

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA SEMILLA DE AGUACATE Y MUCÍLAGO
DE CAFÉ COMO COAGULANTES NATURALES EN EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

JUAN SEBASTIAN BARRETO PARDO
DIANA KARINA VARGAS MONCADA

UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C
2019

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA SEMILLA DE AGUACATE Y MUCÍLAGO
DE CAFÉ COMO COAGULANTES NATURALES EN EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

Proyecto de grado para optar al título de ingeniero ambiental

JUAN SEBASTIAN BARRETO PARDO (1) Cod. 064132061
DIANA KARINA VARGAS MONCADA (2) Cod. 064132080

Director (a): LIDA ESPERANZA RUIZ MARTINEZ
Ingeniera ambiental, Magíster en Gestión ambiental.

UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C

2019

“El trabajo de grado titulado “EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA SEMILLA DE AGUACATE Y MUCÍLAGO DE CAFÉ COMO COAGULANTES NATURALES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS” realizado por los estudiantes Juan Sebastian Barreto Pardo y Diana Karina Vargas Moncada, con códigos 064132061 y 064132080 respectivamente, cumple con todos los requisitos legales exigidos por la Universidad Libre para optar al título de Ingeniero Ambiental.

Firma Director de Proyecto

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C

2019

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo de grado a nuestras familias por haber sido un apoyo y nuestro pilar a lo largo la carrera universitaria y de nuestra vida, a todos nuestros amigos, vecinos y compañeros que nos ayudaron de una manera desinteresada, infinitas gracias por toda su ayuda y grandiosa voluntad.

AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría agradecer la ayuda que muchas personas, nos brindaron durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo. En primer lugar, queremos agradecer a nuestros padres que nos han ayudado y apoyado en todo, a nuestra directora, Lida Esperanza Ruiz Martínez, por habernos orientado en diversos momentos en los que necesitamos sus consejos.

De igual forma, deseamos expresar nuestro reconocimiento a la Universidad Libre de Colombia a la seccional de Bogotá como a la del Socorro por ser las sedes de todo el conocimiento adquirido en estos años.

Resumen

En la actualidad es de vital importancia el tratamiento de aguas residuales teniendo en cuenta que la sobreexplotación de los recursos naturales está generando graves daños ambientales, lo cual conlleva a la disminución de los recursos hídricos. Para la reducción de estos impactos ambientales existen diferentes métodos para el tratamiento de aguas residuales, entre los más utilizados se encuentra el tratamiento primario avanzado, el cual consiste en la coagulación/floculación y sedimentación de materiales particulados presentes en el agua. En este procedimiento se emplean polielectrolitos sintetizados químicamente. Por tal motivo en la presente investigación se trataron aguas residuales domésticas a partir de coagulantes naturales extraídos de la semilla del aguacate y el mucílago del café, determinando para cada extracto la eficiencia en términos de reducción de color y turbiedad en el tratamiento primario avanzado. Los resultados obtenidos indicaron que el coagulante obtenido de la semilla de aguacate aumenta tanto la turbiedad como la coloración, por su parte el coagulante a base del mucílago de café permitió remover el 65,29% de la turbiedad, indicando que este extracto puede servir como un coagulante preliminar o auxiliar en el proceso de tratamiento primario de aguas residuales.

Palabras Clave: Color, Dosis Óptima, Ensayo de Jarras, Extracción Soxhlet, Turbiedad.

Abstract

Currently, the treatment of wastewater is of vital importance considering that the overexploitation of natural resources is generating serious environmental damage, which leads to the decrease of water resources. For the reduction of these environmental impacts there are different methods for the treatment of wastewater, among the most used is the advanced primary treatment, which consists of the coagulation/flocculation and sedimentation of particulate materials present in the water. In this procedure chemically synthesized polyelectrolytes are used. For this reason, in the present investigation domestic wastewater was treated from natural coagulants extracted from the avocado seed and coffee mucilage, determining for each extract the efficiency in terms of color reduction and turbidity in the advanced primary treatment. The obtained results indicated that the coagulant obtained from the avocado seed increases both the turbidity and the coloration, on the other hand the coagulant based on the coffee mucilage allowed to remove 65.29% of the turbidity, indicating that this extract can serve as a preliminary or auxiliary coagulant in the primary wastewater treatment process.

Key Words: Color, Optima Dose, Trial of jars, Extraction Soxhlet, Turbidity.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	11
3. JUSTIFICACIÓN	12
4. OBJETIVOS	13
4.1 OBJETIVO GENERAL	13
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
5. MARCO REFERENCIAL	14
5.1 ANTECEDENTES	14
5.2 MARCO TEÓRICO	15
5.3 MARCO CONCEPTUAL	16
5.3.1 COAGULANTES	16
5.3.2 COAGULANTES NATURALES	17
5.3.3 TEST DE JARRAS	17
5.3.4 TURBIEDAD	17
5.3.5 COLOR	18
5.4 MARCO LEGAL	18
6. METODOLOGÍA	19
6.1 OBTENCIÓN DE COAGULANTES NATURALES:	19
6.3 DOSIFICACIÓN DE COAGULANTES	20
6.2 PRUEBA DE JARRAS Y EFICIENCIA	21
7. RESULTADOS	22
7.1 COAGULANTES NATURALES	22
7.2 COMPORTAMIENTO DE VARIABLES	23
7.3 DOSIS ÓPTIMAS POR COAGULANTE	25
7.4 IMPLEMENTACIÓN A OTRA ESCALA	26
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
8.1 EFECTIVIDAD DE LOS COAGULANTES	27
8.2 ANALISIS DE IMPLEMENTACION A ESCALA	31
9. CONCLUSIONES	32

10. RECOMENDACIONES.....	32
11. REFERENTES BIBLIORÁFICOS.....	33

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación No. 1 Concentración de Coagulante	20
Ecuación No. 2 Dosis de Coagulante	21
Ecuación No. 3 % Remoción de Turbiedad.....	21
Ecuación No. 4 % Remoción de Color	21

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración No. 1 Decantación de Hidrocoloides.....	22
Ilustración No. 2 Tratamiento Térmico.....	22
Ilustración No. 3 Montaje del Sistema Soxhlet.....	23
Ilustración No. 4 Tratamiento Térmico.....	23
Ilustración No. 5 Ensayo de Jarras.....	23

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico No. 1 Comportamiento Coagulante Tipo A	24
Gráfico No. 2 Comportamiento Coagulante Tipo B	24
Gráfico No. 3 Comportamiento Coagulante Tipo C.....	25
Gráfico No. 4 Porcentaje de remoción de turbiedad vs. dosis de coagulante aplicado.....	29
Gráfico No. 5 Porcentaje de remoción de color vs dosis de coagulante aplicado.....	30

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1 Dosis Optima	25
Tabla No. 2 Estimación Municipio del Socorro	26
Tabla No. 3 Costos Unitario por Coagulante.....	26
Tabla No. 4 Costos de Implementación	27
Tabla No. 5 Parámetros iniciales de calidad del agua residual empleada.....	28

1. INTRODUCCIÓN

Es conocido que el agua se encuentra entre los elementos más esenciales de la vida, la mayor parte del mundo está constituida por agua, casi en un 71%; pero solo el 2,5% de esta es dulce, potable y contribuye a la sustentabilidad de todo el mundo (Choy et al., 2014)

La competencia económica mundial ha generado un impacto significativo en el desarrollo de muchos países, la industrialización a gran escala es un nuevo ideal lo que conduce al incremento de las industrias manufacturaras, los monocultivos, la cría intensiva de ganado a fin de suplir nuestras necesidades, lo que hoy en día se denomina consumismo, cultura o sociedad de consumo (Richard Robbins, 1999), no obstante, todo este desarrollo Socioeconómico y cultural trae consecuencias ambientales, las cuales afectan de manera significativa las aguas superficiales (Yin, 2010).

Afortunadamente existen tratamientos con diversas tecnologías, a fin de reducir los impactos generados en el ambiente (Kakoi, Kaluli, Ndiba, & Thiong'o, 2016), el método más utilizado es la coagulación, sin embargo, esta metodología ha traído consigo diversos inconvenientes por el uso de sustancias inorgánicas como lo son las sales trivalentes y los polímeros sintéticos

Esta investigación, refleja la necesidad de sustituir dichas sustancias en los procesos del tratamiento de las aguas potables o residuales, principalmente por las consecuencias y efectos adversos que producen esas sustancias y por el hecho de que existen otro tipo de sustancias que pueden ejecutar la misma labor, a menor costo y menor riesgo para el ambiente y la sociedad.

Es importante resaltar que este documento está enfocado en demostrar la efectividad de los coagulantes naturales, extraídos de la semilla del aguacate y del mucilago del café frente al coagulante químico sulfato de aluminio, como la

proyección de costos al implementar un tratamiento con estos nuevos coagulantes a nivel del municipio del Socorro Santander.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Según Chung Yin (Yin, 2010) el incremento de la economía está generando el aumento del impacto ambiental, en particular a las aguas superficiales ya que en sus vertimientos se realizan descargas indiscriminadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos generados por las grandes industrias. No obstante, se puede mitigar el impacto ambiental en las aguas residuales mediante diversas tecnologías como procesos de coagulación, precipitación, adsorción, floculación, intercambio iónico, sedimentación entre otras, para la remoción de material suspendido o coloidal (Kakoi et al., 2016). Sin embargo, esto genera el aditamento de más sustancias químicas al efluente, para así lograr la remoción de turbidez, la cual es un indicador de la presencia de los sólidos en el agua (Abiola, 2015).

La existencia de material particulado remanente en el agua puede afectar los demás procesos para el tratamiento de aguas residuales, entre ellos el proceso de desinfección aumentando el riesgo de propagación de enfermedades transmitidas por el agua, uno de los procesos más utilizados es el tratamiento primario avanzado de aguas residuales que consiste en la combinación de los procesos de coagulación/floculación/sedimentación y representa una etapa esencial en el tratamiento de la mayoría de las aguas residuales. (Bina, Mehdinejad, Nikaeen, & Attar, 2009).

Frecuentemente las sustancias utilizadas en la etapa coagulación/floculación se pueden clasificar en dos, polímeros sintéticos y naturales, dentro de los polímeros sintéticos se encuentran algunos derivados de la poliacrilamida y el polietileno, estos contienen monómeros residuales los cuales son neurotóxicos y carcinógenos generando que sean poco empleados. Asimismo, los polímeros naturales no producen riesgos a la salud humana y son biodegradables, estos son obtenidos a partir de microorganismos, tejidos y semillas de plantas o animales. A pesar que los polímeros naturales deberían ser los más usados, los coagulantes de mayor uso

son de origen químico, generalmente sales de metales trivalentes, como las sales de aluminio y de hierro (M. Šćiban, Klašnja, Antov, & Škrbić, 2009). Según estudios realizados se determinó que las sales de aluminio están asociadas con la enfermedad de Alzheimer y otras enfermedades neurológicas, teniendo en cuenta que el cuerpo humano asimila fácilmente el aluminio y da lugar a consecuencias negativas a largo plazo, estas consecuencias se manifiestan a una concentración de aluminio superior a 0,1 ppm en el agua (Parra et al., 2011). Según los autores Abebe, Chen y Sobsey (Abebe, Chen, & Sobsey, 2016) mencionan las consecuencias adversas por el uso de sales inorgánicas en el tratamiento del agua, las cuales pueden variar desde la generación de altos volúmenes de desechos inorgánicos potencialmente tóxicos, requiriendo la eliminación apropiada; cambios en el pH del agua e ineficacia de los mismos a baja temperatura (Shamsnejati, Chaibakhsh, Pendashteh, & Hayeripour, 2015).

Con base a lo anterior, los extractos obtenidos a partir de plantas o semillas son conocidos como polímeros orgánicos, también llamados coagulantes naturales los cuales se usan para el tratamiento de aguas en los procesos de coagulación/floculación debido a su nula toxicidad y a su alta biodegradabilidad, a pesar de los beneficios que generan los coagulantes naturales en ocasiones el adecuado tratamiento de agua requiere del uso de sustancias químicas adicionales, los cuales pueden traer consigo efectos adversos para la salud. (Abebe et al., 2016).

3. JUSTIFICACIÓN

Los países en desarrollo no poseen los recursos para invertir en este tipo de tratamientos, a pesar que el tratamiento con coagulantes químicos es económico y eficaz cuando se controlan todas sus variables, pero hay poblaciones que no pueden implementar todo el sistema para garantizar la efectividad del tratamiento del agua, a esto se suma el costo de importación del alumbre, PAC y otros productos químicos necesarios para el tratamiento convencional del agua, en ocasiones cabe la posibilidad que surja un problema secundario de contaminación debido al uso excesivo de sustancias químicas (Sanghi, Bhattacharya, Dixit, & Singh, 2006). Por otra parte se generan dificultades por el uso de coagulantes y/o floculantes químicos, los cuales llegan a producir exceso de lodos, dependencia y control del

pH durante y al final del proceso, otro aspecto que influye es la variabilidad de la temperatura del agua afectando la eficiencia del coagulante y/o floculante (Abebe et al., 2016).

Por los factores mencionados anteriormente surge la necesidad de sustituir los coagulantes químicos por coagulantes naturales, que generarían aspectos positivos como su rentabilidad y alta biodegradabilidad (Parra et al., 2011). Adicionalmente los coagulantes naturales son seguros para la salud humana (Shamsnejati et al., 2015), por otro lado generan menor volumen de lodos, que corresponden al 20% - 30% de la contraparte tratada con alumbre y no alteran el pH del agua tratada (M. Šćiban et al., 2009).

Con la implementación de los coagulantes naturales se puede contribuir con las iniciativas globales del desarrollo sostenible, en el mundo se vienen implementando iniciativas que mitiguen el cambio climático, el agotamiento de los recursos naturales de la tierra y la degradación ambiental por medio de tecnologías innovadoras (Yin, 2010). Una de estas alternativas es el uso de coagulantes naturales, los cuales pueden cultivarse localmente (Chaibakhsh, Ahmadi, & Zanjanchi, 2014).

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar la eficiencia de la semilla de aguacate y el mucílago de café como coagulantes en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener los coagulantes de origen natural a partir del mucilago del café y la semilla del aguacate, fundamentados en la literatura establecida y adaptándose al entorno en el que estos se encuentran.
- Analizar el comportamiento del color y la turbiedad en el agua tratada con los coagulantes naturales realizados.

- Establecer la dosis optima de coagulante necesario para cada uno de los ensayos propuestos.
- Analizar las posibilidades de implementación de este tratamiento a otras escalas, estimando costos y beneficios ambientales de su aplicación.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 ANTECEDENTES

Existen diversos precedentes con relación al uso de diferentes coagulantes obtenidos de plantas, Prospero Alpino (botánico italiano) ofrece un testimonio del uso de almendras para ayudar a la sedimentación, en este caso se empleó cascara de almendras dulces y aplastadas para la clarificación del agua, haciéndolas de ayudante de sedimentación. Por otro lado, Felix D’Acret escribió un notable documento en el que describe la filtración a través de recipientes porosos y la coagulación con almendras y frijoles en la clarificación del agua para la potabilización (Fatombi, Lartiges, Aminou, Barres, & Caillet, 2013). De igual modo, en la actualidad se hace frecuente la búsqueda de otros compuestos orgánicos de origen natural para la fabricación de coagulantes, como por ejemplo las cáscaras de naranja (Kebaili, Djellali, Radjai, Drouiche, & Lounici, 2018), las del banano (Kakoi et al., 2016), las semillas de habas (Kukić, Šćiban, Prodanović, Tepić, & Vasić, 2015), los almidones (Choy, Prasad, Wu, Raghunandan, & Ramanan, 2016), las castañas y bellotas (M. Šćiban et al., 2009), las legumbres (M. B. Šćiban, Klašnja, & Stojimirović, 2005) entre otros. Sin embargo, la mayoría de las revisiones sobre coagulantes naturales, hacen hincapié principalmente en cuatro plantas, la semilla de la Moringa Oleífera, la semilla de Nirmali, los taninos y el cactus Opuntia Ficus-Indica empleados para el tratamiento de agua bruta y residual (Yin, 2010).

Teniendo en cuenta lo anterior los investigadores del artículo titulado “Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de opuntia wentiana” desarrollado en la Universidad de Zulia, Venezuela; identificaron la efectividad del otro mucílago “Opuntia Wentina” como coagulante primario para el tratamiento de aguas potables, obteniendo como resultado, valores superiores al 70% en remoción de turbidez, los cuales se sitúan con mayor exactitud entre el 85% al 95% de remoción, lo que indica

que la mezcla mucilaginosa extraída de la planta endémica de la zona puede ser utilizada como dicho coagulante (Parra et al., 2011).

Adicionalmente a esto, Beltrán Heredia y colaboradores afirman que los taninos catiónicos pueden ser empleados como agentes de coagulación, dado que a partir de estos es posible sintetizar coagulantes partiendo de varias materias primas (Beltrán-Heredia, Sánchez-Martín, & Gómez-Muñoz, 2010), en especial extractos de diferentes semillas como "Horse chestnut" (*Aesculus hyppocastanum*), roble común (*Q. robur*), roble turco (*Q. cerris*), roble rojo norteño (*Q. ruber*) y castaña europea (*C. sativa*) a las cuales les determinaron el contenido de proteínas y su actividad coagulante, encontrando que la castaña europea y el roble común son las más eficientes (M. Šćiban et al., 2009). Por otro lado, también se han empleado extractos etanólicos de las semillas de uvas (GSE) y polifenoles derivados de las mismas, como ácido tánico y la catequina en un esfuerzo por encontrar nuevos coagulantes orgánicos naturales (NOCs) (Jeon et al., 2009). También, se han investigado polímeros catiónicos comerciales a base de taninos (TBP) con el objeto de establecer sus propiedades químicas básicas y su comportamiento como coagulante (Graham, Gang, Fowler, & Watts, 2008).

5.2 MARCO TEÓRICO

Algunos investigadores como Chung Yin y Mahmut Özacar (Özacar & Şengil, 2002a; Yin, 2010) analizaron la aplicación de taninos como coagulantes primarios y/o ayudantes de la coagulación en el tratamiento de agua, el tanino en estos estudios fue extraído de la Valonia. El estudio permitió concluir que el tanino combinado con el sulfato de aluminio es un excelente sustituto de los coagulantes químicos, debido a la cationización de los taninos (Beltrán-Heredia, Sánchez-Martín, & Dávila-Acedo, 2011) hecho que se debe a que los agentes coagulantes cargados positivamente pueden desestabilizar coloides aniónicos una vez se mezclan en soluciones acuosas provocando la remoción de una amplia variedad de sustancias aniónicas, tales como colorantes, tensoactivos y materia orgánica (Beltrán-Heredia et al., 2010). La semilla de aguacate empleada en el presente estudio posee material celular irregular que contiene taninos (Gaviaria Mejía & Mejía Aguas, 2012) derivados de la familia del ácido gálico y son los llamados hidrolizables, que poseen diversos efectos en

sistemas biológicos, tales como atrapar y encapsular metales, actividad antioxidante y ayudante de precipitación, entre otras (Segovia Gomez, 2015).

Con respecto al mucílago de café, este se localiza entre la pulpa y la cáscara de la semilla de café y representa alrededor del 5% del peso de este. Adicionalmente, el mucílago es un sistema coloidal líquido, liofilico que actúa como un hidrogel, químicamente estos contienen agua, azúcares, ácidos orgánicos y pectinas. La estructura del mucílago presenta una primera fracción en donde se encuentran las pectinas, con propiedades gelificantes y una segunda fracción sin propiedades gelificantes (Braham & Bressani, 2017), otros autores Goycoolea, Matsuhira y Torres (Goycoolea & Cárdenas, 2003; Matsuhira, Lillo, Sáenz, Urzúa, & Zárate, 2006; Medina-Torres, Brito-De La Fuente, Torrestiana-Sanchez, & Katthain, 2000) afirman que los mucílagos son carbohidratos de naturaleza compleja que contienen L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa y D-xilosa, así como ácido D-galacturónico en diferentes proporciones, este último siendo la estructura básica de las pectinas (Sociedad Latinoamericana de Nutrición, Sangronis, & Unai, 2008).

El principal uso de las pectinas en la industria alimentaria es como gelificante, espesante, texturizante, emulsificante y estabilizante, su aplicación más común es en la manufactura de mermeladas y jaleas. Esta funcionalidad de la pectina es atribuida a la presencia de regiones polares y apolares dentro de su molécula, lo que permite incorporarla a diferentes sistemas alimenticios (Sociedad Latinoamericana de Nutrición et al., 2008). Como se ha indicado, el mucílago del fruto del café es muy rico en sustancias pécticas que se podrían aislar. Sin embargo, estas sustancias son difíciles de recuperar debido a que el despulpado y lavado son operaciones inherentes al proceso de la extracción del café (Aritizábal Arias & Duque Orrego, 2005).

5.3 MARCO CONCEPTUAL

5.3.1 COAGULANTES

Sustancias como sales trivalentes, polímeros sintéticos o naturales, encargados de desestabilizar las cargas eléctricas que presentan algunas partículas presentes en el agua, estas sustancias reaccionan con la alcalinidad presente en el agua, y forman

un precipitado insoluble en agua, que incorpora la mayoría de sólidos presentes en el agua, comúnmente este precipitado es un hidróxido dependiendo de la sustancia o coagulante adicionado (Abebe et al., 2016; Restrepo Osorno, 2009)

5.3.2 COAGULANTES NATURALES

Son sustancias o polímeros naturales los cuales se producen a partir de microorganismos, tejidos de animales y extractos de semillas o plantas (Ramírez Arcila, Jhoan, & Peralta, 2015), cuya función es desestabilizar las cargas eléctricas que presentan algunas partículas presentes en el agua (Restrepo Osorno, 2009), y al ser de origen natural presentan una mínima o nula toxicidad y una alta biodegradabilidad en los lodos que producen, lo cual aumenta las alternativas de tratamiento basada en el uso de los mismos (Olivero, Aguas, Mercado, Casas, & Montes, 2014)

5.3.3 TEST DE JARRAS

Método más usado en la industria del tratamiento de agua para la simulación a escala de las etapas de coagulación, floculación y sedimentación bajo condiciones similares a la operación de una planta de tratamiento, cuyo propósito es determinar el tipo de coagulante, coadyuvante y/o floculante, determinando que dosis genera la más rápida desestabilización de las partículas coloidales, para que se forme un floc lo suficientemente pesado para que por efectos de gravedad caiga por sedimentación. (García, 2007)

5.3.4 TURBIEDAD

El nivel de transferencia de luz en el agua es una característica del agua conocida como turbidez; la cual es usada como medida de calidad del agua, esta particularidad es producida por materiales insolubles, en suspensión, coloidales o muy finos los cuales son muy difíciles de filtrar, sin embargo esta peculiaridad se puede solucionar por medio de procesos de coagulación y floculación o en mejor de sus casos, aplicando desinfección al agua para disminuir el riesgo del consumidor o mejorar la calidad de los vertimientos (Alvarez, 2017)

5.3.5 COLOR

El parámetro responsable de agregar una tonalidad al agua es el color, su origen se fundamenta en dos fuentes: la primera de ellas provenientes de origen natural por la descomposición de la materia orgánica (vegetales, ácidos húmicos, hierro y manganeso) y la segunda de ella por origen antrópico generalmente ocasionados por residuos industriales y domésticos. El color que se determina en el agua puede ser de dos tipos: color aparente cuando la muestra presenta sólidos en suspensión y color verdadero el cual se puede determinar luego de sedimentar sólidos suspendidos quedando así los sólidos de tipo coloidal. Adicional de ello, el color es importante tratar para asegurar una apariencia favorable del agua y cumplir con las especificaciones químico- sanitarias establecidas (Aguilar & Másmela, 2017).

5.4 MARCO LEGAL

Dentro de la normatividad colombiana, se encuentran una gran variedad de Leyes, Normas, Decretos y Resoluciones que son aplicables al Tratamiento de aguas residuales y potables. A continuación, se menciona la normativa aplicable al tema de interés de la presente investigación:

- Decreto 2811 de 1974: Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. (CONGRESO DE COLOMBIA, 1974)
- Ley 9 de 1979: Por la cual se dictan medidas sanitarias. (CONGRESO DE COLOMBIA, 1979)
- Decreto 3930 de 2010 “Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones”, se tiene en cuenta el siguiente apartado; Capítulo VII De la obtención de los permisos de vertimiento y planes de cumplimiento.(M. D. A. V. Y. D. T. MinAmbiente, 2010)
- Resolución 631 de 2015 (marzo 7 de 2015) Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, En esta resolución se establecen los parámetros y valores límites máximos permisible en los vertimientos puntuales a cuerpos de

aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. (M. D. A. Y. D. S. MinAmbiente, 2015)

- Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable (RAS) Titulo E (2000), República de Colombia Ministerio de Desarrollo Económico, este título comprende: aspectos generales de los sistemas de tratamiento de aguas caracterización, sistemas de tratamiento, operación, mantenimiento y las metodologías de diseño para aguas residuales. (Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000)

6. METODOLOGÍA

Todas las actividades propuestas se realizaron en el laboratorio de aguas y microbiología de la Universidad Libre seccional Socorro, Santander. Se utilizaron muestras de agua residual de la quebrada La Guayacana, a la que generalmente llegan las descargas puntuales de los vertimientos del municipio, se realizaron ensayos con el coagulante sulfato de aluminio con el fin de obtener un comparativo en la investigación, y así evaluar el desempeño de los coagulantes convencionales con respecto a los obtenidos en este estudio.

Adicionalmente se debe mencionar que los coagulantes elaborados en este estudio se obtuvieron a partir de dos residuos presentes en la zona, el mucílago de café el cual se encuentra en la mayoría del país, que se extrajo de la planta de beneficio de la Universidad Libre y la semilla de aguacate, la cual representa un residuo que se genera de manera abundante en esa zona.

6.1 OBTENCIÓN DE COAGULANTES NATURALES:

En la extracción de los hidrocoloides (mucílago), se utilizó una mixtura acuosa de mucílago relación 3:1, dicha mezcla se cribo con una malla y se dejó reposar en conos Imhoff durante 24 horas, el mucilago obtenido se separo en dos partes la primera de ellas se secó a (50°C; 40 min) y se mantuvo en reposo por un día más (Sáenz et al., 2006), a la segunda porción del extracto se le realizó un tratamiento térmico en plancha (97°C; 1 hora) y en horno secador (50°C; 1 hora y media) y se obtuvo un polvillo fino; la primera porción se rotuló como coagulante tipo (A), y se preparó disolviendo 10 g de coagulante en 500 ml de agua destilada y la solución

para la segunda porción se preparó disolviendo 10 g de coagulante en polvo en 500 ml de solución amortiguadora o buffer de fosfato y se rotuló como coagulante tipo (B).

Para el último coagulante, se realizó la selección y la clasificación de las semillas de aguacate especie vegetal denominada Persea americana, variedad Trapp (Aguacate) presente en la zona. Se realizó una reducción de tamaño a la semilla seleccionada y se cernió con un tamiz de malla 10 (2 mm). El material resultante se llevó a un sistema de extracción Soxhlet, se empleó éter etílico para la extracción del aceite de la muestra (ISPC, 1990) y se secó el extracto sólido, es decir, el ripio resultante al cual le fue retirado el aceite. Para concluir, se pulverizó el ripio de semilla de aguacate a fin de obtener un polvo fino (Meneses & Alarcon, 2015). La solución para este coagulante se preparó disolviendo 10 g de ripio de aguacate en 500 ml de agua destilada y se rotuló como coagulante tipo (C).

6.3 DOSIFICACIÓN DE COAGULANTES

La dosificación se realizó teniendo en cuenta, la concentración de los coagulantes, los cuales fueron preparados al 2% (Masa/Volumen), como también los volúmenes a dosificar, donde se estipuló un aumento ascendente de 3ml por jarra, es decir que en la jarra número 1, se empezó a dosificar con 3ml coagulante X y así sucesivamente hasta llegar a la jarra número 6 con 18ml dosificados de coagulante X, finalmente se procedió a calcular su valor en unidades de Masa/Volumen mediante las siguientes ecuaciones:

Ecuación No. 1 Concentración de Coagulante

$$[Coagulante] = \frac{masa (mg)}{Volumen (ml)} = \frac{mg}{ml}$$

Con respecto a la Ecuación No. 1 se debe tener en cuenta, que para una concentración del 1%, se debe disolver 500mg en 50ml de agua destilada o solución estipulada.

Ecuación No. 2 Dosis de Coagulante

$$[Dosis\ de\ Coagulante] = [Coagulante] \frac{mg}{ml} * \frac{V_a(ml)}{V_m(L)} = \frac{mg}{L}$$

En donde, [Coagulante] es la concentración de coagulante determinada con la Ecuación No.1, la variable V_a es equivalente al Volumen Aplicado en cada jarra en mililitros y la variable V_m es el Volumen de la muestra a tratar en Litros, para determinar la dosis optima de coagulante, se debe tener ejecutar la Ecuación No. 2, teniendo en cuenta que el valor de la variable V_a corresponde al ensayo que se obtuvo en el test de jarras.

6.2 PRUEBA DE JARRAS Y EFICIENCIA

Teniendo en cuenta los procedimientos establecido por Shamsnejati y colaboradores (Shamsnejati et al., 2015) se realizaron los ensayos de jarras, en el cual se emplearon 7 jarras de un litro con agua residual, 6 de ellas se montaron en un floculador con agitaciones variables, la otra jarra se tomó como jarra de control, a cada una de las 6 jarra se les aplico las dosis establecidas previamente con los coagulante obtenidos, a fin de establecer y analizar la eficiencia de los coagulantes en los respectivos ensayos, se determinó el porcentaje de remoción de turbiedad y color, para lo cual se emplearon las ecuaciones que se presentan a continuación:

Ecuación No. 3 % Remoción de Turbiedad

$$\% \text{ Remocion Turbiedad} = \frac{(T_o - T_f)}{T_o} * 100$$

Ecuación No. 4 % Remoción de Color

$$\% \text{ Remocion Color} = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} * 100$$

En la ecuación 3 y 4, el subíndice “o” corresponde a las condiciones de la variable al inicio del ensayo y el subíndice “f” representa las condiciones finales, T y C corresponden a la turbiedad y color de la muestra de agua respectivamente (Kakoi et

al., 2016). Adicional a ello, se determinaron el pH y la alcalinidad del agua (Chaibakhsh et al., 2014)

7. RESULTADOS

7.1 COAGULANTES NATURALES

En las Ilustraciones se puede observar la obtención de los hidrocoloides, mediante un proceso de decantación en cono Imhoff, donde el mucilago se separa del agua acumulándose en la parte superior del cono en una tonalidad más oscura.

Ilustración No. 1 Decantación de
Hidrocoloides



Fuente de: Autores

Ilustración No. 2 Tratamiento Térmico



Fuente de: Autores

De igual forma se puede observar el tratamiento térmico al que fueron sometidos los coagulantes a base de mucílago de café, a fin de eliminar la saturación de humedad presente en la muestra

Ilustración No. 3 Montaje del Sistema Soxhlet.



Fuente de: Autores

Ilustración No. 4 Tratamiento Térmico



Fuente de: Autores

En la ilustración No. 3, se encuentra el montaje del sistema Soxhlet, el cual se utilizó para la extracción de los aceites presentes en la semilla del aguacate, se usó éter como solvente, adicionalmente en la cámara del sistema se observa la muestra de la semilla de aguacate, por su parte en la otra ilustración se encuentra el ripio de la semilla el cual se le realizó un procedimiento térmico para su posterior pulverización.

7.2 COMPORTAMIENTO DE VARIABLES

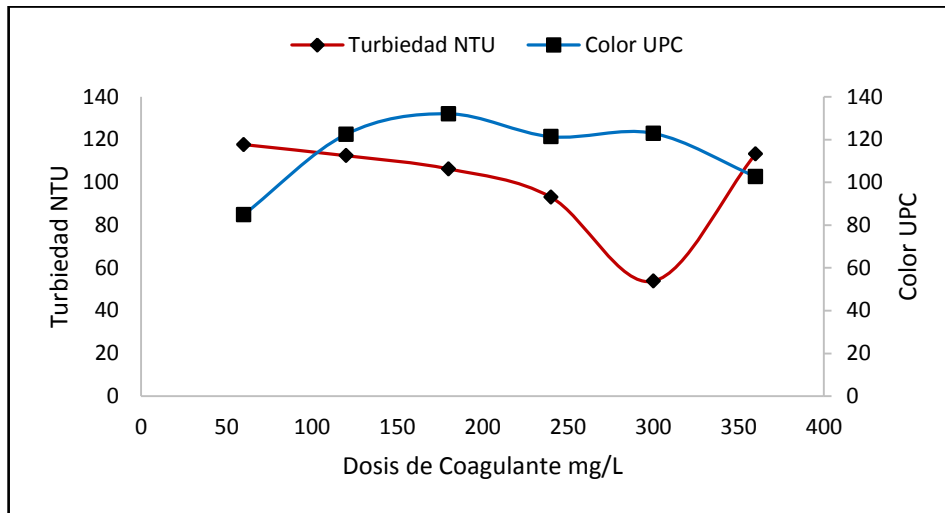
Ilustración No. 5 Ensayo de Jarras



Fuente de: Autores

En la Ilustración anterior se verifica el test de jarras, en el cual se emplea un floculador de 6 puestos, donde se realizaron los diferentes ensayos con cada coagulante y se determinó la dosis óptima para cada uno.

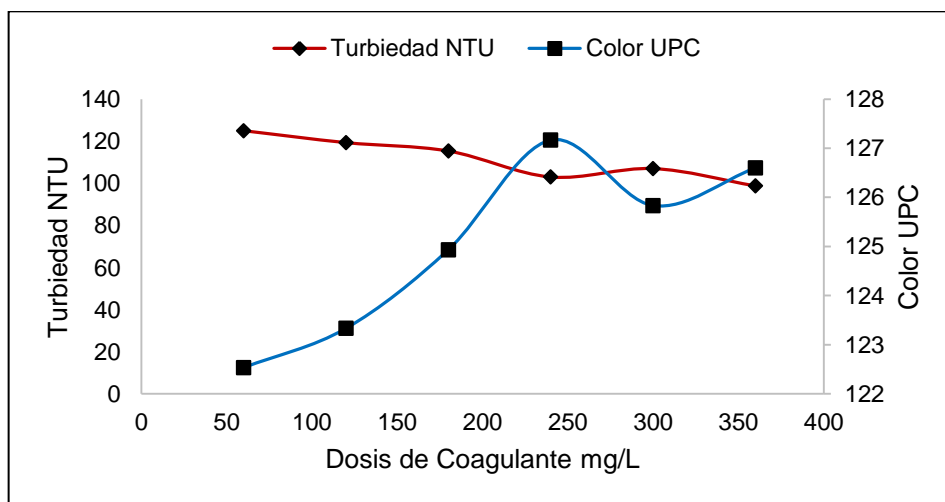
Gráfico No. 1 Comportamiento Coagulante Tipo A



Fuente de: autores

En la Gráfica No. 1 se puede apreciar el comportamiento del coagulante tipo A respecto a las variables de turbiedad y color en función de la dosificación, observando que este coagulante alcanza la máxima remoción de turbiedad cuando llega a la dosificación de 300mg/L y de cierta forma vuelve ascender mínimamente en la última dosificación, por otro lado, el color aumenta al dosificar el coagulante y se reduce muy poco en comparación a la turbiedad.

Gráfico No. 2 Comportamiento Coagulante Tipo B

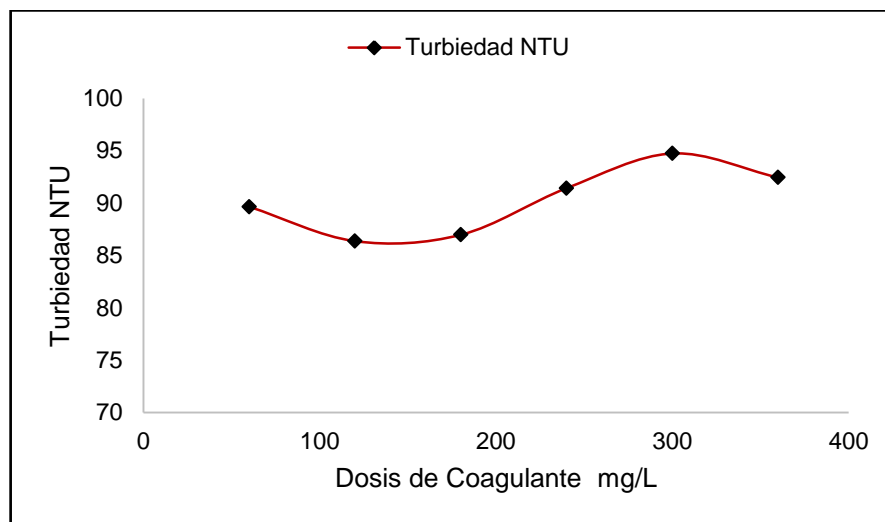


Fuente de: autores

En la Gráfica No. 2 se puede apreciar el comportamiento del coagulante tipo B observando que la variable color aumenta considerablemente cuando se dosifica el coagulante y se reduce mínimamente en las siguientes dosificaciones, por otro lado,

este coagulante coincide en cierto comportamiento en la turbiedad con el coagulante tipo A, hasta que llegan a la dosificación de 300mg/L, donde, el coagulante tipo B de cierta forma se reduce y vuelve ascender mínimamente en la última dosificación, mientras el otro alcanza la máxima remoción de turbiedad.

Gráfico No. 3 Comportamiento Coagulante Tipo C



Fuente de: Autores

En la Gráfica No. 3 se puede apreciar el comportamiento del coagulante tipo C observando que la variable color no se presenta debido a que este aumento tanto cuando se dosifico el coagulante que su lectura fue imposible, adicional a eso la turbiedad se reduce mínimamente de hecho la remoción de este coagulante es casi nula y agrega color al agua tratada.

7.3 DOSIS ÓPTIMAS POR COAGULANTE

Tabla No. 1 Dosis Óptima

Coagulante	Dosis Óptima (mg/L)
A	300 mg/L
B	120 mg/L
C	360 mg/L

Fuente de: autores

En la Tabla No. 1 se puede observar las dosis óptimas de cada coagulante, teniendo en cuenta la remoción de la turbiedad y el color, la rapidez de formación del floc y la sedimentación de los sólidos.

7.4 IMPLEMENTACIÓN A OTRA ESCALA

La siguiente tabla representa, los costos por cada coagulante elaborado en el laboratorio, con el fin de estimar el valor unitario de su implementación a una escala mayor como en una ciudad o municipio, la tabla No. 3 elaborada con información del DANE y de la RAS 2000, se realiza a fin de calcular el volumen del agua a tratar.

Tabla No. 2 Estimación Municipio del Socorro

MUNICIPIO DEL SOCORRO		
Variable	Unidades	Valor
Número de habitantes	hab	30.847
Dotación	L/(hab*día)	135
Volumen de agua a tratar	m ³ /día	4.164

Fuente de: Autores

Tabla No. 3 Costos Unitario por Coagulante

Variable	Unidad	Coagulante		
		Tipo A	Tipo B	Tipo C
<i>Masa de Materia Prima</i>	<i>g</i>	<i>500</i>	<i>500</i>	<i>500</i>
Volumen de agua	L	1	1	0,5
Valor del agua	\$/m ³	1.224	1.224	1.224
<i>Costo del agua</i>	<i>\$</i>	<i>1,224</i>	<i>1,224</i>	<i>0,612</i>
Tiempo de secado	horas	0,6	2,5	6,0
Potencia del horno	kW	3,4	3,4	3,4
Potencia consumida	kWh	2,0	8,5	20,4
Valor de la energía	\$/kWh	516,2	516,2	516,2
<i>Costo de energía</i>	<i>\$</i>	<i>1.053</i>	<i>4.387</i>	<i>10.530</i>
Volumen Otros	ml	0,0	50	1.250
Valor de Otros	\$/L	0,0	40.000	70.000

<i>Costo de Otros</i>	\$	0	2.000	87.500
Costo total	\$	1.054	6.389	98.030
Costo unitario	\$/kg	2.108	12.777	196.061

Fuente de: Autores

Tabla No. 4 Costos de Implementación

Variable	Unidad	Coagulante			
		Alumbre	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Volumen aplicado	mL	15	15	6	18
Concentración	mg/ml	20	20	20	20
Volumen de muestra	L	1	1	1	1
<i>Dosis</i>	<i>mg/L</i>	<i>300</i>	<i>300</i>	<i>360</i>	<i>120</i>
Volumen de agua a tratar	m ³ /día	4.164	4.164	4.164	4.164
Masa de coagulante	kg/día	1249	1249	500	1499
<i>Valor de coagulante</i>	<i>\$/kg</i>	<i>5000</i>	<i>2.108</i>	<i>12.777</i>	<i>196.061</i>
Costo de coagulante	\$/día	6.246.000	2.633.314	19.153.234	97.967.760

Fuente de: Autores

La tabla No. 4 indica el costo del coagulante por día, para tratar los 4.164 metros cúbicos de agua residual aproximados, que se generan en el municipio del Socorro Santander, y se puede observar los costos para cada coagulante incluyendo el sulfato de aluminio.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 EFECTIVIDAD DE LOS COAGULANTES

En la tabla No. 5 se pueden observar los parámetros iniciales obtenidos del estado de la calidad del agua residual, de igual forma se puede distinguir que la alcalinidad residual es mayor de 100mg CaCO₃/L, motivo por el cual no fue necesaria la adición de alcalinizante para lograr la reacción prevista (Arenas Esteves, 2017). Se debe señalar que hay casos en los cuales obligatoriamente, se le debe añadir cal o hidróxido de sodio al agua dado, que esta no contiene la alcalinidad suficiente para

reaccionar con el coagulante (Giraldo & Castrillón Bedoya, 2012). Por otro lado, la turbiedad y el color inicial del agua residual fueron de 155 NTU y 177.5 UPC.

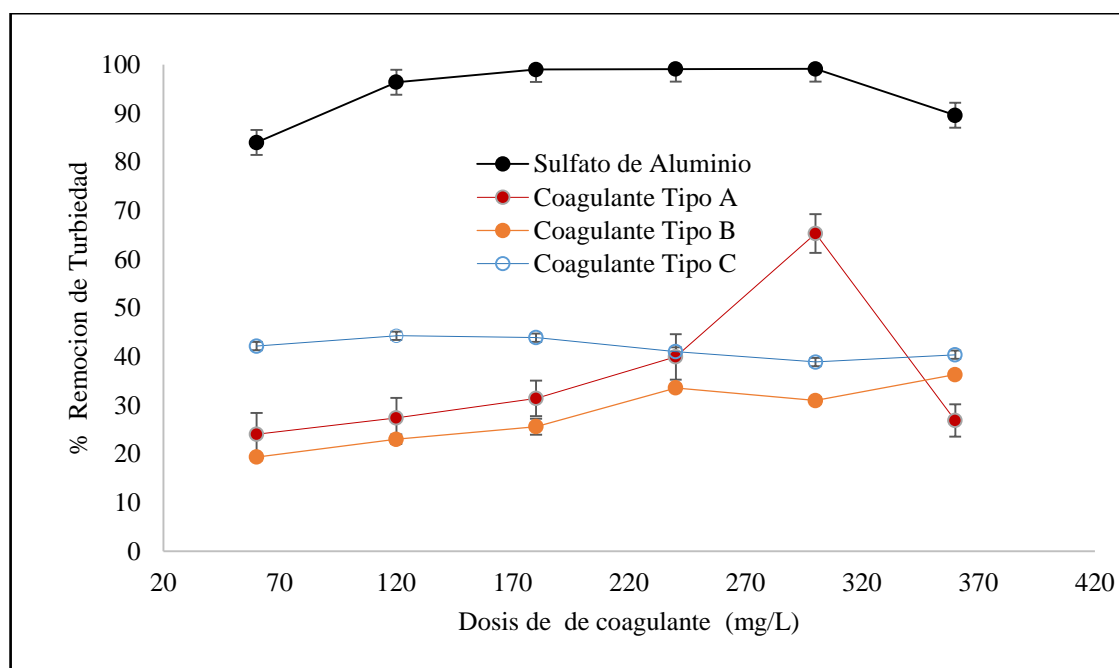
Tabla No. 5 Parámetros iniciales de calidad del agua residual empleada.

Parámetro	Valor	UNIDAD
pH	6.9	-
Alcalinidad	154.9	mg de CaCO ₃ /L
Turbiedad	155	UNT
Color	177.5	UPC

Fuente de consulta: Autores

Para la floculación se utilizaron velocidades de agitación de 100 rpm en la mezcla rápida y 40 rpm en la mezcla lenta a fin de obtener la máxima remoción de turbiedad y color. En los graficos 4 y 5 se aprecia que el coagulante sulfato de aluminio logro alcanzar los más altos niveles remoción de turbiedad y de color entre un 90% y 99%, valores similares con otros autores como Sandoval y Canepa (Martha, Arreola, Ramón, & Canepa, 2014) quienes alcanzaron valores alrededor de un 97,46% de efectividad, al igual que Heber, Marina y Leonardo (De Paula, De Oliveira Ilha, & Andrade, 2014) quienes señalan que el coagulante comercial por sí solo, cumple todas la especificaciones para el tratamiento y la reutilización de aguas grises, situación que destaca la alta competitividad de esta sal inorgánica en el tratamiento de agua residual y cruda. Cabe resaltar que el coagulante tipo (A), logró remover un 65% en turbiedad y un 30% en color con una dosis optima de 300mg/L, lo que indica que la acción de las cadenas peticas le permiten generar un proceso de aglomeración (Braham & Bressani, 2017), agrupando sólidos en suspensión presentes en el agua y así reducir la turbiedad, no obstante en comparación con el sulfato de aluminio se presenta una diferencia de aproximadamente 35% de efectividad, siendo la sal mucho más efectiva para este tratamiento.

Gráfico No. 4 Porcentaje de remoción de turbiedad vs. dosis de coagulante aplicado



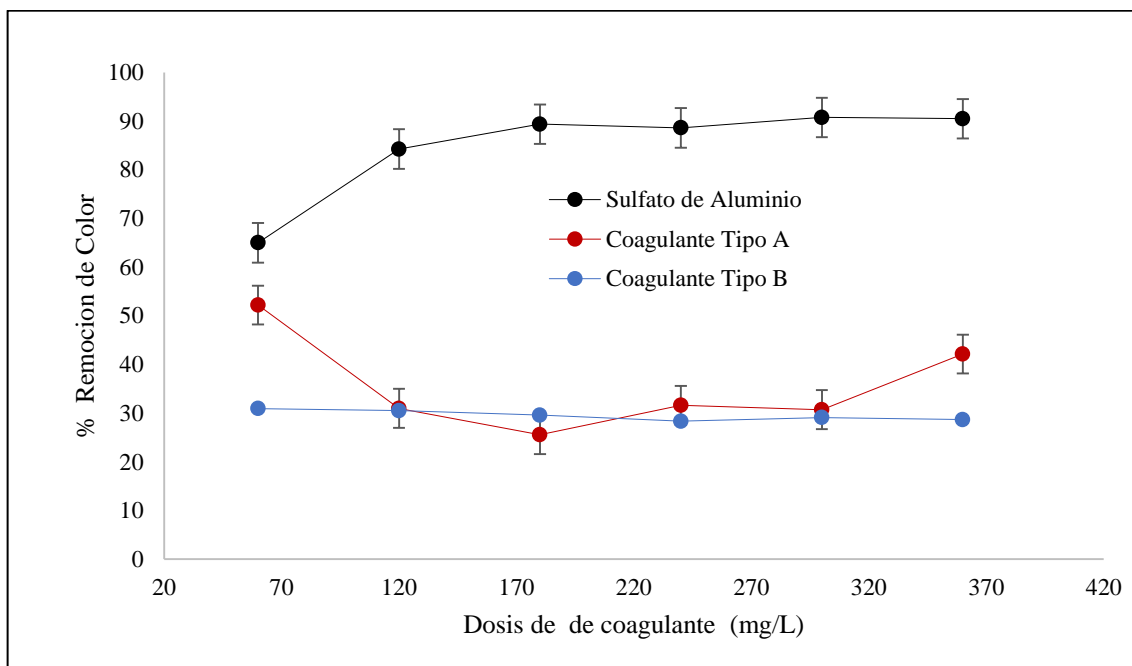
Fuente de: Autores

Por otro lado, se observa que el coagulante tipo (A) posee una acción mucho más efectiva para remover turbiedad que para eliminar color, asimismo otros autores como Parra y colaboradores (Parra et al., 2011), quienes trabajaron con el mucilago del Catus Opuntia Wentiana para el tratamiento de agua cruda, alcanzaron valores de remoción de turbiedad, de un 41,47% a un 94,84%, afirmando que en general su efectividad era del 70%, por su parte Fuentes y colaboradores (Lorena Del et al., 2011) emplearon el mucilago del cactus Stenocereus griseus y al igual que Parra, trataron aguas crudas, obteniendo un porcentaje de remoción de turbiedad entre 14,5 a un 80,42% , valores y/o rangos muy próximos a los obtenidos con el coagulante tipo (A), motivo por el cual dicho coagulante se puede considerar como uno relativamente óptimo; A diferencia del coagulante tipo (B), el cual fue poco efectivo en la reducción turbiedad y de color, arrojando valores entre el 30 al 40% de efectividad, dado que con una dosis optima de 360mg/L de coagulante tipo (B), solo se puedo reducir un 36% de turbiedad, siendo el porcentaje más alto de reducción que alcanzo este coagulante es notable el desempeño del coagulante tipo (A), puesto que supera en un 29% de efectividad a su homologo. Yin (Yin, 2010), menciona que, los mucílagos de fenogreco (Trigonella foenum-graecum), de la

semilla de *Tamarindus indica* y de *Malva sylvestris* (malva), poseen una eficiencia entre el 40% al 95% para el tratamiento de agua con altas cargas orgánicas, rango en el que se encuentra el coagulante tipo (A), lo que aumenta la posibilidad de su uso en el tratamiento de aguas residuales.

Cabe resaltar que los autores (Anastasakis, Kalderis, & Diamadopoulos, 2009) emplearon en el proceso de coagulación/floculación, sulfato de aluminio y como floculante y/o ayudante mucilago de Okra y de malva. Con el uso del mucílago de Okra como floculante alcanzaron un 70% de remoción de turbidez y afirmaron que se eliminó un 19% más que al usar el coagulante solo. Así mismo, con el uso del mucilago de malva como floculante alcanzaron un porcentaje de remoción aproximado del 64,5%, siendo de un 8,5% más efectivo que el coagulante solo, lo que permite identificar una nueva metodología aplicable para el uso del coagulante tipo (A) a fin de obtener mejores resultados.

Gráfico No. 5 Porcentaje de remoción de color vs dosis de coagulante aplicado



Fuente de: Autores

En el Gráfico No. 5 se puede observar el comportamiento del porcentaje de remoción de color a medida que se realizan las dosificaciones, se debe resalta que el coagulante tipo C, no consiguió realizar remoción de color.

En el caso del coagulante tipo (C), presenta un mínimo porcentaje de remoción de turbiedad el cual osciló entre el 40% y 45%, lo que indica su baja efectividad para el tratamiento de aguas residuales, de igual forma sus valores fueron muy parecidos a los obtenidos con el coagulante tipo (B), Autores como Özacar y Sengil (Özacar & Şengil, 2002) afirman que los taninos son compuestos orgánicos que favorecen el proceso de coagulación, de hecho indican que pueden ser utilizados como coagulantes primarios. Sin embargo, en esta ocasión su remoción en el tratamiento de aguas residuales fue casi nula debido a que, el coagulante obtenido no era homogéneo cuando se mezcló, el ripio de la semilla del aguacate y el agua destilada, por su parte se debe resaltar que la semilla del aguacate es un fruto con una alta concentración de taninos (Beltrán-Heredia et al., 2011; Braham & Bressani, 2017), lo cual se podía observar en la coloración fuerte y rojiza al obtener los coagulantes. Es conocido que el uso de los taninos se encuentra muy arraigado en la industria textil al formar colorantes orgánicos a partir de estos (Devian & Saldarriaga, 2015).

8.2 ANALISIS DE IMPLEMENTACION A ESCALA

Teniendo en cuenta la tabla No. 4 en la que se pueden resaltar los costos de implementación a una escala municipal, se observa que el coagulante tipo A, es el que menor inversión requiere en cuanto a coagulantes naturales, dado que el coagulante tipo C se desfasa en costos de implementación (\$293.927.572) y tampoco posee una gran efectividad a la hora de remover los sólidos suspendidos presentes en el agua, al igual que el coagulante tipo B, el cual no es igual de costoso (\$6.385.109), pero también posee una mínima efectividad en el tratamiento de aguas residuales, es por ello que se resalta el coagulante tipo A, el cual tiene una económica implementación (\$2.634.059) y posee una efectividad en el tratamiento de aguas que oscila entre el 30 al 65%, sin embargo se hace evidente que los coagulantes ensayados no permiten alcanzar la efectividad que se logra con el sulfato de aluminio, pero, si pueden ser una alternativa para ayudar en el proceso de coagulación y disminuir la dosis del polielectrolito comercial.

9. CONCLUSIONES

La implementación de los coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales, alcanza una efectividad del 50% en turbiedad y color

El coagulante elaborado que posiblemente permita una clarificación del agua residual es el coagulante tipo A, a base de mucilago de café, dado que presenta los mejores porcentajes de remoción, frente a los otros dos coagulantes elaborados, sin embargo, no logra superar los valores que se logran con sulfato de aluminio como coagulante comercial de mayor uso

Se debe aplicar mejores sistemas para la extracción de aceite o grasas dado que el sistema Soxhlet, posee una limitación, la cual fue el aumento repentino de la temperatura del agua de refrigeración, motivo por el cual se generó un alto consumo de solvente, lo que a su vez se ve reflejado en un aumento en los costos de producción del coagulante tipo C

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación se puede afirmar que los coagulantes, considerando las con las condiciones y/o variables establecidas en la metodología, permiten una reducción en la turbiedad y el color, sin embargo, dicha reducción no alcanza la efectividad de un coagulante químico tradicional, para alcanzar esta efectividad se deberían establecer nuevas condiciones y variables a la metodología planteada.

10. RECOMENDACIONES

Para la elaboración de los coagulantes a base del mucílago de café, se debe tener en cuenta, el método de elaboración del café, debido a que en el país existen diferentes métodos de producción, lo cual puede afectar la concentración del mucilago, es decir que se puede encontrar mucilagos más diluidos en agua si el método de producción de café es artesanal, mientras que el utilizado era mucho más concentrado y viscoso debido a que fue extraído de una planta beneficiadora.

Ciertas sustancias presentes en los extractos pueden ser las encargadas del aumento del color en lo coagulantes, no obstante, esta situación se puede mejorar con otros procesos como adsorción con carbón activado u oxidación con peróxido de

hidrogeno a fin de reducir el color, material orgánico y desinfección del agua residual después de su clarificación

Se recomienda utilizar el coagulante obtenido a partir de mucilago de café, el coagulante Tipo A, como ayudante en el tratamiento de aguas residuales, dado que fue el coagulante que mejores resultados presentó, y su uso contribuiría a reducir las cantidades utilizadas de polímeros sintéticos

11. REFERENTES BIBLIORÁFICOS

- Abebe, L. S., Chen, X., & Sobsey, M. D. (2016). Chitosan Coagulation to Improve Microbial and Turbidity Removal by Ceramic Water Filtration for Household Drinking Water Treatment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 269. <https://doi.org/10.3390/ijerph13030269>
- Abiola, N. O. (2015). Headway on natural polymeric coagulants in water and wastewater treatment operations. *Journal of Water Process Engineering*, 6, 174–192. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.04.004>
- Aguilar, N. C., & Másmela, A. P. R. (2017). *Evaluación De Almidón De Manihot Esculenta (Yuca) Y Musa Aab Simmonds. (Plátano) En Procesos De Coagulación Y Floculación Para El Tratamiento De Aguas Residuales En La Ptard Del Parque Agroindustrial De Occidente – Pao*. Retrieved from <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/12023>
- Alvarez, E. N. N. (2017). *Diseño De Un Prototipo De Sistema De Monitoreo De La Calidad de Agua Del Rio Inga A Través De Un Enlace Microonda. Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias*.
- Anastasakis, K., Kalderis, D., & Diamadopoulos, E. (2009). Flocculation behavior of mallow and okra mucilage in treating wastewater. *Desalination*, 249(2), 786–791. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.09.013>
- Arenas Esteves, M. F. (2017). Formato guías de laboratorio. *Guías de Laboratorio*, 1–13.
- Aritizábal Arias, C., & Duque Orrego, H. (2005). Caracterizacion De Beneficio De Café En Cinco Departamentos Cafeteros De Colombia, 56(4), 299–318.

- Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J., & Dávila-Acedo, M. A. (2011). Optimization of the synthesis of a new coagulant from a tannin extract. *Journal of Hazardous Materials*, 186(2–3), 1704–1712. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.075>
- Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J., & Gómez-Muñoz, M. C. (2010). New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimisation studies. *Chemical Engineering Journal*, 162(3), 1019–1025. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.07.011>
- Bina, B., Mehdinejad, M. H., Nikaeen, M., & Attar, H. M. (2009). Effectiveness of chitosan as natural coagulant aid in treating turbid waters. *Iranian Journal Of Environmental Health Science And Engineering*, 6(4), 247–252.
- Braham, J. E., & Bressani, R. (2017). *Pulpa de cafe composición tecnología y utilización*. INCAP - INSTITUTO DE NUTRICION DE CENTRO AMERICA Y PANAMA (Vol. 91). Bogotá: Centro internacional de investigaciones para el desarrollo.
- Chaibakhsh, N., Ahmadi, N., & Zanjanchi, M. A. (2014). Use of Plantago major L. as a natural coagulant for optimized decolorization of dye-containing wastewater. *Industrial Crops and Products*, 61, 169–175. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.06.056>
- Choy, S. Y., Murthy, K., Prasad, N., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., & Ramanan, R. N. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *JES*, 26(11), 2178–2189. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024>
- Choy, S. Y., Prasad, K. N., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., & Ramanan, R. N. (2016). Performance of conventional starches as natural coagulants for turbidity removal. *Ecological Engineering*, 94, 352–364. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.082>
- CONGRESO DE COLOMBIA. (1979). LEY 9 DE 1979. Retrieved May 24, 2019, from http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0009_1979.html
- CONGRESO DE COLOMBIA, . (1974). DECRETO 2811 DE 1974. Retrieved May

24, 2019, from

http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_2811_1974.html

De Paula, H. M., De Oliveira Ilha, M. S., & Andrade, L. S. (2014). Concrete plant wastewater treatment process by coagulation combining aluminum sulfate and *Moringa oleifera* powder. *Journal of Cleaner Production*, 76, 125–130.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.031>

Devian, J., & Saldarriaga, D. (2015). Pulverización de colorantes naturales por secado por atomización. *Revista Universidad EAFIT*, 41(137), 36–43.

Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2000). *REGLAMENTO*

TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO

RAS-2000 SECCION II TÍTULO E. Bogotá. Retrieved from

http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf

Fatombi, J. K., Lartiges, B., Aminou, T., Barres, O., & Caillet, C. (2013). A natural coagulant protein from copra (*Cocos nucifera*): Isolation, characterization, and potential for water purification. *Separation and Purification Technology*, 116, 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.05.015>

García, B. (2007). *Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial*. Ysirim. Retrieved from

[http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12458/Tesis de Master_BEATRIZ GARCIA FAYOS.pdf?sequence=1](http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12458/Tesis%20de%20Master_BEATRIZ_GARCIA_FAYOS.pdf?sequence=1)

Gaviaria Mejía, M. A., & Mejía Aguas, M. C. (2012). *Evaluación de la extracción de colorantes de la semilla de aguacate como negocio para la región antioqueña*.

ESCUELA DE INGENIERIA DE ANTIOQUIA. Retrieved from

http://www.dt.co.kr/contents.html?article_no=2012071302010531749001

Giraldo, M. D. L. A., & Castrillón Bedoya, D. (2012). *Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio tipo b en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de villa santana*. Universidad tecnológica de pereira.

- Goycoolea, F. M., & Cárdenas, A. (2003). Pectins from *Opuntia spp.* : A Short Review. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, (February 2003), 17–29.
- Graham, N., Gang, F., Fowler, G., & Watts, M. (2008). Characterisation and coagulation performance of a tannin-based cationic polymer: A preliminary assessment. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 327(1–3), 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2008.05.045>
- ISPC, I. de S. P. de C. (1990). Procecimiento para determinar materia grasa : Método Soxhlet. *Sección Química de Alimentos, n°2*, 1–2. Retrieved from http://www.ispch.cl/lab_amb/met_analitico/doc/ambiente_pdf/GrasSoxhlet.pdf
- Jeon, J. R., Kim, E. J., Kim, Y. M., Murugesan, K., Kim, J. H., & Chang, Y. S. (2009). Use of grape seed and its natural polyphenol extracts as a natural organic coagulant for removal of cationic dyes. *Chemosphere*, 77(8), 1090–1098. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.08.036>
- Kakoi, B., Kaluli, J. W., Ndiba, P., & Thiong'o, G. (2016). Banana pith as a natural coagulant for polluted river water. *Ecological Engineering*, 95, 699–705. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.07.001>
- Kebaili, M., Djellali, S., Radjai, M., Drouiche, N., & Lounici, H. (2018). Valorization of orange industry residues to form a natural coagulant and adsorbent. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.03.027>
- Kukić, D. V., Šćiban, M. B., Prodanović, J. M., Tepić, A. N., & Vasić, M. A. (2015). Extracts of fava bean (*Vicia faba* L.) seeds as natural coagulants. *Ecological Engineering*, 84, 229–232. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.008>
- Lorena Del, C., Fuentes, S., Ivan, A., Mendoza, S., Angela, M., López, M., ... Urdaneta, M. (2011). Effectiveness of a coagulant extracted from *Stenocercus griseus* (Haw.) Buxb in water purification. *Revista Tecnica de La Facultad de Ingenieria Universidad Del Zulia*, 34(1), 48–56.
- Martha, M., Arreola, S., Ramón, J., & Canepa, L. (2014). Moringa oleifera una alternativa para sustituir metálicos En El Tratamiento De Aguas Superficiales,

17(2), 101.

- Matsuiro, B., Lillo, L. E., Sáenz, C., Urzúa, C. C., & Zárate, O. (2006). Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Polymers*, 63(2), 263–267. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.08.062>
- Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., & Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, 14(5), 417–424. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00015-1)
- Meneses, N. L. G., & Alarcon, I. D. C. (2015). *Evaluación de la semilla de Moringa Oleífera como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del río Bogotá en su paso por el municipio de Villapinzón, Cundinamarca*.
- MinAmbiente, M. D. A. V. Y. D. T. (2010). *DECRETO 3930 de 2010*. Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf
- MinAmbiente, M. D. A. Y. D. S. (2015). *RESOLUCIÓN 631 DE 2015*. Retrieved May 24, 2019, from https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambienteds_0631_2015.htm
- Olivero, R. E. V., Aguas, Y. del R. M., Mercado, I. D. M., Casas, D. P. C., & Montes, L. E. G. (2014). Utilización de Tuna (*Opuntia Ficus- Indica*) Como Coagulante Natural En La Clarificación De Aguas Crudas. *Avances de Investigación En Ingeniería*, 11(1), 70–75. Retrieved from <http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-11/art7.pdf>
- Özacar, M., & Şengil, I. A. (2002a). The use of tannins from Turkish acorns (valonia) in water treatment as a coagulant and coagulant aid. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 26(3), 255–263.
- Özacar, M., & Şengil, I. A. (2002b). The use of tannins from Turkish acorns (valonia) in water treatment as a coagulant and coagulant aid. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 26(3), 255–263.

- Parra, Y., Cedeño, M., María, G., Mendoza, I., Gonzáles, Y., & Fuentes, L. (2011). CLlarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de opuntia wentiana (Brittton&Rose) / (Cactceae). *Universidad Del Zulia; Ciencias Exactas , Naturales y Agropecuarias, Redieluz*, 1, 27–33.
- Ramírez Arcila, H., Jhoan, •, & Peralta, J. (2015). Agentes Naturales Como Alternativa Para El Tratamiento Del Agua Agents As Natural Alternative for Water Treatment. *FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS UMNG*, 136–153. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- Restrepo Osorno, H. A. (2009). *Evaluación Del Proceso De Coagulación – Floculación De Una Planta De Tratamiento De Agua Potable*. Universidad Nacional de Colombia - Medellín.
- Richard Robbins. (1999). Effects of Consumerism — Global Issues. Retrieved May 24, 2019, from <http://www.globalissues.org/article/238/effects-of-consumerism>
- Sáenz, C., Berger, H., Galletti, L., García de Cortázar, V., Higuera, I., Mondragón, C., ... Varnero, M. T. (2006). *Utilización agroindustrial del nopal*. (C. Rosell, Ed.) (162nd ed.). Roma: Boletín de servicios agrícolas FAO.
- Sanghi, R., Bhattacharya, B., Dixit, A., & Singh, V. (2006). Ipomoea dasysperma seed gum : An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions, 81, 36–41. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.09.015>
- Šćiban, M. B., Klašnja, M. T., & Stojimirović, J. L. (2005). Investigation of Coagulation Activity of Natural Coagulants From Seeds of Different Leguminose Species. *Apteff*, 36, 81–87. <https://doi.org/10.2298/APT0536081S>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>
- Segovia Gomez, F. (2015). Aprovechamiento de residuos agro- industriales : Preparación de extractos , caracterización y uso en alimentos, 7. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.12.010>
- Shamsnejati, S., Chaibakhsh, N., Pendashteh, A. R., & Hayeripour, S. (2015).

Mucilaginous seed of *Ocimum basilicum* as a natural coagulant for textile wastewater treatment. *Industrial Crops and Products*, 69, 40–47.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.045>

Sociedad Latinoamericana de Nutrición, H., Sangronis, E., & Unai, E. (2008). Archivos latinoamericanos de nutrición. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 58(1), 64–70. Retrieved from http://www.scielo.org/ve/scielo.php?pid=S0004-06222008000100009&script=sci_arttext&tlng=en

Yin, C. Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45(9), 1437–1444.

<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>