

Evaluación del extracto de semillas de moringa como coagulante natural para la reducción de la turbidez del agua en el proceso de tratamiento del acueducto Mariano Ospina en el municipio de Guasca, Cundinamarca

Evaluation of moringa seed extract as a natural coagulant for turbidity reduction in the water treatment process of the Mariano Ospina water supply system in the municipality of Guasca, Cundinamarca

Arevalo J., Bernal M., Castañeda K. y Cardenas C.

Departamento de Ingeniería de Alimentos, Fundación Universitaria Agraria de Colombia (UNIAGRARIA), Bogotá D.C., Colombia

Fecha de recepción: marzo de 2021 / Fecha de aceptación: junio de 2021

Resumen

La investigación en Guasca (Cundinamarca) evaluó el uso de extracto de semillas de *Moringa oleífera* como coagulante natural para mejorar la potabilización en el acueducto comunitario Mariano Ospina. Mediante pruebas de jarras se determinó una dosis preliminar óptima de 0,05 g/L y, tras ajustar condiciones de agitación y reposo, se alcanzó con 0,08 g/L una turbidez residual de 1,8 NTU en 168 horas, cumpliendo la Resolución 2115 de 2007. El análisis en SIG evidenció la relación directa entre lluvias intensas y el aumento de turbidez en la fuente hídrica. Además, se identificaron beneficios sociales, económicos y ambientales del uso de moringa en comunidades rurales sin acceso a tecnologías convencionales. Finalmente, se propuso el diseño hidráulico de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en *Environmental Protection Agency Network* (EPANET) como insumo técnico, confirmando que la moringa es una alternativa ecológica, accesible y normativamente viable para la gestión del agua en zonas rurales con alta variabilidad climática.

Palabras clave: biocoagulantes, pruebas de jarras, potabilización rural, modelación hidráulica, sostenibilidad.

* Correspondencia: cardenas.cristhian@uniagraria.edu.co

Abstract

The study conducted in Guasca (Cundinamarca) evaluated the use of *Moringa oleifera* seed extract as a natural coagulant to improve water treatment at the Mariano Ospina community water system. Jug tests determined a preliminary optimal dose of 0.05 g/L, and after adjusting agitation and settling conditions, a residual turbidity of 1.8 NTU was achieved at 0.08 g/L within 168 hours, in compliance with Resolution 2115 of 2007. GIS analysis revealed a direct relationship between heavy rainfall and increased turbidity in the water source. Additionally, social, economic, and environmental benefits of using moringa were identified in rural communities without access to conventional technologies. Finally, the hydraulic design of the Drinking Water Treatment Plant (DWTP) was proposed using the Environmental Protection Agency Network (EPANET) as a technical input, confirming that moringa is an ecological, accessible, and regulatory-compliant alternative for water management in rural areas with high climatic variability.

Keywords: biocoagulants, jar tests, rural water treatment, hydraulic modeling, sustainability.

Introducción

En las zonas rurales de Colombia, el acceso al agua potable sigue siendo limitado, especialmente durante períodos de precipitación intensa que incrementan la turbidez de las fuentes superficiales. Esta situación afecta la eficacia de los procesos de potabilización, eleva los costos asociados al uso de coagulantes químicos y compromete la sostenibilidad de los acueductos comunitarios. El acueducto rural Mariano Ospina, ubicado en la vereda Pastor Ospina (Guasca, Cundinamarca), enfrenta regularmente estas dificultades debido a las condiciones climáticas variables y a las características fisicoquímicas del afluente. Ante este panorama, se exploró el uso del extracto de semillas de *Moringa oleifera* como alternativa sostenible para el tratamiento de agua. Esta planta, de rápido crecimiento y fácil adaptación, posee propiedades coagulantes naturales que favorecen la reducción de la turbidez (Sánchez-Peña y Martínez-Ávila, 2013; Liñán, 2010; Parrotta, 1993).

La investigación se desarrolló en dos fases experimentales mediante pruebas de jarras: en la primera se determinó una dosis preliminar óptima de 0,05 g/L, y en la segunda, tras ajustar las condiciones de agitación y reposo, se alcanzó una turbidez residual de 1,8 NTU (unidades nefelométricas de turbidez) con 0,08 g/L después de 168 horas, cumpliendo con la Resolución 2115 de 2007 (Ministerio de la Protección Social, 2007).

El estudio se enmarca en la Resolución 0622 de 2020, que regula la calidad del agua para consumo humano en Colombia (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020). Los hallazgos destacan a la moringa como una opción ecológica, accesible y normativamente viable para comunidades rurales, y sugieren el diseño hidráulico de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en *Environmental Protection Agency Network* (EPANET) como insumo técnico para futuras optimizaciones operativas.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficacia del extracto de semillas de *Moringa oleifera* como coagulante natural para la reducción de la turbidez en el agua cruda del acueducto comunitario Mariano Ospina.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló mediante un enfoque experimental y documental para evaluar el uso de *Moringa oleifera* como coagulante natural en el tratamiento de agua del acueducto rural Mariano Ospina, en el municipio de Guasca (Cundinamarca). Inicialmente, se realizó un muestreo in situ en la captación de la PTAP, recolectando aproximadamente 18 L de agua cruda para su análisis en laboratorio.

Las semillas de moringa fueron recolectadas, secadas, limpiadas, deshidratadas en horno a 120 °C y trituradas hasta obtener un polvo fino utilizado como biocoagulante.

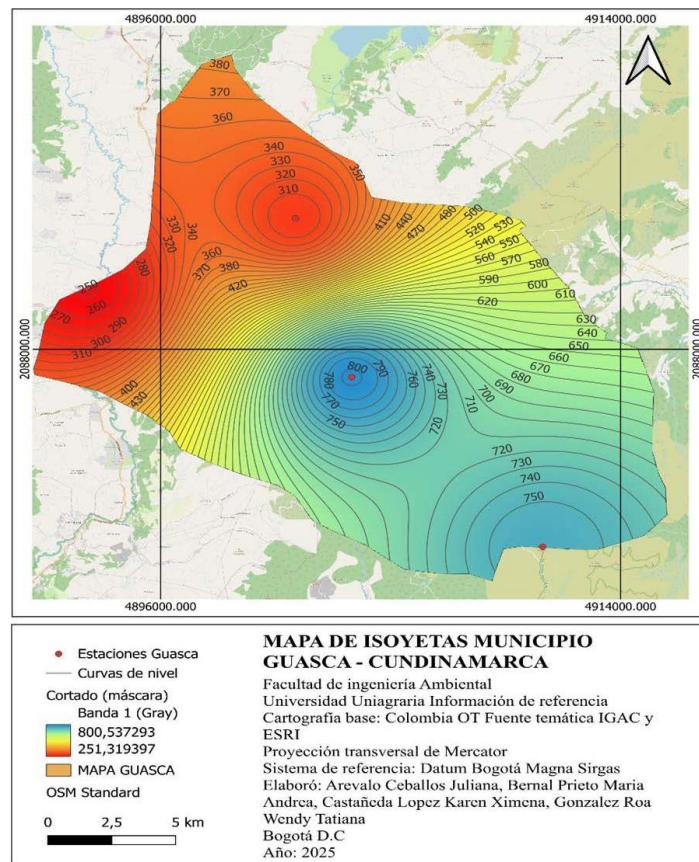
Posteriormente, se realizaron dos pruebas de jarras con diferentes concentraciones del coagulante (0,04–0,10 g/L), aplicando procesos de agitación rápida y lenta para favorecer la coagulación, floculación y sedimentación, midiendo la turbidez y el pH antes y después del tratamiento.

Adicionalmente, se integró información secundaria proveniente de entidades oficiales (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Gobernación de Cundinamarca e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)).

Para el análisis territorial se utilizaron imágenes satelitales y datos geospaciales obtenidos mediante Google Earth y capas cartográficas en QGIS, lo que permitió identificar la zona de captación, analizar la topografía y generar mapas de precipitación mediante interpolación por distancia inversa ponderada (IDW) e isoyetas (Figura 1).

Finalmente, los resultados fueron comparados con la normativa colombiana de calidad del agua potable (Resolución 2115 de 2007 y Resolución 622 de 2020).

Figura 1. Mapa de isoyetas, municipio de Guasca, Cundinamarca.



Fuente. Elaboración propia.

Resultados y discusión

Resultados fase 1

El presente estudio se centró en evaluar la eficacia del extracto de semillas de *Moringa oleifera* como coagulante natural para la reducción de la turbidez en el agua cruda captada por el acueducto rural Mariano Ospina, ubicado en el municipio de Guasca. La metodología experimental se basó en la aplicación de pruebas de tratabilidad a escala de laboratorio (test de jarras), las cuales permitieron determinar la dosis óptima de coagulante necesaria para lograr una clarificación eficiente del recurso hídrico.

Las caracterizaciones fisicoquímicas iniciales del agua de fuente revelaron una turbidez de 13 NTU. Durante la prueba de jarras, se evaluaron diferentes dosificaciones del extracto de *Moringa oleifera*. Se observó que la aplicación de una dosis de 0,05 g de extracto resultó ser la más eficiente para la remoción de turbidez, alcanzando un valor residual de 4,26 NTU. Al incrementar la dosificación a 0,1 g, la turbidez residual aumentó a 5,34 NTU. Este comportamiento evidencia una respuesta no lineal a la dosis aplicada y sugiere que el aumento de la dosificación no potencia su eficiencia.

A continuación, se presenta la Tabla 1 y la Figura 2, donde se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 1. Promedio de variación por dosificación.

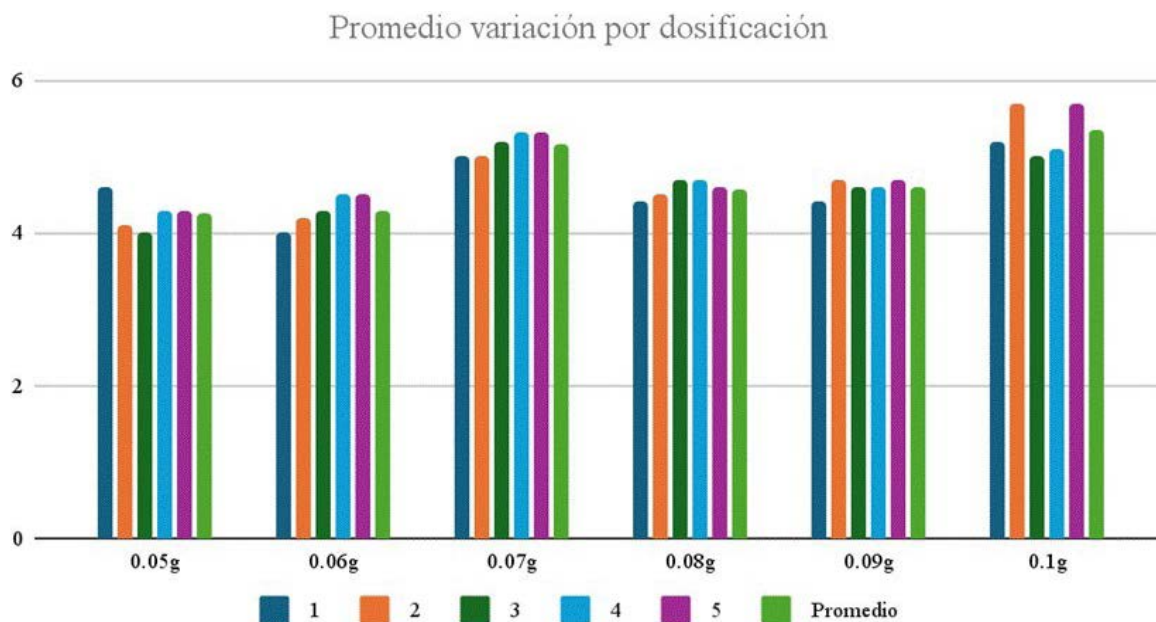
Número de la prueba	Cantidad de moringa (g/L)					
	0,05g	0,06g	0,07g	0,08g	0,09g	0,1g
1	4,6	4	5	4,4	4,4	5,2
2	4,1	4,2	5	4,5	4,7	5,7
3	4	4,3	5,2	4,7	4,6	5
4	4,3	4,5	5,3	4,7	4,6	5,1
5	4,3	4,5	5,3	4,6	4,7	5,7
Promedio	4,26	4,3	5,16	4,58	4,6	5,34

Fuente. Elaboración propia.

Paralelamente a la evaluación de la eficiencia del coagulante, se realizó un análisis espacial utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para investigar la relación entre la dinámica de la precipitación y las fluctuaciones en la turbidez del agua

cruda en la zona de estudio. La elaboración de mapas de isoyetas permitió visualizar una correlación directa entre los eventos de precipitación de alta intensidad y el incremento significativo en los niveles de turbidez del agua.

Figura 2. Promedio de variación por dosificación.



Fuente. Elaboración propia.

Este hallazgo subraya la vulnerabilidad de la fuente hídrica ante la variabilidad climática y resalta la necesidad de implementar estrategias de potabilización más robustas y resilientes. En este contexto, el uso del extracto de *Moringa oleifera* se presenta como una alternativa tecnológica sostenible, particularmente adecuada para optimizar el proceso de tratamiento en escenarios de alta variabilidad hidrológica, como los influenciados por eventos de precipitación extremos.

Los resultados obtenidos en esta investigación se alinean con los requisitos de calidad de agua apta para el consumo humano establecidos en la Resolución 0622 de 2020 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, la cual define los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que debe cumplir el agua para consumo humano.

Para una interpretación detallada de los hallazgos, se incluye en el anexo la tabla que resume los datos brutos y calculados de las pruebas de jarras, así como el mapa de isoyetas que espacializa la relación entre precipitación y turbidez en la cuenca de captación del acueducto Mariano Ospina.

Resultados fase 2

Luego de la primera fase del estudio, en la que se estableció la dosis óptima del extracto de *Moringa oleifera* para la remoción de turbidez, se desarrolló una segunda etapa experimental orientada a evaluar la estabilidad del tratamiento en el tiempo. Esta fase tuvo como propósito analizar las variaciones del pH y la turbidez del agua tratada con diferentes concentraciones del coagulante natural durante un periodo de 168 horas, con el fin de determinar la

eficiencia sostenida del biocoagulante y su influencia sobre las condiciones fisicoquímicas del recurso hídrico.

Los valores iniciales de pH fueron de 6,0 en todas las muestras, observándose un ligero incremento tras la aplicación del coagulante, alcanzando valores entre 6,8 y 7,0. Después de 168 horas, el pH se mantuvo estable, con variaciones mínimas que oscilaron entre 6,5 y 7,0, lo que indica que la adición del extracto no generó alteraciones significativas en la alcalinidad del agua tratada. En cuanto a la turbidez, se observó una reducción progresiva en función de la dosis aplicada.

La turbidez inicial de 50,1 NTU disminuyó notablemente tras el tratamiento y continuó reduciéndose durante las 168 horas de reposo, alcanzando valores entre 8,2 y 1,8 NTU, según la concentración de moringa utilizada. Las dosis de 0,07 g, 0,08 g y 0,09 g presentaron los mejores resultados, con remociones superiores al 90 % respecto a la turbidez inicial.

La Tabla 2 resume los valores registrados de pH y turbidez antes del tratamiento, inmediatamente después y tras 168 horas de sedimentación:

Tabla 2. Promedio de variación por dosificación de fase.

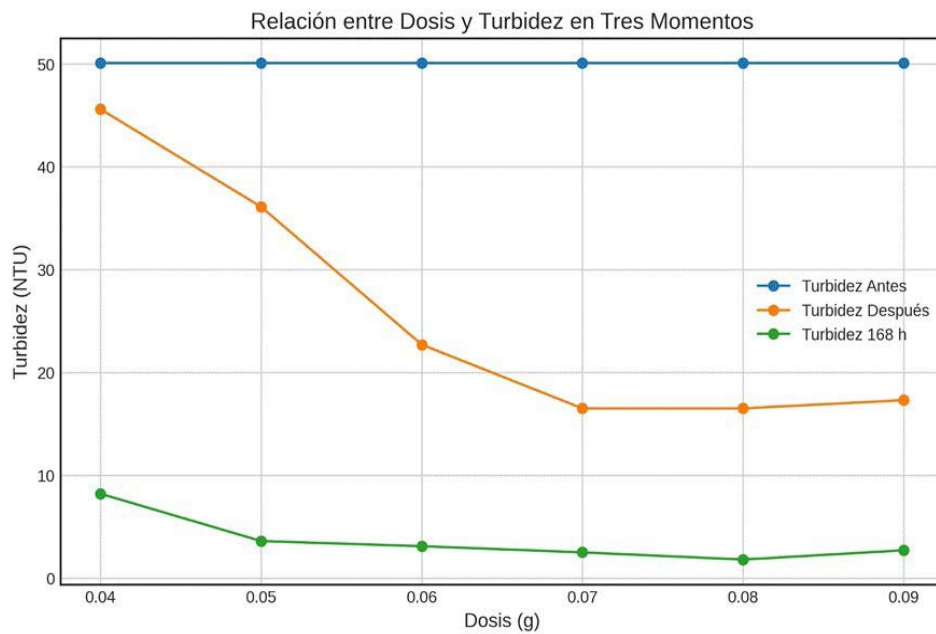
Dosis (g)	pH Antes	pH Después	pH 168 h	Turbidez antes (NTU)	Turbidez después (NTU)	Turbidez 168 h (NTU)
0,04	6	6,8	6,5	50,1	45,6	8,2
0,05	6	6,9	6,5	50,1	36,1	3,6
0,06	6	6,8	6,5	50,1	22,7	3,1
0,07	6	6,9	6,5	50,1	16,5	2,5
0,08	6	7	7	50,1	16,5	1,8
0,09	6	7	6,5	50,1	17,3	2,7

Fuente. Elaboración propia.

Los resultados confirman que el extracto de *Moringa oleifera* actúa eficazmente como coagulante natural, reduciendo la turbidez sin afectar significativamente el pH del agua (Figura 3).

Este comportamiento sugiere que el biocoagulante puede emplearse de forma segura en sistemas de tratamiento rural sin generar impactos negativos sobre la calidad química del recurso.

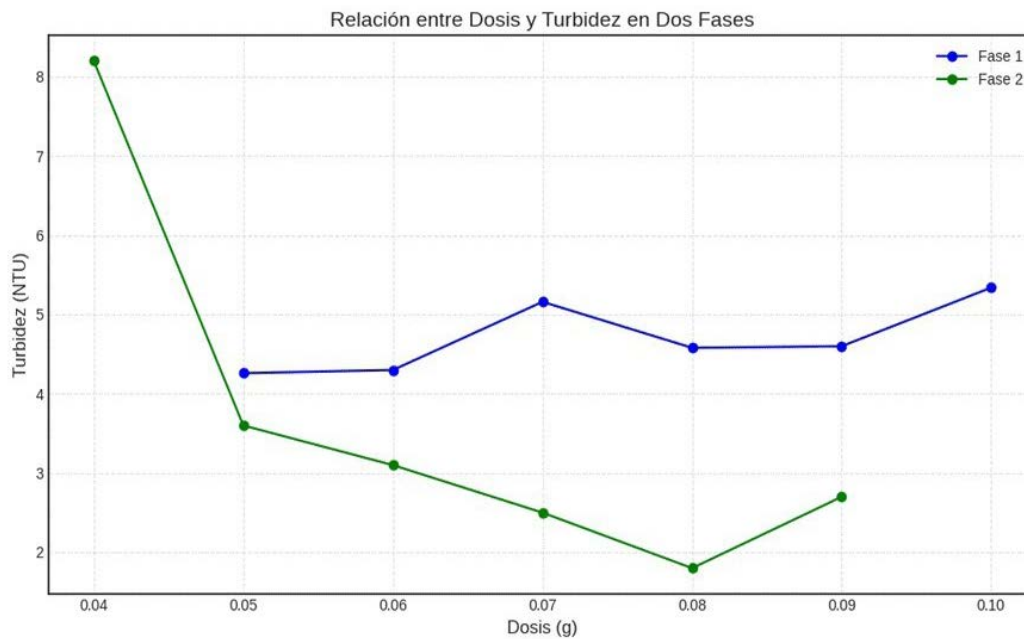
Figura 3. Promedio de variación por dosificación.



Fuente. Elaboración propia.

Comparación

Figura 4. Comparación fase 1 y fase 2.



Fuente. Elaboración propia.

La comparación entre la fase 1 y la fase 2 del tratamiento revela diferencias significativas en la eficiencia de remoción de turbidez según la dosis y el tiempo de exposición (Figura 4).

En la fase 1, con dosis entre 0,05 g y 0,10 g, los valores de turbidez oscilaron entre 4,26 y 5,34 NTU, sin una tendencia clara de mejora, lo que sugiere una efectividad limitada del tratamiento en ese momento.

En cambio, la fase 2, con dosis entre 0,04 g y 0,09 g y un periodo de exposición prolongado de 168 horas, mostró una reducción marcada de la turbidez, alcanzando valores tan bajos como 1,8 NTU, especialmente con la dosis de 0,08 g.

Estos resultados evidencian que el tiempo de contacto es un factor determinante para optimizar el proceso de clarificación y que dosis moderadas pueden ser más efectivas si se les permite actuar durante un periodo adecuado.

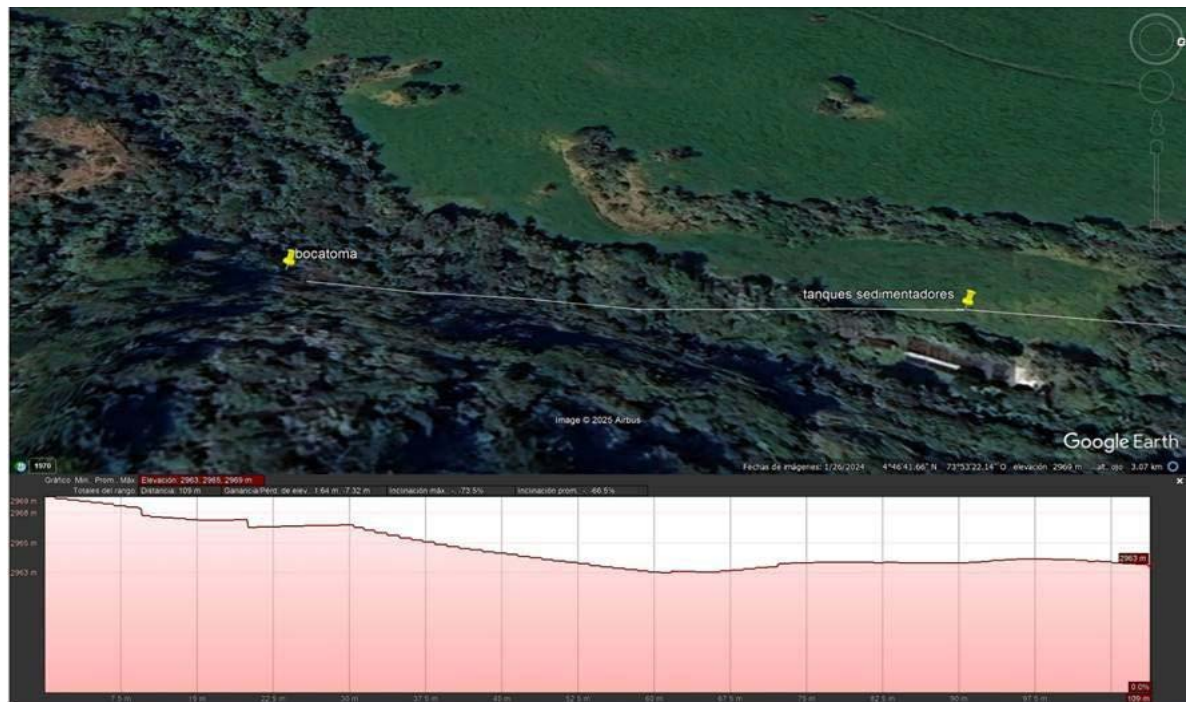
Como parte del componente técnico de esta investigación, se desarrolló un modelo hidráulico en EPANET para simular el comportamiento del sistema de tratamiento y distribución de agua del acueducto comunitario Mariano Ospina. Este modelo permitió evaluar la eficiencia de sistema bajo condiciones reales de operación, considerando la topografía del terreno, el perfil de elevación y las características estructurales del sistema (Figuras 5, 6, 7 y 8).

Figura 5. Diseño de la PTAP mediante Google Earth.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 6. Perfil de elevación ruta 1, Bocatoma - tanque sedimentador.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 7. Perfil de elevación ruta 2, tanque sedimentador - tanque clorador.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 8. Perfil de elevación ruta 3, tanque clorador - vereda.

Fuente. Elaboración propia.

Para el análisis normativo, con base en los resultados obtenidos en las pruebas de jarras, se realizó una comparación directa con los parámetros establecidos en la Resolución 2115 de 2007, la cual define los límites máximos permisibles para el agua destinada al consumo humano. En particular, se evaluaron los valores de turbidez y pH residual tras el tratamiento con diferentes concentraciones de *Moringa oleifera*. En la fase 1, la dosis de 0,05 g/L logró una turbidez residual promedio de 4,26 NTU, valor que, si bien representa una reducción significativa respecto a la turbidez inicial (13 NTU), no cumple con el límite normativo de ≤ 2 NTU.

En la fase 2, con condiciones optimizadas de agitación y reposo, la dosis de 0,08 g/L alcanzó una turbidez final de 1,8 NTU

después de 168 horas, cumpliendo con el estándar establecido por la normativa. Este resultado demuestra que, bajo condiciones controladas, el extracto de moringa puede ser una alternativa técnicamente viable y legalmente aceptable para el tratamiento de agua en contextos rurales.

En cuanto al pH, se observó que todas las muestras tratadas mantuvieron valores dentro del rango permitido por la normativa (6,5 - 9,0), con variaciones mínimas entre 6,5 y 7,0. Esto indica que el uso del coagulante natural no altera significativamente la alcalinidad del agua.

Estos hallazgos permiten concluir que el tratamiento con *Moringa oleifera*, bajo condiciones adecuadas de dosificación y operación, puede cumplir con los requisitos

de calidad del agua establecidos por la legislación colombiana, lo que respalda su implementación como una tecnología apropiada en sistemas comunitarios de abastecimiento.

El análisis económico y social realizado en esta investigación permitió identificar múltiples beneficios derivados del uso de *Moringa oleifera* como coagulante natural en el tratamiento de agua potable en contextos rurales. A partir de la revisión bibliográfica, la caracterización territorial del municipio de Guasca y la comparación con tecnologías convencionales, se obtuvieron los siguientes hallazgos:

- **Reducción de costos operativos:**

El uso de la moringa permite disminuir significativamente el gasto en insumos químicos, que representan una parte considerable del presupuesto de operación en plantas de tratamiento rurales. Al ser una especie de fácil cultivo y procesamiento local, se elimina la dependencia de proveedores externos y se promueve el aprovechamiento de recursos naturales disponibles en el territorio.

- **Accesibilidad tecnológica:**

La preparación del coagulante a partir de semillas secas y trituradas puede realizarse con herramientas básicas, sin necesidad de infraestructura especializada. Esto facilita su adopción por comunidades rurales con limitaciones técnicas y económicas, y permite replicar el proceso en otros sistemas comunitarios.

- **Autonomía comunitaria:**

La implementación de tecnologías apropiadas como el uso de la moringa fortalece la autosuficiencia de las comunidades en la gestión del recurso hídrico. Al reducir la necesidad de insumos industriales, se promueve una mayor participación local en los procesos de tratamiento, mantenimiento y monitoreo del sistema.

- **Impacto ambiental positivo:**

A diferencia de los coagulantes químicos, el extracto de moringa no genera residuos tóxicos ni altera significativamente la composición química del agua tratada. Esto contribuye a la protección de los ecosistemas locales y a la sostenibilidad del sistema de abastecimiento.

Conclusiones

En ambas fases experimentales se comprobó la eficacia del extracto de semillas de *Moringa oleifera* en la reducción de la turbidez del agua cruda del acueducto Mariano Ospina. La fase 1 mostró disminuciones moderadas con dosis entre 0,05 g y 0,10 g, mientras que en la fase 2, bajo condiciones optimizadas, se alcanzó una turbidez residual de 1,8 NTU, cumpliendo con la Resolución 2115 de 2007. Estos resultados validan la viabilidad técnica y normativa del coagulante natural en sistemas comunitarios rurales, con remociones superiores al 90 % y estabilidad en el pH durante procesos prolongados de sedimentación.

La investigación también evidenció la correlación entre lluvias intensas y el incremento de la turbidez mediante cartografía en SIG, aportando herramientas para anticipar escenarios críticos. Además, se consolidó un protocolo experimental replicable y se diseñó un modelo hidráulico en EPANET, confirmando la compatibilidad del sistema con tecnologías apropiadas como la moringa. En conjunto, los hallazgos destacan la importancia de esta alternativa accesible, biodegradable y de bajo costo, la cual fortalece la autosuficiencia comunitaria y ofrece beneficios sociales, ambientales y técnicos para la gestión sostenible del agua en áreas rurales.

Referencias

- Liñán, C. M. (2010). *La Moringa, el árbol milagroso*. Centro de Agricultura Tropical.
- Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (4 de julio de 2007). Resolución 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>
- Ministerio de Salud y Protección Social y Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (20 de abril de 2020). Resolución 0622 de 2020. Por la cual se adopta el protocolo de inspección, vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano suministrada por personas prestadoras del servicio público domiciliario de acueducto en zona rural, y se dictan otras disposiciones. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/resolucion-622-de-2020.pdf>
- Parrotta, J. A. (1993). *Moringa oleifera Lam.: Reseda, horseradish tree, benzolive tree*. USDA Forest Service.
- Sánchez-Peña, R. S. y Martínez-Ávila, J. (2013). Evaluación del uso de la semilla de *Moringa oleifera* en el tratamiento de aguas turbias. *Revista Colombiana de Química*, 42(1), 41-49.