Maestría en Ingeniería Civil

Evaluación de la cáscara de Plátano (*AAB SIMMONDS*) como coagulante natural para la clarificación de aguas.

Mario Fernando Ortiz Carvajal

Bogotá, D.C., 09 de octubre de 2020

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO

Evaluación de la cáscara de Plátano (*AAB SIMMONDS*) como coagulante natural para la clarificación de aguas.

Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en Recursos Hidráulicos y medio ambiente

María Paulina Villegas De Brigard

Directora

Bogotá, D.C., 09 de octubre de 2020

La tesis de maestría titulada "Evaluación de la cáscara de Plátano (*AAB SIMMONDS*) como coagulante natural para la clarificación de aguas", presentada por Mario Fernando Ortiz Carvajal, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos hidráulicos y medio ambiente.

Directora de la tesis

María Paulina Villegas De Brigard

Jurado

María Carolina Romero Pereira

Jurado

Gladys Rocío González Leal

Bogotá, D.C., 09 de octubre de 2020

Dedicatoria

A Dios por permitirme el regalo de crecer en todos los aspectos de mi vida con bienestar y compartir su divinidad con todos nosotros, los seres humanos. A toda mi familia en especial a Pato, quien cree más en mí que yo mismo, a mi hija Bianca que con su inocencia y disciplina me enseña más de lo que yo a ella. A todas aquellas personas que con su presencia, voluntad y conciencia hacen un mundo más feliz, pacifico, libre y solidario y trabajan con su accionar diario por un planeta más limpio y sustentable.

Agradecimientos

A Dios por su bondad infinita y bendiciones constantes; a mi tutora la Ingeniera María Paulina Villegas de Brigard, que además de ser un faro guía en la realización de este trabajo con su tiempo y dedicación, es una persona fantástica; a la Ingeniera Amalia Avendaño quien me facilito y ayudó con los ingresos y acompañamientos en el laboratorio de la Escuela, con mucha diligencia y amabilidad; a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por su organización y evidente profesionalismo y a todo su profesorado y personal administrativo por hacer muy grato y satisfactorio mi estudio de postgrado; a la empresa para la que laboro, HMV Ingenieros, que me apoyo tanto económicamente como con el tiempo, para que esta meta fuera cumplida; a mi amigo y jefe, el Ingeniero José Guillermo Mansilla, y mi superjefa y mamá en la oficina, la Ingeniera Nidia Alfonso quienes siempre me han apoyado y me han brindado con su accionar, respeto y cariño; a Yenniffer Bibiana Romero, quien me ha ayudado con su increíble gestión y ha estado pendiente de la entrega de este trabajo a la coordinación de postgrados; a todos los ingenieros y amigos que han estado al tanto de la evolución de este trabajo y en mayor o menor grado me han ayudado con su aporte de conocimiento y tips constantes. Gracias, muchas gracias.

Resumen

El uso de los coagulantes químicos representa altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo y la alteración del pH del agua tratada, como es el caso del sulfato de aluminio, que, a pesar de su excelente eficiencia en la remoción de materiales orgánicos y microorganismos, su uso se asocia a diversas enfermedades óseas, así como al Alzheimer y el cáncer; razón por lo cual es necesaria la búsqueda de alternativas como son los coagulantes de origen natural. En esa búsqueda se encontraron diversos estudios que reportan el gran potencial de algunas fuentes naturales en su uso como coagulantes y floculantes en la clarificación de aguas, incluso de residuos vegetales y los beneficios de estos frente a los coagulantes tradicionales como el alumbre. Entre estos coagulantes y floculantes naturales se han evidenciado varios tipos de vegetales con altas concentraciones de almidón, como son la yuca, la papa y el banano.

Dadas las características de las diferentes partes de los plátanos (fruto, cáscara, desechos de biomasa, pseudotallo) en sus diversas variedades, como potencial coagulante, gracias a sus concentraciones de almidón y a las características propias coagulantes reportadas por diversos autores y también a su amplia zona de siembra y producción que abarca la casi totalidad del territorio Colombiano, que hace de este un recurso de fácil adquisición y bajo costo; se tomó la cáscara de este vegetal en la variedad (*Musa AAB Simmonds*), que es la más común 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 realizaron 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 evidencio que, en ninguna de las aguas, con 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 a 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 bioabsorbente.

Tabla de contenido

Dedicatoria 4
Agradecimientos 5
Resumen 6
Índice de tablas 9
Índice de figuras 10
Índice de anexos 11
Introducción 12
Capítulo 1 Problema de investigación 15
Capítulo 2 Objetivos 16
2.1 Objetivo general 16
2.2 Objetivos específicos 16
Capítulo 3 Justificación 17
Capítulo 4 Antecedentes 20
4.1 Tratamiento de aguas para uso humano 20
4.2 Coagulantes para tratamiento de aguas 21
4.3 Coagulantes-floculantes naturales 21
4.4 Coagulantes-floculantes naturales en estudios colombianos 23
4.5 El plátano como agente para el tratamiento de aguas 24
Capítulo 5 Marco teórico conceptual 26
5.1 Partículas coloidales 26
5.1.1 Estabilidad coloidal 27
5.1.1.1 Desestabilización de coloides en tratamiento de aguas 28
5.1.1.1.1 Coagulación por adsorción 28
5.1.1.1.2 Coagulación por barrido 28
5.1.1.2 Factores influyentes en la coagulación 29
5.1.1.2.1 Concentración del coagulante 29

5.1.1.2.2 Características físicas y químicas del agua 29
5.1.1.3 Ensayo de jarras 30
5.1.1.4 Coagulantes 32
5.1.1.4.1 Coagulantes metálicos 32
5.1.1.4.2 Polielectrolitos 32
5.1.1.4.3 Coagulantes naturales 33
5.2 Plátano (*AAB Simmonds*) 34
5.2.1 Cáscara del fruto del plátano (*AAB Simmonds*) 38
Capítulo 6 Resultados 40
6.1 Equipos requeridos 41
6.2 Preparación de coagulante natural y agua problema 42
6.2.1 Agua problema 42
6.2.2 Obtención de coagulante natural a partir de la cáscara de plátano 43
6.3 Ensayos de jarras 49
6.3.1 Parámetros analizados 49
6.3.1.1 Caracterización del agua problema 49
6.3.1.2 Ensayos realizados al agua problema con coagulantes 50
Capítulo 7 Análisis y discusión de resultados 57
7.1 Rendimiento de la cáscara de plátano en la preparación del coagulante 57
7.2 Resultados con coagulante a base de cáscara de plátano 57
7.3 Resultados con coagulante a base de cáscara de plátano en aguas con altos contenidos de hierro (Fe) 57
Capítulo 8 Conclusiones 60
Capítulo 9 Recomendaciones 61
Bibliografía 62
Anexos 70

Índice de tablas

Tabla 1. Características de los tipos de coloides 26
Tabla 2. Clasificación del agua, dado su comportamiento en la coagulación 29
Tabla 3. Índice de Willcomb 30
Tabla 4. Variedades de plátanos cultivados en Colombia 35
Tabla 5. Producción de plátano en el territorio nacional para el año 2018 37
Tabla 6. Equipos utilizados en los ensayos de laboratorio 41
Tabla 7. Rendimiento de la cáscara de plátano en la conformación del polvo para el coagulante natural 47
Tabla 8. Caracterización del agua problema 1 (pH 5.6) 49
Tabla 9. Caracterización del agua problema 2 (pH 8.8) 50
Tabla 10. Resultados de ensayo con coagulante de polvo de cáscara de plátano y alumbre..... 51
Tabla 11. Resultados de ensayo con coagulantes de polvo de cáscara de plátano y alumbre con 40, 50 y 60 mg/L..... 52
Tabla 12. Porcentaje de remoción del contenido de hierro en agua con pH 9,0..... 56

Índice de figuras

Figura 1. Producción y área cosechada de plátano en Colombia..... 36
Figura 2. Zonas de producción de plátano en Colombia 37
Figura 3. Proceso metodológico del estudio a partir de la investigación experimental 41
Figura 4. Lago de la escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito..... 43
Figura 5. Cáscaras de plátano, trozadas, dispuestas en bandejas..... 45
Figura 6. Bandejas con cáscara de plátano dentro del horno de convección forzada 46
Figura 7. Material sobrante del proceso de tamizado (a) y polvo resultante del tamizado 47
Figura 8. Solución sin filtrar (a) y filtrada (b)..... 48
Figura 9. Parámetros medidos en las aguas coaguladas con alumbre (30 mg/L) y alumbre + cáscara de Plátano (30 mg/L de cada uno)..... 52
Figura 10. Parámetros medidos en las aguas coaguladas con alumbre y alumbre + cáscara de Plátano 53
Figura 11. Coloración del agua problema con pH alto durante la mezcla rápida con el.... 54
Figura 12. Sedimentación del floc y clarificación del agua 55
Figura 13. Agua clarificada al final del proceso de sedimentación 55
Figura 14. Contenido de hierro residual, usando solución a base de cáscara de..... 56

Índice de anexos

Anexo 1. Tablas de recopilación de datos de los ensayos de laboratorio.

Anexo 2. Equipos utilizados

Anexo 3. Tablas de recopilación de datos de las características de la cáscara de plátano

Introducción

En su último informe del año 2017 y primera evaluación mundial de los servicios de agua potable y saneamiento, el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (Unicef) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), informan que alrededor de 3 de cada 10 personas (2100 millones de personas) carecían de acceso a agua potable y disponible en el hogar, y 6 de cada 10 (4500 millones), carecían de un saneamiento seguro en todo el mundo (OMS, 2017).

Por otra parte, la Organización Mundial de la Salud define: “Ningún niño debe morir o enfermarse como resultado de beber agua contaminada, ni tampoco debe estar expuesto a los excrementos de otras personas o no disponer de un lugar para lavarse las manos” (OMS, UNICEF, 2017).

Por eso, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible reconoce el agua potable, el saneamiento efectivo y la higiene adecuada tanto como fines en sí mismos como factores que impulsan el progreso de muchos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS, entre ellos los que se refieren a la salud, la nutrición, la educación y la igualdad de género.

Los ODS, también conocidos como Objetivos Mundiales, son un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad (PNUD, 2019).

Estos objetivos mundiales están divididos en agendas y metas según la problemática a resolver. Dentro de las metas relacionadas con el agua, encontramos las siguientes según la Organización Mundial de la Salud y UNICEF (2017):

- Meta 6.1: De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.
- Meta 6.2: De aquí a 2030 lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados.
- Meta 6.3: La meta 6.3 de los ODS tiene como objetivo, entre otras cosas, reducir a la mitad la proporción de aguas residuales sin tratamiento y aumentar considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.

- Meta 6.4: Desde ahora y hasta el 2030 se debe aumentar el uso eficiente de los recursos hídricos y garantizar la sostenibilidad de la extracción y del abastecimiento de agua dulce y reducir de manera importante el número de personas con escasez de agua.
- Metas 6.5: De aquí a 2030, implementar la integración en la gestión de los recursos hídricos en todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, si es necesario.
- Metas 6.6: Desde ahora y hasta el 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.
- Metas 6.a: Desde ahora hasta el 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo a países en desarrollo para la creación de actividades y programas relativos al agua y el saneamiento.
- Metas 6.b: “Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento”.

Revisando el alcance de las metas determinadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), se puede apreciar que la generación de sistemas de tratamiento de aguas para consumo, así como el tratamiento de aguas residuales abarcan y hacen parte importante de varias de éstas. Cumplir con las metas trazadas requiere de un gran compromiso de todos los sectores activos de la sociedad, sobre todo de los sectores gubernamentales quienes son los encargados de la creación de los programas y planes que se ejecutarán en pro de los objetivos trazados; pero también, en un grado importante, del sector académico e industrial de los cuales se derivan la generación y evaluación de nuevas alternativas de tratamiento y tecnologías más adecuadas a implantar para cada territorio.

Los sistemas de tratamiento de agua en general son la columna vertebral en la estructuración de los procesos de generación y distribución de agua potable a la totalidad de la población de un territorio y de la optimización y adecuada disposición de aguas residuales generadas en estas mismas concentraciones humanas. Es por esto por lo que el adecuado uso e implementación de los sistemas de tratamiento genera mayor calidad de vida a los habitantes per se, puesto que la insuficiente cobertura y la mala calidad de los

servicios no sólo causan efectos negativos en la salud de la población, sino que, además, afectan el medio ambiente, la economía, el comercio exterior y la disponibilidad de agua para varios usos. (Jouravlev, 2004).

Para lograr beneficiar a cada uno de los habitantes de un territorio se hacen necesarios proyectos y planes de tratamiento de aguas que evalúen y determinen las necesidades puntuales de este territorio con base en la cantidad de habitantes, necesidades de tratamiento, caracterización y optimización de recursos disponibles, posibles impactos ambientales y características sociales propias existentes.

La constante actualización de los sistemas de tratamiento de aguas establecidos, así como la búsqueda de nuevas tecnologías son pilares fundamentales en la generación de poblaciones desarrolladas, en las cuales la totalidad de sus ciudadanos vivan de tal manera que sus necesidades básicas sean suficientemente atendidas y satisfechas. La finalidad de generar estas actualizaciones es la de garantizar que los recursos disponibles en la sociedad sean suficientes para la implementación y desarrollo funcional de estos sistemas a corto, mediano y largo plazo. Esta búsqueda debe ser realizada en todos los sectores activos de la sociedad, iniciando en el sector académico, del que hacen parte las universidades y centros de estudios relacionados con la salud humana, la protección y conservación del medio ambiente y el agua.

Es por lo que como, parte complementaria de la maestría en ingeniería civil con énfasis en recursos hidráulicos y medio ambiente, se presenta este trabajo, desarrollado para determinar las posibilidades del uso de desechos orgánicos como lo es la cáscara del plátano (*Musa AAB Simmonds*), un vegetal de amplia circulación en todo el territorio Colombiano, en el tratamiento de aguas, validando la idea de sacar el máximo provecho de los recursos disponibles, impactando positivamente en la reducción de desechos, haciéndolos aprovechables, impactando también de manera mucho más baja en el medio ambiente, produciendo sistemas más económicos y de menor generación de residuos en sus procesos.

Capítulo 1 Problema de investigación

El uso de los coagulantes químicos representa altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo y la alteración del pH del agua tratada, como es el caso del sulfato de aluminio, que 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); (Gurdían-Lopez & Coto-campos, 2011)), citados en (Molina, 2016), por lo que es necesaria la búsqueda de alternativas como son los coagulantes de origen natural, que son menos tóxicos, tanto para los seres humanos como para el medio ambiente ((Guzmán, Villabona, Tejada, & García, 2013), citado en (Carrasquero, Montiel, Parra, Marín, & Díaz, 2017, pág. 91)), e igualmente menos costosos, si son producidos localmente (García-Fayos, Arnal Arnal, & Maria, 2015). Varios autores han realizado acercamientos importantes en la búsqueda de estos coagulantes naturales; algunos de ellos estudiando las características coagulantes de diversos vegetales y sus partes, entre ellos los plátanos (fruto, cáscara, desechos de biomasa, pseudotallo) en sus diversas variedades. Este vegetal es comercializado en la casi totalidad del territorio nacional, sin contar además que Colombia es uno de los principales productores, a nivel mundial en sus variedades (*Musa paradisiaca)* y (*Musa AAB Simmonds)*; situación que origina grandes desechos en la cadena de producción – comercialización – consumo.

Por lo expuesto anteriormente, se plantea la pregunta:

¿Es la cáscara de plátano (*Musa AAB Simmonds)*, un desecho orgánico utilizable en el tratamiento de aguas mediante coagulación?

Capítulo 2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Comprobar la capacidad de coagulación de la cáscara del plátano (*Musa AAB Simmonds*).

2.2 Objetivos específicos

- Establecer un procedimiento de obtención de un coagulante a partir de la cáscara de plátano.
- Medir y cuantificar por medio de ensayos de laboratorio la capacidad de la cáscara del plátano en la clarificación de aguas.
- Determinar los rangos de aplicación y las dosis óptimos en los que un coagulante a base de cáscara de plátano tenga efectos clarificadores en las aguas.
- Establecer las dosis óptimas de un coagulante a base de cáscara del plátano como sustituto total o parcial de un coagulante químico convencional como el sulfato de aluminio.
- Comparar los resultados obtenidos por coagulación con la cáscara de plátano y con un coagulante químico convencional como el sulfato de aluminio.

Capítulo 3 Justificación

La elección de un sistema de tratamiento para el diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PPA), o de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) más adecuado para una población depende de varios factores, por tanto, los países deben desarrollar las capacidades necesarias para evaluar y seleccionar las tecnologías de tratamiento. (OMS; ONU-HABITAT, 2018).

Seleccionar de manera responsable los sistemas de tratamiento que más se acomodan a las capacidades de los países y de las regiones, tanto en materia económica, como ambiental haciendo uso de las tecnologías disponibles y de la investigación, para garantizar resultados eficientes, es una prioridad para lograr un avance significativo en la búsqueda de alcanzar las metas propuestas por la comunidad mundial en temas referentes al consumo de agua potable y tratamiento de aguas residuales; pues se garantiza que las tecnologías escogidas serán funcionales y con amplias opciones de mantenimiento y operatividad a lo largo del tiempo, en la región en la cual se usen, generando los menores impactos ambientales posibles y el mayor aprovechamiento de los recursos disponibles.

Los sistemas de tratamiento de agua potable se escogen dependiendo de las características propias del agua a tratar y de las condiciones requeridas; entre los varios tipos de sistemas y plantas de tratamiento de agua potable se encuentran las plantas convencionales, plantas pequeñas para aguas crudas de buena calidad, plantas de ablandamiento, plantas de remoción de hierro y manganeso y plantas de filtración directa (Romero, 1999, págs. 22-23).

Una planta de potabilización de agua (PPA) convencional cuenta generalmente con el siguiente orden de procesos de tratamiento:

- Coagulación
- Floculación
- Sedimentación
- Filtración rápida
- Desinfección

Dentro de estos, la coagulación es el proceso central y más importante en el tratamiento convencional para producir agua potable (Dempsey, 2006); es por esta razón que se hace de suma importancia analizar las opciones de mejoramiento, pues conllevarían un significativo impacto positivo en los actuales sistemas de potabilización del agua, buscando generar una posible reducción en los costos, facilidades de adquisición y mejor aprovechamiento de los insumos o reducción en la cantidad de los residuos contaminantes, resultantes del proceso.

Se han encontrado diversos estudios que reportan el gran potencial de algunas fuentes naturales en su uso como coagulantes y floculantes en la clarificación de aguas (Bravo, 2017), incluso de residuos vegetales (Paca Telenchano F. R., 2017) y los beneficios de estos frente a los coagulantes tradicionales como el sulfato de aluminio, también conocido como alumbre (Guzmán, Villabona, Tejada, & García, 2013). Entre estos coagulantes y floculantes naturales se han evidenciado varios tipos de vegetales con altas concentraciones de almidón, como son la yuca, la papa y el banano (Molina, 2016), (Herrera, 2015) y (Carrasquero, Montiel, Parra, Marín, & Díaz, 2017).

Los plátanos (fruto, cáscara, desechos de biomasa, pseudotallo) en sus diversas variedades, se perfilan como coagulante potencial, gracias a sus concentraciones de almidón y a las características propias coagulantes reportadas por diversos autores, entre ellos(Carrasquero, Montiel, Parra, Marín, & Díaz, 2017), quienes trabajaron con la biomasa del banano; (Trujillo, y otros, 2014), quienes experimentaron con el fruto en combinación con el sulfato de aluminio líquido; (Paca Telenchano F. R., 2017) que estudió la capacidad de remoción de turbiedad en aguas residuales de la industria láctea, con la cáscara del plátano; (Paca Telenchano F. , 2018), que trabajó con la amilosa extraída de la cáscara del plátano seda; (Kakoi, Wambua, Ndiba, & Thiong'o, 2016) quienes estudiaron la cáscara del banano; (Araúz, y otros, 2015) quienes evaluaron el tanino extraído del pseudotallo del banano. Se destaca además su amplia zona de siembra y producción que abarca la casi totalidad del territorio colombiano (Belalcázar Carvajal, 1991, págs. 23-27), y que hace de éste un recurso de fácil adquisición y bajo costo. Se escogió la cáscara de este vegetal en la variedad (*Musa AAB Simmonds*), que es la más común comercializada en Colombia, para la revisión de un posible sustituto o coadyuvante orgánico de los coagulantes tradicionales, en tratamiento de agua.

El presente estudio busca entonces establecer las posibilidades como coagulante en el tratamiento de aguas, de la cáscara del plátano (*Musa AAB Simmonds*); siendo una industria[1] de altos excedentes de residuos, debido a su alta producción en Colombia, que alcanzó las tres millones trescientas setenta y nueve mil setecientas cuarenta y dos (3´379.742) toneladas en el año 2010 (García, 2013) y al desaprovechamiento de estas cáscaras por la industria en general. Este trabajo se realiza con el ideal de sacar el máximo provecho de las cáscaras del plátano que pueden transformarse en recursos disponibles para la conformación de sistemas de tratamiento de agua más económicos traduciéndose a la vez en una menor generación de residuos, impactando también de manera mucho más baja el medio ambiente.

[1] Producción, transporte, y comercialización del plátano en territorio nacional, así como exportación.

Capítulo 4 Antecedentes

4.1 Tratamiento de aguas para uso humano

El tratamiento de agua para el consumo humano fue fundamental para el crecimiento y desarrollo de la humanidad y en la generación de los adelantos llevados a cabo en materia de salubridad a partir de los inicios del siglo XX. Según los ganadores del nobel de Economía en el 2019 (Banerjee & Duflo, 2019, pág. 71) “Existe un estudio que afirma que, gracias a la introducción de agua corriente, las mejoras higiénicas y el clorado de los depósitos de agua entre 1900 y 1946 la mortalidad cayó casi hasta la mitad, y la mortalidad infantil se redujo aproximadamente el 75 por ciento durante ese periodo”, refiriéndose a lo informado por ((Cutler & Miller, 2005) y (Bryce, Boschi-Pinto, Shibuya, Black, & Group, 2005)).

A pesar de los grandes avances respecto a la potabilización de agua para consumo humano, relacionados por diversas entidades a nivel mundial; se siguen encontrando escollos en el camino a las metas propuestas por entidades como la OMS y UNICEF, sobre todo en países en vías de desarrollo (García-Fayos, Arnal Arnal, & Maria, 2015, págs. 147-149). La opinión general es que actualmente el suministro de agua corriente y de servicios higiénicos, es todavía cara para los presupuestos de los países en desarrollo ((Banerjee & Duflo, 2019, pág. 72), según lo reportado por (Whittington, Hanemann, Sadoff, & Jeuland, 2004) ; (García-Fayos, Arnal Arnal, & Maria, 2015)); por tal motivo encontrar la manera de reducir estos costos es una parte del avance requerido, para incrementar los servicios de potabilización a nivel mundial.

Hay mucho margen de variación dentro del proceso básico de tratamiento de agua. Los productos químicos agregados en diferentes etapas pueden desencadenar reacciones que descomponen las moléculas orgánicas gruesas y tóxicas en pedazos menos dañinos. Los sistemas de intercambio iónico que separan los contaminantes por su carga eléctrica pueden eliminar iones como el magnesio o el calcio que hacen que el agua sea "dura", así como los metales pesados, como el plomo y el arsénico, y los nitratos de la escorrentía de fertilizantes. Las ciudades mezclan y combinan estas estrategias, ajustando los productos químicos y priorizando los componentes del tratamiento, en función de las cualidades químicas precisas del suministro de agua local. (Laurel, 2018). Esta distinción de las

características del agua según su ubicación particular es también un parámetro importante que determina qué procesos y elementos son requeridos en el tratamiento.

4.2 Coagulantes para tratamiento de aguas

Dentro de los productos usados en los procesos de tratamientos de aguas se encuentran los coagulantes-floculantes, que son aquellos elementos que, añadidos al agua, ayudan a que las partículas que la enturbian y contaminan, se aglutinen y formen elementos más pesados (flóculos) que se sedimentan, limpiando el agua en el proceso, reduciendo su turbidez y mejorando el color y en algunos casos eliminando microorganismos adheridos a las partículas y, en ocasiones, metales y otros tipos de contaminantes.

Los coagulantes se encuentran clasificados en tres tipos como son: coagulantes a base de sales metálicas, coagulantes a base de polímeros sintéticos y coagulantes de origen natural ((Tafur & Quevedo, 2014) citado 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, así como la búsqueda de lograr un óptimo entendimiento de sus capacidades reales en diversas condiciones y tipos de aguas.

4.3 Coagulantes-floculantes naturales

La historia del uso 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, pág. 1); (García-Fayos, Arnal Arnal, & Maria, 2015, pág. 150)). Sin embargo, es desde hace poco tiempo[2] que 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, Saez, Lloréns, soler, & Ortuño, 2002, pág. 17),. Mónica Alejandra Bravo (2017), realizó una recopilación de información extensa, sobre la capacidad de coagulación y floculación de extractos derivados de fuentes naturales, tanto vegetales como animales, con usos en aguas residuales. En su trabajo nombra los cuatro coagulantes vegetales más conocidos entre los estudiosos del tema como son las semillas de Nirmali

[2] Aproximadamente desde finales de los años setenta.

(Strychnos potatorum), Moringa oleífera, taninos y cactus (Bravo, 2017, pág. 9). Algunos de los elementos orgánicos con capacidad coagulante en el tratamiento de aguas residuales, resultantes de la investigación bibliográfica realizada por esta autora son las semillas con cáscara y sin cáscara de *Moringa oleífera*, vainas de *Cassia obtusifolia,* semillas con cáscara de *Jatropha curcas,* semillas de *Aesculus hyppocastanum,* semillas de Quercus robur, vainas de *Abelmoschus esculentus*, cáscaras de *Plantago mayor L.,* mucilago de *Opuntia fius indica*, semillas de *Vitis vinífera*, cáscaras de *Plantago psyllium*, semillas de Phaseolus vulgaris, semillas de *Vicia foba L.* y escamas de pescado.

Bravo (2017, pág. 101), concluye que varios estudios de los informados en su investigación mostraron una capacidad de eliminación de contaminantes en porcentajes superiores al 90%. Esta autora también revisó la información reportada por diversos estudios de la capacidad de eliminación de metales pesados de algunos agentes coagulantes derivados de plantas como son los Cladodios de la *Opuntia ficus-Indica* reportado por (Nharingo, Zivurawa, & Guyo, 2015); las cáscaras del plátano (*Musa spp.)* informado por (Kakoi, Wambua, Ndiba, & Thiong'o, 2016) y los desechos de los exoesqueletos de los cangrejos entre otros.

Guzmán y otros (2013), realizaron una revisión bibliográfica acerca del uso de coagulantes naturales de origen vegetal, utilizados para la remoción de turbidez en el tratamiento de aguas. En su documento informan los resultados obtenidos por (Babu & Chaudhuri, 2005) que usando Nirmali (*Strychnos potatorum*), obtuvieron eficiencias de remoción de turbidez entre el 83 y 88% y usando *Moringa oleífera,* eficiencias entre el 94 y 99%; los estudios de (Šćiban, Klašnja, & Jelena, 2005) , quienes usaron Falso indigo Bush (*Amorpha fructicosa*), Carob (*Ceratonia siliqua*), Black Locust (*Robinia pseudoacacia)* y Cargamanto (*Phaseolus vulgaris*), y lograron eficiencias entre el 60 y el 100%; los estudios de (Zhang, Zhang, Luo, & Yang, 2006), alcanzando eficiencias en la remoción de turbidez del 90%, usando *Cactaceous opuntia;* Estudios de (Graham, Gang, Fowler, & Watts, 2008), quienes usando polímeros catiónicos a base de taninos (TBP), lograron eficiencias del 85%; (Fernández, Magaly, Herrera, Mejías, & Diaz, 2012), alcanzaron eficiencias entre el 80 y el 95%, con el uso de exudado gomoso de la (*Acacia siamea*); (Miller, Ezekiel, Oyanedel, Smith, & Zimmerman, 2008) encontraron eficiencias entre el 90 y 92%, con el uso de *Opuntia spp.* y *Moringa oleífera; los estudios de* (Šćiban, Klašnja, Antov, & Škrbić, 2009), quienes usando semillas de Castaño (*Aesculus hyppocastanum*), Castaño común (*Castanea sativa*), Roble

común (*Quercus robur*), Roble turco (*Quercus cerris*) y Roble rojo (*Quercus rubra*), lograron eficiencias entre el 40 y 85%; (Pritchard, Craven, Mkandawire, Edmonson, & O´Neil, 2010), estudiaron las semillas de *Moringa oleifera* y *J. curcas,* con resultados óptimos de eficiencias superiores al 95%. Beltrán *et al* (2010) encontraron eficiencias entre el 80 y 95%, usando como coagulante Quebrancho (*Schinopsis balansae*), así como Beltrán *et al* (2011) eficiencias del 75% con Acacia Australiana (*Acacia mearnsii*); (Antov, Šc´iban, & Petrovic, 2010), trabajaron con el frijol común (*Phaseolus vulgaris*), obteniendo eficiencias del 72,8%. (Asrafuzzaman, Fakhruddin, & Hossain, 2011) obtuvieron eficiencias del 86,9% con la *Moringa oleífera,* del 84,5% con *Dolichos Lablab* y 93,8% con *Cicer Arietinum;* (Pritchard, Mkandawire, Edmondson, O'Neill, & Kululanga, 2009) estudiaron la Goma Guar *(Cyamopsis Tetragonolobus),* con resultados en la eficiencia de remoción de turbidez del 90%.

4.4 Coagulantes-floculantes naturales en estudios colombianos

A nivel nacional varios autores han realizado estudios en el tema de coagulantes naturales como son: (Villabona, Paz, & Jasser, 2013), quienes realizaron su estudio basados en la capacidad de coagulación del Nopal o Tuna (*Opuntia Ficus-Indica*), encontrando eficiencias del 50% en remoción de color y 70% en turbiedad; (Trujillo, y otros, 2014), realizaron ensayos de remoción de turbiedad en una fuente natural de la ciudad de Manizales, usando almidón de plátano y sulfato de aluminio, destacando que los mejores resultados se obtuvieron en aguas con pH igual a 5, una relación almidón-alumbre de 50:50 en porcentaje de peso, velocidad de mezcla rápida de 150 rpm y velocidad de mezcla lenta de 20 rpm; (Zamudio, y otros, 2015), realizaron estudios con cristales de sábila, Nuez de semilla de mango dulce, cáscara de mandarina, el fruto de la guatila, semillas de tamarindo, hojas y corteza de *Moringa oleífera* y el fruto de la pitahaya, encontrando resultados medianamente óptimos con la pitahaya y los cristales de sábila, con eficiencias en la remoción de la turbiedad del 47%, analizando aguas crudas provenientes de cuerpos de agua del Municipio de Fusagasugá; (Molina, 2016), realizó una tesis en la que se informa de ensayos con *Moringa oleífera, Cactus opuntia,* algas y almidón de yuca, para determinar su capacidad de coagulación y su relación con los resultados obtenidos con sulfato de aluminio, obteniendo eficiencias en la remoción de turbiedad sobre el 93%, con la particularidad de que, comparado con el sulfato de aluminio, se requiere de más tiempo de contacto con los

coagulantes naturales; también (Tafur & Quevedo, 2014), estudiaron las posibilidades del tratamiento de aguas cromadas usando quitosano extraído del exoesqueleto del camarón, con buenos resultados.

4.5 El plátano como agente para el tratamiento de aguas

Particularmente con el plátano, en sus diversas variedades; ya sea con el fruto, o con los desechos, se han realizado varios estudios; entre ellos y además el más llamativo es el realizado por (Rodrigues Boniolo, 2008) en el que el plátano demostró ser un biosorbente eficiente de uranio; el ya referido anteriormente de (Trujillo, y otros, 2014), con almidón de plátano; la tesis realizada por (Rios, 2014), en la que se informa de las buenas propiedades de la biomasa del banano, en la remoción de arsénico, en aguas sintéticas; el estudio realizado por (Gamarra, 2014), que evaluó la capacidad de adsorción de la cáscara del banano *(Musa Paradisiaca),* de elementos como el plomo, hierro y manganeso presentes en las aguas de varias lagunas en sectores mineros cerca de la ciudad de la Paz en Bolivia, encontrando intercambio iónico entre la cáscara y el agua a tratar; el estudio de (Araúz, y otros, 2015), en el cual se analizó la capacidad de utilización del tanino extraído de la savia del tallo del banano (*Musa Paradisiaca*), con el fin de clarificar aguas de un lago de oxidación, logrando reducciones del 55% en la turbidez; el trabajo anteriormente nombrado de (Kakoi, Wambua, Ndiba, & Thiong'o, 2016) en la remoción de turbidez, sulfatos, cobre, cromo, zinc y plomo con cáscaras de banano; la tesis presentada por (Guzmán & Guzmán, 2016), revisó la capacidad de la cáscara del banano en la adsorción de metales pesados en el río Bogotá, cerca de la desembocadura al río Magdalena, en el municipio de Girardot en Colombia, concluyendo que la cáscara no fue efectiva en las condiciones base planteadas, atribuyendo en parte esta inefectividad al pH alcalino del agua del río de 7,87; el estudio de (Carrasquero, Montiel, Parra, Marín, & Díaz, 2017), en el cual se informa que trabajaron con la pulpa del fruto del banano (*Musa paradisiaca*), en la clarificación de aguas, obteniendo buenos resultados y eficiencias superiores al 89%, en la remoción de la turbidez; el trabajo de (Paca Telenchano F. R., 2017), en el que además de los residuos del camote, la yuca y la papa, se analizó la capacidad de remoción de la turbidez de la cáscara del plátano en aguas residuales de la industria láctea, usando polímeros aniónicos como coadyuvantes; el estudio de (Vejarano, Gurreonero, & Castillo, 2018) en el cual se analizó la capacidad de la biomasa de la cáscara del banano (*Musa Paradisiaca*), en la remoción

de plomo (Pb) con resultados de hasta el 98% de eficiencia; (Paca Telenchano F. , 2018) trabajó extrayendo el almidón de la cáscara del plátano seda (*Musa paradisiaca L.*), probando su capacidad coagulante en aguas del rio Monjas en Ecuador; y más recientemente el estudio de (Campos & Porras, 2019), mostró la efectividad en la remoción de hierro y manganeso de más del 80%, en agua extraída de un pozo, en Mayobamba, ciudad ubicada en la región norte del Perú, usando un filtro casero compuesto de arena y grava cuarzosa y harina de la cáscara de plátano (*Musa spp*).

Capítulo 5 Marco teórico conceptual

5.1 Partículas coloidales

Una suspensión o dispersión coloidal es un sistema físico que está compuesto por dos fases: una líquida y otra dispersa en forma de partículas sólidas, de tamaño relativamente grande[3] (Wisconsin-Madison).

La diferencia entre una solución, un coloide y una suspensión, radica en el tamaño de partícula del soluto o fase a dispersar:

- Solución: partícula de 0,1 a 10 nanómetros.
- Coloide: partícula de 10 a 100 nanómetros.
- Suspensión: Partícula mayor a 100 nanómetros (Wisconsin-Madison).

Los sistemas coloidales se clasifican en 2 grupos ((Kruyt, Jonker, & Overbeek, 1952) citado en (Aguilar, Saez, Lloréns, soler, & Ortuño, 2002)):

- Coloides reversibles: son estables termodinámicamente, como el jabón, las proteínas y almidones.
- Coloides irreversibles: Son aquellos inestables termodinámicamente, como las arcillas y los óxidos metálicos. Estos son clasificados en *diuturnales* y *caducos,* o estables e inestables respectivamente.

Los coloides también han sido clasificados históricamente en hidrofóbicos[4] e hidrofílicos[5], con las características que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los tipos de coloides

Características	Liofóbico (Hidrofóbico)	Liofilico (Hidrofílico)
Tensión superficial	Similar al medio	menor que el medio
Viscosidad	Es muy similar a la de la fase dispersante sola	Mayor que la fase dispersante sola

[3] Partículas que no son apreciables a simple vista, pero mucho más grandes que cualquier molécula, entre unos 10 nanómetros y 1000 micrómetros.
[4] No reaccionan con el agua.
[5] Reaccionan con el agua.

Características	Liofóbico (Hidrofóbico)	Liofilico (Hidrofílico)
Reacción a los electrolitos	Adición de pequeñas cantidades de electrolito pueden producir la agregación	Se requiere de mayor cantidad de electrolito para producir la agregación
Aplicación de un campo eléctrico	Las partículas migran en una dirección bajo la acción de un campo eléctrico	Pueden migrar en ambas direcciones o no bajo la acción de un campo eléctrico
Ejemplos	Óxidos metálicos, sulfuros, plata, metales	Proteínas, almidones, gomas, virus, bacterias

Fuente: *Tabla 1. Tipos y características de los coloides* (Aguilar, Saez, Lloréns, soler, & Ortuño, 2002, pág. 22).

5.1.1 Estabilidad coloidal

La estabilidad coloidal se refiere a la tendencia de las partículas coloidales de quedarse en suspensión; por lo tanto, esta estabilidad es opuesta al termino coagulación, pues a mayor estabilidad, se hace más difícil la unión en núcleos de mayor tamaño que favorezcan su sedimentación (Aguilar, Saez, Lloréns, soler, & Ortuño, 2002, pág. 21).

Las partículas coloidales sólidas en una dispersión acuosa se mueven al aplicar un campo eléctrico, pues estas partículas son portadoras de una carga eléctrica. Las partículas coloidales como por ejemplo las arcillas, óxidos metálicos hidratados, bacterias, fibras de pulpa, proteínas, pueden desarrollar una carga eléctrica por varios caminos (Weber, 1979, pág. 67).

"La carga eléctrica del mismo signo de las partículas coloidales origina una repulsión entre ellas, (generalmente en el agua las partículas de arcilla y otros coloides tienen carga negativa), impidiendo así su unión y separación del líquido, de aquí la necesidad de adicionar un electrolito que neutralice la carga eléctrica del coloide para eliminarlas por decantación" ((Lorenzo-Acosta, 2006, pág. 11) citado de (Ritcher & de Vargas, 1992)).

La estabilidad coloidal obedece según los estudios mencionados por (Aguilar, Saez, Lloréns, soler, & Ortuño, 2002, pág. 23), a las interacciones existentes entre partículas como son, entre otras[6]:

[6] Otras fuerzas (magnéticas y las debidas a la estructura del líquido).

- Fuerzas de London-Var der Waals
- Interacción eléctrica
- Fuerzas de hidratación
- Interacción Hidrofóbica
- Interacción estérica

5.1.1.1 Desestabilización de coloides en tratamiento de aguas

Generalmente la desestabilización de los coloides en procesos de tratamiento se lleva a cabo por la adsorción de especies coagulantes[7] o por inmersión dentro de los precipitados de hidróxido o carbonato[8] (Weber, 1979, pág. 78).

5.1.1.1.1 Coagulación por adsorción

Al agregar coagulantes de carga eléctrica contraria a la de los coloides, tal como sales de aluminio o de hierro se forman una serie de especies solubles hidrolizadas, que se adhieren al coloide y lo desestabilizan, permitiendo la formación de flóculos. En este proceso cuando la cantidad de coloide es grande, la distancia entre partículas es menor. Por consiguiente, mayor la fuerza de atracción y es menor la energía requerida para su desestabilización, así como su potencial zeta (Barrenechea Martel, 2004, pág. 198).

5.1.1.1.2 Coagulación por barrido

Con dosis suficientemente altas de coagulante, se forma un precipitado de coagulante que arrastra de la suspensión a las partículas coloidales. Este tipo de coagulación es presentada normalmente cuando el agua es clara y el porcentaje de partículas coloidales bajo. Debido a lo anterior la distancia entre las partículas es mayor, las fuerzas de atracción son menores y se requiere mayor cantidad de coagulante y energía para desestabilizarlas, aumentando el potencial zeta (Barrenechea Martel, 2004).

[7] Adsorción de las especies hidrolíticas por el coloide, provocando la neutralización de las cargas (Barrenechea Martel, 2004).
[8] Coagulación de barrido (Barrenechea Martel, 2004).

5.1.1.2 Factores influyentes en la coagulación

Varios son los factores que influyen en la coagulación como son:

5.1.1.2.1 Concentración del coagulante

Existe mucha especulación respecto a la influencia que tiene la concentración de la solución de coagulante en la eficiencia del proceso de tratamiento (Barrenechea Martel, 2004, pág. 213); sin embargo, es un factor que debe ser tenido en cuenta y analizado en los ensayos, para determinar las capacidades de los coagulantes.

5.1.1.2.2 Características físicas y químicas del agua

Los factores de mayor incidencia en el proceso de coagulación son la naturaleza del agua y las variables químicas, como son la alcalinidad y el pH del agua, el tamaño de las partículas y la temperatura (Barrenechea Martel, 2004, pág. 213).

(Arboleda Valencia, 1973) Clasifica las suspensiones como se muestra en la Tabla *2*, según su comportamiento en la coagulación, usando los cuatro (4) tipos de agua referenciados por (O´Melia, 1969):

Tabla 2. Clasificación del agua, dado su comportamiento en la coagulación

Tipo de agua	Coagulación producida por	Se requiere
1. Baja concentración de coloides, baja alcalinidad	Formación de precipitado Floc de barrido	Alta dosis de coagulantes Adición de alcalinidad o partículas o ambas
2. Baja concentración de coloides, alta alcalinidad	Formación de precipitado Floc de barrido	Alta dosis de coagulantes. Adición de partículas
3. Alta concentración de coloides, baja alcalinidad	Adsorción de polímeros metálicos positivos en la superficie de los coloides (pH 4 a 7)	Dosis de coagulante incrementa con concentración de partículas. Adición de alcalinidad

Tipo de agua	Coagulación producida por	Se requiere
4. Alta concentración de coloides, alta alcalinidad	Adsorción de polímeros metálicos positivos en la superficie de hidróxidos (pH mayor de 7)	Dosis de coagulante incrementa con concentración de partículas.

Fuente*: Tabla 2-4. Clasificación del agua según su comportamiento en la coagulación* (Arboleda Valencia, 1973)

5.1.1.3 Ensayo de jarras

Es un ensayo representativo a pequeña escala para determinar el comportamiento de los productos coagulantes y floculantes (Gómez Puentes, 2005), simulando las condiciones de coagulación, floculación y sedimentación (Paca Telenchano F. R., 2017, pág. 23) en el agua, en una planta de tratamiento (Arboleda Valencia, 1973).

Este ensayo consiste en generar la simulación ya comentada por medio del movimiento de acción rápida[9] y lenta[10], durante determinado tiempo en cada etapa, usando para esto un equipo mecánico o electromecánico con paletas a sumergir en vasos de precipitado[11], que deben estar ocupados por el agua a ensayar.

(Arboleda Valencia, 1973), lista las diferentes consideraciones de tipo cuantitativo y cualitativo que se pueden contemplar y medir con el ensayo de jarras:

- Observación visual: Se puede en el ensayo observar cómo se desarrolla el floc en cada una de las jarras para determinar en cuál se ha formado mejor. Para determinar esto se puede usar el índice de Willcomb el cual se muestra en la Tabla 3. Estas observaciones son cualitativas y dependen mucho del criterio y experiencia del observador.

Tabla 3. Índice de Willcomb

Número de índice	Descripción
0	Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación

[9] Mezcla rápida 80-100 rpm por 30 seg. (Arboleda Valencia, 1973).
[10] Mezcla lenta 20-40 rpm por 15-30 min. (Arboleda Valencia, 1973).
[11] 5 o 6 vasos de boca ancha (Arboleda Valencia, 1973).

Número de índice	Descripción
2	Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
4	Disperso. Floc bien formado, pero uniformemente distribuido. (Sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
6	Claro. Floc de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Floc que se deposita fácil pero no completamente
10	Excelente. Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

Fuente*: Tabla 4-1. Índice de floculación de Willcomb* (Arboleda Valencia, 1973, pág. 161)

- Tiempo de formación del floc: Es determinar el tiempo en que comienza a formarse el floc; sin embargo, no necesariamente entre más rápido se forme el floc este es mejor. Estimar este tiempo es un poco difícil, pues el observador debe estar atento a todas las jarras al tiempo; así como en ocasiones el floc no es tan visible, por lo que es común que se tomen tiempos erróneos.
- Volumen del floc sedimentado: Es medir la cantidad de lodos sedimentados. Esto, es más fácil con aguas muy turbias, sin embargo, en aguas más claras esta medición es difícil. (Arboleda Valencia, 1973, pág. 162).
- Cantidad de coagulante residual: Se utiliza para medir las sobredosis de coagulante; este ensayo suele hacerse con las aguas sedimentadas de las plantas de tratamiento, pero rara vez en las pruebas de jarras; sin embargo, puede ser útil entre dos dosificaciones con resultados aparentemente similares. (Arboleda Valencia, 1973).
- Control del pH y alcalinidad: Se realizan mediciones antes y después del ensayo.
- Turbiedad residual: (Arboleda Valencia, 1973) informa sobre la importancia de tomar el sobrenadante que se produce en las jarras y medir la turbiedad.[12] De esta manera se puede determinar la eficiencia en la eliminación de este parámetro.
- Color residual: Se puede medir el color de la muestra antes del ensayo y posteriormente, para determinar la eficiencia en el cambio de este parámetro.

[12] Directamente: Usando un turbidímetro fotoeléctrico; filtrando: Haciendo pasar el sobrenadante por un filtro y posteriormente midiendo su turbiedad.

5.1.1.4 Coagulantes

Los coagulantes se pueden clasificar en coagulantes metálicos y polielectrolitos, ambos poliméricos. En los metálicos la polimerización se realiza cuando el coagulante toca el agua, después de la cual se presenta la adsorción por los coloides presentes en la fase acuosa; en los polielectrolitos las cadenas poliméricas ya se encuentran formadas cuando se los agrega al agua. (Arboleda Valencia, 1973, pág. 55).

5.1.1.4.1 Coagulantes metálicos

Se pueden clasificar de tres tipos:

- Sales de aluminio: Forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas son el sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal y el aluminato de sodio. Su principal falencia radica en que no actúan muy bien en aguas con pH muy altos o bajos.
- Sales de hierro: Tienen ciertas ventajas sobre las de aluminio, como es el funcionamiento en rangos mayores de pH y la generación de floc más pesados y de asentamiento más rápido. Las más conocidas son el cloruro férrico, el sulfato férrico y el sulfato ferroso.
- Compuestos varios: Otros compuestos pueden ayudar a coagular el agua, como lo es el carbonato de magnesio (Arboleda Valencia, 1973, pág. 66).

5.1.1.4.2 Polielectrolitos

Son polímeros orgánicos sintéticos de alto peso molecular (Villabona, Paz, & Jasser, 2013) con un gran número de sitios activos en sus cadenas, que pueden ser lineales o con brazos (Arboleda Valencia, 1973); de unidades monoméricas o grupos de ellas que contiene grupos ionizables. Un polielectrolito puede ser catiónico[13], aniónico[14] o anfolítico (contiene grupos positivos y negativos, como por ejemplo las proteínas); los polímeros que no contienen grupos ionizables se llaman no iónicos (Weber, 1979, pág. 86).

---

[13] Carga positiva. Son más eficientes con pH bajo (Guzmán, Villabona, Tejada, & García, 2013); (Paca Telenchano F. R., 2017).

[14] Carga negativa. Son más eficientes con pH alto (Guzmán, Villabona, Tejada, & García, 2013); (Paca Telenchano F. R., 2017).

La ventaja de los polielectrolitos es que cuando las partículas no pueden aproximarse debido a las fuerzas de repulsión creadas por la doble capa, la gran longitud creada por las cadenas poliméricas permite la unión por energía química (Arboleda Valencia, 1973).
Cuando se utilizan polímeros aniónicos para desestabilizar coloides negativos puede requerirse de sobredosificación y sobreagitación para vencer la barrera energética entre las partículas coloidales (Weber, 1979, pág. 91).
Cuando se usan polímeros catiónicos para desestabilizar coloides negativos, la desestabilización es producida por neutralización de carga, por enlaces de puente, o por una combinación de estos dos. (Weber, 1979, pág. 92).
Generalmente los polielectrolitos sintéticos se usan en combinación con coagulantes metálicos.

5.1.1.4.3 Coagulantes naturales

Son coagulantes alternativos, con gran potencial no explotado suficientemente y que se producen de manera espontánea gracias a reacciones bioquímicas en plantas y animales y presentan baja o nula toxicidad (Guzmán, Villabona, Tejada, & García, 2013, pág. 254). Algunos de estos coagulantes también eliminan agentes microbianos, además de poseer ciertas ventajas como son: disponibilidad local, su procedencia de recursos renovables, su origen natural, su uso ancestral y su biodegradabilidad (García-Fayos, Arnal Arnal, & Maria, 2015).

Dentro de los coagulantes naturales se encuentran entre otros los derivados del almidón y la celulosa, extractos vegetales, alginatos[15], ciertas gomas, guar y quitosan (Aguilar, Saez, Lloréns, soler, & Ortuño, 2002, pág. 59), taninos, *Moringa oleifera* y cactus (Guzmán, Villabona, Tejada, & García, 2013). Estos pueden tener propiedades catiónicas como el quitosan, 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, Saez, Lloréns, soler, & Ortuño, 2002).

Respecto a los almidones, estos se encuentran en dos formas asociadas (Aguilar, Saez, Lloréns, soler, & Ortuño, 2002):

[15] Extractos de algas.

- Amilosa: polímero lineal insoluble; es considerada como el agente coagulante más efectivo de los almidones. Se encuentra entre un 15 y 20% en el almidón y puede ser transformada en soluble mediante calentamiento según (Paca Telenchano F. , 2018).
- Amilopectina: Es altamente ramificada y parcialmente soluble en el agua. Se encuentra entre un 80 y 85% en el almidón (Paca Telenchano F. , 2018).

5.2 Plátano (*AAB Simmonds*)

La planta del plátano y del banano son monocotiledóneas, que hacen parte de la familia de las *musáceas,* de la cual se desprenden en 2 especies como son la *Musa acuminata* de la cual se desprenden los bananos[16] y la *Musa Balbisiana*, que en cruces interespecíficos con los *Musa acuminata* da origen al subgrupo de los plátanos (Belalcázar Carvajal, 1991, pág. 50). En líneas generales una planta de plátano está formada por el sistema radicular[17], el tallo[18] y sus yemas, el sistema foliar[19] y la inflorescencia que da origen al racimo (Belalcázar Carvajal, 1991, pág. 58).

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[20] y cenizas[21] y 30,7 % de carbohidratos en su mayoría en forma de almidón[22] en el fruto verde y en forma de azucares invertidos en el maduro.

En Colombia se siembran diferentes clones de plátanos comestibles, Sin embargo, los más consumidos y explotados son los cinco presentados en la Tabla 4:

[16] Clon bocadillo (AA), subgrupo Cavendish (AAA), Gros Michel (AAA), tafetán (AAA), IC 2 (AAAA), GAEP 2 (AAAA).
[17] Raíces.
[18] De aproximadamente 30 cm de diámetro.
[19] Hojas (formada por cuatro partes (Apéndice, limbo, seudopeciolo y vaina o yagua).
[20] Retinol, ácido ascórbico, tiamina, riboflavina y niacina.
[21] Azufre, Boro, calcio, cobre, fósforo, hierro, magnesio, manganeso, nitrógeno, potasio y zinc.
[22] El porcentaje de estos carbohidratos son: almidón 23%; celulosa 11%; sacarosa 0,2-4,2%; glucosa 4% (Belalcázar Carvajal, 1991, pág. 78), otros estudios informan porcentajes de almidón muy cercanos al 26% (Mazzeo, Alzate, & Marín, 2008).

Tabla 4. Variedades de plátanos cultivados en Colombia

Nombre vulgar	Grupo	subgrupo	Genoma Predominante	Altitud ideal de cultivo[23]	Utilización	
					Verde	Maduro
Hartón	(AAB)	Plátano tipo (Horn)	Acuminata	0-1000 msnm	Patacones, sancochos	Tajadas
Dominico Hartón	(AAB)	plátano tipo (Horn)	Acuminata	0-1500 msnm	Patacones, sancochos	Tajadas
Dominico	(AAB)	plátano tipo (French)	Acuminata	0-2000 msnm	Patacones, sancochos, harinas	Tajadas
Cachaco o Popocho	(ABB)	plátano tipo (Bluggoe)	Balbisiana	0-2000 msnm	Harina para alimentación animal	Tajadas
Pelipita	(ABB)	plátano tipo (Bluggoe)	Balbisiana	0-2000 msnm	Patacones	Tajadas

Fuente*: Tabla propia del autor con base en la información extraída de* (Belalcázar Carvajal, 1991).

"Comúnmente se observa un fenómeno de inestabilidad en las características típicas de los cultivares de plátano Dominico, Dominico Hartón y Hartón, de tal manera que una planta de Dominico Hartón puede generar variantes de tipo Dominico o Hartón" (Borja, Molina, Ramos, & Urrutia, 2018).

Respecto al banano, en Colombia se produce el clon *Gros Michael*, que es el más cultivado en el país, seguido del *Gran Naime* del *Grupo Cavendish*, que es el banano de tipo exportación. (Belalcázar Carvajal, 1991, pág. 52).

La producción mundial de musáceas[24] en 2007 se estimó en 104 millones de toneladas, en donde Colombia se ubicó como el séptimo productor del mundo con 6 millones de toneladas, después de India, Uganda, Brasil, China, Filipinas y Ecuador; de las cuales, 3,1 millones de toneladas corresponden al grupo de *musáceas Plantain* (*AAB*) (Catellanos & Lucas, 2011); en 2015 subió a 3,4 millones de toneladas, en 2016 a 3,9 millones de toneladas, en 2017 a 4,2 millones y hasta 4,3 millones de toneladas en 2018 (Minagricultura, 2018). Colombia ya en el año 2016 ocupaba el 4 lugar en producción, rendimiento y área sembrada de Plátano a nivel mundial, confirmando el crecimiento sostenido que ha tenido su cultivo en el país año tras

[23] msnm: metros sobre el nivel del mar.
[24] Bananos y plátanos para cocción

año, como se evidencia en la Figura 1, donde se encuentran los datos de la producción de plátano en Colombia en la década 2008-2018; así como las hectáreas de tierra requeridas para estas cosechas.

Según el Ministerio de agricultura (2018) “El cultivo de plátano es el cultivo frutal más sembrado en el país, hace parte de la canasta familiar de los colombianos y es uno de los cultivos más importantes para la seguridad alimentaria en el país”. Las variedades más cultivadas en el país actualmente son: Dominico Hartón, Hartón, Dominico y cachaco (Minagricultura, 2018); este último y el anteriormente mencionado pelipita son cultivados únicamente a nivel casero, para el uso familiar (Belalcázar Carvajal, 1991), sin influenciar significativamente en las estadísticas generales del grueso de la producción.

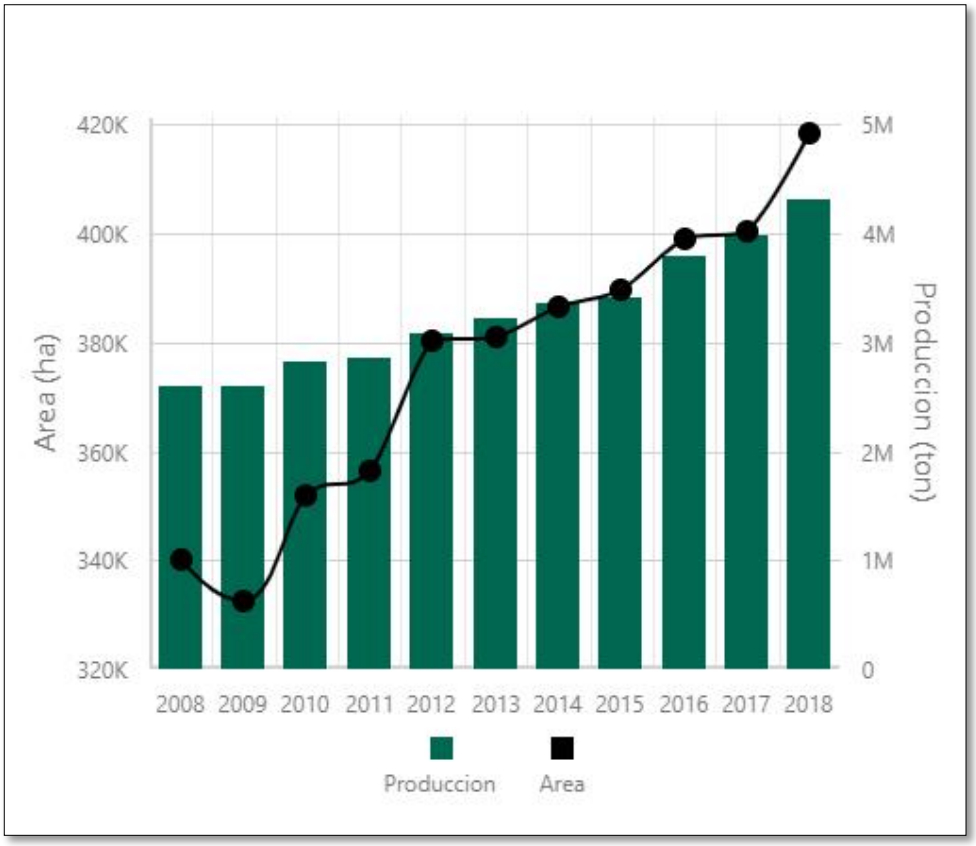


Figura 1. Producción y área cosechada de plátano en Colombia

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

En Colombia el ministerio de agricultura (2018) tiene identificadas 4 zonas productoras principales de plátano (ver Figura 2):

- Zona de Urabá y Noreste de Antioquía
- Zona centro
- Zona Llanos orientales
- Zona sur del Cauca.

No obstante, estas zonas principales, el plátano es cultivado en la totalidad del territorio nacional, como se evidencia en la información presentada en la Tabla 5.

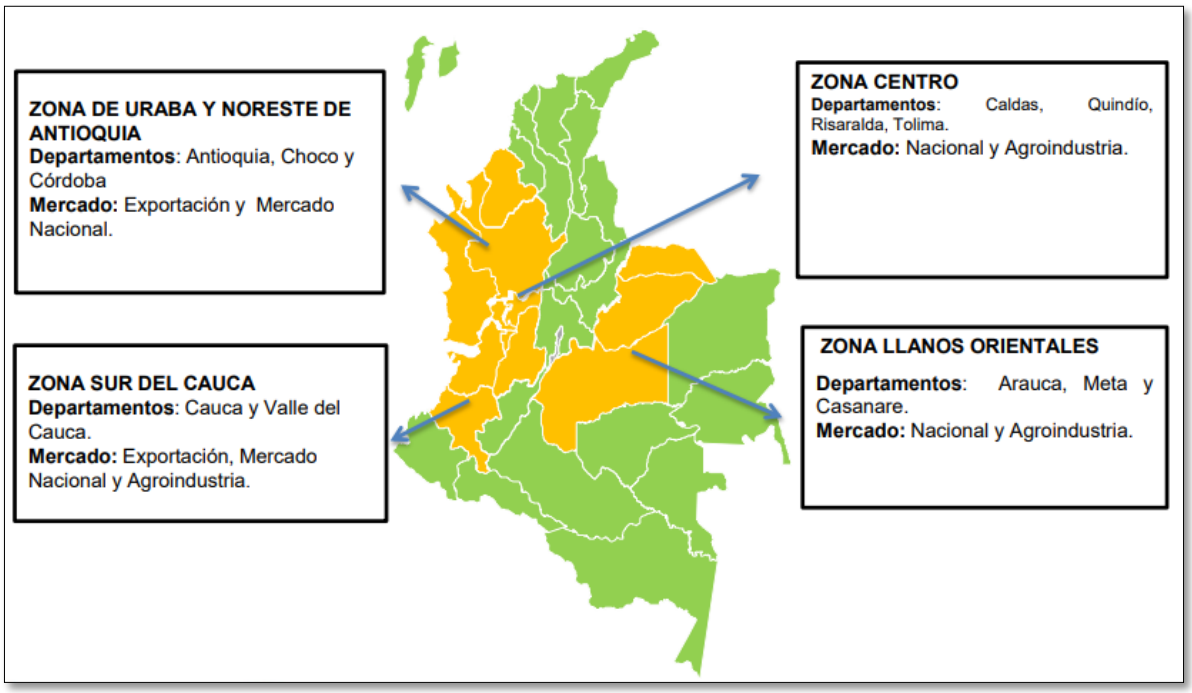


Figura 2. Zonas de producción de plátano en Colombia

Fuente: *Caracterización zonas de producción* (Minagricultura, 2018)

Tabla 5. Producción de plátano en el territorio nacional para el año 2018

Año	Departamento	Área (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ha/ton)
2018	AMAZONAS	537,00	2.685,00	5,00
2018	ANTIOQUIA	42.488,15	355.732,40	8,37
2018	ARAUCA	29.460,30	724.236,80	24,58
2018	ATLANTICO	858,75	12.750,00	14,85
2018	BOLIVAR	9.172,00	81.194,00	8,85
2018	BOYACA	3.717,20	32.017,75	8,61
2018	CALDAS	22.077,30	284.543,00	12,89

Año	Departamento	Área (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ha/ton)
2018	CAQUETA	16.086,00	100.146,20	6,23
2018	CASANARE	2.186,00	32.190,70	14,73
2018	CAUCA	21.250,00	106.095,95	4,99
2018	CESAR	3.282,96	23.095,08	7,03
2018	CHOCO	25.464,00	286.859,30	11,27
2018	CORDOBA	24.556,00	291.097,50	11,85
2018	CUNDINAMARCA	12.261,50	82.951,40	6,77
2018	GUAINIA	497,50	3.074,50	6,18
2018	GUAVIARE	4.695,00	56.340,00	12,00
2018	HUILA	24.099,70	94.689,88	3,93
2018	LA GUAJIRA	2.060,00	11.043,00	5,36
2018	MAGDALENA	2.891,00	15.416,00	5,33
2018	META	22.735,50	458.394,90	20,16
2018	NARIÑO	19.956,00	119.634,75	5,99
2018	NORTE DE SANTANDER	9.623,60	65.006,65	6,75
2018	PUTUMAYO	7.914,40	29.245,13	3,70
2018	QUINDIO	26.026,52	266.414,59	10,24
2018	RISARALDA	16.814,60	166.034,74	9,87
2018	SAN ANDRES Y PROVIDENCIA	3,44	54,07	15,73
2018	SANTANDER	12.600,44	145.314,59	11,53
2018	SUCRE	1.960,30	11.263,80	5,75
2018	TOLIMA	24.482,73	186.336,76	7,61
2018	VALLE DEL CAUCA	27.844,30	258.337,90	9,28
2018	VAUPES	236,00	1.187,00	5,03
2018	VICHADA	511,00	4.126,00	8,07
	TOTAL	**418.349,19**	**4.307.509,34**	

Fuente*: información extraída de la tabla en archivo.xlsx, búsqueda periodo 2008-2018* (Agronet, 2020)

5.2.1 Cáscara del fruto del plátano (*AAB Simmonds*)

La cáscara corresponde al 31,51% del peso total del fruto del plátano, en plátanos de segundas y terceras[25] y aproximadamente al 39% en plátanos de primeras[26] (Mazzeo, Alzate,

[25] Desechados por mala maduración y desarrollo fisiológico.
[26] Plátanos que alcanzaron un óptimo desarrollo.

& Marín, 2008, pág. 64). Esto nos lleva a estimar que de los 4,3 millones de toneladas de plátano producido para el año 2018 en Colombia, entre 1,4 y 1,6 millones de toneladas aproximadamente 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 postcosecha, durante la comercialización; estos residuos son mayormente frutos verdes o inmaduros, con grandes contenidos de almidón que de ser extraído correctamente podría funcionar como una alternativa de comercialización para pequeños productores; estos residuos equivalen al 10% de la producción, representados en pérdidas por patologías, perdidas por daños mecánicos y desechados por tamaño y apariencia; sin embargo 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 tienen un peso importante un poco más relevante que el de los desechos postcosecha, 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.

La cáscara del plátano contiene en proporción y mayormente los siguientes componentes de carbohidratos, en base seca[27]:

- Fibra: 8,6 %
- Azúcares totales: 6 %
- Almidón: 52 % (Mazzeo, Alzate, & Marín, 2008, pág. 59).

Estas cantidades de almidón encontradas en las cáscaras del plátano indican el potencial que hay en la investigación y el desarrollo de productos que requieran de estos polisacáridos extraídos de estos desechos particularmente.

[27] Sacando el contenido de agua.

Capítulo 6 Resultados

La tesis propuesta buscaba establecer la validez o no, de la cáscara de plátano como coagulante natural, mediante ensayos de laboratorio para determinar su potencial y capacidad real.

Una vez surtida la recopilación y análisis de la información bibliográfica y su exposición como parte de la fase de investigación teórica, como se evidencia en los capítulos anteriores, 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. Este proceso requiere como datos previos mínimos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda (Romero, Calidad del agua, 2002).

La prueba de jarras permite ajustar el pH, hacer variaciones en las dosis de las diferentes sustancias químicas que se añaden a las muestras, alternar velocidades de mezclado y recrear a pequeña escala lo que ocurriría en una planta de tratamiento a escala real. Una prueba de jarras puede simular los procesos de coagulación o floculación que promueven la remoción de coloides suspendidos y materia orgánica. (Ensayo de jarras en el laboratorio, 2014). El ensayo de jarras a realizarse en la etapa de laboratorio de esta tesis se basa en las recomendaciones determinadas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Rice, Baird, & Eaton, 2017).

El agua problema seleccionada es tomada del lago ubicado en las instalaciones de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Se realizan diluciones previas para mantener turbiedad y color aproximadamente constantes en el agua cruda para los diferentes ensayos de jarras.

Una vez realizados los ensayos se procede a la siguiente fase la cual consiste en recopilar y tabular los datos obtenidos, posteriormente se analizan los resultados y se generan las conclusiones pertinentes, las cuales se informan en los capítulos correspondientes. La metodología en su parte experimental y en la fase de resultados y análisis esquematizada se puede ver en la Figura 3.

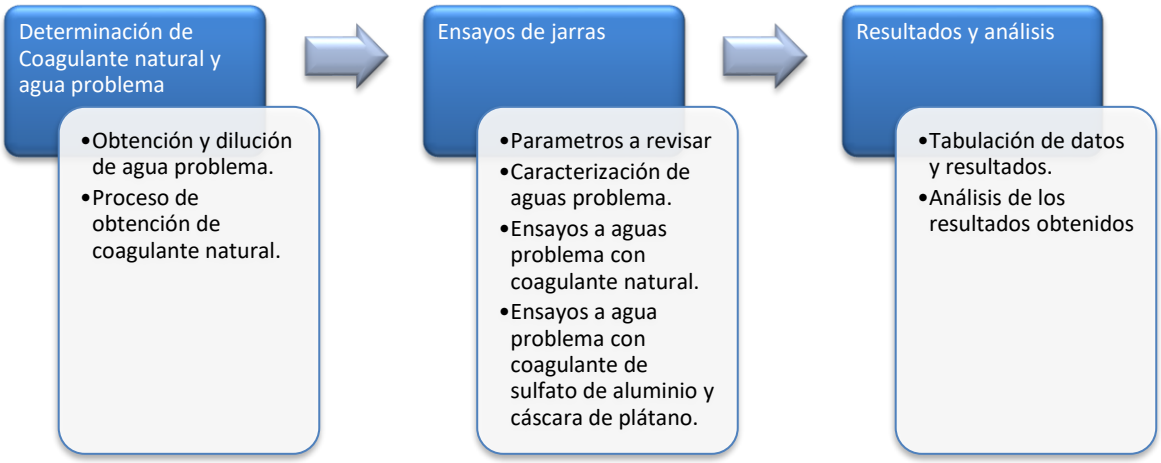


Figura 3. Proceso metodológico del estudio a partir de la investigación experimental

Fuente: *propia del autor*

6.1 Equipos requeridos

Para la fase de experimentación se realizaron los ensayos en el laboratorio de ingeniería ambiental de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y se utilizaron los equipos disponibles, que se listan a continuación, en la Tabla 6:

Tabla 6. Equipos utilizados en los ensayos de laboratorio

EQUIPO	ENSAYO O TRABAJO
Microbalanza RADWAG - AS220 R2	Determinar pesos del polvo de cascara de plátano
Purificador de agua marca ThermoFisher	Obtención de agua destilada
Horno digital de convección forzada	Sacado y deshidratación de la cascara de plátano
Floculador marca Velp Scientifica	Realización ensayo jarras

EQUIPO	ENSAYO O TRABAJO
Multímetro portátil HQ40D	Medición de pH y conductividad
Turbidímetro marca Hanna	Medición de turbidez
Espectrofotómetro marca HACH	Medición de hierro en el agua
Tamiz # 40	Tamizado de cáscara molida de plátano
Molino manual marca Corona	Molienda de cáscara de plátano
Cabina extractora marca ESCO Frontier	Protección en procesos de calentamiento de líquidos, en ensayo de muestreo de hierro en agua

Fuente*: Propia del autor*

Además de los equipos mencionados, se utilizaron varias pipetas; vasos de precipitado de 100 ml, 250 ml y 500 ml; matraces de 50 ml y 100 ml, balones volumétricos de 100 ml, 250 ml y 500 ml; Erlenmeyer de 250 ml; filtros de papel; embudos de vidrio; jeringas, cronómetros, pinzas y espátulas.

6.2 Preparación de coagulante natural y agua problema

6.2.1 Agua problema

La Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito se encuentra ubicada en la localidad de suba, en el norte de Bogotá. Dentro de sus instalaciones se encuentra un lago, el cual posee un espejo de agua aproximado de 1.500 m^2 del que se tomó el agua para la realización de los ensayos, realizando en laboratorio diluciones en volúmenes similares, para mantener turbiedad, color y pH aproximadamente iguales para todos los ensayos.

En la Figura 4 se puede apreciar la ubicación del lago y su interacción con el entorno:

Figura 4. Lago de la escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Fuente: *Google earth* (Google LLC, 2020)*;* (mapas.bogota.gov.co, s.f.).

6.2.2 Obtención de coagulante natural a partir de la cáscara de plátano

Varios autores han realizado trabajos de obtención de almidones a partir del plátano o el banano; sin embargo, para la realización de este trabajo, se optó por realizarlo bajo una metodología seca, basada en los beneficios enunciados por (Mazzeo, Alzate, & Marín, 2008) que concluyen "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"[28]; tomando en cuenta los procedimientos de (Rodrigues Boniolo, 2008, pág.

[28] El método húmedo consiste en triturar la pulpa o cáscara y retirar en medio líquido aquellos componentes que son más grandes, para posteriormente eliminar el agua por decantación y luego someter el material a un secado y tamizado.

69); (Mazzeo, Alzate, & Marín, 2008, pág. 61); (Gamarra, 2014, págs. 35-37); (Guzmán & Guzmán, 2016, pág. 53); (Kakoi, Wambua, Ndiba, & Thiong'o, 2016, pág. 700); (Paca Telenchano F. R., 2017, pág. 30); (Vejarano, Gurreonero, & Castillo, 2018, pág. 2) y (Campos & Porras, 2019, págs. 30-31).

El proceso para obtener el coagulante a partir de la cáscara de plátano es el siguiente:

Se determinó para la fase experimental el uso de cáscara de plátano verde únicamente, pues según lo recogido por varios autores (Mazzeo, Alzate, & Marín, 2008); (Quiceno, Giraldo, & Villamizar, 2014), el almidón presente en el plátano verde, se va transformando con la maduración y se va incrementando el contenido de azúcares por la degradación de los carbohidratos poliméricos, teniendo menores cantidades de almidón en plátanos maduros que en verdes.

Estas cáscaras se recogieron de un restaurante que usa el plátano verde para la preparación se sopas, patacones y como complementos en sudados de pollo y res. Las cáscaras se recogían un día antes de la realización del procedimiento de obtención del polvo deshidratado, base del coagulante, ya que son muy susceptibles al ataque de hongos, oxidación y degradación.

Posteriormente al traslado al laboratorio de las cáscaras, para la realización de los ensayos, se procedía a lavarlas, extrayendo con una toalla seca el exceso de agua.

Seguidamente se trozaban[29] con las manos longitudinalmente, hasta dejar trozos alargados de entre 10 y 25 cm, con anchos promedio de 4 cm aproximadamente.

Una vez lavadas y trozadas las cáscaras se depositaban en bandejas de aluminio desechables cuya ventaja, además de ser muy económicas y de fácil adquisición, es resistir altas temperaturas sin deformarse y sin generar adherencias de las cáscaras, además de enfriarse rápidamente una vez sacadas del horno, garantizando buena manipulación.

[29] Este troceo es posible en las cáscaras del plátano verde gracias a su contenido de fibra y su dureza; en las cáscaras de plátano maduro este procedimiento es más difícil y es mejor usar un cuchillo para ello.

En la Figura 5, se pueden ver las bandejas de aluminio desechables[30], con cáscaras de plátano verde trozado.

Figura 5. Cáscaras de plátano, trozadas, dispuestas en bandejas

Fuente: *Propia del autor.*

Según la bibliografía estudiada y referenciada anteriormente, la cáscara de plátano debe ser deshidratada, para generar una mayor maleabilidad a la hora de la molienda y también para retirar los elementos no propios del almidón.

Dado que el secado a la intemperie depende en mucha medida a factores de tiempo climático y por lo tanto podría extenderse y posiblemente no alcanzar a llegar a una correcta deshidratación de la cáscara de plátano, se decidió usar un horno digital de convección forzada, disponible en el laboratorio de ingeniería ambiental de la Escuela. En ensayos preliminares se evaluó que pasadas 12 horas, no se había logrado la deshidratación de las cáscaras, usando el horno a 100 ºC; razón por la cual se tomó 24 horas como el tiempo de

[30] Las bandejas se numeraron, para realizar un seguimiento al peso de cada una durante el secado y así determinar la humedad de la cáscara del plátano depositada en cada bandeja.

secado y deshidratación, revisando después de este tiempo los pesos cada hora hasta alcanzar un valor constante, el cual se alcanzó a las 27 horas de secado.

En la Figura 6, se pueden apreciar la disposición de las bandejas con las cáscaras de plátano dentro del horno digital de convección forzada.

Figura 6. Bandejas con cáscara de plátano dentro del horno de convección forzada

Fuente: Propia del autor.

Posteriormente al secado y deshidratación de las cáscaras de plátano, se procedió a molerlas, usando para esto un molino metálico manual.

Una vez seca y molida la cáscara de plátano, se continuó con el tamizado utilizando un tamiz o malla número 40, el cual permite el paso de partículas de 0,420 mm y menores. Este tamizado garantiza que se obtenga un polvo que se pueda diluir fácilmente en agua para generar una solución. En la Figura 7 se puede ver el material molido sobrante del cernido y también el material tamizado.

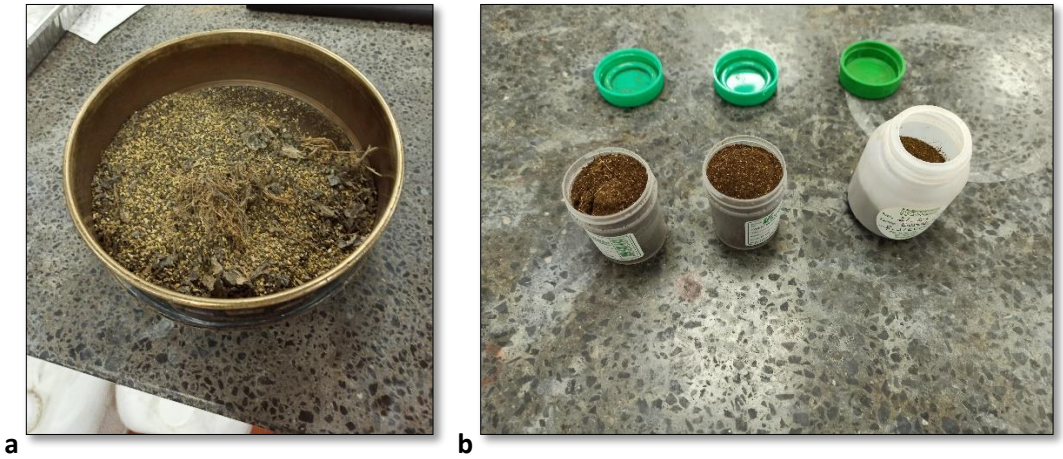


Figura 7. Material sobrante del proceso de tamizado (a) y polvo resultante del tamizado (b).

Fuente: Propia del autor.

Con base en la información recolectada antes y después de la deshidratación de la cáscara de plátano, se obtuvieron los pesos en gramos (g) de cada una de las cuatro (4) bandejas, como se aprecia en el anexo 3.

En la tabla 7 se presentan los resultados de la deshidratación de la cáscara y del rendimiento en la obtención del polvo base del coagulante. En promedio se evidencia que de la cáscara de plátano el 82% corresponde a agua y el 18% a la masa seca. En cuanto al rendimiento, es de casi 100 g por kg de cáscara sin procesar.

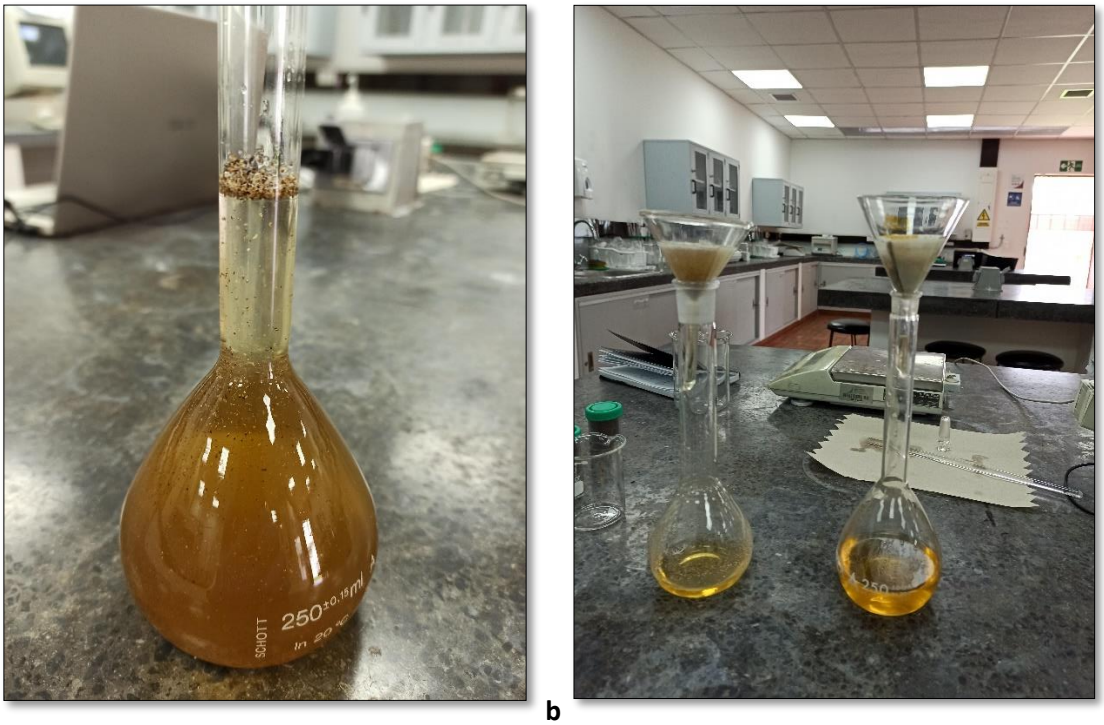
Tabla 7. Rendimiento de la cáscara de plátano en la conformación del polvo para el coagulante natural

Número de bandeja	Peso de cáscara de plátano húmedo (g)	Peso de cáscara de plátano deshidratado (g)	Peso de cáscara de plátano deshidratado y molido (g)	Rendimiento g de polvo por g de cáscara
1	400,7	74,8	37,3	0,093
2	375,8	57,8	32,9	0,088
3	369,1	69,7	35,5	0,096
4	347,6	62,8	32,8	0,094
Promedio	**373,30**	**66,28**	**34,63**	**0,093**

Fuente*: Propia del autor*

Teniendo el polvo seco tamizado de las cáscaras de plátano, se procedió a preparar la solución coagulante de 10 g/L[31], según el siguiente procedimiento:

- Pesar 2,5 g del polvo obtenido de la cáscara de plátano.
- En un vaso de boca ancha de 100 ml disolver los 2.5 g de polvo de plátano con agua destilada, 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 10 minutos.
- Dejar reposar durante 5 minutos
- Filtrar a través de papel de filtro y obtener la solución de coagulante de cáscara de plátano. (ver Figura 8 (b)).



a b

Figura 8. Solución sin filtrar (a) y filtrada (b)

Fuente: *Propia del autor.*

La solución resultante tiene un color dorado y un olor frutal agradable y suave; esta solución se usa el mismo día en los ensayos de jarras proyectados, según recomendación de (Paca

[31] Recomendación de (Paca Telenchano F. R., 2017).

Telenchano F. R., 2017); sin embargo, otros autores han determinado su uso pasados 48 horas de conservada en nevera.

6.3 Ensayos de jarras

Todos los ensayos se realizaron teniendo en cuenta las siguientes características:

- Volumen de jarras: 500 mL.
- Mezcla rápida: 1 minuto a 150 RPM
- Mezcla lenta: 10 minutos a 35 RPM
- Sedimentación: 15 minutos
- Análisis del índice de Willcomb en la formación de floc.

6.3.1 Parámetros analizados

La determinación de los diferentes parámetros se realizó según los procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Rice, Baird, & Eaton, 2017)

6.3.1.1 Caracterización del agua problema

Sobre el agua cruda y el agua coagulada en los diferentes ensayos de jarras se determinaron el pH, la conductividad, el color, la turbiedad y la alcalinidad. El agua problema usada en los primeros ensayos presentaba un pH promedio de 5.6. Dado que ésta se preparaba con agua del lago, las características variaron y se obtuvo, para los ensayos siguientes un pH de 8.8. En la Tabla 8 y en la Tabla 9 se presentan los valores promedio de los parámetros analizados para el agua con pH de 5.6 y de 8.8, respectivamente.

Tabla 8. Caracterización del agua problema 1 (pH 5.6)

Parámetros		Valor
color	**Unidades**	75
pH	**pH**	5,62
Turbiedad	**NTU**	18,6
Conductividad	**(µS/cm)**	229
Alcalinidad	**mg/l**	66

Fuente*: Propia del autor*

Tabla 9. Caracterización del agua problema 2 (pH 8.8)

Parámetros		Valor
color	**Unidades**	55
pH	**pH**	8,82
Turbiedad	**NTU**	18,9
Conductividad	**(µS/cm)**	195,2
Alcalinidad	**mg/l**	53

Fuente*: Propia del autor*

6.3.1.2 Ensayos realizados al agua problema con coagulantes

Sobre el agua problema de pH 5.6 se realizaron ensayos de jarras, con dosis de 10 a 300 mg/L de coagulante sin que se formara floc, es decir, sin lograr coagulación del agua.

Habiendo cambiado las características del agua del lago, como se mencionó anteriormente, el agua problema 2 presentó un pH de 8.8. Sobre esta agua se ensayaron dosis mayores en el rango de 300 a 2000 mg/L de coagulante sin obtener formación de floc.

Posteriormente se agregó cal al agua para subir aún más el pH hasta un valor de 10 y se ensayaron dosis de 50 a 300 mg/L. En estos ensayos tampoco se logró coagular el agua.

Se evaluó si el agua problema 2, coagulaba razonablemente con un coagulante natural como el sulfato de aluminio y se determinó la dosis que generó un mejor floc para usarla en los ensayos posteriores, donde se requiriera usar sulfato de aluminio. La dosis óptima encontrada fue de 40 mg/L.

Para determinar si el pH influyó en la no formación de floc, se realizaron nuevos ensayos de jarras sobre el agua problema 2, con dosis de 10 a 140 mg/L y utilizando una jarra control, con la dosis óptima de sulfato de aluminio[32] para realizar una comparación con el coagulante convencional en el mismo ensayo. En estos ensayos, tampoco se logró coagulación del agua con la solución de cáscara de plátano.

[32] Alumbre

Dados los resultados negativos de la solución como coagulante, se realizaron ensayos en los que se adicionó sulfato de aluminio a tres jarras y sulfato de aluminio junto con la solución de cáscara de plátano a las otras tres con la finalidad de evaluar su posible funcionamiento como ayuda de coagulación. Se tomó una proporción 50:50 en las jarras con los dos coagulantes, según las conclusiones y recomendaciones dadas en el estudio de (Trujillo, y otros, 2014). Los parámetros de estos dos ensayos fueron medidos solamente en las aguas en donde se vio formación de floc. En la Tabla 10 se observan los resultados obtenidos con dosis de 10 a 30 mg/L.

Tabla 10. 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. a	n. a	n. a	n. a	10	20	30
color	Unidades	55	n. a	n. a	7,5	n. a	n. a	15
pH	pH	8,78	n. a	n. a	6,35	n. a	n. a	5,6
Turbiedad	NTU	17,5	n. a	n. a	1,62	n. a	n. a	2,16
Conductividad	(µS/cm)	199,5	n. a	n. a	194,3	n. a	n. a	197,2
Alcalinidad	mg/L-$CaCO_3$	52	n. a	n. a	38	n. a	n. a	30
Tiempo de aparición del Floc	minutos	n. a	n. a	n. a	0,5	n. a	n. a	0,5
Caracterización del Floc	Índice de Willcomb	n. a	0	0	10	0	0	8

Solo se formó floc en las jarras 3 y 6
El floc presentes en las jarras 3 y 6 tiene forma de filamentos.
El floc de la jarra 3 sedimentó en su totalidad, mientras en la jarra 6 quedaron algunos flotando
Los parámetros de estos dos ensayos fueron medidos solamente en las aguas en donde se vio formación de floc.

Fuente*: Propia del autor*

En la información presentada en la Tabla 10 y en la Figura 9, se evidencia que solamente coagularon y flocularon las aguas de las jarras 3 y 6 que contenían 30 mg/L de coagulante de sulfato de aluminio la primera y 30 mg/L de coagulante de sulfato de aluminio más 30 mg/L de coagulante a base de cáscara de plátano, la segunda respectivamente. También se puede ver que la turbiedad y el color no mejoraron con la inclusión del coagulante a base de cáscara

de plátano, ni el tiempo de formación de floc; sin embargo, el pH y la alcalinidad, se redujeron un poco más con relación a la jarra con alumbre solamente.

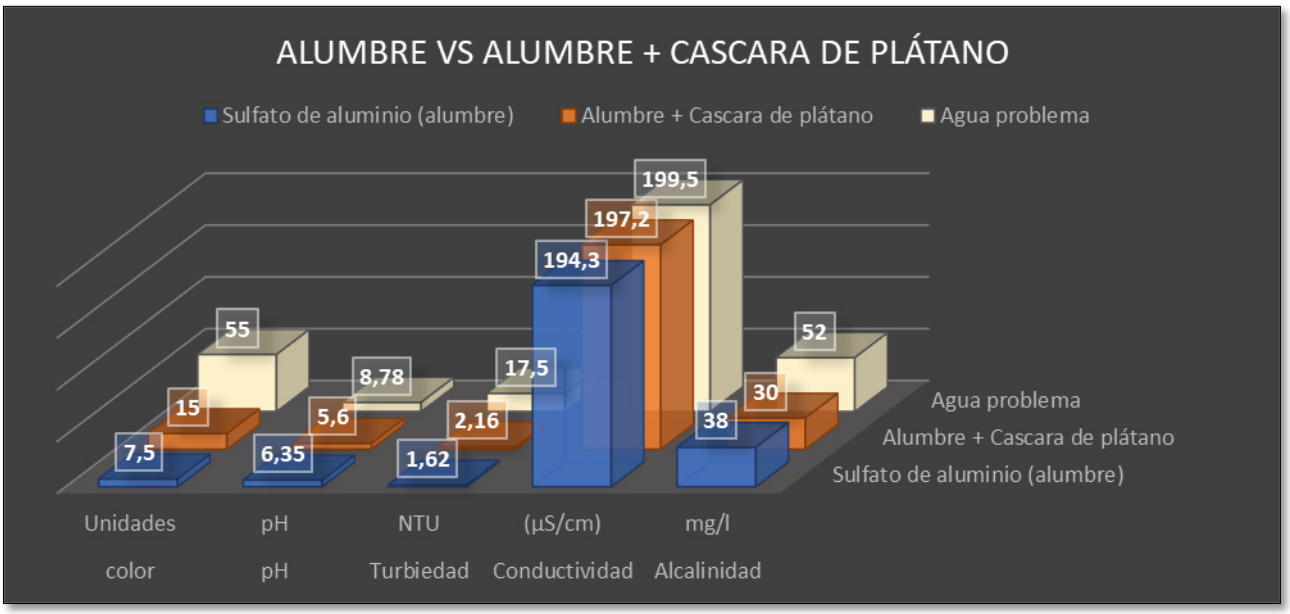


Figura 9. Parámetros medidos en las aguas coaguladas con alumbre (30 mg/L) y alumbre + cáscara de Plátano (30 mg/L de cada uno).

Fuente: *propia del autor*

Los resultados presentados en la Tabla 11 y en la Figura 10 muestran que en todas las jarras se produjo coagulación, pero que en las jarras adicionadas con el coagulante natural de cáscara de plátano no mejoraron los parámetros de turbiedad, color o conductividad, respecto a las jarras con coagulante convencional; aunque sí se aprecia una disminución del pH y la alcalinidad.

Tabla 11. Resultados de ensayo con coagulantes de polvo de cáscara de plátano y alumbre con 40, 50 y 60 mg/L

Jarra		cruda	1	2	3	4	5	6
Sulfato de aluminio, mg/L		n. a	40	50	60	40	50	60
Cáscara de plátano, mg/L		n. a	n. a	n. a	n. a	40	50	60
ml		n. a	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	(µS/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. a	0,5	1	1	0,5	1	1
Caracterización del Floc	Índice de Willcomb	n. a	10	8	8	10	8	8

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

Fuente*: Propia del autor*

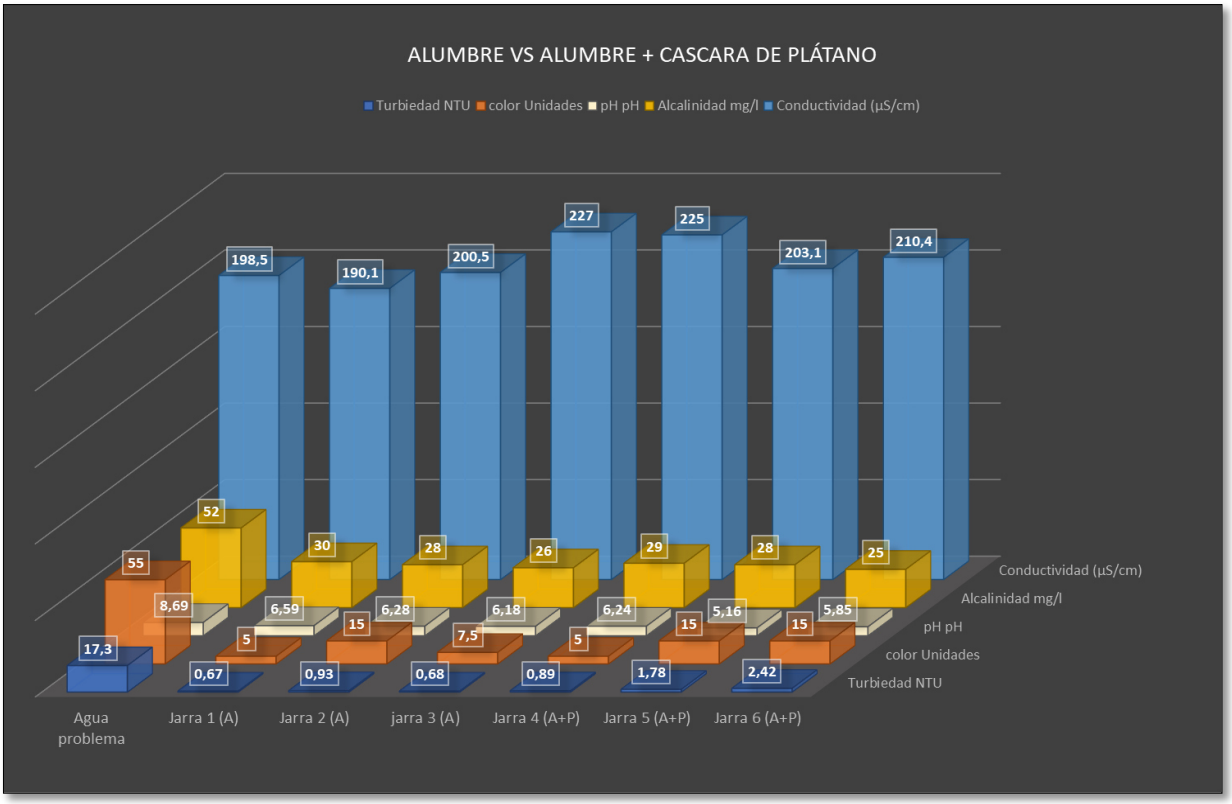


Figura 10. Parámetros medidos en las aguas coaguladas con alumbre y alumbre + cáscara de Plátano[33]

Fuente: *propia del autor*

Dado que la solución de cáscara de plátano no produjo coagulación alguna en el agua natural ni sirvió como ayuda de coagulación; pero teniendo en cuenta los estudios de (Rodrigues Boniolo, 2008), Gamarra (Gamarra, 2014) y Campos y Porras (Campos & Porras, 2019) se

[33] A: Alumbre; A+P: Alumbre +Plátano

probó su eficiencia en la remoción de aguas con alto contenido de hierro. Para ello se preparó una solución de 200 mg/L-Fe[34] a partir de sulfato ferroso, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ agregado al agua problema. Se llevaron a cabo dos ensayos diferentes, uno sobre el agua con hierro cuyo pH era 4,6 y el otro ajustando el pH a 9,0 con cal. Ambas soluciones de hierro fueron tratadas con el coagulante natural a base de cáscara de plátano con dosis de 30 a 180 mg/L.

En la solución de pH 4,6 no se observó formación de floc mientras que en la solución con pH de 9,0 todas las dosis mostraron buena coagulación.

En la Figura 11 se observa la coloración del agua problema durante el proceso de mezcla rápida, al elevarse el pH por acción de la cal añadida.

Figura 11. Coloración del agua problema con pH alto durante la mezcla rápida con el coagulante de cáscara de plátano

Fuente: *Propia del autor.*

Durante la mezcla lenta se observó la formación de floc, haciéndose más evidente durante el proceso de sedimentación como se puede ver en la Figura 12 y Figura 13 en donde se aprecia el color transparente del agua y el floc de hierro sedimentando.

[34] Como las halladas por ejemplo en procesos de galvanización, en donde se encuentran aguas residuales con contenidos de hierro de 168 mg/l como lo informa (Soto, Miranda, Sosa, & loredo, 2006)

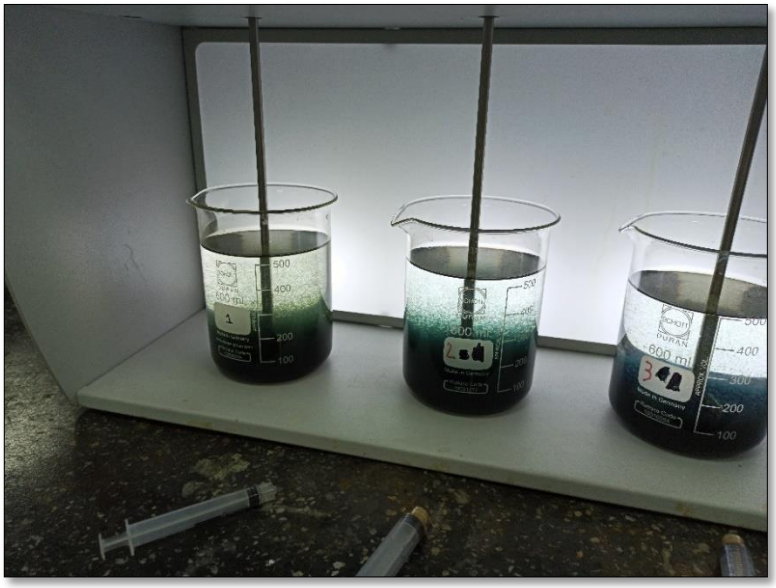


Figura 12. Sedimentación del floc y clarificación del agua

Fuente: *Propia del autor.*

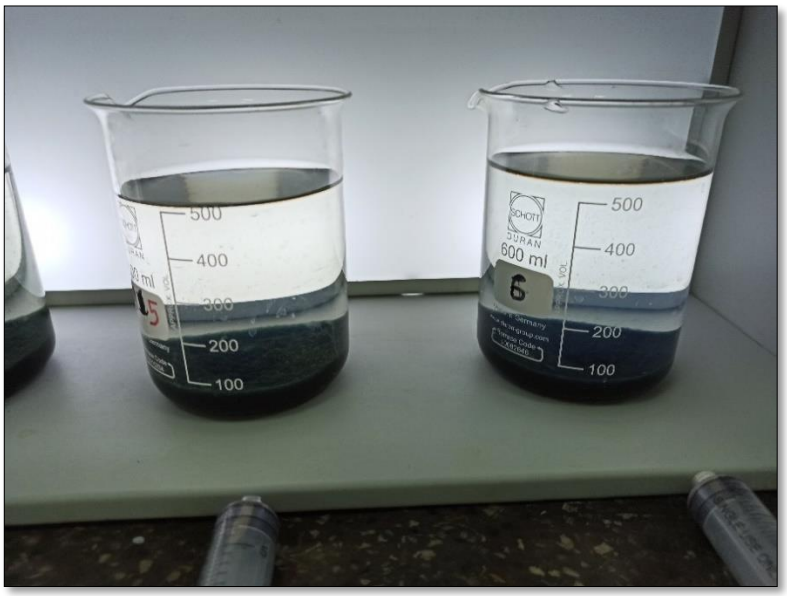


Figura 13. Agua clarificada al final del proceso de sedimentación

Fuente: *Propia del autor.*

Una vez sedimentadas las jarras, se procedió a determinar la concentración de hierro presente en el agua.

Tomando 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, habiendo elevado el pH a 9,0, la remoción de hierro es prácticamente total como se puede ver en la Tabla 12 y la Figura 14.

Tabla 12. 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: *Propia del autor.*

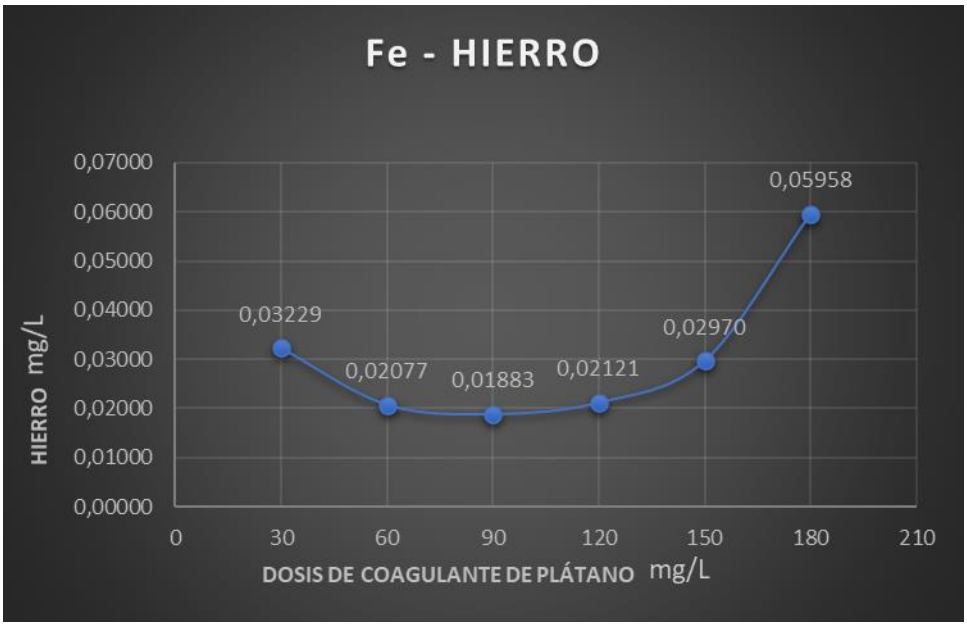


Figura 14. Contenido de hierro residual, usando solución a base de cáscara de plátano como coagulante
Fuente: *Propia del autor.*

Capítulo 7 Análisis y discusión de resultados

7.1 Rendimiento de la cáscara de plátano en la preparación del coagulante

El rendimiento de la cáscara de plátano en la fabricación del polvo seco de coagulante es, en promedio, de 93 gramos por cada kg de cáscara.

A partir de los pesos de la cáscara deshidratada, molida y tamizada, se puede observar que un 9,3% de las cáscaras de plátano es aprovechable en la preparación del coagulante natural). Este rendimiento es mayor al 2,5% reportado por (Paca Telenchano F. , 2018, pág. 9) con cáscara de plátano seda.

7.2 Resultados con coagulante a base de cáscara de plátano

En los ensayos de jarras sobre las aguas problema 1 y 2, con pH de 5,6 y 8,4 respectivamente y agua problema con ajuste de pH a 10,0 se ensayaron diferentes dosis desde 10 mg/L hasta 2.000 mg/L de coagulante natural a base de cáscara de plátano

Como resultado de estos ensayos no se evidenció la formación de floc indicando que la solución de cáscara de plátano no parece ser una opción para la coagulación de aguas naturales.

Los ensayos de jarras en los que se utilizó la solución de cáscara de plátano como ayuda de coagulación junto con el sulfato de aluminio no mostraron mejoría con respecto a las jarras con sulfato de aluminio solo, indicando que la solución tampoco tiene potencial en este sentido.

7.3 Resultados con coagulante a base de cáscara de plátano en aguas con altos contenidos de hierro (Fe)

En los ensayos de coagulación de la muestra problema con 200 mg/L de hierro y pH de 4.6, no se evidenció coagulación alguna mientras que, después de ajustar el pH a 9,0 todas las jarras mostraron formación de floc.

La concentración de hierro residual presente en todas las dosis ensayadas 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 muy inferiores a los aceptables por el RAS (Minvivienda, 2017, pág. 66), que considera como admisibles en aguas para consumo humano valores de 0,3 mg/L, aunque recomienda valores menores 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 (Rios, 2014), de que algunos componentes de las cáscaras de banano, que también hace parte de la familia de las *musáceas*, logran la adsorción de metales presentes en el agua; así como también lo concluido por (Campos & Porras, 2019), quienes lograron retener hierro y magnesio usando un filtro casero que incluía polvo de cáscara de plátano. También apoya la hipótesis de (Rodrigues Boniolo, 2008) acerca del potencial de la cáscara de banano en la adsorción de metales, ya que el plátano comparte muchas similitudes con este, pues son ambos[35] 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 (Rios, 2014, pág. 13), quien menciona la favorabilidad en la adsorción de cationes[36] por parte de los bioadsorbentes en soluciones acuosas de pH superiores a 4,5.

Según el estudio de (Rodrigues Boniolo, 2008), referenciado por (Guzmán & Guzmán, 2016, pág. 43) los grupos funcionales carbonilo e hidroxilo están presentes en toda la estructura de las cáscaras de banano en formas derivadas de la celulosa, hemicelulosa y lignina con una carga total negativa favorable para fijar los iones metálicos cargados positivamente.[37]; para (Gomez, Velásquez, & Quintana, 2013) los grupos funcionales como los hidroxilos, carbonilos y carboxílicos son los que mayor relación tienen con la afinidad de la lignina hacia los iones metálicos y son los encargados de la adsorción de metales; (Correa, Velásquez, & Quintana, 2012) citado en (Luna, León, Partida, & Reynoso) informan al respecto y en armonía con lo expuesto por Rodrigues Boniolo.

---

[35] Los plátanos y los bananos

[36] Como por ejemplo el hierro que contiene iones positivos o catiónicos.

[37] Una muestra de la biomasa de la cascara del banano fue analizada por microscopia electrónica de barrido y por espectroscopia de infrarrojos, proporcionando datos sobre la morfología de la cascara, observando que esta biomasa forma capas superpuestas de fibras que favorecen el anclaje de metales en su superficie.

Todo lo anterior permite deducir que el mecanismo por el cual el coagulante natural obtenido de la cáscara del plátano remueve tan eficientemente el hierro del agua es la adsorción o bioadsorción dado que proviene de una planta, es decir, un ser vivo.

Capítulo 8 Conclusiones

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

- El coagulante a base de cáscara de plátano se comporta como la mayoría de los coagulantes que reducen el pH en el agua coagulada.

- El presente estudio 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 mayores a 8,0, aparentemente por sus propiedades bioadsorbentes y que estas propiedades no se evidencian en soluciones acuosas con pH menores a 5,0.

- Como el objetivo del presente trabajo era estudiar el potencial de la cáscara de plátano como coagulante, no se realizaron más ensayos de remoción de hierro en menores concentraciones ni de otros metales, pero los resultados obtenidos sugieren realizar más investigaciones al respecto.

Capítulo 9 Recomendaciones

- 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, o en su defecto, jugando con las variables de temperaturas de aguas problema, diferentes concentraciones de metales y tiempos y velocidades de mezcla de la solución.

- Se recomienda realizar estudios en donde se comparen las soluciones a base de cáscara de plátano maduro con las de cáscara de plátano verde, para evaluar la diferencia existente entre estos en la efectividad de remoción de metales.

Bibliografía

Agama-Acevedo, E., Bello-Peréz, L., Pacheco-Vargas, G., & Evangelista-Lozano, S. (2015). Estructura interna de los granulos del almidón de plátano mediante gelatinización química superficial: propiedades morfológicas, fisicoquímicas y moleculares. *Revista Mexicana de ingenieria química, 14*(1), 73-80.

Agronet. (agosto de 2020). *Agronet*. (Minagricultura, Editor) Recuperado el agosto de 2020, de Agronet: https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1#

Aguas y Saneamiento Blogspot. (octubre de 2014). Recuperado el 2019, de http://aguasysaneamiento.blogspot.com/2014/10/ensayo-de-jarras-en-el-laboratorio.html

Aguilar, M., Saez, J., Lloréns, M., soler, A., & Ortuño, J. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación.* Murcia: Universidad de Murcia.

Antov, M., Šc´iban, M., & Petrovic, N. (2010). Proteins from common bean (Phaseolus vulgaris) seed as a natural coagulant. *Bioresource Technology, 101*(7), 2167-2172. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.020

Araúz, F., Julianis, B., Bósquez, M., Evelyn, C., González, Y., Martinéz, 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.

Arboleda Valencia, J. (1973). *Teoria, diseño y control de los procesos de clarificación del agua.* (CEPIS, Ed.) OPS, OMS.

Asrafuzzaman, Fakhruddin, & 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

Babu, R., & Chaudhuri, M. (2005). Home water treatment by direct filtration with natural coagulant. *Journal of Water and health, 3*(1), 27-30. Obtenido de https://doi.org/10.2166/wh.2005.0003

Banerjee, A. V., & Duflo, E. (2019). *Repensar la pobreza* (Primera ed.). (M. D. Francisco Javier, Trad.) Bogotá, Colombia: Penguin Random House.

Barrenechea Martel, A. (2004). Coagulación. En L. de Vargas, *Tratamiento de Agua para consumo humano, plantas de filtración rapida* (Vol. 1, págs. 153-220). Lima: Organización Panamericana de la Salud; Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Belalcázar Carvajal, S. L. (1991). *El cultivo del platano (Musa AAB Simmonds) en el tropico.* (ICA, Ed.) Armenia, Colombia: Talleres gráficos de Impresora Feriva Ltda. Recuperado el julio de 2020, de http://hdl.handle.net/20.500.12324/12434

Beltrán, J., Sánchez, J., & Dávila, M. (2011). Optimization of the synthesis of a new coagulant from a tannin extract. *Journal of Hazardous Materials, 186*(2-3), 1704-1712.

Beltrán, J., Sánchez, J., & Gómez, M. (2010). New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimisation studies. *Chemical Engineering Journal, 162*(3), 1019-1025.

Beltrán, J., Sánchez, J., Delgado, R., & Bustos, J. (s.f.). La eliminación de alizarina Violet 3R (tinte antraquinónicos) a partir de soluciones acuosas mediante coagulantes naturales. *Diario de materiales peligrosos, 170*, 43-50.

Borja, J., Molina, N., Ramos, Y., & Urrutia, O. (2018). *Generalidades del cultivo de platano.* Universidad de Antioquia, Facultad de ciencias agrarias, Carepa, Antioquia.

Bravo, M. A. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales.* Universidad Distrital Francisco José de Caldas., Facultad de Ciencias de Educación. Proyecto curricular de licenciatura en química. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

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 Martin, 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 basicas, 13*(2), 90-99. Obtenido de https://doi.org/10.18359/rfcb.1941

Catellanos, F., & Lucas, J. (2011). Caracterización fisica del fruto en variedades de plátano cultivadas en la zona cafeterea de Colombia. *Acta agronómica, 60*(2), 176-182.

Correa, M. L., Velásquez, J. E., & Quintana, G. C. (2012). Residuos de cultivos poco comunes como biosorbentes de Ni (II) y Cd (II). *Investigación en química industrial y de ingeniería, 51*(38), 12456-12462.

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.

Dempsey, B. (2006). Coagulant characteristics and reactions, chapter 2. En G. Newcombe, D. David, G. Newcombe, & D. David (Edits.), *Interface Science in Drinking Water Treatment* (Vol. 10, pág. 5). Amsterdam, Netherland: Elsevier.

Fernández, A., Magaly, C., Herrera, F. M., Mejías, D., & Diaz, A. (2012). Evaluation of exudated gum produced by Acacia siamea as coagulant in the clarification of the waters for human consumption. *Revista técnologica de la Universidad de Zulia, 35*(3), 31-32.

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 Andres, Facultad e Agronomía, La Paz, Bolivia.

García, M. Á. (2013). *Cáscara de plátano (Musa AAB) como un nuevo recurso de fibra dietaria: aplicación a un producto cárnico.* Tesis , Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Bogotá.

García-Fayos, B., Arnal Arnal, J. M., & Maria, S. (2015). Uso de coagulantes naturales para la potabilización del agua en países en vía de desarrollo. En R. Puchades Pla, & C. d. desarrollo (Ed.), *ADISEO cooperación: Experiencias de investigación del desarrollo humano* (págs. 145-162). Valencia: Universitat Politécnica de Valéncia.

Gayle, N., & David, D. (2006). *Interface Science in drinking water treatment* (Vol. 10). (N. Gayle, & D. David, Edits.) Netherland: Elsevier.

Gómez Puentes, N. A. (2005). *Remoción de materia organica por coagulación-floculación.* Monografía, Universidad nacional, sede Manizales, Facultad de ingeniería y arquitectura, Departamento de Ingeniería Química, Manizales.

Gomez, V., Velásquez, j., & Quintana, G. (2013). Lignina como adsorbente de metales pesados. *Investigaciones aplicadas, 7*(2), 74-85.

Google LLC. (agosto de 2020). Google earth Pro.

Graham, N., Gang, F., Fowler, G., & Watts, M. (2008). Characterisation and coagulation performance of a tannin-based cationic polymer: A Preliminary assessment. *Coloides y superficies A: aspectos fisicoquímicos y de ingeniería, 327*(1-3), 9-16.

Gurdían-Lopez, 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 Girard.* 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. *U.D.C.A. Actualidad y divulgación cientifica, 16*(1), 253-262.

Herrera, M. (2015). Evaluación del almidón de papa como floculante para el tratamiento de aguas residuales domesticas. (F. d. Arquitectura, Ed.) *@Limentech ciencia y tecnología alimentaria, 13*(2), 123-135.

ICONTEC. (2000). NTC-4754:2000. *Determinación de hierro. metodo de la fenantrolina*, 9. Colombia.

Jouravlev, A. (2004). *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI.* Santiago de Chile: Naciones Unidas; CEPAL.

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.ecoleng.2016.07.001

Kruyt, H., Jonker, G., & Overbeek, J. (1952). *Colloid science. Vol. 1. Irreversible systems, 1*.

Laboratorio de Ingenieria ambiental. (2018,a). *Práctica 1: pH, color, turbiedad y conductividad.* Escuela Colombiana de Ingenieria Julio Garavito, Ingenieria sanitaria, Bogotá.

Laboratorio de Ingenieria ambiental. (2018,b). *Práctica 2: alcalinidad, acidez, dureza, dureza calcio.* Escuela Colombiana de Ingenieria Julio Garavito, Ingeniería sanitaria, Bogotá.

Laurel, H. (25 de noviembre de 2018). Engineers are plugging holes in drinking water treatment. *ScienceNews*. Recuperado el 06 de julio de 2020, de https://www.sciencenews.org/article/engineering-clean-drinking-water-treatment-pollution

Lorenzo-Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA, Sobre los Derivados de la Caña de Azucar*, 10-17. Recuperado el 06 de julio de 2020, de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002

Luna, U., León, M., Partida, k., & Reynoso, K. (s.f.). *Caracterización física y química de la cáscara de plátano, para la eliminación de hierro y manganeso en aguas provenientes de pozos profundos.* Taller de Investigación, Tepic.

mapas.bogota.gov.co. (s.f.). *mapas.bogota.gov.co*. (IDECA) Recuperado el 10 de agosto de 2020, de mapas.bogota.cov.co: https://mapas.bogota.gov.co/#

María, J. (18 de 10 de 2019). ok diario. *Lo que debes saber del efecto hidrofóbico*. España. Recuperado el julio de 2020, de https://okdiario.com/curiosidades/lo-que-debes-saber-sobre-efecto-hidrofobico-4406155

Mazzeo Meneses, M., León, L., Mejía, L. F., & Botero, J. D. (junio de 2010). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de Caldas. *Educación en Ingeniería*(9), 128-139. Recuperado el julio de 2020, de https://www.acofi.edu.co/revista/Revista9/2010_I_02.pdf

Mazzeo, M., Alzate, A., & Marín, M. (2008). Obtención de almidón a partir de residuos poscosecha del plátano Dominico Harton (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 el 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 AL2(SO4)3 para clarificación de aguas.* Tesis-Maestria, Universidad Popular del Cesar.

Nharingo, T., Zivurawa, M., & Guyo, U. (2015). Exploring the use of cactus Opuntia ficus indica in the biocoagulation–flocculation of Pb(II) ions from wastewaters. *International Journal of Environmental Science and Technology, 12*, 3791–3802.

O´Melia, C. (1969). *The coagulation process: theoretical concepts useful in design.* Reporte, The American Society of Civil Engineers.

OMS. (julio de 2017). *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado el marzo de 2019, de Sitio Web mundial: https://www.who.int/water_sanitation_health/es/

OMS, UNICEF. (2017). *Progresos en Materia de agua potable, saneamiento e higiene: Informe de actualización de la linea de base de la ODS 2017.* Organización Mundial de la Salud (OMS),

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). Ginebra: Organización Mundial de la Salud (OMS), Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). Obtenido de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/260291/9789243512891-spa.pdf;jsessionid=9052F19DCEDF248CCBEBA0E80BC99C37?sequence=1

OMS; ONU-HABITAT. (2018). *OMS.* Recuperado el marzo de 2019, de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/275972/9789243514895-spa.pdf?ua=1

Paca Telenchano, F. (2018). *Obtención del polisacárido (Almidón) del 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.

Paca Telenchano, F. R. (2017). *Evaluación de residuos vegetales de papa, yuca, camote y plátano, como coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de ciencias, Escuela de ingeniería química. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Parada Puig, R. (s.f.). *Lifeder*. Recuperado el julio de 2020, de https://www.lifeder.com/interacciones-hidrofobicas/#Ejemplos_de_Interacciones_hidrofobicas

PNUD. (2019). *Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo*. (undp.org, Editor) Recuperado el 18 de 02 de 2019, de Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene: https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html

Pritchard, M., Craven, T., Mkandawire, T., Edmonson, A., & O´Neil, J. (2010). A comparison between Moringa oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 35*(13-14), 798-805.

Pritchard, M., Mkandawire, T., Edmondson, A., O'Neill, J., & Kululanga, G. (2009). Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 34*(13-16), 799-805. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.07.001

Quiceno, M. C., Giraldo, G., & Villamizar, R. (2014). Caracterización fisicoquimica del platano (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.

Rios, P. (2014). *Cinética de bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de banano maduro en polvo.* Tesis, Universidad Técnica de Machala, Unidad académica ciencias químicas y de la salud, Machala, El Oro, Ecuador.

Ritcher, C., & de Vargas, L. (1992). Programa regional HPE/OPS/CEPIS de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano. Lima: CEPIS.

Rodrigues Boniolo, M. (2008). *Biossorção de urânio nas cascas de banana.* Tesis, Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Biogeoquímica Ambiental,, Sao Paulo. doi:10.11606 / D.85.2008.tde-19082009-155206

Romero, J. A. (1999). *Potabilización del agua* (Tercera ed.). Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero, J. A. (2002). *Calidad del agua.* Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Šćiban, M., Klašnja, M., & Jelena, S. (2005). Investigation of coagulation activity of natural coagulants from seeds of different leguminose specie. *Acta Periodica Technologica*(36), 81-90.

Šćiban, M., Klašnja, M., Antov, M., & Škrbić, B. (2009). Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology, 100*(24), 6639-6643.

Soto, E., Miranda, R. d., Sosa, C., & loredo, J. (2006). Optimización del proceso de remoción de metales pesados de agua residual de la industria galvánica por precipitación química. *Información tecnológica, 17*(2), 33-42.

Tafur, L., & Quevedo, R. (2014). *Alternativa para el tratamiento de aguas residuales cromadas.* Tesis, Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Agronómica, Ibague.

Tejero, I., Suárez, J., Jácome, A., & Temprano, J. (s.f.). *Tratamiento de aguas.* Trabajo de grado.

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 el julio de 2020, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-100X2014000100003&script=sci_arttext&tlng=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"* (págs. 1-4). Lima: LACCEI.

Villabona, Á., Paz, I., & Jasser, M. (2013). Caracterización de la Opuntia ficus-indica para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 137-144.

Weber, W. (1979). *Control de la calidad del agua/Water quality control:procesos fisicoquímicos.* Reverté.

Whittington, D., Hanemann, W. M., Sadoff, C., & Jeuland, M. (2004). Sanitation and water. *Challenge Paper*, 21.

Wisconsin-Madison, U. (s.f.). *Suspensiones coloidales: movimiento Browniano.* Recuperado el 2 de agosto de 2020, de Universidad de Wisconsin-Madison: https://education.mrsec.wisc.edu/suspensiones-coloidales-movimiento-browniano/

Zamudio, J., Solaque, Ó., Moreno, J., Cafiero, A., Ibarra, D., & Eduardo, G. (2015). Desarrollo de un floculante natural para el tratamiento de aguas superficiales en hogares del sector rural del municipio de Fusagasugá. *Revista tecnología y productividad. Girardot, regional Cundinamarca, 1*(1), 71-83.

Zhang, J., Zhang, F., Luo, Y., & Yang, H. (2006). a preliminary study on cactus as coagulant in water treatment. *Process Biochemistry, 41*(3), 730-733.

Anexos

Anexo 1. Tablas de recopilación de datos de los ensayos de laboratorio.

ENSAYO_1									
Fecha		14/07/2020							
Solución		10 g/l	10 mg/ml						
Volumen jarras		0,5 l	500 ml						
coagulante		cascara de Platano verde molido tamizado							
Muestra		cruda	1	2	3	4	5	6	
mg/l		n.a	10	20	30	40	50	60	
ml		n.a	0,5	1	1,5	2	2,5	3	
Parametros									
color	**Unidades**	75							
PH	**PH**	5,62							
Turbiedad	**NTU**	18,6							
Conductividad	**(µS/cm)**	229							
Alcalinidad	**mg/l**	66							
Tiempo de formación del Floc	**minutos**	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f
Caracterización del Floc	**Indice de Willcomb**	n.a	0	0	0	0	0	0	0

Mezcla rapida	1	min	150	RPM
Mezcla lenta	10	min	35	RPM
Sedimentación	15	min		

Observaciones

n.a.	No aplica	**n.f.f**	No forma Floc	**n.s.r**	No se revisó

Indice de Willcomb

0	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
Flóculo coloidal	Visible	Disperso	Claro	Bueno	Excelente

No se formo floc
Se observa sedimentación del materail propio del agua

ENSAYO_2									
Fecha		14/07/2020							
Solución		10 g/l	10 mg/ml						
Volumen jarras		0,5 l	500 ml						
coagulante		cascara de Platano verde molido tamizado							
Muestra		cruda	1	2	3	4	5	6	
mg/l		n.a	70	80	90	100	110	120	
ml		n.a	3,5	4	4,5	5	5,5	6	
Parametros									
color	**Unidades**	75							
PH	**PH**	5,62							
Turbiedad	**NTU**	18,6							
Conductividad	**(µS/cm)**	229							
Alcalinidad	**mg/l**	66							
Tiempo de formación del Floc	**minutos**	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f
Caracterización del Floc	**Indice de Willcomb**	n.a	0	0	0	0	0	0	0

Mezcla rapida	1	min	150	RPM
Mezcla lenta	10	min	35	RPM
Sedimentación	15	min		

Observaciones

n.a.	No aplica	**n.f.f**	No forma Floc	**n.s.r**	No se revisó

Indice de Willcomb

0	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
Flóculo coloidal	Visible	Disperso	Claro	Bueno	Excelente

ENSAYO_3									
Fecha		14/07/2020							
Solución		10 g/l	10 mg/ml						
Volumen jarras		0,5 l	500 ml						
coagulante		cascara de Platano verde molido tamizado							
Muestra		cruda	1	2	3	4	5	6	
mg/l		n.a	130	140	150	160	170	180	
ml		n.a	6,5	7	7,5	8	8,5	9	
Parametros									
color	**Unidades**	75							
PH	**PH**	5,62							
Turbiedad	**NTU**	18,6							
Conductividad	**(µS/cm)**	229							
Alcalinidad	**mg/l**	66							
Tiempo de formación del Floc	**minutos**	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f	
Caracterización del Floc	**Indice de Willcomb**	n.a	0	0	0	0	0	0	

Mezcla rapida	1	min	150	RPM
Mezcla lenta	10	min	35	RPM
Sedimentación	15	min		

Observaciones

n.a.	No aplica	**n.f.f**	No forma Floc	**n.s.r**	No se revisó

Indice de Willcomb

0	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
Flóculo coloidal	Visible	Disperso	Claro	Bueno	Excelente

ENSAYO_4									
Fecha		14/07/2020							
Solución		10 g/l	10 mg/ml						
Volumen jarras		0,5 l	500 ml						
coagulante		cascara de Platano verde molido tamizado							
Muestra		cruda	1	2	3	4	5	6	
mg/l		n.a	200	220	240	260	280	300	
ml		n.a	10	11	12	13	14	15	
Parametros									
color	**Unidades**	75							
PH	**PH**	5,62							
Turbiedad	**NTU**	18,6							
Conductividad	**(µS/cm)**	229							
Alcalinidad	**mg/l**	66							
Tiempo de formación del Floc	**minutos**	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f	n.f.f	
Caracterización del Floc	**Indice de Willcomb**	n.a	0	0	0	0	0	0	

Mezcla rapida	1	min	150	RPM
Mezcla lenta	10	min	35	RPM
Sedimentación	15	min		

Observaciones

n.a.	No aplica	**n.f.f**	No forma Floc	**n.s.r**	No se revisó

Indice de Willcomb

0	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
Flóculo coloidal	Visible	Disperso	Claro	Bueno	Excelente

ENSAYO_5									
Fecha		15/07/2020							
Solución		10 g/l	10 mg/ml						
Volumen jarras		0,5 l	500 ml						
coagulante		cascara de Platano verde molido tamizado							
Muestra		cruda	1	2	3	4	5	6	
mg/l		n.a	300	350	400	450	500	550	
ml		n.a	15	17,5	20	22,5	25	27,5	
Parametros									
color	**Unidades**	55							
PH	**PH**	8,82							
Turbiedad	**NTU**	18,9							
Conductividad	**(µS/cm)**	195,2							
Alcalinidad	**mg/l**	53							
Tiempo de formación del Floc	**minutos**	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Caracterización del Floc	**Indice de Willcomb**	n.a	0	0	0	0	0	0	0

Mezcla rapida	1	min	150	RPM
Mezcla lenta	10	min	35	RPM
Sedimentación	15	min		

Observaciones

n.a.	No aplica	**n.f.f**	No forma Floc	**n.s.r**	No se revisó

Indice de Willcomb

0	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
Flóculo coloidal	Visible	Disperso	Claro	Bueno	Excelente

ENSAYO_6									
Fecha		17/07/2020							
Solución		100 g/l	100 mg/ml						
Volumen jarras		0,5 l	500 ml						
coagulante		Cascara de platano verde molido y tamizado							
Muestra		cruda	1	2	3	4	5	6	
mg/l		n.a	600	800	1000	1200	1600	2000	
ml		n.a	3	4	5	6	8	10	
Parametros									
color	**Unidades**	55							
pH	**pH**	8,4							
Turbiedad	**NTU**	18,5							
Conductividad	**(µS/cm)**	180							
Alcalinidad	**mg/l**	53							
Tiempo de formación del Floc	**minutos**	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	
Caracterización del Floc	**Indice de Willcomb**	n.a	0	0	0	0	0	0	

Mezcla rapida	1	min	150	RPM
Mezcla lenta	10	min	35	RPM
Sedimentación	15	min		

Observaciones

n.a.	No aplica	**n.f.f**	No forma Floc	**n.s.r**	No se revisó

Indice de Willcomb

0	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
Flóculo coloidal	Visible	Disperso	Claro	Bueno	Excelente

No se formo floc en ninguna de las jarras
El agua se ve con mas color

ENSAYO_7									
Fecha		21/07/2020							
Solución		10 g/l	10 mg/ml						
Volumen jarras		0,5 l	500 ml						
coagulante		Cascara de platano verde molido y tamizado							
Muestra		cruda	1	2	3	4	5	6	
mg/l		n.a	50	100	150	200	250	300	
ml		n.a	2,5	5	7,5	10	12,5	15	
Parametros									
color	**Unidades**								
pH	**pH**	10,03							
Turbiedad	**NTU**								
Conductividad	**(µS/cm)**								
Alcalinidad	**mg/l**								
Tiempo de formación del Floc	**minutos**	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	
Caracterización del Floc	**Indice de Willcomb**	n.a	0	0	0	0	0	0	

Mezcla rapida	1	min	150	RPM
Mezcla lenta	10	min	35	RPM
Sedimentación	15	min		

Observaciones

n.a.	No aplica	**n.f.f**	No forma Floc	**n.s.r**	No se revisó

Indice de Willcomb

0	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
Flóculo coloidal	Visible	Disperso	Claro	Bueno	Excelente

Se le incorporaron 0,5 ml de cal 20g/l

ENSAYO_8									
Fecha		15/07/2020							
Solución		10 g/l	10 mg/ml						
Volumen jarras		0,5 l	500 ml						
coagulante		Alumbre							
Muestra		cruda	1	2	3	4	5	6	
mg/l		n.a	10	20	30	40	50	60	
ml		n.a	0,5	1	1,5	2	2,5	3	
Parametros									
color	**Unidades**	55							
PH	**PH**	8,82							
Turbiedad	**NTU**	18,9				1,25			
Conductividad	**(µS/cm)**	195,2							
Alcalinidad	**mg/l**	53							
Tiempo de formación del Floc	**minutos**	n.a	n.a	10	5	0,5	1	1,5	n.a
Caracterización del Floc	**Indice de Willcomb**	n.a	2	4	8	10	8	8	0

Mezcla rapida	1	min	150	RPM
Mezcla lenta	10	min	35	RPM
Sedimentación	15	min		

Observaciones

n.a.	No aplica	**n.f.f**	No forma Floc	**n.s.r**	No se revisó

Indice de Willcomb

0	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
Flóculo coloidal	Visible	Disperso	Claro	Bueno	Excelente

La jarra 4 fue la que genero el mejor floc; ademas de que fue la primera en la cual empezo a formarse el floc.
El floc presentes en las jarras 2 a 6 es en forma de filamentos.

ENSAYO_9									
Fecha		15/07/2020							
Solución		10 g/l	10 mg/ml						
Volumen jarras		0,5 l	500 ml						
coagulante		Jarra 1-5 Platano y jarra 6 alumbre							
Muestra		cruda	1	2	3	4	5	6	
mg/l		n.a	10	20	30	40	50	40	
ml		n.a	0,5	1	1,5	2	2,5	2	
Parametros									
color	**Unidades**	55							
PH	**PH**	8,82							
Turbiedad	**NTU**	18,9							
Conductividad	**(µS/cm)**	195,2							
Alcalinidad	**mg/l**	53							
Tiempo de formación del Floc	**minutos**	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	0,5	
Caracterización del Floc	**Indice de Willcomb**	n.a	0	0	0	0	0	10	

Mezcla rapida	1	min	150	RPM
Mezcla lenta	10	min	35	RPM
Sedimentación	15	min		

Observaciones

n.a.	No aplica	**n.f.f**	No forma Floc	**n.s.r**	No se revisó

Indice de Willcomb

0	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
Flóculo coloidal	Visible	Disperso	Claro	Bueno	Excelente

Solamente se formo floc en el la jarra 6, usando alumbre
El floc presentes en las jarra 6 es en forma de filamentos.

ENSAYO_10									
Fecha		15/07/2020							
Solución		10 g/l	10 mg/ml						
Volumen jarras		0,5 l	500 ml						
coagulante		Jarra 1-5 Platano y jarra 6 alumbre							
Muestra		cruda	1	2	3	4	5	6	
mg/l		n.a	60	80	100	120	140	40	
ml		n.a	3	4	5	6	7	2	
Parametros									
color	**Unidades**	55							
PH	**PH**	8,82							
Turbiedad	**NTU**	18,9							
Conductividad	**(µS/cm)**	195,2							
Alcalinidad	**mg/l**	53							
Tiempo de formación del Floc	**minutos**	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	0,5	
Caracterización del Floc	**Indice de Willcomb**	n.a	0	0	0	0	0	10	

Mezcla rapida	1	min	150	RPM
Mezcla lenta	10	min	35	RPM
Sedimentación	15	min		

Observaciones

n.a.	No aplica	**n.f.f**	No forma Floc	**n.s.r**	No se revisó

Indice de Willcomb

0	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
Flóculo coloidal	Visible	Disperso	Claro	Bueno	Excelente

Solamente se formo floc en el la jarra 6, usando alumbre
El floc presentes en las jarra 6 es en forma de filamentos.

ENSAYO_11									
Fecha		16/07/2020							
Solución		10 g/l	10 mg/ml						
Volumen jarras		0,5 l	500 ml						
coagulante		Jarra 1-3 alumbre y jarra 4-6 alumbre+platano en igual proporción							
Muestra		cruda	1	2	3	4	5	6	
mg/l		n.a	10	20	30	10	20	30	
ml		n.a	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5	
Parametros									
color	**Unidades**	55			7,5			15	
pH	**pH**	8,78			6,35			5,6	
Turbiedad	**NTU**	17,5			1,62			2,16	
Conductividad	**(µS/cm)**	199,5			194,3			197,2	
Alcalinidad	**mg/l**	52			38			30	
Tiempo de formación del Floc	**minutos**	n.a	n.a	n.a	0,5	n.a	n.a	0,5	
Caracterización del Floc	**Indice de Willcomb**	n.a	0	0	10	0	0	8	

Mezcla rapida	1	min	150	RPM
Mezcla lenta	10	min	35	RPM
Sedimentación	15	min		

Observaciones

n.a.	No aplica	**n.f.f**	No forma Floc	**n.s.r**	No se revisó

Indice de Willcomb

0	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
Flóculo coloidal	Visible	Disperso	Claro	Bueno	Excelente

Se formo floc en el la jarra 3 y 6
El floc presentes en las jarra 3 y 6 es en forma de filamentos.
El floc de la jarra 3 sedimento en su totalidad, mientras en la jarra 6 dejo algunos flotando
Desde la jarra 4 a la 6 se incluyo 10, 20 y 30 mg/ml de alumbre y en igual cantidad coagulante de platano.

ENSAYO_12									
Fecha		16/07/2020							
Solución		10 g/l	10 mg/ml						
Volumen jarras		0,5 l	500 ml						
coagulante		Jarra 1-3 alumbre y jarra 4-6 alumbre+platano en igual proporción							
Muestra		cruda	1	2	3	4	5	6	
mg/l		n.a	40	50	60	40	50	60	
ml		n.a	2	2,5	3	2	2,5	3	
Parametros									
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	**(µS/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.a	0,5	1	1	0,5	1	1	
Caracterización del Floc	**Indice de Willcomb**	n.a	10	8	8	10	8	8	

Mezcla rapida	1	min	150	RPM
Mezcla lenta	10	min	35	RPM
Sedimentación	15	min		

Observaciones

n.a.	No aplica	**n.f.f**	No forma Floc	**n.s.r**	No se revisó

Indice de Willcomb

0	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
Flóculo coloidal	Visible	Disperso	Claro	Bueno	Excelente

Se formo floc en todas las jarras
El floc presentes en las jarras es en forma de filamentos.
Desde la jarra 4 a la 6 se incluyo 40, 50 y 60 mg/ml de alumbre y en igual cantidad coagulante de platano.

ENSAYO_13									
Fecha		17/07/2020							
Solución		10 g/l	10 mg/ml						
Volumen jarras		0,5 l	500 ml						
coagulante		Cascara de platano verde molido y tamizado							
Muestra		cruda	1	2	3	4	5	6	
mg/l		n.a	30	60	90	120	150	180	
ml		n.a	1,5	3	4,5	6	7,5	9	
Parametros									
color	**Unidades**								
pH	**pH**	4,6							
Turbiedad	**NTU**								
Conductividad	**(µS/cm)**								
Alcalinidad	**mg/l**								
Tiempo de formación del Floc	**minutos**	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	
Caracterización del Floc	**Indice de Willcomb**	n.a	0	0	0	0	0	0	

Mezcla rapida	1	min	150	RPM
Mezcla lenta	10	min	35	RPM
Sedimentación	15	min		

Observaciones

n.a.	No aplica	**n.f.f**	No forma Floc	**n.s.r**	No se revisó

Indice de Willcomb

0	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
Flóculo coloidal	Visible	Disperso	Claro	Bueno	Excelente

El agua contiene una solución de 200 mg/l de hierro

ENSAYO_14									
Fecha		17/07/2020							
Solución		10 g/l	10 mg/ml						
Volumen jarras		0,5 l	500 ml						
coagulante		Cascara de platano verde molido y tamizado							
Muestra		cruda	1	2	3	4	5	6	
mg/l		n.a	30	60	90	120	150	180	
ml		n.a	1,5	3	4,5	6	7,5	9	
Parametros									
color	**Unidades**								
pH	**pH**	8,98							
Turbiedad	**NTU**								
Conductividad	**(µS/cm)**								
Alcalinidad	**mg/l**								
Tiempo de formación del Floc	**minutos**	n.a	5	5	5	5	5	5	
Caracterización del Floc	**Indice de Willcomb**	n.a	8	8	8	8	8	8	

Mezcla rapida	1	min	150	RPM
Mezcla lenta	10	min	35	RPM
Sedimentación	15	min		

Observaciones

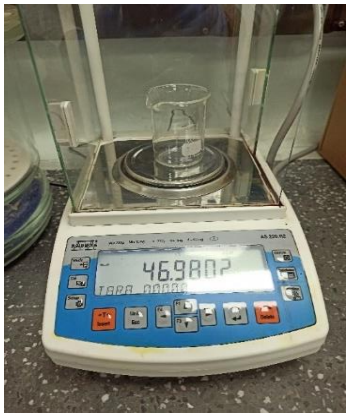
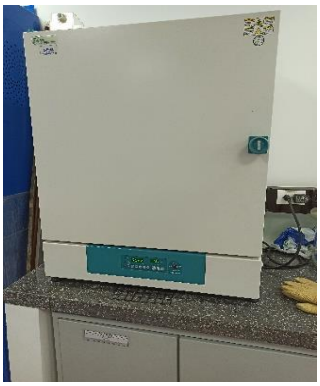
n.a.	No aplica	**n.f.f**	No forma Floc	**n.s.r**	No se revisó

Indice de Willcomb

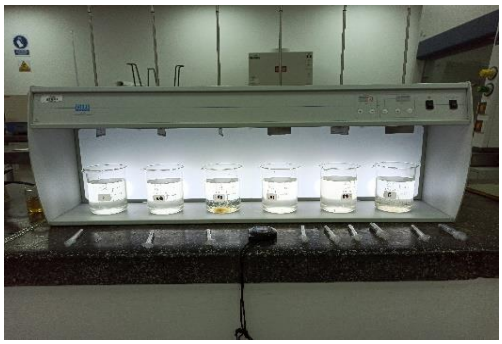
0	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
Flóculo coloidal	Visible	Disperso	Claro	Bueno	Excelente

Se le incorporaron 24ml de cal 20g/l
El agua contiene una solución de 200 mg/l de hierro

Anexo 2. Equipos utilizados

EQUIPO	IMAGEN	ENSAYO O TRABAJO
Microbalanza RADWAG - AS220 R2		Determinar pesos del polvo de cascara de plátano
Purificador de agua marca ThermoFisher		Obtención de agua destilada
Horno digital de convecciòn forzada		Sacado y deshidratación de la cascara de plátano

Floculador marca Velp Scientifica



Realización ensayo jarras

Multímetro portátil HQ40D

Medición de pH y conductividad

Turbidimetro marca Hanna

Medición de turbidez

Espectofotometro marca HACH

Medición de hierro en el agua

Tamiz # 40

Tamizado de cascara molida de plátano

Molino manual marca Corona

Molienda de cascara de plátano

Cabina extractora marca ESCO Frontier

Protección en procesos de calentamiento de liquidos, en ensayo de muestreo de hierro en agua

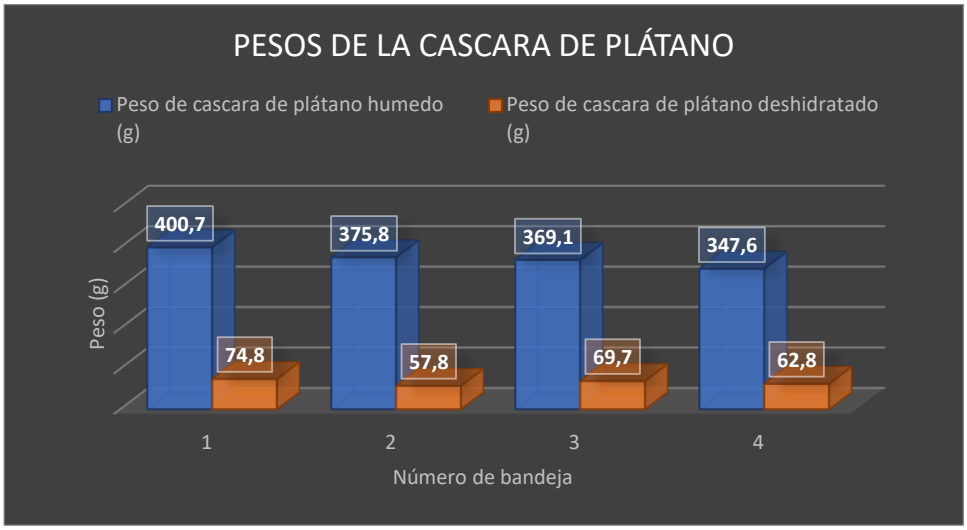
Juego de tubos Nessler

Caracterización de color aparente

Anexo 3. Tablas de recopilación de datos de las características de la cáscara de plátano

Número de bandeja	Peso bandeja vacia (g)	Peso bandeja + cascara de plátano humedo (g)	peso bandeja + cascara de plátano deshidratado (g)	Peso de cascara de plátano humedo (g)	Peso de cascara de plátano deshidratado (g)
1	22,5	423,2	97,3	400,7	74,8
2	22,5	398,3	80,3	375,8	57,8
3	22,5	391,6	92,2	369,1	69,7
4	22,5	370,1	85,3	347,6	62,8

Número de bandeja	Peso de cascara de plátano humedo (g)	Peso de cascara de plátano deshidratado (g)	Peso de agua presente en la cascara de plátano (g)	Porcentaje de agua (w) %
1	400,7	74,8	325,9	81%
2	375,8	57,8	318	85%
3	369,1	69,7	299,4	81%
4	347,6	62,8	284,8	82%
Promedio				82%



Número de bandeja	Peso de cascara de plátano humedo (g)	Peso de cascara de plátano deshidratado (g)	Peso de cascara de plátano deshidratado y molido (g)	Rendimiento %
1	400,7	74,8	37,3	9,3%
2	375,8	57,8	32,9	8,8%
3	369,1	69,7	35,5	9,6%
4	347,6	62,8	32,8	9,4%
Promedio	**373,30**	**66,28**	**34,63**	**9,3%**