

Identificación de un coagulante orgánico para el tratamiento del agua en el acueducto veredal Rancho Largo, municipio de Samaná

Identification of an Organic Coagulant for Water Treatment in the Rancho Largo Village Aqueduct, Municipality of Samaná

Gustavo Adolfo Calle Clavijo¹
Claudia Lorena Betancur²

¹ Ingeniero Ambiental, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). calle.100@hotmail.com

² Magister en Gestión Ambiental y Ciencias Biológicas. Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). claudia.betancur@unad.edu.co

Resumen

El tratamiento del agua para consumo humano es un proceso de suma importancia que requiere diversas etapas, entre ellas la coagulación. En esta fase, se busca la remoción de sólidos suspendidos, disueltos, y de una gran parte de microorganismos mediante la aplicación de sustancias químicas, orgánicas o sintéticas con propiedades coagulantes. Esta investigación se basó en la identificación de un coagulante orgánico que pueda reemplazar al sulfato de aluminio granulado, actualmente utilizado en el tratamiento del agua en el acueducto veredal Rancho Largo, ubicado en el municipio de Samaná. Se encontraron trazas de aluminio superiores a 0,2 mg/L Al^{3+} , valor máximo permisible según la resolución 2115 de 2007. Para llevar a cabo el estudio, se seleccionaron tres productos orgánicos: moringa, plátano hartón y yuca, los cuales poseen propiedades coagulantes efectivas para eliminar la turbidez y el color del agua. Se realizó una caracterización del agua de la fuente captada, tomando 300 ml de muestra para análisis microbiológico, se identificaron bacterias como *Escherichia coli* y coliformes; 1000 ml para estudios fisicoquímicos, considerando variables como pH, conductividad, color, turbidez, alcalinidad, dureza, aluminio residual y nitritos; y 108000 ml para ensayos de jarras. De cada coagulante se utilizó la semilla pulverizada de moringa y del almidón de yuca y de plátano. Antes de iniciar los ensayos de jarras, se prepararon soluciones al 1% con cada producto, aplicándose dosis de 30 ppm (partes por millón), 40 ppm, 50 ppm, 60 ppm, 70 ppm y 75 ppm respectivamente. Se realizaron tres réplicas por coagulante, para un total de nueve ensayos. Con los resultados obtenidos, se calculó un promedio de remoción de turbidez y color final en comparación con los datos iniciales.

LATUERKA

Se observó que la semilla de moringa fue la más efectiva, logrando una remoción de turbidez del 78,8% y de color del 61%, siendo el coagulante orgánico más destacado. Sin embargo, la semilla de moringa no cumple con los requisitos para reemplazar completamente al sulfato de aluminio, aunque puede emplearse como coadyuvante en el proceso de coagulación, reduciendo la dosis de aluminio y, por ende, los riesgos para la salud y el medio ambiente.

Palabras clave: Moringa, yuca, plátano, coagulante, agua, aluminio, potabilización.

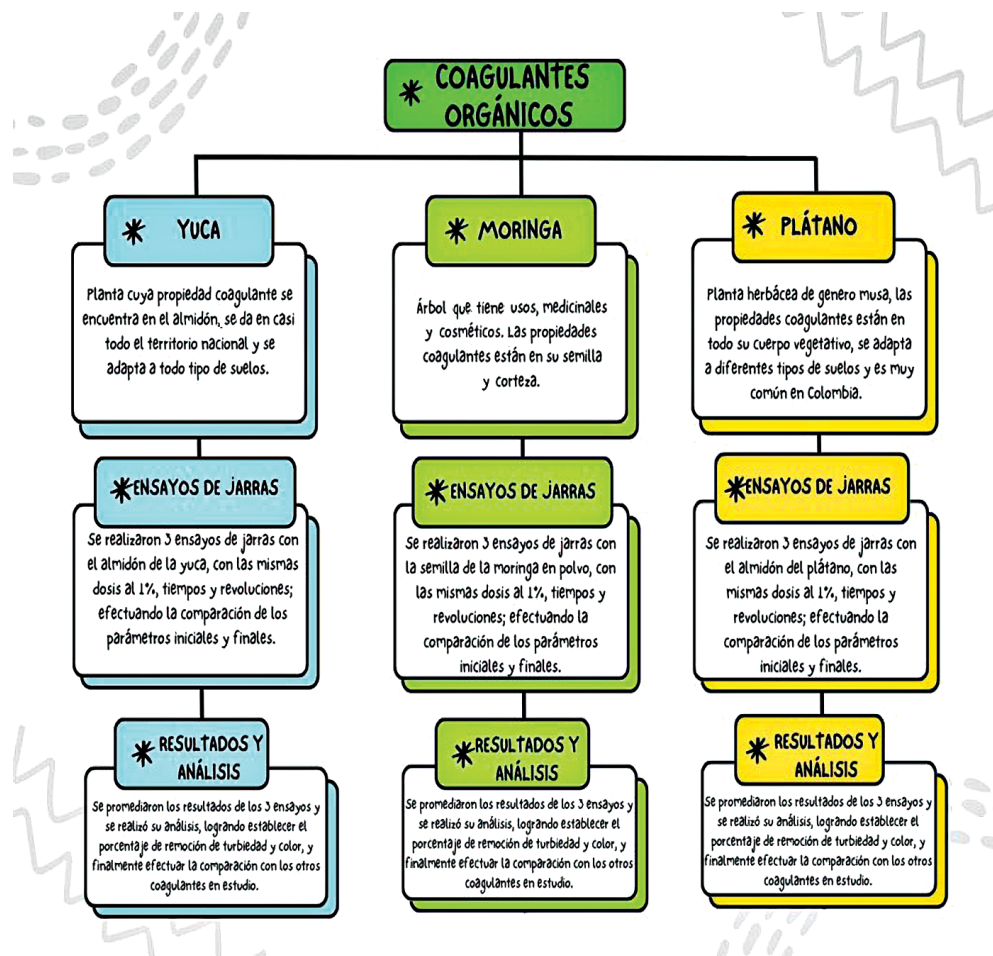
Abstract

Water treatment for human consumption is a crucial process that requires several stages, including coagulation. In this stage, the removal of suspended and dissolved solids and a large portion of microorganisms is achieved through the application of chemical, organic, or synthetic substances with coagulant properties. This research focuses on identifying an organic coagulant that can replace the granulated aluminum sulfate currently used in the water treatment of the Rancho Largo aqueduct, located in the municipality of Samaná. Traces of aluminum exceeding 0.2 mg Al³⁺/L, the maximum permissible value according to Resolution 2115 of 2007, were found. To conduct this study, three organic products were selected: moringa, hartón plantain, and cassava, as they contain properties effective for coagulation,

eliminating turbidity and color from the water. A characterization of the water from the source was carried out, with 300 ml of sample taken for microbiological analysis (considering variables such as *Escherichia coli* and coliforms), 1000 ml for physicochemical analysis (analyzing variables such as pH, conductivity, color, turbidity, alkalinity, hardness, residual aluminum, and nitrites), and 108000 ml for jar tests. For each organic coagulant, the moringa seed was powdered, and the starch was extracted from cassava and plantain. Before starting the jar tests, 1% solutions were prepared with each product, and doses of 30 ppm, 40 ppm, 50 ppm, 60 ppm, 70 ppm, and 75 ppm were applied to six jugs. Three replicates were made for each coagulant, totaling nine tests. With the results obtained, the average removal of turbidity and final color was calculated compared to the initial data. It was found that moringa seed achieved the highest effectiveness, with 78.8% turbidity removal and 61% color removal, making it the most representative organic coagulant. However, the moringa seed does not meet the requirements to fully replace aluminum sulfate for turbidity and color removal; it can, nevertheless, be used as an adjuvant in the coagulation process when mixed with a chemical polymer, reducing the aluminum dosage and thus the risk to consumers' health and the environment.

Keywords: Moringa, cassava, plantain, coagulant, water, aluminum, purification.

Imagen 1. Resumen gráfico



Fuente: Creación propia

Introducción

El acceso a agua potable es uno de los indicadores clave de la calidad de vida de una población. Según Laurencio Ricardo (2005), el tratamiento del agua cruda consiste en un proceso fisicoquímico en el que se eliminan impurezas y microorganismos que pueden afectar la salud de los consumidores. Este tratamiento incluye varias etapas: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y, finalmente, desinfección.

Durante la coagulación, se aplica una sustancia con propiedades coagulantes que, al entrar en contacto con el agua, genera una reacción

química que provoca un cambio iónico. Esta transformación permite la desestabilización de las partículas suspendidas y disueltas, lo que facilita su atracción y aglomeración, resultando en la formación del floc (aglutinación de partículas sólidas, generadas en los procesos de coagulación y floculación) (Lorenzo-Acosta, 2006).

En la etapa de floculación, el floc adquiere la consistencia y densidad necesarias mediante la acción de un movimiento hidráulico o mecánico controlado. Posteriormente, en la etapa de sedimentación, el floc se precipita al alcanzar un peso adecuado, lo que da

lugar a la clarificación del agua, dejándola lista para los procesos de filtración, desinfección y, finalmente, distribución a los usuarios (Lorenzo-Acosta, 2006).

El coagulante más común utilizado en el tratamiento del agua del acueducto veredal Rancho Largo es el sulfato de aluminio granulado. Este coagulante ha demostrado ser muy eficaz en la remoción de turbidez y color del agua. No obstante, su correcta dosificación es crucial, ya que un exceso de sulfato de aluminio puede causar efectos negativos en la salud de los consumidores y en el medio ambiente al ser liberado en cuerpos de agua (González, 2007).

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo beneficiar a la comunidad de la vereda Rancho Largo, en el municipio de Samaná, departamento de Caldas, que es abastecida de agua potable por el acueducto veredal. Para ello, se busca identificar un coagulante orgánico entre tres opciones: semilla de moringa, almidón de plátano y almidón de yuca. Mediante ensayos de jarras, se evaluará cuál de estos coagulantes ofrece mejores resultados en la remoción de turbidez y color, proporcionando la información necesaria para seleccionar un coagulante que pueda reemplazar al sulfato de aluminio utilizado en la potabilización del agua de este acueducto. De este modo, se garantizará agua de calidad que cumpla con las normativas vigentes, sin generar efectos negativos en la salud de los usuarios ni en el medio ambiente.

Metodología

El estudio se llevó a cabo en la vereda Rancho Largo, donde se ubica la bocatoma encargada de captar el agua cruda y transportarla a la planta de tratamiento. Esta estructura es de tipo transversal con rejilla y cuenta con un desarenador. La vegetación circundante es densa debido a la limitada intervención humana, lo cual favorece

la conservación de este espacio, esencial para la comunidad.

Para realizar los procesos de análisis fisicoquímico, análisis microbiológico y pruebas de jarras, se desarrollaron los siguientes ensayos:

Toma de muestras

Se realizaron tomas de muestras puntuales en la bocatoma ubicada en la quebrada La Oscura, desde donde se capta el agua utilizada para abastecer la planta de tratamiento del acueducto veredal Rancho Largo. Se tomaron tres tipos de muestras: para análisis fisicoquímico, para análisis microbiológico y para pruebas de jarras.

Toma de muestras para análisis fisicoquímicos

Para las muestras destinadas a los análisis fisicoquímicos, se utilizaron frascos de polietileno en buen estado, con una capacidad mínima de 1000 ml y tapa de rosca. Las muestras se recolectaron directamente en los desarenadores de la bocatoma. Durante el transporte, se utilizó una nevera de icopor con geles congelados para mantener la cadena de frío, y no se emplearon conservantes.

Análisis fisicoquímicos

Para alcanzar los objetivos de esta investigación, los análisis fisicoquímicos se realizaron con el fin de evaluar el estado de los parámetros del agua a examinar, así como aquellos que influyen directamente en el proceso de coagulación. Las variables observadas fueron pH, alcalinidad, aluminio residual, conductividad, cloruros, dureza, nitritos, sulfatos, turbidez, color, temperatura, hierro.

Potencial de Hidrógeno (pH)

Este parámetro se midió mediante el método electroquímico usado para determinar el pH de soluciones acuosas, indicando el grado de acidez o alcalinidad. El equipo utilizado fue un

multiparámetro HACH HQ40d, que indica la diferencia del potencial eléctrico o actividad de los iones de hidrógeno, entre un electrodo estándar de hidrógeno y un electrodo de referencia. (Giraldo y Ortiz, 1999).

Alcalinidad

La alcalinidad se determinó mediante el método de volumetría tradicional, utilizando indicadores como la fenolftaleína (punto de viraje a pH 8,3) y el verde de bromocresol (punto de viraje a pH 4,5) (Giraldo y Ortiz, 1999). A continuación se muestra la fórmula para determinar la alcalinidad de una solución. (Giraldo y Ortiz, 1999).

Fórmula de alcalinidad

$$\text{Alcalinidad} = \frac{V_T * N_{HCL} * 50000}{V_m}$$

V_T = Volumen usado de HCL

N_{HCL} = Normalidad del HCL

V_m = Volumen de la muestra de agua

Aluminio Residual

El aluminio residual se midió utilizando el método colorimétrico con un kit específico (*Mcolor test* de aluminio), que incluye un manual de uso con los reactivos necesarios para el análisis (Giraldo y Ortiz, 1999).

Conductividad

La conductividad se determinó mediante el método electrométrico, utilizando un conductímetro calibrado. El equipo empleado fue el multiparámetro HACH HQ40d (Giraldo y Ortiz, 1999).

Cloruros

Los cloruros se determinaron utilizando el método argentométrico, en el cual el cromato de potasio actúa como indicador del punto final de la titulación con nitrato de plata. El cloruro de plata precipita antes de que se forme cromato de plata, lo que provoca un cambio de color a rojo (Giraldo y Ortiz, 1999).

Dureza

La dureza se determinó mediante el método titulométrico, utilizando EDTA (Titriplex). Este procedimiento consiste en agregar una pasta de tampón a la muestra, seguida de 1 ml de hidróxido de amonio, para luego proceder a la titulación con EDTA (Giraldo y Ortiz, 1999). Se presenta la fórmula para calcular dureza:

Fórmula para determinar dureza

$$\text{Dureza} = \frac{V_{EDTA} * N_{EDTA} * 100.000}{V_m}$$

V_{EDTA} = Volumen usado de EDTA

N_{EDTA} = Normalidad del EDTA

V_m = Volumen de la muestra de agua

Nitritos

Los nitritos se analizaron mediante método colorimétrico utilizando un kit específico (*Mcolor test Nitrite test*), que incluye los reactivos necesarios para la medición (Giraldo y Ortiz, 1999).

Sulfatos

El análisis de sulfatos se realizó mediante el método nefelométrico, que emplea un turbidímetro. En esta prueba, se añadió un reactivo llamado *Sulfaver* a 10 ml de muestra, se agitó la solución y se dejó reposar por 5 minutos antes de medir la turbidez. Se utilizó un turbidímetro *VELP Scientifica* y los reactivos *Sulfaver Permachem Reagents* de HACH (Giraldo y Ortiz, 1999).

Turbidez

La turbidez se midió mediante el método nefelométrico, utilizando un turbidímetro *VELP Scientifica*, que mide la dispersión de un rayo de luz al pasar por la muestra (Giraldo y Ortiz, 1999).

Color

El color del agua se evaluó mediante el método de comparación visual, utilizando patrones preparados con una solución madre de color

a 500 UPC (unidades de platino-cobalto para color) (Giraldo y Ortiz, 1999).

Temperatura

La temperatura es una medida que indica el grado de calor o frío que tiene una sustancia o elemento, y se mide en diferentes escalas: Kelvin, Celsius, Fahrenheit, Rankine o Réaumur. Esta variable afecta el tiempo de formación del flóculo: cuanto más fría esté el agua, más lenta será la reacción del coagulante y, por ende, mayor el tiempo de formación del flóculo. Para medir este parámetro se utilizó un termómetro comercial.

Toma de muestras para análisis microbiológicos

Las muestras para los análisis microbiológicos se recolectaron en frascos de vidrio esterilizados con tapas de rosca herméticas, con una capacidad mínima de 300 ml. Los recipientes fueron esterilizados durante 20 minutos a 121 °C y 1 atmósfera de presión en autoclave. Estas muestras también fueron transportadas en una nevera de icopor con geles congelados para conservar la cadena de frío, sin utilizar ningún tipo de conservante.

Análisis Microbiológico

El análisis microbiológico se realizó mediante la técnica de filtración por membrana, utilizando como medio de cultivo el *m-Colibblue24*. (Giraldo y Ortiz, 1999).

Prueba de Jarras

La prueba de jarras es un proceso de laboratorio realizado con un floculador *Jartex* (E & Q Floculador), en el cual se aplican diferentes volúmenes de coagulante en jarras para determinar la dosis óptima necesaria para remover turbidez y color del agua. La prueba consistió en añadir la solución coagulante preparada a las jarras y

agitarlas a 300 rpm (revoluciones por minuto) durante 5 segundos, seguido de 40 rpm durante 20 minutos. Al finalizar este tiempo, se dejó reposar la mezcla durante 15 minutos antes de proceder a analizar los parámetros mencionados previamente (Giraldo y Ortiz, 1999).

Extracción de coagulantes orgánicos

La obtención de polímeros orgánicos para el tratamiento del agua se basa en la extracción de sus propiedades coagulantes, ya que estas permiten desestabilizar las moléculas que causan turbidez en el agua, facilitando su atracción y precipitación (Trujillo et al., 2014).

Extracción de la semilla de moringa

Las semillas de moringa oleífera contienen un alto contenido de aceite vegetal, el cual debe ser extraído para aprovechar la proteína presente, esencial en el proceso de coagulación del agua. El procedimiento se realizó en cuatro pasos y comenzó con el descascarado manual de las semillas para eliminar el aceite; luego se sometieron a prensado en frío utilizando una prensa hidráulica. El aceite resultante se recuperó, y la torta o residuo prensado se secó y se trituró, obteniéndose así el coagulante en polvo de la semilla de moringa. (Jairo et al., 2014).

Procedimiento para extracción de la semilla triturada de la moringa

1. Descascarado de la semilla: Las semillas se seleccionaron de acuerdo con su tamaño y se sometieron a prensado en frío; fueron descascaradas para obtener únicamente el contenido interno, que posee las propiedades coagulantes necesarias.
2. Prensado de la semilla: Las semillas preparadas se prensaron en una prensa hidráulica, obteniéndose la semilla libre de aceite, la cual fue utilizada en las pruebas de jarras.
3. Secado de la semilla comprimida: La torta resultante del prensado se dejó secar, ya que

esta es la que proporcionará el coagulante en polvo.

4. Triturado de la semilla comprimida: Una vez seca la torta, se trituró hasta obtener un polvo fino, el cual se empleó como coagulante en los ensayos.

Extracción del almidón de yuca

El proceso de extracción del almidón de yuca se realizó en cinco pasos: inició con el lavado y pelado de éste producto orgánico. Posteriormente, la yuca se maceró finamente mediante cuchillas, formando una pasta que liberó el almidón. El almidón y el agua se separaron a través de coladores mecánicos, eliminando fibras y proteínas. El almidón se sedimentó en canales de decantación, y luego se secó a temperaturas de 40 a 50°C para eliminar trazas de agua. Este proceso transformó la yuca en almidón listo para su uso como coagulante. (Torres et al., 2005).

Procedimiento para extracción del almidón de la yuca

1. Lavado y pelado: La yuca se lavó con abundante agua para eliminar impurezas y luego se procedió a quitarle la corteza.
2. Picado en trozos pequeños: la yuca se cortó en trozos pequeños.
3. Molido: Los trozos de yuca se molieron utilizando un molino convencional. Este procedimiento se repitió para garantizar que la pulpa obtenida fuera lo suficientemente fina.
4. Filtración: A la pulpa se le añadió un poco de agua, y luego se filtró utilizando una tela tupida que permitió extraer el jugo de la yuca. Este jugo se dejó reposar durante una hora, tiempo en el que el almidón se separó del agua, formando un precipitado blanco en el fondo del recipiente.
5. Secado: Una vez obtenido el almidón sedimentado en el fondo del recipiente, se secó al sol o en una bandeja a 40°C, hasta lograr su deshidratación completa, obteniendo finalmente el almidón de yuca en polvo.

Extracción del almidón de plátano

Este proceso se desarrolló en cinco pasos. Primero, se seleccionaron los plátanos más sanos. Se tomó una muestra y se pesó. Luego, se lavaron con agua potable y se sumergieron durante 10 minutos en una solución de hipoclorito de sodio al 1%. Posteriormente, se retiró la cáscara y se separó la pulpa. La pulpa se sometió a un tratamiento químico con ácido cítrico al 3% durante 15 minutos para evitar el pardeamiento. Después, se rebanaron los plátanos en rodajas de 4 mm de grosor, y se deshidrataron a 40°C durante 30 minutos. Finalmente, se molieron y tamizaron para eliminar impurezas y gránulos grandes (Miguel et al., 2008)

Procedimiento para extracción del almidón del plátano

1. Desinfección: Se utilizó hipoclorito comercial al 5,25%, preparando una solución al 1% de la siguiente manera: se midieron 1904,8 ml de hipoclorito comercial al 5,25% y se completaron hasta 10000 ml con agua. El plátano se dejó en remojo durante 10 minutos. A continuación se presenta la fórmula de este proceso (Giraldo y Ortiz, 1999).

Preparación de solución al 1%

$$1\%v/v = \frac{¿?ml}{10000ml} * 5.25\% \quad ¿?ml = \frac{1\% * 10000ml}{5.25\%} = 1904.8ml$$

2. Tratamiento químico: se preparó una solución de ácido cítrico al 3%, de la siguiente manera: se mezclaron 500 ml de agua con 30 gramos de ácido cítrico, se llevó la solución a un volumen total de 1000 ml con agua. Se obtuvo una solución al 3%. El plátano se peló y se dejó en remojo durante 15 minutos en esta mezcla. Se presenta la fórmula de este ensayo (Giraldo y Ortiz, 1999).

Preparación de solución ácido cítrico al 3%

$$3\%v/v = \frac{¿?gr}{1000ml} * 100\% \quad ¿?gr = \frac{3\% * 1000ml}{100\%} = 30gr$$

3. Rebanado: Los trozos de plátano fueron cortados en rodajas de aproximadamente 4 mm de grosor.
4. Secado: Las rodajas de plátano se esparcieron y se secaron en un horno a 40°C durante 30 minutos.
5. Triturado: Finalmente, las rodajas secas se trituraron en un molino convencional, obteniéndose almidón en polvo.

Resultados

Análisis Fisicoquímicos

Se consideraron los parámetros más relevantes para alcanzar una información precisa sobre el estado de la quebrada La Oscura y así realizar los procedimientos de manera adecuada. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Resultado	Técnica
Potencial de hidrógeno (pH)	6,94	Electrométrico
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /l)	7,6	Titulométrico
Aluminio residual (mg/l Al+3)	0,12	Comparación visual
Conductividad (μS/cm)	30,4	Electrométrico
Cloruros (mgCl-/l)	3,22	Titulométrico
Dureza (mg CaCO ₃ /l)	17,5	Titulométrico
Nitritos (mg NO ₂ /l)	0,03	Comparación visual
Sulfatos (mg SO ₄ /l)	2,5	Comparación visual
Turbidez (NTU)	37,7	Nefelómetro
Color (UPC)	210	Comparación visual
Temperatura (°C)	20	Electrométrico
Hierro (mg Fe/l)	0,02	Comparación visual

Fuente: creación propia

Análisis Microbiológico

El análisis microbiológico arrojó resultados clave, centrados en la presencia de dos clases de bacterias, *Escherichia coli* y coliformes, los cuales se muestran en la Tabla 2.

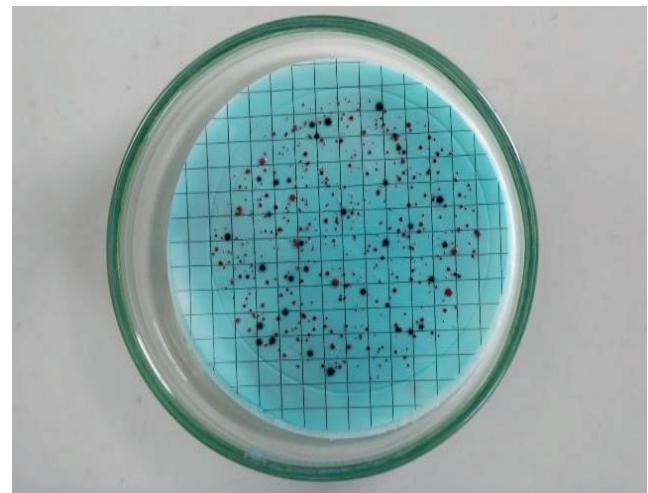
Tabla 2. Resultados microbiológicos

Bacterias	# De colonias
<i>Escherichia coli</i>	26
Coliformes	648

Fuente: creación propia

En la Imagen 2 se observa el resultado de la muestra microbiológica de agua de la quebrada La Oscura.

Imagen 2. Resultado microbiológico



Fuente: creación propia

Prueba de jarras

Se realizó pruebas de jarras a la muestra de agua tomada de la quebrada La Oscura, que abastece el acueducto veredal de Rancho Largo, utilizando los coagulantes orgánicos extraídos de la moringa, el almidón de yuca y el almidón de plátano.

Prueba de jarras con almidón de plátano

Se realizaron tres ensayos en los cuales se utilizó el almidón de plátano como coagulante al 1%. Se usaron seis jarras y se aplicaron diferentes

volúmenes y condiciones para evaluar la efectividad del coagulante en la remoción de turbidez y color. Los resultados de estas pruebas se presentan en las Tablas 3, 4 y 5.

Tabla 3. Resultados almidón de plátano 1

Prueba n° 1 almidón de plátano						
mezcla rápida (min)		0.083		revoluciones por minuto:		150
mezcla lenta (min)		20		revoluciones por minuto:		40
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada La Oscura						
turbiedad (ntu): 36.5				alcalinidad (mg/lcaco3):		5.7
color (upc):		150	temperatura (°c):		ph:	7.09
datos solución coagulante						
coagulante:		almidón de plátano		concentración de la solución (% p/v): 1		
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
Jarra n°	vol. solución coa- gulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coa- gulante en la jarra mg/1 (ppm)	concentración solución de alcali- nizante en la jarra mg/1 (ppm)	turbiedad final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	17.71	9.73	100
2	8	40	0	14.34	9.43	70
3	10	50	0	11.69	9.43	70
4	12	60	0	13.94	9.48	60
5	14	70	0	12.75	9.44	70
6	15	75	0	12.07	9.13	70

Fuente: creación propia

Tabla 4. Resultados almidón de plátano 2

Prueba n° 2 almidón de plátano							
mezcla rápida (min)		0.083		revoluciones por minuto:		150	
mezcla lenta (min)		20		revoluciones por minuto:		40	
datos agua cruda							
fuente de abastecimiento: quebrada La Oscura							
turbiedad (ntu): 72.7				alcalinidad (mg/lcaco3):		7	
color (upc):		310	temperatura (°c):		21	ph:	7.09
datos solución coagulante							
coagulante:		almidón de plátano		concentración de la solución (% p/v): 1			
datos prueba de jarras							
volumen jarra (l): 2							
Jarra n°	vol. solución coa- gulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coa- gulante en la jarra mg/1 (ppm)	concentración solución de alcali- nizante en la jarra mg/1 (ppm)	turbiedad final [ntu]	ph final	color final [upc]	
1	6	30	0	1.187	7.21	60	
2	8	40	0	1.314	7.28	70	
3	10	50	0	1.187	7.22	30	
4	12	60	0	1.020	7.21	50	
5	14	70	0	9.72	7.21	50	
6	15	75	0	1.038	7.17	50	

Fuente: creación propia

Tabla 5. Resultados almidón de plátano 3

Prueba n° 3 almidón de plátano						
mezcla rápida (min)		0.083		revoluciones por minuto:		150
mezcla lenta (min)		20		revoluciones por minuto:		40
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada La Oscura						
turbiedad (ntu): 64.1				alcalinidad (mg/lcaco3):		12
color (upc):		170	temperatura (°c):		21	ph: 7.22
datos solución coagulante						
coagulante:		almidón de plátano		concentración de la solución (% p/v): 1		
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
Jarra n°	vol. solución coagulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coagulante en la jarra mg/1 (ppm)	concentración solución de alcalinizante en la jarra mg/1 (ppm)	turbiedad final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	20.6	7.22	120
2	8	40	0	18.6	7.21	90
3	10	50	0	18.05	7.17	100
4	12	60	0	14.43	7.13	100
5	14	70	0	13.63	7.16	90
6	15	75	0	15.99	7.11	90

Fuente: creación propia

Prueba de jarras con almidón de yuca

Se llevaron a cabo tres ensayos empleando una solución de almidón de yuca al 1% como coagulante. En cada prueba, se usaron seis jarras y

se evaluaron distintos volúmenes de coagulante para determinar su efectividad en la remoción de turbidez y color del agua. Los resultados se presentan en las Tablas 6,7 y 8.

Tabla 6. Resultados almidón de yuca 1

Prueba n° 1 almidón de yuca						
mezcla rápida (min)		0.083		revoluciones por minuto:		150
mezcla lenta (min)		20		revoluciones por minuto:		40
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada La Oscura						
turbiedad (ntu): 74.70				alcalinidad (mg/lcaco3):		6
color (upc):		260	temperatura (°c):		21	ph: 7.04
datos solución coagulante						
coagulante:		almidón de yuca		concentración de la solución (% p/v): 1		
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
Jarra n°	vol. solución coagulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coagulante en la jarra mg/1 (ppm)	concentración solución de alcalinizante en la jarra mg/1 (ppm)	turbiedad final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	37.1	7.05	170
2	8	40	0	38.3	7.11	170
3	10	50	0	40.4	7.07	170
4	12	60	0	37.2	7.08	180
5	14	70	0	34.6	7.05	110
6	15	75	0	33.6	7.06	120

Fuente: creación propia

Tabla 7. Resultado almidón de yuca 2

Prueba n° 2 almidón de yuca						
mezcla rápida (min)		0.083		revoluciones por minuto:		150
mezcla lenta (min)		20		revoluciones por minuto:		40
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada La Oscura						
turbiedad (ntu): 56.5				alcalinidad (mg/lcaco3):		12
color (upc):		280	temperatura (°c):		22	ph: 7.24
datos solución coagulante						
coagulante:		almidón de yuca		concentración de la solución (% p/v): 1		
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
Jarra n°	vol. solución coagulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coagulante en la jarra mg/1 (ppm)	concentración solución de alcalinizante en la jarra mg/1 (ppm)	turbiedad final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	15.96	7.28	70
2	8	40	0	16.64	7.31	70
3	10	50	0	17.70	7.32	60
4	12	60	0	14.96	7.26	70
5	14	70	0	14.50	7.25	70
6	15	75	0	12.58	7.20	70

Fuente: creación propia

Tabla 8. Resultado almidón de yuca 3

Prueba n° 3 almidón de yuca						
mezcla rápida (min)		0.083		revoluciones por minuto:		150
mezcla lenta (min)		20		revoluciones por minuto:		40
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada La Oscura						
turbiedad (ntu): 74.70				alcalinidad (mg/lcaco3):		6
color (upc):		260	temperatura (°c):		21	ph: 7.04
datos solución coagulante						
coagulante:		almidón de plátano		concentración de la solución (% p/v): 1		
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
Jarra n°	vol. solución coagulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coagulante en la jarra mg/1 (ppm)	concentración solución de alcalinizante en la jarra mg/1 (ppm)	turbiedad final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	14.75	7.22	80
2	8	40	0	15.3	7.26	90
3	10	50	0	15.41	7.25	100
4	12	60	0	15.10	7.23	100
5	14	70	0	14.10	7.18	100
6	15	75	0	18.5	7.16	110

Fuente: creación propia

Prueba de jarras con semilla de moringa

En esta práctica se realizaron tres ensayos utilizando una solución de semilla de moringa triturada al 1% como coagulante. En cada prueba, se usaron seis jarras y se aplicaron distintos

volúmenes de coagulante para determinar su efectividad en la remoción de turbidez y color del agua. Los resultados se presentan en las Tablas 9, 10 y 11.

Tabla 9. Resultado semilla de moringa 1

Prueba n° 1 semilla de moringa						
mezcla rápida (min)		0.083		revoluciones por minuto:		150
mezcla lenta (min)		20		revoluciones por minuto:		40
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada La Oscura						
turbiedad (ntu):		35.9		alcalinidad (mg/lcaco3):		16
color (upc):		150	temperatura (°c):		20	ph: 7.14
datos solución coagulante						
coagulante:		semilla de moringa		concentración de la solución (% p/v): 1		
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
Jarra n°	vol. solución coagulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coagulante en la jarra mg/1 (ppm)	concentración solución de alcalinizante en la jarra mg/1 (ppm)	turbiedad final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	9.65	7.22	60
2	8	40	0	8.22	7.20	60
3	10	50	0	10.21	7.17	70
4	12	60	0	14.20	7.07	100
5	14	70	0	10.98	7.06	70
6	15	75	0	9.9	7.06	60

Fuente: creación propia

Tabla 10. Resultado semilla de moringa 2

Prueba n° 2 semilla de moringa						
mezcla rápida (min)	0.5	revoluciones por minuto:		150		
mezcla lenta (min)	20	revoluciones por minuto:		40		
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada La Oscura						
turbiedad (ntu): 51.2		alcalinidad (mg/lcaco3):		16		
color (upc):	180	temperatura (°c):	20	ph:	7.15	
datos solución coagulante						
coagulante:	semilla de moringa		concentración de la solución (% p/v):		1	
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
Jarra n°	vol. solución coagulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coagulante en la jarra mg/1 (ppm)	concentración solución de alcalinizante en la jarra mg/1 (ppm)	turbiedad final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	8.2	7.5	60
2	8	40	0	9.69	7.55	70
3	10	50	0	6.45	7.59	50
4	12	60	0	11.12	7.5	80
5	14	70	0	7.67	7.54	60
6	15	75	0	10.74	7.63	80

Fuente: creación propia

Tabla 11. Resultado semilla de moringa 3

Prueba n° 3 semilla de moringa						
mezcla rápida (min)	0.5	revoluciones por minuto:		150		
mezcla lenta (min)	20	revoluciones por minuto:		40		
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada La Oscura						
turbiedad (ntu): 51.2		alcalinidad (mg/lcaco3):		16		
color (upc):	180	temperatura (°c):	20	ph:	7.15	
datos solución coagulante						
coagulante:	semilla de moringa		concentración de la solución (% p/v): 1			
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
Jarra n°	vol. solución coagulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coagulante en la jarra mg/1 (ppm)	concentración solución de alcalinizante en la jarra mg/1 (ppm)	turbiedad final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	7.18	7.40	60
2	8	40	0	6.07	7.41	50
3	10	50	0	5.88	7.42	50
4	12	60	0	10.36	7.53	60
5	14	70	0	11.44	7.58	70
6	15	75	0	11.9	7.66	70

Fuente: creación propia

Discusión de resultados

Los datos experimentales obtenidos tras aplicar el diseño de los experimentos descritos anteriormente fueron procesados utilizando el *software statgraphics*, versión 4.1. Se realizó un análisis de varianza para evaluar el efecto de los coagulantes y la prueba sobre el porcentaje de remoción de turbidez y color. Además, se empleó la herramienta *excel* para comparar los resultados de los tres coagulantes a dosis equivalentes.

Turbidez

Los resultados obtenidos indican que la semilla de moringa mostró el mejor desempeño en la remoción de turbidez, con un promedio del 78,8%. Le siguió el almidón de plátano, que logró un 73,6% de remoción, mientras que el almidón de yuca presentó el menor rendimiento, con un promedio del 68,5%. Estos resultados se ilustran en la gráfica 1.

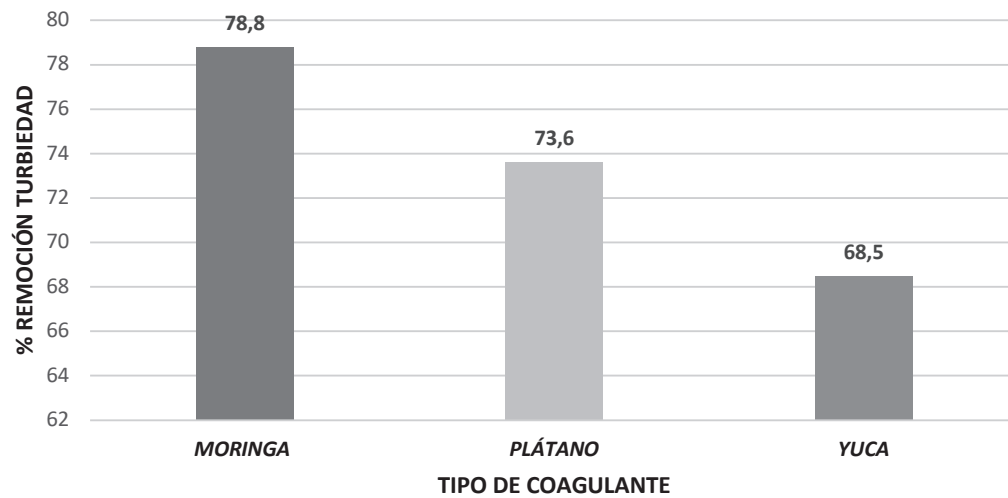
Color

En cuanto a la remoción de color, la semilla de moringa fue la más efectiva, alcanzando un promedio de 61%. Le siguió el almidón de plátano, que logró una remoción del 58,9%, mientras que el almidón de yuca obtuvo un 58,8%. Estos resultados se presentan en la siguiente gráfica.

De lo anterior, se puede deducir que la semilla de moringa fue el coagulante orgánico más efectivo en los ensayos realizados. Para la turbiedad, logró una remoción del 78,8%, mientras que para el color fue del 61%, como se muestra en las gráficas 1 y 2. La dosis óptima aplicada a esta jarra fue de 50 ppm, y el pH final fue de 7.4, lo cual se encuentra dentro del límite permisible.

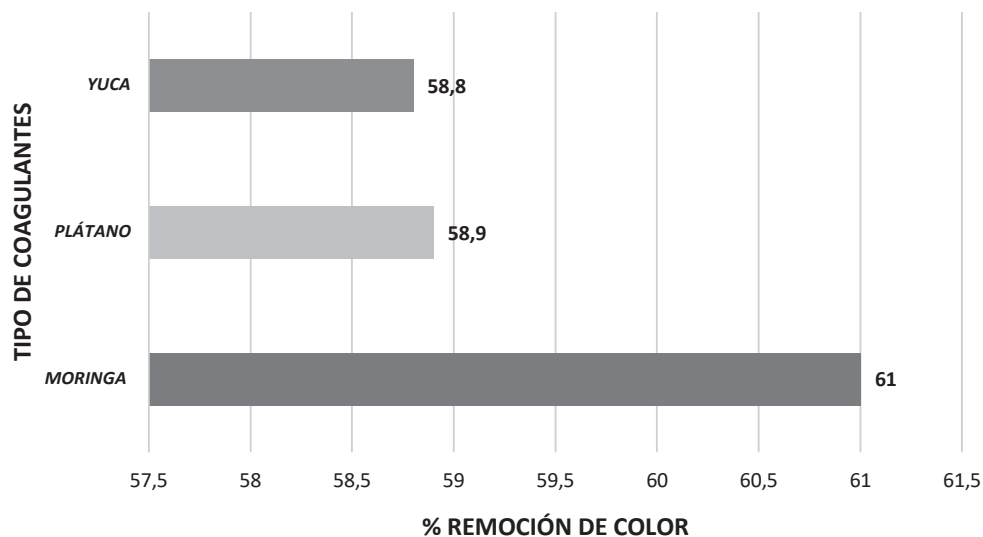
Caldera et al. (2007) informaron resultados satisfactorios en su investigación sobre la efectividad de la semilla de moringa como coagulante, alcanzando un 80% de remoción de turbiedad con valores iniciales de 150 NTU (unidades

Gráfica 1. Porcentaje de remoción de la turbiedad



Fuente: creación propia

Gráfica 2. Porcentaje de remoción de color



Fuente: creación propia

nefelométricas de turbiedad), resultando en un final de 14,9 NTU. Por otro lado, Muyibi y Okuofu (1995) señalaron que a mayor turbidez inicial, el proceso de coagulación tiende a ser más efectivo; sin embargo, advirtieron que al aumentar las concentraciones de coagulante, existe la tendencia a reestabilizar las cargas de las partículas formadas.

Si bien la semilla de moringa demostró ser el coagulante más efectivo en esta investigación, no iguala ni supera los porcentajes de remoción del sulfato de aluminio granulado, por lo que no puede reemplazarlo completamente. Sin embargo, se sugiere su implementación como coadyuvante en estos procesos, lo que podría reducir la dosificación directa de aluminio,

minimizando así el riesgo de superar el límite permisible de 0,2 mg/l de aluminio. Esto garantizaría agua potable que cumpla con lo establecido en el decreto 1575 y la resolución 2115 de 2007, sin causar riesgos a la salud humana ni al medio ambiente.

Investigaciones realizadas por Bina et al. (2010) concluyeron que la semilla de moringa es efectiva como coadyuvante en el tratamiento de aguas, especialmente en condiciones de pH entre 7 y 7,5. Además, observaron que la moringa no presenta impactos negativos sobre la calidad del agua y que la eficiencia en la eliminación de la turbiedad puede alcanzar hasta un 80%.

Conclusiones

El poder de remoción de turbiedad y color de la semilla de moringa fue el más efectivo entre los tres coagulantes orgánicos evaluados. Sin embargo, el porcentaje de eliminación de turbidez no cumple con los valores permisibles establecidos por la norma, lo que impide su reemplazo total por el sulfato de aluminio. No obstante, su implementación como coadyuvante en el tratamiento del agua podría reducir la aplicación directa de aluminio, dosificándose proporcionalmente con el coagulante químico.

El uso de coagulantes orgánicos, como la semilla de moringa, mostró resultados positivos incluso en condiciones de alcalinidad y pH que oscilan entre 7 y 7,5. Esto contrasta con la mayoría de los coagulantes químicos, que requieren parámetros específicos para lograr una reacción química eficaz.

Es crucial continuar investigando en el ámbito de los coagulantes orgánicos con el objetivo de obtener resultados que cumplan con los requisitos establecidos, permitiendo así la posible sustitución del sulfato de aluminio granulado en los procesos de tratamiento de aguas.

Referencias bibliográficas

- Arboleda, V. J. (2000). "Teoría y práctica de la purificación del agua". McGraw-Hill. <http://www.worldcat.org/oclc/503192515>
- Arcila, H. R., & Peralta, J. J. (2016). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. "Revista Facultad de Ciencias Básicas, 11"(2), 136-153. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/1303>
- Arreola, M. M. S., & Cánepa, J. R. L. (2013). Moringa oleífera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. Ingeniería, 17(2), 93-101.
- Bina, B., Mehdinejad, M. H., Dalhammer, G., Nikaeen, G. R., & Attar, H. M. (2010). Effectiveness of Moringa oleífera coagulant protein as natural coagulant aid in removal of turbidity and bacteria from turbid waters. "International Journal of Environmental and Ecological Engineering, 4" (7), 261-263. <https://repository.unilivre.edu.co/bitstream/handle/10901/8109/EVALUACION%20DE%20LA%20SEMILLA%20DE%20MORINGA%20OLEIFERA%20COMO%20COADYUDANTE%20EN%20EL%20PROCESO%20DE%20COAGULACION%20PARA%20E.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bolto, G. (2007). Polielectrolitos orgánicos en el tratamiento de aguas. "Water Research, 41"(9), 2301-2324.
- Bravo Gallardo, M. A. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. "Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas". <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5609/1/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf>
- Cabrera, M., & Arintzy, G. (2018). Aplicación de semilla de Moringa oleífera Lam como alternativa coagulante de agua almacenada en el municipio de Zirándaro, Gro. "Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México". <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/95033>

- Caldera, Y., Mendoza, I., Briceño, L., García, J., & Fuentes, L. (2007). Eficiencia de las semillas de Moringa oleifera como coagulante alternativo en la potabilización del agua. *"Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, 41"*(2), 244-254. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/102160131/76-libre.pdf>
- Carpio, T. (2007). Turbidez por nefelometría en el equipo Turbiquant 3000 T. *"Informe técnico"*. IDEAM. <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/20446>
- Castrillón, D. (2002). Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio en la planta de tratamiento de Villa Santana. *"Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira"*.
- Chulluncuy-Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*, (29), 153-170.
- Dakanali, M., Raptopoulou, C. P., Terzis, A., Lakatos, A., Banyai, I., Kiss, T., & Salifoglou, A. (2003). A new dinuclear species in aqueous aluminium distribution in the presence of citrate. *Inorganic Chemistry*, 42 (2), 252-254.
- Fatombi, J. K., Lartiges, B., Aminou, T., Barres, O., & Caillet, C. (2013). A natural coagulant protein from copra (Cocos nucifera): isolation, characterization, and potential for water purification. *"Separation and Purification Technology, 116"*, 35-40. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01114964/>
- Gassenschmidt, U., Jany, K. D., Tauscher, B., & Niebergall, H. (1995). Isolation and characterization of a flocculating protein from Moringa oleifera Lam. *"Biochimica et Biophysica Acta (BBA)– Protein Structure and Molecular Enzymology, 1243"*(3), 477-481. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030441659400176X>
- Giraldo, G., & Ortiz, G. (2004). *"Manual de análisis de aguas"* Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55218>
- Goyenola, G. (2007). Transparencia, color y turbidez. *"RED MAPSA: Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos"*. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/7091>
- Gray, N. F., & López, I. E. (1996). Calidad del agua potable: Problemas y soluciones (No. 628.1 G7). Acribia.
- González, A. L. (2017). Influencia del contenido de aluminio presente en aguas de consumo en pacientes renales. *"Tesis de maestría, Universidad Rafael Urdaneta"*. <https://documentos.uru.edu/pdf/9111-07-02049.pdf>
- Gurdián-López, R., & Coto-Campos, J. M. (2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (Tamarindus indica) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *"Revista Tecnología en Marcha, 24"*(2), 18-25.
- Hidalgo, R. T. (2012). La exposición al aluminio y su relación con el ambiente y la salud. *Tecnogestión*, 9(1). <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tecges/article/view/5646/7164>
- Jairo, A. M. E. T. J., Díaz, F., & Roa, S. B. (2014). Eficiencia de la semilla Moringa oleifera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *"Producción Limpia, 9"* (1). <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/article/view/648/415>
- Laurencio Ricardo, N. (2005). Eficacia del proceso de potabilización de las aguas superficiales en la planta de tratamiento de la Empresa Ernesto Che Guevara. *"Tesis doctoral, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa"*. <https://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/1388>
- Lorenzo-Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación *"ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 40"*(2), 10-17. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>
- Miguel, M. M., Angela, A. G., & Mario, M. M. (2008). Obtención del almidón a partir de residuos poscosecha del plátano dominico hartón *"Musa AAB Simmonds"* http://vip.ucaldas.edu.co/vector/downloads/Vector3_6.pdf
- Muyibi, S. A., & Okuofu, C. A. (1995). Coagulation of low turbidity surface waters with Moringa oleifera seeds. *"International Journal of Environmental Studies, 48"*(3-4), 263-273. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207239508710996>

- Nagasawa, T. (2006). Nichos microambientales en la médula ósea necesarios para el desarrollo de células B. *"Nature Reviews Immunology, 6"*(2), 107-116.
- Ndabigengesere, A., Narasiah, K. S., & Talbot, B. G. (1995). Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. *"Water Research, 29"*(2), 703-710. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004313549400161Y>
- Nkurunziza, T., Nduwayezu, J. B., Banadda, E. N., & Nhapu, I. (2009). The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. *"Water Science and Technology, 59"*(8), 1551-1558. <https://iwaponline.com/wst/article-abstract/59/8/1551/12903/The-effect-of-turbidity-levels-and-Moringa?redirectedFrom=fulltext>
- Ocasio, F. (2008). Evaluación de la calidad del agua y posibles fuentes de contaminación en un segmento del Río Piedra. *"Tesis de maestría, Universidad Metropolitana"*. http://www.anagmendez.net/umet/pdf/biblioteca_tesisamb_ocasiosantia-gof2008.pdf
- Pérez, G. (2002). Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia. https://www.autore-seditores.com/book_preview/pdf/000007937.pdf?1518508327
- Renault, B., Sancey, P. M., Badot, G., & Crini, N. (2009). Chitosan for coagulation/flocculation processes – An eco-friendly approach. *"European Polymer Journal, 45"*(6), 1337-1348. https://file.scirp.org/pdf/ACES20110400010_50057604.pdf
- Rivera Huanay, R. H. (2017). Eficiencia de coagulantes naturales obtenidos de yuca (*Manihot esculenta*) y plátano (*Musa paradisiaca*) para remover turbidez y *escherichia coli* del riachuelo Santa Perené, Chanchamayo. *"Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo"*. http://181.224.246.201/bitstream/handle/UCV/3594/Rivera_HRH.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rivera Huanay, R. H. (2017). Eficiencia de coagulantes naturales obtenidos de yuca (*Manihot esculenta*) y plátano (*Musa paradisiaca*) para remover turbidez y *escherichia coli* del riachuelo Santa Perené, Chanchamayo. *"Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo"*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3594>
- Torres, P., Rodríguez, J., & Rojas, O. (2005). Extracción de almidón de yuca: Manejo integral y control de la contaminación hídrica. *"Livestock Research for Rural Development, 17"*(7). <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd17/7/torr17074.htm>
- Trejos, R., & Hernández, V. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable. *"Conciencia Tecnológica, 25"*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94402508>
- Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *"Revista Ion, 27"*(1), 17-34.

