

Evaluación de la cáscara de plátano (*Musa AAB Simmonds*) como coagulante natural para la clarificación y remoción de hierro en agua

Evaluation of plantain peel (*Musa AAB Simmonds*) as a natural coagulant for the clarification and removal of iron in water

MARIO FERNANDO ORTIZ CARVAJAL¹ - MARÍA PAULINA VILLEGAS DE BRIGARD²

1. Magíster en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá, Colombia.

2. Magíster (DEA) en Ciencias y Técnicas del Agua. Profesora titular del Centro de Estudios Ambientales de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá, Colombia.

mario.ortiz-c@mail.escuelaing.edu.co - maria.villegas@mail.escuelaing.edu.co

Recibido: 20/05/2020 Aceptado: 30/07/2020

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

El plátano, en sus diversas variedades, se cultiva ampliamente en Colombia por ser un recurso de fácil adquisición y bajo costo; gracias a sus concentraciones de almidón y a las características propias coagulantes reportadas por varios autores, así como también a su amplia zona de siembra y producción, que abarca la casi totalidad del territorio, se tomó la cáscara de este vegetal en la variedad *Musa AAB Simmonds*, que es la más común y comercializada en Colombia, como óptima para la revisión de un posible sustituto o coadyuvante orgánico de los coagulantes tradicionales, en tratamientos de agua, en el territorio colombiano.

Se hicieron ensayos de jarras con una solución generada a partir de la cáscara de plátano, siguiendo metodologías de estudios similares; como resultado de estos ensayos se evidenció que en ninguna de las aguas, ni tampoco en ninguna de las concentraciones de coagulante natural a base de cáscara de plátano, se formó floc, eliminando de tajo la hipótesis planteada; sin embargo, al realizar ensayos en aguas con concentraciones de hierro de 200 mg/L, se encontró que la solución a base de cáscara de plátano tiene propiedades bioadsorbentes para la eliminación de hierro (Fe) en soluciones acuosas con pH mayores de 8,0, reduciendo hasta en un 99,99 % la concentración de hierro en el agua, viéndose un mejor comportamiento con la concentración de 90 mg/L de la solución bioadsorbente.

Palabras claves: cáscara de plátano, bioadsorbente, remoción de hierro, coagulante natural.

Abstract

Plantain, in its diverse varieties, is widely cultivated in Colombia; thanks to its starch concentrations and the coagulant characteristics reported by various authors and to its wide area of sowing and production that covers almost the entire territory, which makes this a resource of easy acquisition and low cost. The peel of this vegetable from the *Musa AAB Simmonds* variety, which is the most common and commercialized in Colombia, was set as optimal for the review of a possible substitute or organic adjuvant of traditional coagulants in water treatments, in the Colombian territory.

Jar tests were performed with a solution generated from plantain peel following similar study methodologies; as a result of these tests, it was evidenced that, in none of the waters, with any of the concentrations of natural coagulant based on plantain peel, floc was formed, eliminating the hypothesis raised. However, when carrying out tests in water with iron concentrations of 200 mg / L, it was found that the plantain peel-based solution has bioadsorbent properties, for the elimination of iron (Fe) in aqueous solutions with a pH greater than 8.0, reducing the iron concentration in the water by up to 99.99 %, evidencing a better performance with the concentration of 90 mg / L of the bioadsorbent solution.

Keywords: banana peel, bioadsorbent, iron removal, natural coagulant.

INTRODUCCIÓN

El uso de los coagulantes químicos se asocia con altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo, alteración del pH del agua y subproductos indeseables que pueden tener un efecto adverso en la salud de los consumidores. Tal es el caso del sulfato de aluminio, el cual, a pesar de su excelente eficiencia en la remoción de materiales orgánicos y microorganismos, se asocia a enfermedades óseas, así como al Alzheimer y el cáncer (Miller, Ezekiel, Oyanedel, Smith & Zimmerman, 2008; Gurdíán-López & Coto-Campos, 2011, citados en Molina, 2016). Por tal razón, se hace necesario buscar alternativas como los coagulantes de origen natural, que son menos tóxicos, tanto para los seres humanos como para el medio ambiente (Guzmán, Villabona, Tejada & García, 2013, citados en Carrasquero, Montiel, Parra, Marín & Díaz, 2017, p. 91), y también menos costosos, si son producidos localmente (García-Fayos, Arnal Arnal & María, 2015).

Coagulantes para tratamiento de aguas

Entre los productos utilizados en los procesos de tratamiento de aguas se encuentran los coagulantes-floculantes, que se clasifican en tres tipos: coagulantes a base de sales metálicas, coagulantes a base de polímeros sintéticos y coagulantes de origen natural (Tafur & Quevedo, 2014, citados en Fúquene & Yate, 2018). Los coagulantes de origen natural y sus posibles beneficios, como menor producción de lodos, baja modificación del pH y bajo costo, hacen interesante su investigación, al igual que la búsqueda de lograr un óptimo entendimiento de sus capacidades reales en diversas condiciones y tipos de aguas.

Coagulantes-floculantes naturales

La historia del empleo de coagulantes naturales es larga. Los polímeros orgánicos naturales se han utilizado durante más de 2000 años en India, África y China como coagulantes efectivos y ayudas coagulantes en turbidez alta del agua (Asrafuzzaman, Fakhruddin & Hossain, 2011, p. 1; García-Fayos, Arnal Arnal & María, 2015, p. 150). No obstante, desde hace poco tiempo (aproximadamente desde la década de los setenta) se han llevado a cabo varios estudios en pro de la validación del potencial de nuevos coagulantes y coadyuvantes orgánicos para

el tratamiento de diversos tipos de aguas (Aguilar, Sáez, Lloréns, Soler & Ortuño, 2002, p. 17).

Entre los coagulantes naturales se encuentran los derivados del almidón y la celulosa, extractos vegetales, alginatos, ciertas gomas y quitosán (Aguilar, Sáez, Lloréns, Soler & Ortuño, 2002, p. 59), taninos, moringa oleífera y cactus (Guzmán, Villabona, Tejada & García, 2013). Éstos pueden tener propiedades catiónicas, como el quitosán, los taninos y el almidón; aniónicas, como los polisacáridos sulfatados y sus derivados, y no iónicas, como algunos derivados del almidón, derivados de celulosa, galactomanosa y gelatinas (Aguilar, Sáez, Lloréns, Soler & Ortuño, 2002).

El plátano como agente para el tratamiento de aguas

Con el plátano en sus diversas variedades, ya sea con el fruto o con los desechos, se han efectuado varios estudios, entre éstos su empleo como biosorbente de uranio; se han reportado también las propiedades que posee la biomasa del banano en la remoción de arsénico; la capacidad de adsorción de la cáscara del banano de elementos como plomo, hierro y manganeso; la capacidad del tanino extraído de la savia del tallo del banano para la clarificación de aguas; la remoción de turbidez y de sulfatos, cobre, cromo, zinc y plomo, con cáscaras de banano; la clarificación de aguas utilizando pulpa de banano; la capacidad de remoción de la turbidez de la cáscara del plátano en aguas residuales de la industria láctea, empleando polímeros aniónicos como coadyuvantes, y la capacidad de la biomasa de la cáscara del banano (*Musa paradisiaca*), en la remoción de plomo (Pb).

Plátano (*Musa AAB Simmonds*)

La planta del plátano y la planta del banano son monocotiledóneas, y forman parte de la familia de las musáceas, de donde se desprenden dos especies: la *Musa acuminata*, de la cual se desprenden los bananos, y la *Musa balbisiana*, que en cruces interespecíficos con los *Musa acuminata* da origen al subgrupo de los plátanos (Belalcázar Carvajal, 1991, p. 50).

En líneas generales, una planta de plátano está formada por el sistema radicular, el tallo y sus yemas, el sistema foliar y la inflorescencia que da origen al racimo (Belalcázar Carvajal, 1991, p. 58).

Tabla 1
Variedades de plátanos cultivados en Colombia

Nombre vulgar	Grupo	Subgrupo	Genoma predominante	Altitud ideal de cultivo	Utilización	
					Verde	Maduro
Hartón	(AAB)	Plátano tipo (<i>Horn</i>)	Acuminata	0-1000 msnm	Patacones, sancochos	Tajadas
Dominico hartón	(AAB)	Plátano tipo (<i>Horn</i>)	Acuminata	0-1500 msnm	Patacones, sancochos	Tajadas
Dominico	(AAB)	Plátano tipo (<i>French</i>)	Acuminata	0-2000 msnm	Patacones, sancochos, harinas	Tajadas
Cachaco o popocho	(ABB)	Plátano tipo (<i>Bluggoe</i>)	Balbisiana	0-2000 msnm	Harina para alimentación animal	Tajadas
Pelipita	(ABB)	Plátano tipo (<i>Bluggoe</i>)	Balbisiana	0-2000 msnm	Patacones	Tajadas

Fuente: Tabla elaborada por el autor, con base en la información extraída de Belalcázar Carvajal (1991).

Según Quiceno, Giraldo & Villamizar (2014), las características fisicoquímicas del fruto del plátano al momento de la cosecha son 66,2 % de agua, 0,3 % de grasa, 1,3 % de proteínas, 1,1 % de fibra, 0,8 % de vitamina y cenizas, y 30,7 % de carbohidratos, en su mayoría en forma de almidón en el fruto verde y en forma de azúcares invertidos en el maduro.

En Colombia se siembran diferentes clones de plátanos comestibles, pero los más consumidos y explotados son los cinco que se presentan en la tabla siguiente (tabla 1).

La producción mundial de musáceas en 2007 se estimó en 104 millones de toneladas. Colombia se

ubicó como el séptimo productor del planeta con seis millones de toneladas, después de India, Uganda, Brasil, China, Filipinas y Ecuador; más de la mitad de esta producción (3,1 millones de toneladas) corresponde al grupo de musáceas Plantain (AAB) (Castellanos & Lucas, 2011); en 2015 esta cifra subió a 3,4 millones de toneladas, en 2016 a 3,9 millones de toneladas, en 2017 a 4,2 millones y en 2018 llegó a 4,3 millones de toneladas (Minagricultura, 2018).

En el año 2016, Colombia ya ocupaba el cuarto lugar en producción, rendimiento y área sembrada de plátano a escala mundial, confirmando el crecimiento sostenido que ha tenido su cultivo en el país año tras año, como se evidencia en la figura siguiente, en la que se encuentran los datos de la producción de plátano en Colombia en el periodo 2008-2018, así como las hectáreas de tierra requeridas para estas cosechas (figura 1).

Cáscara de plátano (*Musa AAB Simmonds*)

La cáscara corresponde al 31,51 % del peso total del fruto del plátano, en plátanos de segundas y terceras, y aproximadamente al 39 % en plátanos de primeras (Mazzeo, Alzate & Marín, 2008, p. 64). Esto permite estimar que de los 4,3 millones de toneladas de plátano que se produjeron en el año 2018 en Colombia, entre 1,4 y 1,6 millones de toneladas eran cáscara de plátano, que se convertirían eventualmente en desechos.

Según lo referenciado por Mazzeo, Alzate & Marín (2008), el plátano producido en Colombia genera grandes cantidades de desechos y volúmenes de residuos poscosecha durante la comercialización; estos residuos son en su mayoría frutos verdes o inmaduros, con

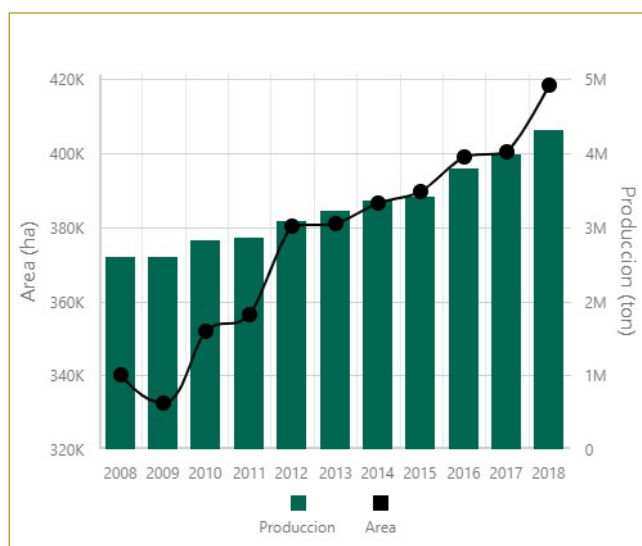


Figura 1. Producción y área cosechada de plátano en Colombia.

Fuente: Área cosechada y producción; búsqueda periodo 2008-2018 (Agronet, 2020).

grandes contenidos de almidón que, de ser extraído correctamente, podría funcionar como una alternativa de comercialización para pequeños productores; dichos residuos equivalen al 10 % de la producción, representados en pérdidas por patologías, pérdidas por daños mecánicos y frutos desechados por tamaño y apariencia.

Como anteriormente se estimó, las cáscaras del plátano representan un desecho de algo más del 30 % del total de la producción, cifra que indica que el análisis de estos residuos de cáscara tiene un peso un poco más relevante que el de los desechos poscosecha, si se quiere llegar a una solución de eliminación o recuperación de residuos con amplio impacto ambiental en la producción, comercialización y uso del plátano.

RESULTADOS

Se procede a la fase de investigación experimental, que comienza con la obtención del coagulante a base de cáscara de plátano, al cual se le establece su capacidad de coagulación utilizando el ensayo de jarras. Para este proceso se requieren como datos previos mínimos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda (Romero, 2002).

El agua problema seleccionada se toma del lago ubicado en las instalaciones de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Se hacen diluciones previas para mantener turbiedad y color aproximadamente constantes en el agua cruda para los ensayos de jarras.

Los ensayos para la fase de experimentación se efectuaron en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Preparación del agua problema

La Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito está situada en la localidad de Suba, en el norte de Bogotá. En sus instalaciones se encuentra un lago, el cual tiene un espejo de agua de unos 1500 m², del que se tomó el agua para la realización de los ensayos, haciendo en laboratorio diluciones en volúmenes similares para mantener turbiedad, color y pH aproximadamente iguales para todos los ensayos.

Preparación de la solución coagulante

Varios autores han hecho trabajos de obtención de almidones a partir del plátano o el banano; sin embargo, para la ejecución de este trabajo se optó por realizarlo mediante una metodología seca, basada en los beneficios enunciados por Mazzeo, Alzate & Marín (2008) que concluyen lo siguiente: “La recuperación del almidón del plátano por el método seco requiere menores costos de inversión en áreas y equipos de proceso, y menor impacto ambiental respecto al método húmedo”.

A continuación se detalla el proceso para obtener el coagulante a partir de la cáscara de plátano:

- Recolección de las cáscaras del plátano verde.
- Lavado y secado.
- Trozado de las cáscaras.
- Deshidratación de las cáscaras.
- Molienda.
- Tamizado con malla número 40.

A continuación se pueden ver las bandejas de aluminio desechables, con cáscaras de plátano verde trozadas (figura 2).



Figura 2. Cáscaras de plátano, trozadas, dispuestas en bandejas.

Fuente: Elaboración del autor.

En la figura siguiente (figura 3) se puede ver el material tamizado, dispuesto en envases plásticos propios para el almacenamiento.



Figura 3. Polvo base para la solución coagulante.

Fuente: Elaboración propia.

Con base en la información recopilada antes y después de la deshidratación de la cáscara de plátano, se obtuvieron los pesos en gramos (g) de cada una de las cuatro bandejas.

En promedio, se evidencia que de la cáscara de plátano el 82 % corresponde a agua y el 18 % restante a la masa seca. En cuanto al rendimiento, es de 93 g por kg de cáscara sin procesar.

Así mismo, con el polvo seco tamizado de las cáscaras de plátano se procedió a preparar la solución coagulante de 10 g/L, según el siguiente procedimiento:

- Pesar 2,5 g del polvo obtenido de la cáscara de plátano.
- Disolver los 2,5 g de polvo de plátano con agua destilada en un vaso de boca ancha de 100 ml, ayudándose de una varilla de vidrio.
- Traspasar la totalidad de la mezcla del vaso a un balón volumétrico de 250 mL y aforar.
- Tapar el balón y agitar vigorosamente durante diez minutos.
- Dejar reposar durante cinco minutos.
- Filtrar a través de papel de filtro y obtener la solución de coagulante de cáscara de plátano.

La solución resultante tiene un color dorado (figura 4), así como un olor frutal agradable y suave; esta solución se utiliza el mismo día en los ensayos de jarras

proyectados (Paca Telenchano, 2017); sin embargo, otros autores han determinado su uso 48 horas después de conservada en nevera.



Figura 4. Solución coagulante filtrada.

Fuente: Elaboración propia.

Caracterización del agua problema

Sobre el agua cruda y el agua coagulada en los ensayos de jarras se determinaron el pH, la conductividad, el color, la turbiedad y la alcalinidad.

Ensayos hechos al agua problema con coagulantes

Se hicieron ensayos de jarras, con dosis entre 10 y 2000 mg/L de coagulante, sin obtener formación de floc.

Posteriormente, se agregó cal al agua para subir el pH hasta un valor aproximado de 10 y se ensayaron dosis entre 10 y 300 mg/L. En estos ensayos tampoco se encontraron resultados favorables.

De manera paralela, se evaluó si el agua problema coagulaba razonablemente con un coagulante convencional, como el sulfato de aluminio, y se determinó una dosis óptima de 40 mg/L, con coagulación positiva.

Dados los resultados negativos de la solución como coagulante, se realizaron nuevos ensayos para evaluar su funcionamiento como ayuda de coagulación. Se utilizó entonces en proporción 50:50, con sulfato de aluminio. Los resultados se presentan a continuación (tablas 2 y 3).

Tabla 2
Resultados de ensayo con coagulante de polvo de cáscara de plátano y alumbre

Jarra		Cruda	1	2	3	4	5	6
Sulfato de aluminio, mg/L			10	20	30	10	20	30
Cáscara de plátano, mg/L		n/d	n/d	n/d	n/d	10	20	30
color	Unidades	55	n/d	n/d	7,5	n/d	n/d	15
pH	pH	8,78	n/d	n/d	6,35	n/d	n/d	5,6
Turbiedad	NTU	17,5	n/d	n/d	1,62	n/d	n/d	2,16
Conductividad	(μ S/cm)	199,5	n/d	n/d	194,3	n/d	n/d	197,2
Alcalinidad	mg/L-CaCO ₃	52	n/d	n/d	38	n/d	n/d	30
Tiempo de aparición del floc	minutos	n/d	n/d	n/d	0,5	n/d	n/d	0,5
Caracterización del floc	Índice de Willcomb	n/d	0	0	10	0	0	8

Solamente se formó floc en las jarras 3 y 6.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3
Resultados de ensayo con coagulante de polvo de cáscara de plátano y alumbre

Jarra		Cruda	1	2	3	4	5	6
Sulfato de aluminio, mg/L		n/d	40	50	60	40	50	60
Cáscara de plátano, mg/L		n/d	n/d	n/d	n/d	40	50	60
ml		n/d	2	2,5	3	2	2,5	3
color	Unidades	55	5	15	7,5	5	15	15
pH	pH	8,69	6,59	6,28	6,18	6,24	5,16	5,85
Turbiedad	NTU	17,3	0,67	0,93	0,68	0,89	1,78	2,42
Conductividad	(μ S/cm)	198,5	190,1	200,5	227	225	203,1	210,4
Alcalinidad	mg/L	52	30	28	26	29	28	25
Tiempo de formación del floc	minutos	n/d	0,5	1	1	0,5	1	1
Caracterización del floc	Índice de Willcomb	n/d	10	8	8	10	8	8

Se formó floc en todas las jarras. El floc presente en las jarras está en forma de filamentos.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que la adición de la solución de cáscara de plátano no mejoró los parámetros de turbiedad, color o conductividad, con respecto a la utilización del coagulante convencional solo.

En vista de que la solución de cáscara de plátano no produjo coagulación alguna en el agua natural ni sirvió como ayuda de coagulación; no obstante, teniendo en cuenta varios estudios (Rodríguez Boniolo, 2008; Gamarra, 2014, y Campos & Porrás, 2019), se probó su eficiencia en la remoción de aguas con alto contenido de hierro. Para ello se preparó una solución de 200 mg/L-Fe a partir de sulfato ferroso (FeSO₄·7H₂O) agregado al agua problema.

Se llevaron a cabo dos ensayos: uno sobre el agua con hierro, cuyo pH era 4,6, y el otro ajustando el pH a 9,0 con cal. En este último se observó cómo el agua se oscureció por efecto del hierro y el pH se elevó (figura 5). Ambas soluciones de hierro se trataron con el coagulante natural a base de cáscara de plátano, con dosis entre 30 y 180 mg/L.

En el agua con pH 4,6 no se observó formación de floc, mientras que en la de pH 9,0 todas las dosis mostraron buena coagulación y sedimentación, como se puede observar a renglón seguido (figura 6).

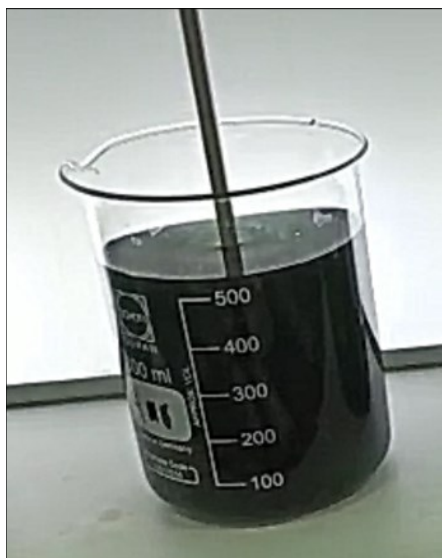


Figura 5. Agua problema con pH alto y hierro.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6. Agua clarificada al final de la sedimentación.

Fuente: Elaboración propia.

Si se toman en cuenta la concentración inicial de hierro y la concentración residual después de los ensayos de jarras con el coagulante natural a base de cáscara de plátano, y habiendo elevado el pH a 9,0, la remoción de hierro es prácticamente total (tabla 4 y figura 7).

Tabla 4

Porcentaje de remoción del contenido de hierro en agua con pH 9,0

Dosis coagulante natural (mg/L)	Concentración de hierro inicial (mg/L)	Concentración de hierro agua coagulada (mg/L)	Remoción %
30	200	0,03	99,98 %
60	200	0,02	99,99 %
90	200	0,01	99,99 %
120	200	0,02	99,99 %
150	200	0,02	99,99 %
180	200	0,05	99,97 %

Fuente: Elaboración propia.

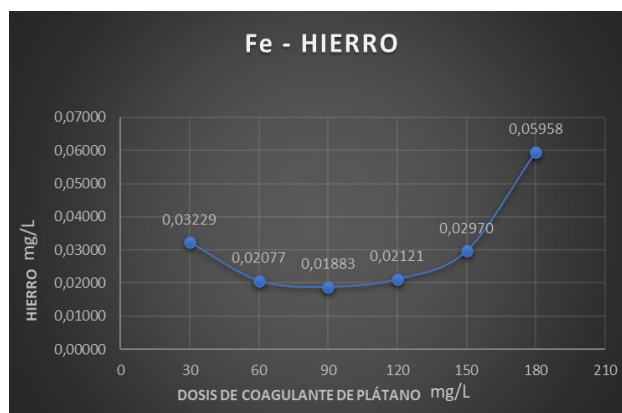


Figura 7. Contenido de hierro residual usando la solución de cáscara de plátano como coagulante.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de resultados

Por cada kg de cáscara de plátano se obtienen 93 g de polvo coagulante. Este rendimiento es mayor que el 2,5 % reportado (Paca Telenchano, 2018, p. 9) con cáscara de plátano seda.

La concentración de hierro residual presente en todas las dosis ensayadas con este metal demuestra la capacidad de remoción de hierro usando el coagulante natural preparado a partir de la cáscara de plátano, siempre y cuando se eleve suficientemente el pH. Incluso

se obtuvieron valores de concentración muy inferiores a los mínimos aceptables por el RAS (Minvivienda, 2017, p. 66), que considera como admisibles en aguas para consumo humano valores de 0,3 mg/L, aunque recomienda valores inferiores a 0,2 mg/L.

Los resultados obtenidos en la remoción de hierro por parte de la solución a base de cáscara de plátano (*Musa AAB Simmonds*) corroboran lo enunciado por Ríos (2014), para quien algunos componentes de las cáscaras de banano, fruto que también forma parte de la familia de las musáceas, logran la adsorción de metales presentes en el agua; así mismo, estos resultados confirman lo concluido por Campos y Porras (2019), quienes lograron retener hierro y manganeso utilizando un filtro casero que incluía polvo de cáscara de plátano, y apoyan también la hipótesis (Rodríguez Boniolo, 2008) acerca del potencial de la cáscara de banano en la adsorción de metales, ya que el plátano comparte muchas similitudes con éste, pues ambos son parte de la familia de las musáceas.

La efectividad de la cáscara de plátano en la remoción de aguas con alto contenido de hierro evidenciada en los ensayos también corrobora lo informado por (Ríos, 2014, p.13), quien menciona la favorabilidad en la adsorción de cationes por parte de los bioadsorbentes en soluciones acuosas de pH superiores a 4,5.

CONCLUSIONES

El coagulante obtenido a partir de la cáscara de plátano no demostró capacidad para coagular aguas naturales, dado que en los componentes de la cáscara de plátano predomina la carga eléctrica negativa, semejante a la de los coloides predominantes en el agua.

En el estudio se demostró que el coagulante a base de cáscara de plátano es efectivo para la remoción de altas concentraciones de hierro (Fe) en soluciones acuosas con pH superiores a 8,0.

Con base en los óptimos resultados mostrados de la solución coagulante en la remoción de hierro, se recomienda realizar estudios para la remoción de otros metales, preferiblemente con aguas residuales de industrias en las que se encuentren problemas de altas concentraciones de estos.

REFERENCIAS

- Agronet* (agosto de 2020). *Agronet* (Minagricultura, ed.). Recuperado en agosto de 2020, de *Agronet*: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1#>.
- Aguilar, M., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., & Ortuño, J. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Araúz, F., Julianis, B., Bósquez, M., Evelyn, C., González, Y., Martínez, E., & Héctor, R. (2015). Tratabilidad de efluentes residuales por medio de un coagulante natural a base de tanino del pseudotallo del plátano. *Revista de Iniciación Científica*, 1(1), 51-55.
- Asrafuzzaman, F., & Hossain, A. (2011). Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *International Scholarly Research Notices*. Obtenido de <https://doi.org/10.5402/2011/632189>.
- Banerjee, A. V., & Duflo, E. (2019). *Repensar la pobreza* (1ª ed.) (M. D. F. Javier, trad.). Bogotá, D.C.: Penguin Random House.
- Belalcázar Carvajal, S. L. (1991). *El cultivo del plátano (Musa AAB Simmonds) en el trópico* (ICA, ed.) Armenia: Talleres gráficos de Impresora Feriva Ltda. Recuperado en julio de 2020, de <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12434>.
- Bryce, J., Boschi-Pinto, C., Shibuya, K., Black, R. E., & Group, T. W. (2005). WHO estimates of the causes of death in children. *Lancet*, 365, 1147-1152.
- Campos, H., & Porras, J. (2019). *Evaluación de eficiencia de la harina de cáscara de plátano (Musa spp) utilizando un filtro casero, para la adsorción de hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio Miramayo, distrito de Yantaló - Moyobamba - San Martín* [tesis, Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ecología, Moyobamba, Perú].
- Carrasquero, S. J., Montiel, S. F., Parra, P. M., Marín, J. C., & Díaz, A. R. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Sonalum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(2), 90-99. Obtenido de <https://doi.org/10.18359/rfcb.1941>.
- Castellanos, F., & Lucas, J. (2011). Caracterización física del fruto en variedades de plátano cultivadas en la zona cafetera de Colombia. *Acta Agronómica*, 60(2), 176-182.
- Cutler, D., & Miller, G. (2005). El papel de las mejoras en la salud pública en los avances de la salud: los Estados Unidos del siglo XX. *Demografía*, 42(1), 1-22.
- Fúquene, D., & Yate, A. (2018). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Ecapma, Working Papers*, 2(1).
- Gamarra, F. (2014). *Evaluación del uso de cáscaras de banano (Musa Paradisiaca sp.) para la descontaminación del agua con metales pesados de la cuenca de Milluni-La Paz* [tesis, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, La Paz, Bolivia].
- García-Fayos, B., Arnal Arnal, J. M., & María, S. (2015). Uso de coagulantes naturales para la potabilización del agua en países en vías de desarrollo. En R. Puchades Pla, & C. D. Desarrollo (ed.), *Adiseo cooperación: experiencias de investigación del desarrollo humano* (pp. 145-162). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Gurdián-López, R., & Coto-Campos, J. (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), 18-26.
- Guzmán, A., & Guzmán, S. (2016). *Evaluación de la eficiencia de la utilización de residuos orgánicos de cáscara de banano como alternativa en la descontaminación de metales pesados en el agua del cauce del río Bogotá antes de su desembocadura en*

- el río Magdalena, en el municipio de Girardot [tesis, Universidad Piloto de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá].
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *UDCA. Actualidad y Divulgación Científica*, 16(1), 253-262.
- Kakoi, B., Wambua, J., Ndiba, P., & Thiong'o, G. (2016). Banana pith as a natural coagulant for polluted river water. *Ecological Engineering*, 95, 699-705. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoeng.2016.07.001>.
- Mazzeo, M., Alzate, A., & Marín, M. (2008). Obtención de almidón a partir de residuos poscosecha del plátano dominico hartón (*Musa AAB Simmonds*). *Vector*, 57.
- Miller, S., Ezekiel, F., Oyanedel, V., Smith, J., & Zimmerman, J. (2008). Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia spp.* as a natural coagulant for potential application in water treatment. *Environmental Science & Technology*, 42(12), 4274-4279. doi:10.1021/es7025054.
- Minagricultura (octubre de 2018). *Indicadores e instrumentos cadena plátano* (Gobierno de Colombia, ed.) Recuperado en agosto de 2020, de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Platano/Documentos/2018-10-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>.
- Minvivienda (2017). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Título C. Reglamento*, Ministerio de Vivienda, Bogotá.
- Molina, E. J. (2016). *Evaluación de coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas* [tesis de maestría, Universidad Popular del Cesar].
- Paca Telenchano, F. (2018). *Obtención del polisacárido (almidón) de la cáscara Musa paradisiaca L., como coagulante natural para el tratamiento del río Monjas* [tesis, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador].
- Quiceno, M. C., Giraldo, G., & Villamizar, R. (2014). Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca sp. AAB, Simmonds*) para la industrialización. *UGciencia*, 20, 48-54.
- Rice, E., Baird, R., & Eaton, A. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Ríos, P. (2014). *Cinética de bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de banano maduro en polvo* [tesis, Universidad Técnica de Machala, Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud, Machala, El Oro, Ecuador].
- Rodrigues Boniolo, M. (2008). *Biossorção de urânio nas cascas de banana* [tesis, Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Biogeoquímica Ambiental, São Paulo]. doi:10.11606/D.85.2008.tde-19082009-155206.
- Romero, J. A. (2002). *Calidad del agua*. Bogotá, D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Tafur, L., & Quevedo, R. (2014). *Alternativa para el tratamiento de aguas residuales cromadas* [tesis, Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Agronómica, Ibagué].
- 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. *Ion*, 27(1), 17-34. Recuperado en julio de 2020, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-100X2014000100003&script=sci_arttext&lng=pt.
- Vejarano, R., Gurreonero, J., & Castillo, A. (2018). Adsorción de plomo (Pb) de aguas contaminadas mediante cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*). *16th Laccei International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Innovation in Education and Inclusion"* (pp. 1-4). Lima: Laccei.
- Whittington, D., Hanemann, W. M., Sadoff, C., & Jeuland, M. (2004). Sanitation and water. *Challenge Paper*, 21.