológicos. Sin embargo, la coagulación tradicional sigue siendo el método más utilizado¹².

El sistema convencional de tratamiento del agua consiste en la coagulación seguida de sedimentación, filtración y, a menudo, adsorción de carbón activado (Figura 1)^{10,12}.

3.- MATERIALES Y METODOS

Preparación de la solución coagulante a partir de extracto de semillas de Moringa oleífera.

Para la preparación de la solución biocoagulante se siguió la ideología de diversos autores (Alam et al., 2020; Alazaiza et al., 2022a). Según los autores, para una turbidez inicial de 50 NTU, la mejor dosificación para el biocoagulante acuoso sería a una concentración del 2%, con 2 g de la muestra molida de semillas de Moringa oleífera en 100 ml de agua destilada. El procedimiento utilizado fue el siguiente:

- La figura 2 muestra las semillas de Moringa Oleífera en dos situaciones: en primer lugar, las semillas con cáscara y, en segundo lugar, las semillas peladas con un cuchillo.

	<p>PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DEL EXTRACTO DE SEMILLAS DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE</p>	<p>Disciplina UNESCO 3308.06</p>
<p>ARTICULO INVESTIGACION</p>	<p>Nicolau Penicela Chirinza, Paulino Vasco Mariano Muguirrima, Federico León Zerpa*, Alejandro Ramos Martín, Carlos Alberto Mendieta Pino</p>	



Figura 2: Semilla de Moringa molida.

Para mejorar el contacto entre las partículas, fue necesario reducir el tamaño de las partículas de las semillas utilizando un molino de cuchillas.

- b) El compuesto activo se extrajo como sigue:
- I. Utilizando una espátula y una balanza analítica, se pesaron 2 g de polvo de semilla de Moringa oleifera;
 - II. Se utilizó un vaso de precipitados de 100 ml para medir 100 ml de agua destilada;
 - III. Se añadieron 2 g de polvo de semilla de Moringa oleifera a un vaso de 600 ml y, a continuación, se añadieron 100 ml de agua destilada al mismo vaso.
 - IV. La mezcla se colocó en un agitador magnético para agitarla intensamente durante 4 minutos. La solución obtenida en estas condiciones corresponde a una concentración de semillas molidas de Moringa oleifera de 20 g/l.

La mezcla de semillas molidas de Moringa oleifera y agua destilada da como resultado un líquido blanquecino de olor intenso. Su vida útil es limitada debido a su biodegradación. Por esta razón, las soluciones de extracto de semillas de Moringa oleifera se prepararon los días del Jar Test.

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras la recogida de las muestras, fue necesario realizar un análisis de los distintos parámetros, incluidos la turbidez, los sólidos disueltos totales, la temperatura, el pH, el aluminio, el hierro y el manganeso, antes de la prueba de la jarra, para poder comparar los parámetros analizados antes y después del tratamiento del agua bruta. Cabe señalar que la tabla 1 muestra los valores de los análisis de los parámetros del agua bruta mencionados.

Tabla 1. Resultados de los análisis de los distintos parámetros del agua bruta

Agua bruta	Turbidez (NTU)	TDS (mg/l)	Temperatura (°C)	pH	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)
Muestra 1	44	89,9	34,0	7,54	0,095	1,500	0,8
Muestra 2	30	84,3	35,6	7,61	0,082	0,101	0,5
Muestra 3	57	86,2	33,2	7,43	0,109	1,520	0,3

Evaluación de la eficacia del coagulante Moringa Oleifera frente al coagulante Sulfato de Aluminio. En términos de turbidez en tres ensayos analizados por separado utilizando los dos tipos de coagulante (aceite de Moringa y sulfato de aluminio). Esta información figura en los cuadros 2 y 3.

Prueba del frasco con solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera.

Tabla 2: Resultados de turbidez en las pruebas de jarras utilizando la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera.

Volumen (ml)	4	5	6	7	8
Turbidez tras la prueba 1 (NTU)	10,4	8,6	6,8	4,9	6,2
Turbidez tras la prueba 2 (NTU)	6,6	6,0	5,9	5,6	4,4
Turbidez después de la prueba 3 (NTU)	5,8	5,4	6,1	16,15	15,1

	<p>PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DEL EXTRACTO DE SEMILLAS DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE</p>	<p>Disciplina UNESCO 3308.06</p>
<p>ARTICULO INVESTIGACION</p>	<p>Nicolau Penicela Chirinza, Paulino Vasco Mariano Muguirrima, Federico León Zerpa*, Alejandro Ramos Martín, Carlos Alberto Mendieta Pino</p>	

Prueba del frasco con solución coagulante de sulfato de aluminio.

Tabla 3: Resultados de las pruebas de jarras con la solución coagulante de sulfato de aluminio.

Volumen (ml)	4	5	6	7	8
Turbidez tras la prueba 1 (NTU)	29,0	11,2	9,1	3,9	3,4
Turbidez tras la prueba 2 (NTU)	27,6	17,0	5,84	3,9	3,0
Turbidez después de la prueba 3 (NTU)	8,81	4,2	4,8	5,9	6,0

Tras los ensayos de jarras utilizando la solución coagulante de extracto de semillas de Moringa oleifera y la solución coagulante de sulfato de aluminio, se conservaron las muestras con la mejor turbidez. A continuación, se analizaron los parámetros (turbidez, sólidos disueltos totales, temperatura, pH, aluminio, hierro y manganeso). En las tablas 4, 5 y 6 se ofrece más información al respecto.

Tabla 4: Resultados de los análisis de los parámetros tras tratar el agua bruta con la solución coagulante del extracto de semillas de Moringa oleifera .

	Turbidez (NTU)	TDS (mg/l)	Temperatura (°C)	pH	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)
Prueba 1	4,9	89,8	34,0	7,76	0,034	0,23	0,3
Prueba 2	4,4	89,9	33,3	7,74	0,047	0,10	0,3
Prueba 3	5,4	80,2	33,8	7,32	0,008	0,15	0,3

Tabla 5 Resultados de los análisis de los parámetros después de tratar el agua bruta con la solución coagulante de sulfato de aluminio.

	Turbidez (NTU)	TDS (mg/l)	Temperatura (°C)	pH	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)
Prueba 1	3,4	97,5	34,3	6,51	0,108	0,27	0,5
Prueba 2	3,0	101,1	32,6	6,73	0,102	0,51	0,5
Prueba 3	4,2	94,4	32,9	6,70	0,115	0,18	0,7

Evaluación comparativa de la eficacia de eliminación de la concentración de parámetros en el tratamiento de agua bruta utilizando coagulante de extracto de Moringa oleifera frente a coagulante de sulfato de aluminio.

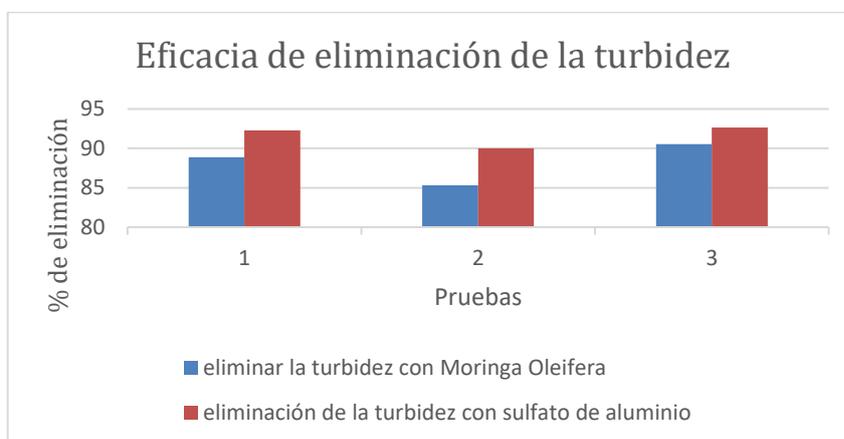
Turbidez

Tabla 6: Eficacia de eliminación de la turbidez al final de las pruebas utilizando la solución coagulante de extracto de semillas de Moringa oleifera y la solución coagulante de sulfato de aluminio.

	Eficacia de eliminación de la turbidez con Moringa oleifera (%)	Eficacia de eliminación de la turbidez con sulfato de aluminio (%)
Prueba 1	88,86364	92,27273
Prueba 2	85,33333	90
Prueba 3	90,52632	92,63158

	<p>PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DEL EXTRACTO DE SEMILLAS DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE</p>	<p>Disciplina UNESCO 3308.06</p>
<p>ARTICULO INVESTIGACION</p>	<p>Nicolau Penicela Chirinza, Paulino Vasco Mariano Muguirrima, Federico León Zepa*, Alejandro Ramos Martín, Carlos Alberto Mendieta Pino</p>	

Figura 3. Evaluación comparativa de la eficiencia de eliminación de turbidez al final de las pruebas utilizando la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera y la solución coagulante de sulfato de aluminio.



El uso del coagulante de extracto de Moringa Oleifera obtuvo resultados inferiores en relación con la eficacia de eliminación utilizando el coagulante de sulfato de aluminio, pero según ^{16,17}Sin embargo, al final de las pruebas, el uso de la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera consiguió hasta un 90,52632% de eliminación en la prueba 3, y en las pruebas 1 y 2 eliminó un 88,86364 y un 85,33333% respectivamente.

Sólidos disueltos totales

La Tabla 6 muestra los valores de eficiencia de remoción de sólidos disueltos totales después de las pruebas utilizando la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera y la solución coagulante de sulfato de aluminio.

Tabla 6: Evaluación comparativa de la eficiencia de eliminación de sólidos disueltos totales al final de las pruebas utilizando la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera y la solución coagulante de sulfato de aluminio.

	Eficacia de eliminación de SDT con Moringa oleifera (%)	Eficacia de eliminación de SDT con sulfato de aluminio (%)
Prueba 1	0,11123	-8,4538
Prueba 2	-6,6429	-19,929
Prueba 3	6,96056	-9,5128

Los resultados de la eficiencia de eliminación de sólidos disueltos totales mostraron una baja eficiencia de eliminación tanto para el tratamiento con la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera como para la solución coagulante de sulfato de aluminio, pero el uso de la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera demostró ser más eficiente en la eliminación de sólidos disueltos totales, con hasta un 6,96056% de eliminación para el ensayo 3. Para el tratamiento con sulfato de aluminio, los resultados no fueron satisfactorios, obteniéndose valores negativos, es decir, aumentando la concentración de sólidos disueltos totales en todos los ensayos.

Temperatura

La tabla 7 muestra los valores de variación de la temperatura tras las pruebas realizadas con la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera y la solución coagulante de sulfato de aluminio.

	<p>PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DEL EXTRACTO DE SEMILLAS DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE</p>	<p>Disciplina UNESCO 3308.06</p>
<p>ARTICULO INVESTIGACION</p>	<p>Nicolau Penicela Chirinza, Paulino Vasco Mariano Muguirrima, Federico León Zepa*, Alejandro Ramos Martín, Carlos Alberto Mendieta Pino</p>	

Tabla 7. 1Variación de la temperatura al final de las pruebas con la solución coagulante de Moringa oleifera y la solución coagulante de sulfato de aluminio.

	Variación de la temperatura con Moringa oleifera	Variación de la temperatura con sulfato de aluminio
Prueba 1	0	0,3
Prueba 2	-2,3	-3
Prueba 3	0,6	-0,3

La tabla 7 muestra que hubo pequeñas variaciones de temperatura al final de las pruebas. Los valores de temperatura al final de las pruebas se mantuvieron próximos al valor del agua bruta para cada muestra, con una variación máxima de 3 °C más para la prueba 2, en la que se utilizó la solución coagulante de sulfato de aluminio, y una variación mínima de 0 °C para la prueba 1, en la que se utilizó la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera.

Potencial de hidrógeno

La Tabla 8 y el Gráfico 4 muestran los valores de variación del pH después de las pruebas con la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera y la solución coagulante de sulfato de aluminio.

Tabla 8: Variación del pH al final de las pruebas utilizando la solución coagulante de extracto de semillas de Moringa oleifera y la solución coagulante de sulfato de aluminio.

	Variación del pH con Moringa oleifera	Variación del pH con sulfato de aluminio
Prueba 1	0,22	-1,03
Prueba 2	0,13	-0,88
Prueba 3	-0,11	-0,73

Varios estudios que han utilizado sulfato de aluminio para tratar el agua señalan una disminución del pH en relación con su valor inicial¹⁸⁻²⁰. Durante las pruebas de coagulación/floculación y sedimentación, este descenso se observó en los valores de pH de las pruebas que utilizaron la solución coagulante de sulfato de aluminio, y cuando se utilizó la solución coagulante de extracto de semillas de Moringa oleifera, se produjo un ligero aumento de los valores en las pruebas 1 y 2, y un ligero descenso en la prueba 3 en relación con los valores iniciales. La Tabla 8 y el Gráfico 4 muestran que hubo mayores variaciones de pH en las pruebas con la solución coagulante de sulfato de aluminio. Los valores de pH al final de las pruebas mostraron que el uso de la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera fue más satisfactorio que los obtenidos con la solución coagulante de sulfato de aluminio, siendo la menor variación 0,11 unidades menos en la prueba 3 con la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera y la mayor variación 1,03 unidades menos en la prueba 1 con la solución coagulante de sulfato de aluminio.

Aluminio

La Tabla 9 muestra los valores de eficiencia de remoción de aluminio después de las pruebas utilizando la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera y la solución coagulante de sulfato de aluminio.

Tabla 9: Eficacia de eliminación del aluminio al final de las pruebas utilizando la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera y la solución coagulante de sulfato de aluminio.

	Eficacia de la eliminación del aluminio con Moringa oleifera (%)	Eficacia de la eliminación del aluminio con sulfato de aluminio (%)
Prueba 1	64,21053	-13,6842
Prueba 2	42,68293	-24,3902
Prueba 3	92,66055	-5,50459

La remoción de aluminio en el tratamiento con la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera mostró mejor eficiencia, alcanzando hasta 92,66055% en la prueba 3, y fue más eficiente en todas las pruebas, con las pruebas 1 y 2 removiendo hasta 64,21053 y 42,68293%. Con el uso de la solución coagulante de sulfato de aluminio, los resultados fueron negativos en términos de eliminación, con un aumento de la concentración de aluminio de hasta el 24,3902% en el tratamiento de la muestra 2, teniendo las muestras 1 y 3 un aumento del 13,6842% y 5,50459% en relación con el agua bruta para ambas muestras.

	<p>PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DEL EXTRACTO DE SEMILLAS DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE</p>	<p>Disciplina UNESCO 3308.06</p>
<p>ARTICULO INVESTIGACION</p>	<p>Nicolau Penicela Chirinza, Paulino Vasco Mariano Muguirrima, Federico León Zerpa*, Alejandro Ramos Martín, Carlos Alberto Mendieta Pino</p>	

Hierro

La Tabla 10 muestra los valores de eficiencia de eliminación de hierro después de las pruebas con la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera y la solución coagulante de sulfato de aluminio.

Tabla 10. Eficacia de eliminación del hierro al final de las pruebas utilizando la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera y la solución coagulante de sulfato de aluminio.

	Eficacia de la eliminación de hierro con Moringa oleifera (%)	Eficacia de eliminación del hierro con sulfato de aluminio (%)
Prueba 1	84,6667	82
Prueba 2	90,099	49,505
Prueba 3	90,1316	88,1579

En cuanto a la eliminación de hierro, el tratamiento con la solución coagulante de extracto de semillas de Moringa oleifera mostró una mayor eficacia, alcanzando hasta un 90,1316% en el ensayo 3, y fue más eficaz en todos los ensayos, ya que los ensayos 1 y 2 eliminaron hasta un 84,6667 y un 90,099%. Con el uso de la solución coagulante de sulfato de aluminio, los resultados fueron inferiores a los obtenidos con el uso de la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera, pero satisfactorios, alcanzando una eficiencia máxima de eliminación del 88,1579% en el ensayo 3, y los ensayos 1 y 2 la redujeron en un 82 y un 49,505% en comparación con el agua bruta para ambas muestras.

Manganeso

La tabla 11 muestra los valores de eficiencia de eliminación del manganeso tras las pruebas realizadas con la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera y la solución coagulante de sulfato de aluminio.

Tabla 11: Eficacia de eliminación del manganeso al final de las pruebas utilizando la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera y la solución coagulante de sulfato de aluminio.

	Eficacia de eliminación del manganeso con Moringa Oleifera (%)	Eficacia emocional de eliminación del manganeso con sulfato de aluminio (%)
Prueba 1	62,5	37,5
Prueba 2	40	0
Prueba 3	0	-133,333

En cuanto a la eliminación del manganeso, el tratamiento con la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera mostró una mayor eficacia, alcanzando hasta el 62,5% en el ensayo 1, y fue más eficaz en todos los ensayos, ya que los ensayos 2 y 3 redujeron el 40 y el 0% de manganeso. Con el uso de la solución coagulante de sulfato de aluminio, los resultados fueron inferiores a los obtenidos con el uso de la solución coagulante de extracto de semilla de Moringa oleifera, alcanzándose una eficiencia máxima de eliminación del 37,5% en el ensayo 1, manteniendo el ensayo 2 la misma concentración en relación con el agua bruta y aumentando el ensayo 1 un 133,333% en relación con el agua bruta.

El artículo se ha centrado en la prueba 2, buscando los datos más adecuados para reducir la coagulación y mejorar la limpieza. En cuanto a la eliminación de turbidez, el uso de la solución coagulante de sulfato de aluminio demostró ser más eficaz, alcanzando un 92,63158 % de eliminación en la prueba 3, con mejores resultados en las pruebas 1 y 2, con un 92,27273 y un 90%, respectivamente. El coagulante extraído de las semillas de Moringa oleifera suele dar resultados satisfactorios en términos de eliminación de turbidez, alcanzando reducciones del 80 al 99% para este parámetro^{6,11}. Al final de los ensayos, el uso de la solución coagulante de extracto de semillas de Moringa oleifera alcanzó hasta un 90,52632% de eliminación en el ensayo 3, habiendo eliminado los ensayos 1 y 2 un 88,86 y un 85,33% respectivamente.

Aunque la eficiencia de eliminación al utilizar la solución coagulante de extracto de semillas de Moringa oleifera es inferior a la eficiencia de eliminación al utilizar la solución coagulante de sulfato de aluminio, los resultados obtenidos en las pruebas 1 y 2 cumplen los límites establecidos por el Reglamento sobre la calidad del agua de consumo humano. A la vista de los resultados obtenidos, el uso del coagulante de Moringa oleifera es muy recomendable en términos de calidad ambiental y salud humana.

Las ventajas de utilizar Moringa oleifera como coagulante en comparación con el coagulante sulfato de aluminio son muy visibles, desde el bajo coste de adquisición hasta la facilidad de manipulación sin posibilidad de subproductos contaminantes en el medio ambiente. En el caso concreto de una planta de tratamiento de agua potable de Mozambique, la obtención de sulfato de aluminio es muy costosa porque depende del mercado internacional. También es fácil preparar este material orgánico como coagulante, sin necesidad de tecnología punta. Se ha tenido en cuenta su observación y se han realizado experimentos con distintas cantidades de agua para descartar la hipótesis de que los resultados puedan variar en otras condiciones. Se ha realizado un estudio sobre los

	<p>PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DEL EXTRACTO DE SEMILLAS DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE</p>	<p>Disciplina UNESCO 3308.06</p>
<p>ARTICULO INVESTIGACION</p>	<p>Nicolau Penicela Chirinza, Paulino Vasco Mariano Muguirrima, Federico León Zepa*, Alejandro Ramos Martín, Carlos Alberto Mendieta Pino</p>	

precios de la moringa a nivel internacional. Se puede encontrar en diferentes formas, con precios variables. En España, por ejemplo, el polvo de moringa cuesta aproximadamente 65 euros por kilo, mientras que las hojas secas enteras pueden costar hasta 118 euros por kilo en la Unión Europea. Es evidente que estos precios son considerablemente más bajos en los países de origen, como Mozambique, donde los precios pueden ser tan bajos como la mitad de la media de la Unión Europea. Además, los precios en el resto del continente africano y Sudamérica también son similares.

4.- CONCLUSIONES

El uso del coagulante de Moringa oleifera es muy recomendable porque su preparación es óptima y cumple la norma exigida para la potabilidad del agua. Desde el punto de vista de la evaluación económica y de la calidad medioambiental, el uso del coagulante de Moringa oleifera también es muy valioso, ya que su adquisición y preparación no requieren una gran cantidad de tecnología ni de energía. Los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio de los diversos parámetros en tres pruebas mostraron resultados satisfactorios y una perfecta eficacia de eliminación, aunque se recomienda el uso del coagulante en la propuesta. En cuanto a la calidad ambiental, no aporta subproductos contaminantes al medio ambiente ni la posibilidad de contaminar el agua tratada.

REFERENCIAS

- [1] Urrea-Florián, S. and Torres-Benítez, A., "Evaluation of Seeds Moringa oleifera Lam. Present in Urban Forests as a Coagulant-Flocculant for Water Treatment," 5 February 2021, 1, MDPI AG.
- [2] Elsergany, M., "The Potential Use of Moringa peregrina Seeds and Seed Extract as a Bio-Coagulant for Water Purification," *Water (Switzerland)* **15**(15) (2023).
- [3] Thanekar, P. and Gogate, P., "Application of hydrodynamic cavitation reactors for treatment of wastewater containing organic pollutants: Intensification using hybrid approaches," *Fluids* **3**(4) (2018).
- [4] Chales, G. G., Tihameri, B. S., Milhan, N. V. M., Koga-Ito, C. Y., Antunes, M. L. P. and Reis, A. G. Dos., "Impact of Moringa oleifera Seed-Derived Coagulants Processing Steps on Physicochemical, Residual Organic, and Cytotoxicity Properties of Treated Water," *Water (Switzerland)* **14**(13) (2022).
- [5] Piñero, J. C., Souder, S. K., Smith, T. R. and Vargas, R. I., "Attraction of *Bactrocera cucurbitae* and *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) to beer waste and other protein sources laced with ammonium acetate."
- [6] Rodrigues, A. C., Moreira, P., Oliveira, J. A., Melo, L. and Brito, A. G., "LIQUID EFFLUENT TREATMENT IN THE FOOD INDUSTRY: THE CASE OF THE WINE AND BEER SECTORS."
- [7] Hadadi, A., Imessaoudene, A., Bollinger, J. C., Assadi, A. A., Amrane, A. and Mouni, L., "Comparison of Four Plant-Based Bio-Coagulants Performances against Alum and Ferric Chloride in the Turbidity Improvement of Bentonite Synthetic Water," *Water (Switzerland)* **14**(20) (2022).
- [8] Alazaiza, M. Y. D., Albahnasawi, A., Ali, G. A. M., Bashir, M. J. K., Nassani, D. E., Al Maskari, T., Abu Amr, S. S. and Abujazar, M. S. S., "Application of Natural Coagulants for Pharmaceutical Removal from Water and Wastewater: A Review," *Water (Switzerland)* **14**(2) (2022).
- [9] Alam, M. W., Pandey, P., Khan, F., Souayah, B. and Farhan, M., "Study to investigate the potential of combined extract of leaves and seeds of moringa oleifera in groundwater purification," *Int J Environ Res Public Health* **17**(20), 1-13 (2020).
- [10] Takaara, T. and Kurumada, K., "Optimum Conditions for Enhancing Chitosan-Assisted Coagulation in Drinking Water Treatment," *Sustainability* **15**(19), 14197 (2023).
- [11] Alazaiza, M. Y. D., Albahnasawi, A., Ali, G. A. M., Bashir, M. J. K., Nassani, D. E., Al Maskari, T., Abu Amr, S. S. and Abujazar, M. S. S., "Application of Natural Coagulants for Pharmaceutical Removal from Water and Wastewater: A Review," *Water (Switzerland)* **14**(2) (2022).
- [12] Knap-Baldyga, A. and Żubrowska-Sudoł, M., "Natural Organic Matter Removal in Surface Water Treatment via Coagulation-Current Issues, Potential Solutions, and New Findings," *Sustainability* **15**(18), 13853 (2023).
- [13] Ribeiro, T., Ladeia Janz, F. J., Vizibelli, D., Borges, J. C. Â., Borssoi, J. A., Fukumoto, A. A. F., Bergamasco, R., Ueda Yamaguchi, N. and Pereira, E. R., "Magnetic Natural Coagulants for Plastic Recycling Industry Wastewater Treatability," *Water (Switzerland)* **15**(7) (2023).
- [14] Khumalo, S. M., Bakare, B. F., Rathilal, S. and Tetteh, E. K., "Characterisation of South African Brewery Wastewater: Oxidation-Reduction Potential Variation," *Water (Switzerland)* **14**(10) (2022).
- [15] Kesarwani, S., Panwar, D., Mal, J., Pradhan, N. and Rani, R., "Constructed Wetland Coupled Microbial Fuel Cell: A Clean Technology for Sustainable Treatment of Wastewater and Bioelectricity Generation," *Fermentation* **9**(1) (2023).
- [16] Naz, I., Ahmad, I., Aslam, R. W., Quddoos, A. and Yaseen, A., "Integrated Assessment and Geostatistical Evaluation of Groundwater Quality through Water Quality Indices," *Water (Basel)* **16**(1), 63 (2023).
- [17] Periyasamy, A. P., "Recent Advances in the Remediation of Textile-Dye-Containing Wastewater: Prioritising Human Health and Sustainable Wastewater Treatment," *Sustainability (Switzerland)* **16**(2) (2024).
- [18] Ramsuroop, J., Gutu, L., Ayinde, W. B., Basitere, M. and Manono, M. S., "A Review of Biological Processes for Dairy Wastewater Treatment and the Effect of Physical Parameters Which Affect Their Efficiency," *Water (Basel)* **16**(4), 537 (2024).
- [19] Naz, I., Ahmad, I., Aslam, R. W., Quddoos, A. and Yaseen, A., "Integrated Assessment and Geostatistical Evaluation of Groundwater Quality through Water Quality Indices," *Water (Basel)* **16**(1), 63 (2023).
- [20] Sanciole, P., Sharma, A. K., Navaratna, D. and Muthukumaran, S., "Stormwater Treatment Using Natural and Engineered Options in an Urban Growth Area: A Case Study in the West of Melbourne," *Water (Switzerland)* **15**(23) (2023).

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es financiado a cargo de fondos propios de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria de 2023, con título PIE "Aplicación de técnicas de aprendizaje activo y colaborativo en laboratorios como entornos de trabajo. Diseño, desarrollo y adaptación de equipos para su aplicación en sesiones de prácticas" y código PIE 2023-60 de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Esta investigación ha sido cofinanciada también por el programa de Cooperación INTERREG V-A, España-Portugal MAC (Madeira-Azores-Canarias) 2014-2020, proyecto MITIMAC (MAC2/1.1a/263).