



EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE COAGULACIÓN /FLOCULACIÓN DE EXTRACTOS
DE MATERIAL VEGETAL NATIVO

LAURA FLÓREZ RESTREPO
SERGIO VARGAS VELÁSQUEZ

Tutor

SEBASTIÁN ISAAC PACHECO GONZÁLEZ

Cotutor

YEISON ALBERTO GARCÉS GÓMEZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Manizales, Caldas

2021

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE COAGULACIÓN /FLOCULACIÓN DE
EXTRACTOS DE MATERIAL VEGETAL NATIVO**

Tesistas

Laura Flórez Restrepo

laura.florez@ucm.edu.co

Sergio Vargas Velásquez

sergio.vargas2@ucm.edu.co

Tutor

Sebastián Isaac Pacheco González

spacheco@ucm.edu.co

Cotutor

Yeison Alberto Garcés Gómez

ygarces@ucm.edu.co

**Universidad Católica de Manizales, Cra. 23 #No. 60, Manizales, Caldas
Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Programa Ingeniería Ambiental.**

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer principalmente a Dios por otorgarnos la sabiduría y dedicación para lograr el sueño de formarnos como profesionales.

A padres de Laura Flórez Restrepo, Claudia Milena Restrepo García y Sergio Augusto Flórez García; a padres de Sergio Vargas Velásquez, Narda Galidia Velásquez Zuluaga y Juan Carlos Vargas Campuzano. Por educarnos con amor y paciencia; y formarnos como las valiosas personas que somos.

A mi hermano Jacobo Vargas Velásquez por el acompañamiento en las largas noches de estudio y la motivación para seguir adelante.

A los docentes Sebastián Isaac Pacheco Gonzales y Yeison Alberto Garcés Gómez por el tiempo, paciencia, apoyo y conocimiento durante este proceso.

A la Universidad Católica de Manizales, en especial a nuestra directora de programa, María Fernanda Ortiz Revelo por acompañarnos durante nuestra etapa universitaria.

A todas las personas que participaron en este proceso.

DEDICATORIA

SERGIO VARGAS VELASQUEZ

*A mis padres, los cuales me permitieron cumplir
mis sueños; sin ellos no hubiese llegado tan lejos*

LAURA FLÓREZ RESTREPO

*A mis amados padres que son un ejemplar y mi
razón de ser, los cuales me enseñaron
que hay que seguir adelante con la cabeza en alto.*

RESUMEN

En el presente documento se evidencia la capacidad de coagulación/floculación para remover la turbidez de aguas residuales domésticas, usando los extractos naturales de *Heliocarpus popayanensis* & *Trumfetta Bogotensis*, llamados comúnmente Balso Blanco (BB) y Cadillo de Bestia (CB) respectivamente, donde se obtuvieron dosis óptimas de 7 mL para BB, logrando remover un 58.9% de la turbidez presente en el agua residual y 11 mL para CB el cual, logró una remoción del 63.8% de la turbidez inicial del agua, así mismo se encontró que para ambos extractos el pH óptimo es de 5 unidades con dosis de coagulante natural de 11 mL, se determinó que el BB alcanzó a remover un 68.2% y el CB un 84.5%; los demás resultados se encuentran organizados en tablas y representaciones gráficas. Adicionalmente se muestra la metodología utilizada para obtener los resultados ya mencionados, donde se realizaron pruebas de jarras, así como la obtención del extracto mucilaginoso en los laboratorios de operaciones unitarias y Biología & Química de la Universidad Católica de Manizales.

PALABRAS CLAVES: Prueba de jarras, *Heliocarpus popayanensis* & *Trumfetta Bogotensis*, turbidez, dosis y pH óptimos, coagulantes naturales.

ABSTRACT

This document shows the coagulation / flocculation capacity to remove turbidity from domestic wastewater, using the natural extracts of *Heliocarpus popayanensis* & *Trumfetta Bogotensis*, commonly called Balso Blanco (BB) and Cadillo de Bestia (CB) respectively, where they are obtained optimal doses of 7 mL for BB, managing to remove 58.9% of the turbidity present in the residual water and 11 mL for CB which, achieved a removal of 63.8% of the initial turbidity of the water, likewise it was found that for both extracts, the optimum pH is 5 units with a natural coagulant dose of 11 mL, it was determined that BB was able to remove 68.2% and CB 84.5%; the other results are organized in tables and graphical representations. Additionally, the methodology used to obtain the aforementioned results is shown, where jar tests were carried out, as well as obtaining the mucilaginous extract in the unit operations and Biology & Chemistry laboratories of the Catholic University of Manizales.

KEY WORDS: Jar test, *Heliocarpus popayanensis* & *Trumfetta Bogotensis*, turbidity, optimal dose and optimal pH, natural coagulants.

INDICE

Contenido

1. CAPITULO 1	10
1.1. INTRODUCCIÓN	10
2. CAPITULO 2	11
2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2.2. JUSTIFICACIÓN	11
3. CAPITULO 3	12
3.1. OBJETIVOS	12
3.1.1. Objetivo general	12
3.1.2. Objetivos específicos	12
4. CAPITULO 4	12
4.1. MARCO TEÓRICO	12
4.2. BIBLIOMETRÍA	1
5. CAPITULO 5	1
5.1. MATERIALES, METODOLOGÍA Y DESARROLLO	1
5.1.1. Materiales	1
5.1.2. Metodología y desarrollo	1
5.1.2.1. Ubicación	1
5.1.2.2. Revisión del estado del arte	2
5.1.2.3. Metodología de extracción	1
5.1.2.4. Prueba de jarras	5
1. Determinación de dosis óptima	6
2. Determinación de pH óptimo	6
3. Determinación de la combinación más efectiva de ambos extractos vegetales nativos	6
4. Determinación de dosis óptimas a pH constante	7
6. CAPITULO 6	7
6.1. RESULTADOS Y ANALISIS	7
6.1.2. Resultados	7
6.1.2.1. Caracterización de la composición del material vegetal nativo	7
6.1.2.1.1. <i>Heliocarpus popayanensis</i>	7
6.1.2.1.2. <i>Triumfetta Bogotensis</i>	8
6.1.2.2. Pruebas de jarras	9

6.1.2.2.1.	Determinación de dosis óptima.	9
6.1.2.2.1.1.	Primera sesión (Dosis de 1 mL a 6mL).	9
6.1.2.2.1.2.	Segunda sesión (Dosis de 7 mL a 17 mL).	10
6.1.2.2.2.	Determinación de pH optimo.....	11
6.1.2.2.3.	Determinación de la combinación más efectiva de ambos extractos vegetales nativos.	12
6.1.2.2.4.	Determinación de dosis óptima a pH constante.	13
6.1.2.2.4.1.	Dosis óptima con pH 5.....	13
6.1.2.2.4.2.	Determinación dosis optima con pH 6.....	14
6.1.2.2.4.3.	Determinación dosis optima con pH 7.....	15
6.1.2.2.4.4.	Determinación dosis optima con pH 8.....	16
6.1.2.2.4.5.	Determinación dosis optima con pH 9.....	17
6.1.3.	Análisis	18
6.1.3.1.	Representación gráfica tridimensional evaluando los parámetros químicos dosis, pH y porcentaje de remoción para Cadillo.....	18
6.1.3.2.	Representación gráfica tridimensional evaluando los parámetros químicos dosis, pH y porcentaje de remoción para Balso Blanco.....	1
6.2.	RECOMENDACIONES	2
7.	REFERENCIAS	2

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Heliocarpus Popayanensis	14
Ilustración 2 Trumfetta Bogotensis	15
Ilustración 3 Cantidad de publicaciones en algunos países.....	1
Ilustración 4 Tipos de documentos que se han publicado	2
Ilustración 5 Área en las que se ha estudiado sobre coagulantes naturales	3
Ilustración 6 Cantidad de publicaciones por año.....	4
Ilustración 7 Palabras claves.	5
Ilustración 8 Ubicación del proyecto.....	2
Ilustración 9 Recolección Heliocarpus Popayanensis	2
Ilustración 10 Disminución de tamaño de Trumfetta Bogotensis respectivamente.....	2
Ilustración 11 Filtración extractos naturales nativos Trumfetta Bogotensis y Heliocarpus Popayanensis respectivamente	3
Ilustración 12 Hidrolisis del extracto vegetal nativo Heliocarpus Popayanensis y Trumfetta Bogotensis respectivamente	3
Ilustración 13 Purificación e Hidrolisis de Heliocarpus Popayansensis y Trumfetta Bogotensis respectivamente para el proceso de caracterización bioquímica.	4
Ilustración 14 Incubación material vegetal nativo.....	4
Ilustración 15 Prueba de jarras antes y después	6
Ilustración 16 Formación y sedimentación de flocs.	6
Ilustración 17 Heliocarpus Popayanensis	8
Ilustración 18 Tejido externo e interno del Trumfetta Bogotensis	9
Ilustración 19 pH vs Dosis vs % de remoción CADILLO	1
Ilustración 20 pH vs Dosis vs % de remoción BALSOL BLANCO	1

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estado del Arte	1
Tabla 2 Resultados pruebas bioquímicas para el Balso.....	7
Tabla 3 Resultados pruebas bioquímicas para el Cadillo	8
Tabla 4 Datos dosis óptima para Cadillo primera sesión.	9
Tabla 5 Datos dosis óptima para Balso Blanco primera sesión.....	10
Tabla 6 Datos dosis óptima para Cadillo segunda sesión.....	10
Tabla 7 Datos dosis óptima para Balso Blanco segunda sesión.	11
Tabla 8 Datos pH óptimo para Cadillo.....	11
Tabla 9 Datos pH óptimo para Balso Blanco.	12
Tabla 10 Datos de dosis de cada coagulante natural según la proporción.....	12
Tabla 11 Datos de combinación óptima para Balso Blanco + Cadillo	13
Tabla 12 Datos de dosis óptima para pH 5 para Cadillo	13
Tabla 13 Datos de dosis óptima para pH 5 para Balso Blanco.....	14
Tabla 14 Datos dosis óptima para pH 6 para Cadillo	14
Tabla 15 Datos dosis óptima para pH 6 para Balso Blanco	15
Tabla 16 Datos dosis óptima para pH 7 para Cadillo	15
Tabla 17 Datos dosis óptima para pH 7 para Balso Blanco	16
Tabla 18 Datos dosis óptima para pH 8 para Cadillo	16
Tabla 19 Datos dosis óptima para pH 8 para Balso Blanco	17
Tabla 20 Datos dosis óptima para pH 9 para Cadillo	17
Tabla 21 Datos dosis óptima para pH 9 para Balso Blanco	18

1. CAPITULO 1

1.1.INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales (AR) son una de las principales problemáticas a las que se enfrenta el ser humano en la actualidad, debido al crecimiento de las grandes industrias, así como de la población, si no se tratan de manera adecuada traería severas consecuencias para el medio ambiente afectando directamente la calidad de vida de la humanidad, a raíz de esto la comunidad científica internacional se ha enfocado en buscar soluciones para el tratamiento y disposición de estas aguas, con la finalidad de que sean reutilizado para diversos fines. Las soluciones planteadas por el panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente, el cual hace parte de la comunidad científica internacional, proponen que los países tropicales o subtropicales utilicen tratamientos biológicos como lo son: lagunas de estabilización aerobias y anaerobias, digestores anaerobios, lodos activados, entre otros. (Eliet, *et al*, 2010).

La turbidez es uno de los principales parámetros que indican la contaminación en las aguas, para removerla se hace uso de coagulantes orgánicos e inorgánicos, los cuales hacen uso de las cargas eléctricas de los coloides presentes en el AR para atraerlos entre si formando partículas lo suficientemente pesadas que permitan su sedimentación. (Aguilar, *et al*, 2002)

El uso de sales inorgánicas como coagulantes para el tratamiento de AR son efectivos en los procesos de coagulación/floculación, pero a su vez representan una problemática ambiental debido a que generan gran cantidad de lodo que incrementa la contaminación de suelos y cuerpos hídricos, modificar el pH del agua tratada, también resultan ser muy costos, y contribuye al desarrollo de enfermedades como el Alzheimer (Bravo, 2017).

El coagulante inorgánico más utilizado es el Sulfato de Aluminio por su gran desempeño al momento de reducir la turbidez en las AR, sin embargo, este genera grandes cantidades de lodos los cuales presentan dificultad para ser deshidratados, su rendimiento, está ligado al pH y cuando se forma en agua fría, los flocs no son muy resistentes; adicionalmente varios estudios epidemiológicos, neuropatológicos y bioquímicos sugieren que a elevadas concentraciones el Aluminio presenta neurotoxicidad la cual causa enfermedades crónicas en los humanos. (Bravo, 2017).

Los coagulantes naturales son una alternativa para mitigar los impactos ambientales que los coagulantes inorgánicos generan. (Bravo, 2017) indica que los coagulantes más usados son: *Moringa oleífera* (moringa), *Strychnos potatorum* (nirmali), *Opuntia ficus* (cactus) y *Jatropha curcas*, además producirlos requiere bajo costo, no representa riesgo para la salud humana, también asegura que ha encontrado en la literatura antecedentes sobre uso de coagulantes naturales en Colombia, en zonas donde el agua potable es escasa, así como los recursos para potabilizarla; principalmente en las regiones del Caribe. También se sabe que los productores de panela hacen uso de *Heliocarpus popayanensis* & *Trumfetta Bogotensis* (Balso Blanco y Cadillo de bestia respectivamente) para clarificar el jugo de la panela.

2. CAPITULO 2

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Lo analizado en la literatura y la tradición en el trabajo realizado por la agroindustria panelera, los trabajadores usan el extracto de materiales vegetales de sus regiones para la remoción de turbidez del jugo de panela. Para el desarrollo del presente proyecto de investigación, se tomó como base anterior el procedimiento mencionado para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Es útil el uso del extracto de *Heliocarpus popayanensis* & *Trumfetta Bogotensis*, para el jugo de panela, o para el tratamiento de aguas residuales o para ambos.

(Espinosa, 2019) indica que para *Trumfetta Bogotensis* “Su uso más común está asociado a la producción de la panela, en el proceso de clarificación. Llamado también pestaña de mula o falso cadillo por la forma de sus frutos aplanados de pequeño tamaño, semejantes al cadillo que cuentan con numerosas espinas delgadas en su margen, que parecen pestañas. Sus frutos inmaduros son de coloración rosada y se tornan cafés al madurar.”

Basado en lo anterior se plantean las siguientes preguntas:

¿Qué capacidad de coagulación/floculación puede tener el extracto mucilaginoso de plantas nativas utilizadas en la industria alimenticia del departamento de caldas para el tratamiento de aguas residuales domésticas?

De comprobarse la capacidad de coagulación/floculación del extracto material vegetal nativo se determinará. ¿Cuál es la dosis óptima del extracto vegetal nativo para el proceso de coagulación/floculación en aguas residuales domésticas?

2.2. JUSTIFICACIÓN

Es de gran importancia este estudio debido a que hoy día está bien llevar a cabo una innovación y trabajar con y en pro de la misma naturaleza.

En el tratamiento fisicoquímico primario de aguas residuales (AR), comúnmente se trabaja con sales inorgánicas, entre ellas el Sulfato de Aluminio y el Cloruro Férrico en las cuales sus componentes activos después de la disociación son: el Ion Sulfato y el Ion Cloruro respectivamente. Las altas concentraciones de estos iones incrementan de gran manera la carga contaminante cuando las aguas efluentes del tratamiento vuelven a ser vertidas en los cuerpos hídricos, y esto puede generar una gran afectación sobre la comunidad aledaña y los ecosistemas pertenecientes de esta zona. Los efectos adversos se pueden evidenciar cuando el agua no ha sido tratada correctamente y este ha sido consumido. Si este presenta altas concentraciones de iones sulfatos mayores de 400 mg/L desarrolla diarreas, deshidratación e irritación gastrointestinal. (Ficha técnica, parámetros organolépticos, pág 16).

La Resolución número 2115 del 22 de junio del 2007 del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial exige que para el consumo humano el agua debe tener una turbidez máxima de 2 UNT y una concentración de 250 mg/L como valor máximo para el Ion Sulfato y el Ion Cloruro. Está resolución también menciona los parámetros a estudiar durante el experimento.

También estos Iones Sulfatos e Iones Cloruros presentes en los coagulantes/floculantes usados incrementan el deterioro en las estructuras y aumentan los malos olores como por ejemplo en la producción del Ácido Sulfhídrico.

Lo que buscó en el presente proyecto fue implementar como coagulante/floculante el material vegetal nativo estudiado para el tratamiento de aguas residuales buscando reducir los impactos ambientales a diferencia de como lo hacen las sales inorgánicas usadas comúnmente evaluando la eficiencia que tienen estos materiales para la remoción de turbidez en las muestras.

Esta es una de las finalidades que tiene un Ingeniero Ambiental, proponer nuevas alternativas que generen un bienestar en el ambiente ecológico y social. También se busca obtener lodos altamente biodegradables, los cuales puedan ser usados en diversos tratamientos de digestión anaerobia con la finalidad de generar biogás.

3. CAPITULO 3

3.1.OBJETIVOS

3.1.1. Objetivo general

Evaluar la capacidad de coagulación/floculación de extractos de material vegetal nativo *Heliocarpus Popayanensis* y *Trumfetta Bogotensis* en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

3.1.2. Objetivos específicos

- Revisar el estado del arte y análisis bibliométrico de coagulantes naturales en aguas residuales.
- Determinar el método para la obtención del extracto coagulante/floculante del material vegetal.
- Comparar la remoción de turbidez en cuanto a la dosis óptima de los dos materiales vegetales nativos por medio de prueba de jarras.

4. CAPITULO 4

4.1.MARCO TEÓRICO

Cuando se habla de la calidad del agua se hace referencia a los atributos que posee el agua para que esta sea aceptable para diversos usos, esto incluye los factores físicos, químicos y biológicos (Chang, 2009). (Matas, 2000) explica que las interpretaciones que se le pueden dar a la calidad del agua residen en el concepto que se adopte para ella, de este modo se puede definir la calidad del agua como su capacidad intrínseca para responder a los diferentes usos que se le da, cuando se habla desde la parte ambiental se puede definir como las condiciones mínimas que esta debe presentar para que un ecosistema permanezca equilibrado asegurando su calidad ecológica.

La calidad del agua es una variable indispensable para evaluar el medio hídrico desde cualquier ámbito en especial el ambiental. (Matas 2000) también indica que la calidad del agua puede ser modificada por diversos factores naturales y antrópicos siendo este segundo la causa principal, denominada contaminación y para controlarla se hace uso de diferentes métodos como lo son las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) además de la implementación de normativas que aseguran un debido control de la contaminación. En Colombia el decreto 1575 es quien rige toda la normativa sobre la protección de la calidad del agua y busca establecer un sistema para la proteger, controlar, monitorear y prevenir riesgo en la salud humana.

Entre los parámetros físicos que ayudan a determinar la calidad del agua son, color, olor, temperatura, sabor, conductividad y turbidez siendo esta ultima la de mayor interés para esta investigación. (Gonzales, 2011) explica que se puede medir como el grado de transparencia que pierde el agua a causa de material suspendido, “La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua” (Gonzales, 2011), la turbidez puede presentarse en el agua por un mal tratamiento en la planta de potabilización y esta puede servir como medio de protección y de refugio de microorganismos en procesos de desinfección como lo explica (Marcó *et al.* 2004). Cuando se hace referencia a aguas residuales la turbidez es causada en su gran mayoría por la alta concentración de sólidos suspendidos totales (SST) y materia orgánica generada por la actividad

humana y una turbidez elevada puede interferir con los procesos de los ecosistemas como la fotosíntesis, reproducción y respiración de la flora y fauna del dicho ecosistema (Gonzales, 2011). Por este motivo es necesario removerla del agua tanto para consumo humano como de vertimientos.

Para remover la turbidez del agua se hace uso de coagulantes naturales y coagulantes inorgánicos estos últimos modifican el pH del agua además de generar considerables cantidades de lodos, los más usados son: sulfato férrico, sulfato ferroso, sulfato de aluminio, aluminatos de sodio y cloruro férrico (Guzmán *et al.* 2013). (Bravo, 2015) indica que los coagulantes inorgánicos presentan alta capacidad coagulante- floculante sin embargo pueden tener efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente mientras que los coagulantes naturales son una alternativa más amigable con la salud y con el medio ambiente si se comparan con los inorgánicos ya que son biodegradables y de origen vegetal.

La *Heliocarpus Popayanensis* llama comúnmente balso blanco y al *Triumfetta Bogotensis* llamada común mente cadillo, son usadas en la industria panelera para clarificar los jugos de la panela. Se realizaron pruebas con los extractos vegetales de estas dos plantas comparando su rendimiento con el de coagulantes inorgánicos donde obtuvo mejores resultados con el cadillo, sin embargo, el balso también arrojó resultados prometedores siendo estos resultados inéditos ya que no se había realizado estas pruebas con estas especies anteriormente. (Ortiz *et al.* 2011)

El balso blanco es una planta originaria de centro américa que se puede encontrar en otros países como Paraguay y México la pertenece a la familia Malvaceae (Días, 2015). Esta planta puede alcanzar una altura de 25 m y un diámetro de 40 cm, crecen entre los 500 y 2000 m.s.n.m (ver ilustración 1) (Rocío Espinosa A. M., 2019).



Ilustración 1 Heliocarpus Popayanensis

Fuente: Bayer, A; Cifuentes, L. La flora de Armenia. Tomado de:
<https://plantasdearmenia.wixsite.com/floradearmenia>.

El cadillo es originario del Perú, crece en regiones húmedas con climas tropicales posee una altura promedio de 1,5 m, sus frutos están llenos de agujones que se adhiere al pelaje de algunos animales como se puede ver en la ilustración 2 (Morales, 2017).



Ilustración 2 Trumfetta Bogotensis

Fuente: Fotografía tomada por Andrés Raza

Ortiz et al. (2011) hicieron análisis cuantitativo, cualitativo y microbiológico de ambas plantas y encontraron que contiene principalmente carbohidratos como fructosa, glucosa y maltosa además de saponina, fenoles, hierro, calcio y fosfatos.

Los siguientes métodos analíticos se emplean para determinar la presencia de carbohidratos; como lo son el almidón, la sacarosa, cetonas, cetosas, reductores, glicógeno y eritrodextina.

4.1.1. Reacción de Fehling

El reactivo de Fehling, también conocido como Licor de Fehling, es una disolución descubierta por el químico alemán Hermann Von Fehling y que se utiliza como reactivo para la determinación de azúcares reductores. El licor de Fehling consiste en dos soluciones acuosas:

- Solución de Sulfato de cobre cristalizado, el cual contiene 35 g de Sulfato de Cobre en 1 litro de solución.
- Solución de sal de Seignette o Tartrato mixto de potasio y sodio el cual contiene 150 g de Tartrato mixto, 3 g de una solución de hidróxido de sodio al 40 % en 1 litro de solución.

Ambas se guardan por separado hasta el momento de su uso, para evitar la precipitación del hidróxido de cobre. El ensayo con el licor de Fehling se fundamenta en el poder reductor del grupo carbonilo de los aldehídos. Éste se oxida a ácido y reduce la sal de cobre en medio alcalino a óxido de cobre, formando un precipitado de color rojo. Por lo que la solución de un color azul intenso (CuSO_4) se torna roja y precipita. La sacarosa es un disacárido que no posee carbonos anoméricos libres por lo que carece de poder reductor y la reacción con la solución de Fehling es negativa. Según estudios de (Universidad nacional de san juan,2018, p,5)

4.1.2. Reacción de Barfoed

(Aguilar, et al, 2014, p, 1) señala que la Reacción de Barfoed es un ensayo químico utilizado para identificar azúcares reductores además se la utiliza también para diferenciar a los azúcares monosacáridos de los disacáridos mediante el tiempo de aparición del precipitado rojo ladrillo (Cu_2O).

- 0 - 5 min Azúcar Monosacárido
- 5 - 30 min Azúcar Disacárido

Se basa en la reducción del cobre II (en forma de acetato) a cobre I (en forma de óxido).

La prueba, al ejercer una reacción de oxidación de reconocimiento de azúcares reductores, presenta evidencia semejante a las reacciones de Fehling y Benedict, es decir que la evidencia es la formación de un precipitado color rojo ladrillo.

La composición del reactivo de Barfoed se prepara mediante uno de los siguientes procedimientos: 1.) Añadiendo 2.5 ml de ácido acético al 38% en agua a 100 ml de acetato cúprico al 6.6% en agua o 2.) se compone de una solución de 0.33 molar de acetato de cobre neutro en una solución de 1% de ácido acético

Los disacáridos también pueden reaccionar, pero de forma más lenta, el grupo aldehído perteneciente al monosacárido que se encuentra en forma hemiacetal, se oxida pasando a ácido carboxílico; varias sustancias como por ejemplo el cloruro de sodio pueden interferir en la prueba y a su vez en el tamaño molecular, aunque se pueden ver implicados en ciertos factores tales como una interacción compleja con los anillos monosacáridos. El medio alcalino facilita que el azúcar esté de forma lineal, puesto que el azúcar en solución forma un anillo de piranósico o furanósico. Una vez que el azúcar está lineal, su grupo aldehído puede reaccionar con el ion cúprico en solución.

4.1.3. Reacción de Seliwanoff

La prueba de Seliwanoff es una reacción para diferenciar cetosas de aldosas; aunque ambas dan la reacción. Los azúcares se distinguen por el grupo funcional cetona o aldehído.

En esta prueba de Seliwanoff, se utiliza el ácido clorhídrico en la reacción de deshidratación (del monosacárido) y el resorcinol (1,3-dihidroxibenceno) en la reacción de condensación del derivado del furfural (el hidroximetilfurfural). Esta es una prueba cualitativa; es decir el medio pasa de incoloro a rojo, para las cetoheptosas y aldohexosas.

El hidroximetilfurfural (producto de la deshidratación) se forma más rápidamente a partir de cetoheptosas y más lentamente a partir de aldohexosas. El tratamiento prolongado de más de quince minutos de duración provoca la isomerización de la glucosa (aldohexosa) en fructosa (cetoheptosa), por lo que también la glucosa puede dar la prueba positiva. Así lo muestra (Aguilar, et al, 2014, p, 1).

4.1.4. Reacción de Benedict

(Aguilar, et al, 2014, p, 1) indica que la prueba de Benedict es otra de las reacciones de oxidación, que como conocemos, nos ayuda al reconocimiento de azúcares reductores, es decir, aquellos compuestos que presentan su OH anomérico libre, como por ejemplo la

glucosa, lactosa o maltosa o celobiosa. En la reacción de Benedict, se puede reducir el Cu^{2+} que presenta un color azul, en un medio alcalino, el ion cúprico (otorgado por el sulfato cúprico) es capaz de reducirse por efecto del grupo aldehído del azúcar (CHO) a su forma de Cu^+ . Este nuevo ion se observa como un precipitado rojo ladrillo correspondiente al óxido cuproso (Cu_2O), que precipita de la solución alcalina con un color rojo-naranja, a este precipitado se lo considera como la evidencia de que existe un azúcar reductor.

La evidencia de la reacción de Benedict es la formación del precipitado Ion Cuproso (Cu_2O).

El reactivo de Benedict está compuesto por:

- Sulfato cúprico.
- Citrato de sodio.
- Carbonato anhidro de sodio.

4.2. BIBLIOMETRÍA

La búsqueda se realizó en SCOPUS, con la ecuación de búsqueda: “Natural Coagulant” AND “wastewater”. Y se obtuvieron las siguientes graficas:

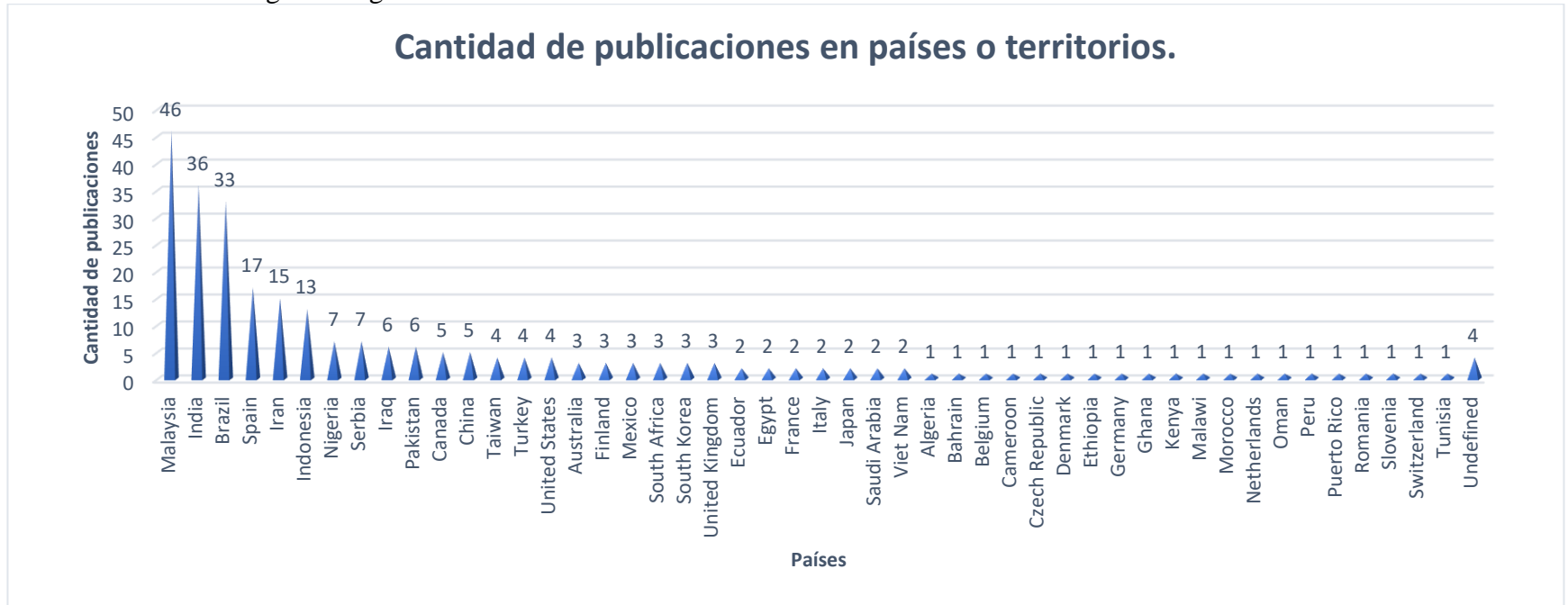


Ilustración 3 Cantidad de publicaciones en algunos países.

Los países donde más han publicado artículos y documentos sobre el estudio de coagulantes naturales han sido: Malaysia, India y Brasil. Los países sudamericanos que realizaron publicación fueron: Brasil, Ecuador y Perú.

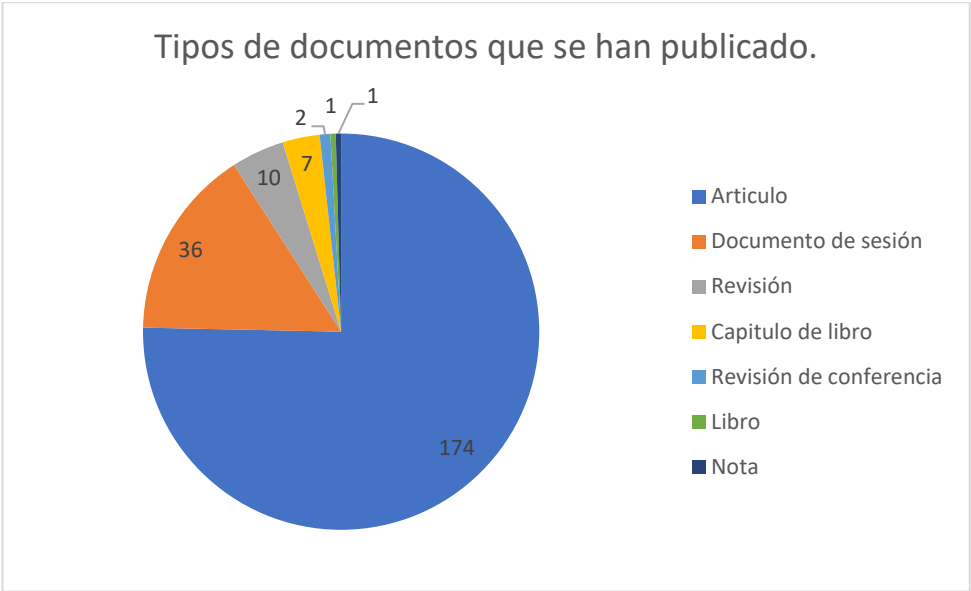


Ilustración 4 Tipos de documentos que se han publicado

En el gráfico anterior indica que el tipo de documento que más se publicó sobre tratamiento de aguas residuales con coagulantes naturales fueron artículos seguido de los documentos de sesión.

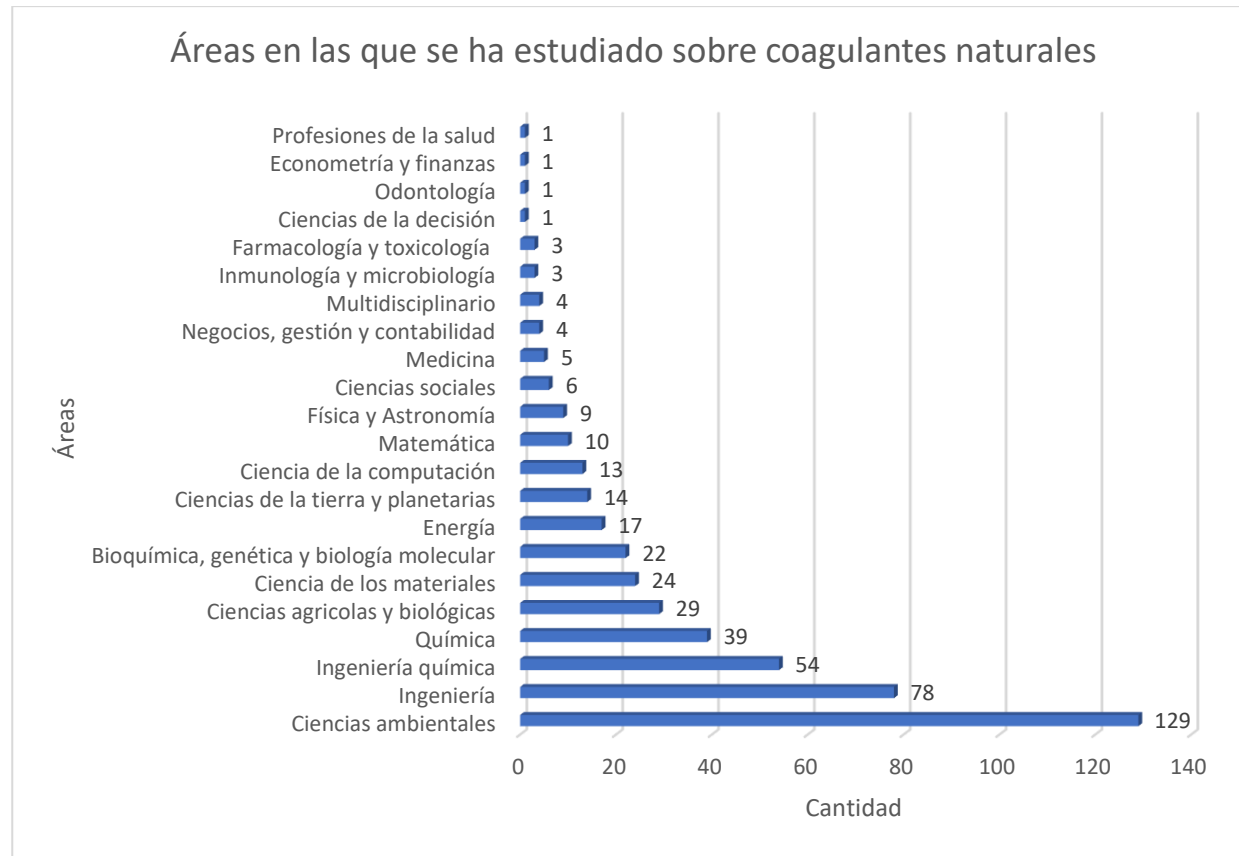


Ilustración 5 Área en las que se ha estudiado sobre coagulantes naturales

Las áreas que más han estudiado sobre tratamiento de aguas residuales con coagulantes naturales son: ciencias ambientales, ingeniería, ingeniería química, química y ciencias agrícolas y biológicas.

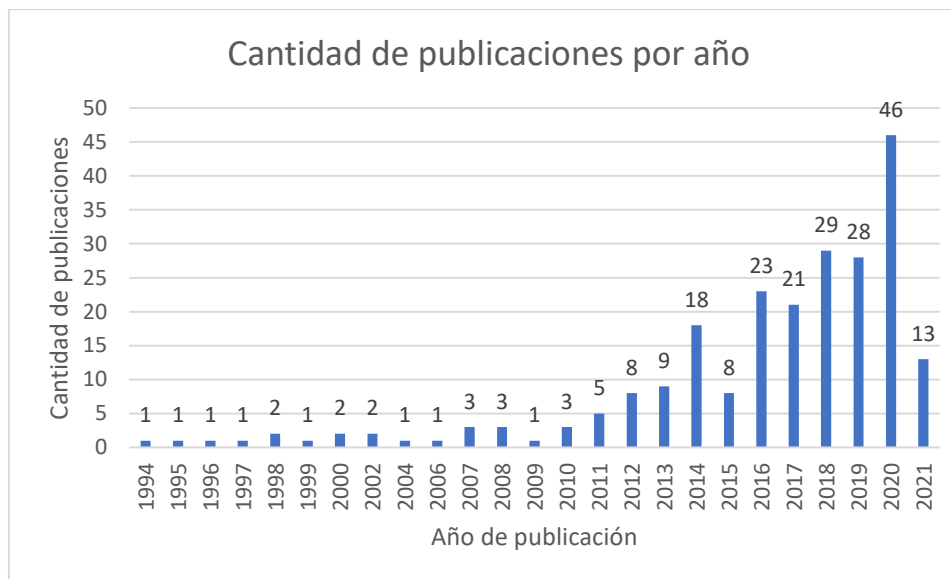


Ilustración 6 Cantidad de publicaciones por año.

Como lo presenta la gráfica anterior, en la última década se incrementaron las investigaciones sobre el uso de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales; en el 2014 hubo un aumento significativo con respecto a los años anteriores ya que la cantidad de publicaciones se duplicó. Además, en el año 2021 se han realizado 13 publicaciones en los primeros 3 meses del año.

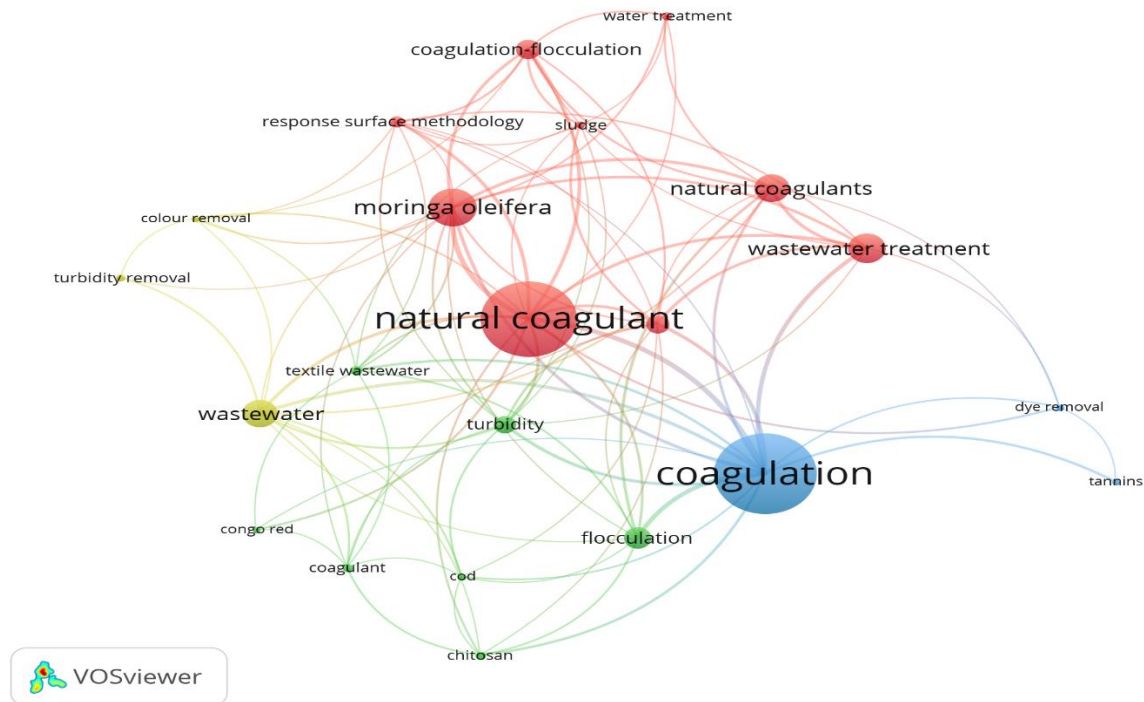


Ilustración 7 Palabras claves.

Fuente: Scopus.

La principal palabra clave, relacionada al presente estudio es coagulante natural, esto se une con tratamiento de aguas residuales, a su vez con la moringa oleífera, el cual es uno de los coagulantes naturales más estudiado actualmente, las demás palabras principales encontradas en las bases de datos son: coagulación, floculación y turbidez.

5. CAPITULO 5

5.1. MATERIALES, METODOLOGÍA Y DESARROLLO

El procedimiento del presente proyecto de investigación se divide en 3 partes esenciales.

- 1.) Inicialmente se llevó a cabo la investigación, síntesis y análisis de las literaturas relacionadas al tema de investigación planteado en el proyecto con el fin de tener una base teórica para la efectiva elaboración y obtención de resultados, posterior a esto 2.) se ejecutó la metodología de recolección y extracción del material vegetal nativo a su vez se analizaron las características físicas y bioquímicas de los coagulantes naturales a usar, por último 3.) se efectuó la prueba del extracto vegetal; el cual consiste en realizar prueba de jarras para la determinación de diferentes variables como la dosis óptima, el pH, proporción óptima y dosis óptima para un pH constante, una vez obtenidos los resultados se lleva a cabo el análisis minucioso para así obtener las variables óptimas para los coagulantes naturales. Las variables óptimas por fijar dependen directamente de la remoción de turbidez.

El procedimiento mencionado a continuación se elaboró de la misma manera para ambos materiales vegetales nativos de Balso Blanco y Cadillo.

5.1.1. Materiales

Para el desarrollo práctico de una de las etapas de la metodología se tomaron en cuenta los siguientes materiales: Etanol al 96%, Beaker de 500 mL, un colador de plástico de 15 cm de diámetro, una licuadora marca Oster de 2 Litros, un termómetro de Mercurio, mezcladores de vidrio, un mechero, un trípode, una placa de calentamiento marca Duran, una incubadora marca Incucell de 111 Litros, equipo de prueba de jarras, pHmetro marca thermo scientific, agua residual, jeringas de 10 mL y 20 mL, pipetas de 5 y 10 mL, Hidróxido de Sodio (NaOH) analítico, Ácido Acético glacial (CH_3COOH), Agua destilada y una balanza marca RADWAG.

5.1.2. Metodología y desarrollo

5.1.2.1. Ubicación

El proyecto fue realizado en los laboratorios de Biología y Química; y Operaciones Unitarias de la Universidad Católica de Manizales, los cuales se encuentran ubicados en el bloque B (señal de color rojo); coordenadas $5^{\circ}03'34.6''\text{N}$ $75^{\circ}29'14.5''\text{W}$, en el municipio de Manizales, Colombia.

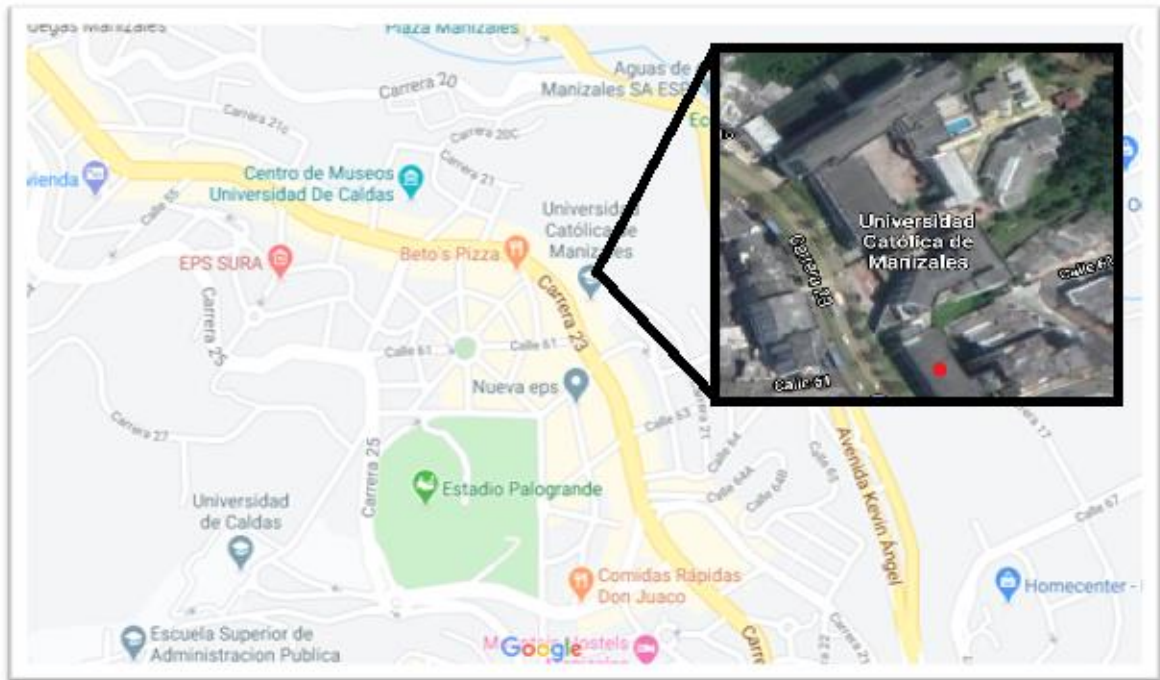


Ilustración 8 Ubicación del proyecto

Fuente: Elaboración propia, Imágenes tomadas de Google Maps.

5.1.2.2. Revisión del estado del arte.

Se realizó la búsqueda de 18 artículos científicos en inglés y español, posterior a esto se catalogaron según sus objetivos, productos usados u operación y resultados, con respecto a lo anterior se recopilaban los datos principales para así elaborar la redacción de las tablas de síntesis como se muestra en la tabla 1, como último en relación con el marco teórico y la tabla de síntesis se llevó a cabo un análisis bibliométrico. Todo esto con el fin de adaptar las ideas de diferentes autores con la técnica y metodología que se implementara posteriormente a la prueba de jarras con los respectivos coagulantes naturales. Como lo indican (Calderón Vallejo; Castaño Pérez y Parra Bastidas, 2007):

El estado del arte posibilita entender el estado actual de la investigación, conocer las inconsistencias y los temas recurrentes de las bases que soportan las investigaciones, identificar los declives y coyunturas, y los autores más mencionados por sus aportes, asimismo permite identificar los núcleos de interés científicos y sociales y plantear líneas de trabajo por desarrollar. (p.431) (Gómez Vargas, 2015)

Tabla 1 Estado del Arte

REFERENCIA	OBJETIVO	PRODUCTOS USADOS U OPERACIÓN	RESULTADOS
(Ranjan, Flocculation: A New Way to Treat the Waste Water, 2006)	Explicar y aclarar detalladamente los procesos llevados a cabo junto a esto dar a conocer los materiales que intervienen en estos procedimientos.	<ul style="list-style-type: none"> *Coagulación y floculación: Neutralización de carga. *Técnica de micro-electroforesis. (medir la potencial zeta) *Sale hidrolizables de Hierro y Aluminio *Polímeros naturales 	<ul style="list-style-type: none"> *Los floculantes naturales tienen menor efectividad y por ende se necesita una dosis alta, también su almacenamiento es difícil de mantener. *Los floculantes sintéticos tienen una mayor efectividad, pero no son biodegradables. *La potencial zeta se utiliza para predecir y controlar la estabilidad de suspensiones coloidales *A mayor potencial zeta mayor es la estabilidad de la suspensión coloidal. *Potencial zeta=0, entonces hay neutralización de la carga. *Los floculantes poliméricos son más eficientes que los floculantes inorgánicos. Pero este último es más barato.
(M.C. Garcia A. S., Enhanced solid-liquid separation of dairy manure with natural flocculants, 2009)	Determinar la efectividad para reducir la carga de sólidos de estiércol en las aguas residuales que se producen en las zonas de producción de leche.	<i>Quitosano</i>	El <i>Quitosano</i> es útil para la separación de sólido-líquido ya que con una dosis óptima de 0,5 g/L tuvo una eficiencia: 95% de sólidos totales, 73% para el total de Nitrogeno Kjeldahl, 54% para el fósforo total.
(Ntsaluba Luvuyo, 2013)	Evaluar dos especies de bacterias para el rendimiento de un biofloculante	<p><i>Actinobacterium sp.</i> Y <i>Methylobacterium sp</i></p> <p>Se utilizaron los siguientes compuestos para la producción del biofloculante: glucosa (20.0 g),</p>	<ul style="list-style-type: none"> *Se obtuvo una actividad floculante del 92% en presencia de Calcio. * Se determinó una estabilidad térmica con retención de más del 70% de actividad a 100 ° C en 30 min.

		KH ₂ PO ₄ (2.0 g), K ₂ HPO ₄ (5.0 g), (NH ₄) ₂ SO ₄ (0.2 g), NaCl (0.1 g), (0.5 g) MgSO ₄ · 7H ₂ O urea (0.2 g) y extracto de levadura. (0.5 g)	Además, el rendimiento del biofloculante fue de aproximadamente 89%. Una dosis de 1 mg / mL
(Choque-Quispe David, 2018)	Evaluar la capacidad de Cactáceas <i>Echinopsis Pachanoi</i> , <i>Neoraimondia arequipensis</i> y <i>Opuntia ficus</i> en agua residual artificial.	Los tres coagulantes naturales que se usaron fueron: <i>Cactáceas Echinopsis Pachanoi</i> 1% v/v, <i>Neoraimondia arequipensis</i> 2% v/v y <i>Opuntia ficus</i> 3% v/v. Cada uno de los extractos vegetales se mezclaron con los siguientes solventes: Etanol al 96%, NaCl al 0.25 molar y agua. Se realizaron 9 pruebas por separado.	Los 3 coagulantes naturales presentaron una remoción superior al 90%. El coagulante más eficiente fue <i>Echinopsis Pachanoi</i> alcanzando mayor remoción cuando se usó el solvente Etanol; aunque en todos los casos, la remoción fue mayor al 99% No se presentan cambios en la demanda bioquímica de oxígeno y el pH del AR incrementó de 6,61 a 7,58.
(Guzmán Luis, 2013)	Realizar una revisión bibliográfica acerca del uso de los coagulantes naturales de origen vegetal.	Extracto de semillas de hojas, de cortezas, raíces y frutas. Semilla del árbol (<i>Nirmali Stychnos potatorum</i>), savia de cactus (<i>opuntia ficus indica</i>), Piñón Mexicano (<i>Moringa oleífera</i>), Hongo (<i>Pleurotus Tuberregium sclerotium</i>), Rosa de Jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i>)	Los almidones catiónicos son coagulantes de alto potencial para remover la turbidez. El <i>Nirmali Stychnos potatorum</i> con una dosis óptima de 2 mg/L, alcanzó una remoción del 88%; con una dosis óptima de 50 mg/L de <i>opuntia ficus indica</i> se logró una remoción del 90%; la <i>Moringa oleífera</i> alcanzó una remoción de 96% con una dosis óptima de 950 mg/L; el <i>Pleurotus Tuberregium sclerotium</i> con una dosis óptima de 5 mg/L removió un 80%; con una dosis óptima de 15 mg/L de <i>Hibiscus sabdariffa</i> se alcanzó remover un 92%
(H. Bakraouy, 2017)	Disminuir la carga contaminante y la materia orgánica.	Se utilizó como coagulante Cloruro Férrico y un polímero catiónico como floculante.	Se calculó como dosis optima 4.4 g / L de coagulante y 9.9 mL / L de floculante utilizando Diseño factorial de experimentos.

		Llevar a cabo el tratamiento de los lixiviados, se realizó un diseño experimental (ANOVA) para realizar la prueba de jarras.	La turbidez, color y DQO.
(M.C. Garcia A. S., 2018)	Determinar la efectividad de los floculantes naturales para reducir la carga de sólidos y nutrientes en aguas residuales de las vacas lecheras	Realizaron 9 pruebas utilizando Quitosano, utilizaron como materia de prueba el estiércol a diferentes concentraciones, realizando una separación solido-liquido.	El Quitosano como floculante natural es efectivo para la separación de solido-liquido en las aguas residuales producidas por los desechos del ganado. Removió aproximadamente: 95% para el total de sólidos suspendidos, 73% para el total Nitrógeno Kjeldahl y 54% para el fósforo total. Usando 0,5 g / L de floculante natural.
(Ayo Samuel Afolabi, 2013)	Proporcionar agua que sea segura para el consumo humano utilizando métodos convencionales.	Se realizaron test de jarras usando polvo de semillas de goma guar, sulfato de aluminio y polielectrolito	Comparando la capacidad de tratamiento del polvo de semilla con los coagulantes naturales, la goma de guar removió hasta aproximadamente un 78% de turbidez. Al poner a trabajar los 3 coagulantes juntos el agua cruda se clarificó hasta un 70%. Todos los coagulantes removieron más del 90% de la turbidez, a excepción de la goma de guar.
(Hildebrando Ramirez Arcila, 2015)	Buscar nuevas y eficientes alternativas para mejorar la calidad de agua.	Realizaron una revisión bibliográfica acerca de los coagulantes naturales utilizados a nivel mundial, indagaron acerca de los tipos de agua para tratar. Utilizaron la Moringa oleífera y diferentes tipos de cactus llevando a cabo una metodología comparativa y exploratoria	Según la investigación bibliográfica los coagulantes naturales son alternativas eficientes para la remoción de turbidez en aguas residuales, además se logró disminuir significativamente el uso de productos químicos, así como sus impactos ambientales y la reducción de costos al momento del tratar el agua.

			Se ha demostrado que las semillas de moringa presentan una reducción de la turbidez igual o mayor que lo que logra el Sulfato de Alumnio.
(Magdalena Czemińska, 2015)	Investigar acerca de los biofloculantes y sus mecanismos de biofloculación para prevenir la acumulación de contaminantes en los ecosistemas naturales	Se realizó una tabla de síntesis donde se encuentran los microorganismos que producen los biofloculantes	Implementar los biofloculantes para purificar las aguas residuales evitando los iones de metales pesados, tintes y entre otras partículas suspendidas. El microorganismo que tuvo mejor desempeño como biofloculante fue el <i>Corynebacterium glutamicum</i>
(Carlos Alberto Ortiz G, 2011)	Evaluar la clarificación del balso, cadillo y guácimo en los jugos de caña	Para cada coagulante natural (balso, cadillo y guácimo) después de haber hecho su proceso de extracción y preparación, se realizó una caracterización fisicoquímica usando el diseño experimental se implementó un diseño de bloques Posterior a esto se flocló el jugo de caña	El coagulante natural que presento más efectividad en la remoción fue de 93.6%. En el estudio fue el que estaba presente en el cadillo a una concentración de 0,03 % p/v ya que tenía una gran retención de sólidos insolubles
(Md. Asrafuzzaman, 2011)	Comparar la remoción de turbidez y eliminación de coliformes totales en agua sintéticas usando tres semillas distintas y aguas con poca turbiedad, mediana turbiedad y mucha turbiedad	Moringa olieria, cicier urietinum y Dolichos lablab	Moringa olieria redujo la turbidez a 5.9 NTU, cicier urietinum a 3.9 NTU y Dolichos lablab a 11.1 NTU, También se descubrió que estos coagulantes naturales reducían alrededor del 89-96% de la turbidez inicial.

(Daverey1, 2018)	Evaluar la eliminación de turbidez, DQO, y SST en ARM	Cáscara de plátano en polvo, jugo de tallo de plátano, semilla de papaya en polvo y polvo de hojas de neem	<ul style="list-style-type: none"> - Cáscara de plátano en polvo con una dosis de 0,4 g/L obtuvo una remoción del 59,6%, - El jugo de tallo de plátano con una dosis de 10 mL/L obtuvo una remoción del 18,78% - Semilla de papaya en polvo con una dosis de 0.8g/L obtuvo una remoción del 41,48% - Polvo de hojas de neem con una dosis de 1,0 g/L obtuvo una remoción del 43,96%
(Asharuddin, 2017)	Revisar algunos coagulantes naturales usados para la remoción de turbidez en aguas residuales	CicerAretinum, Moringa oleífera y Cactus	<p>CicerAretinum 10 mL: Removió el 81.20% de la turbidez del agua</p> <p>Moringa oleífera 11 mL: Removió el 82.02% de la turbidez del agua</p> <p>Cactus 14 mL: Removió el 78.54% de la turbidez del agua</p>
(Hincapié, 2018)	Evaluar la trazabilidad de aguas residuales domésticas usando almidón extraído de Alocasia Macrorrhiza como coagulante alternativo.	Almidón del (Bore) Alocasia Macrorrhiza	Se comparó con Sulfato de Aluminio y cloruro férrico. Se observó que disminuye la turbiedad en más de un 90% usando una dosis de 12.5 mL.
(CarlosBanchón, 2016)	Usar coagulantes naturales como alternativas en la coagulación de aguas residuales industriales	Moringa oleífera, Moringa stenopetala, Caesalpinia spinosa, Cicer	Se observó que con el material vegetal tratado sedimento el material suspendido removiendo hasta un 99%

		arietinum, Dolichos lablab	de turbidez con una concentración de 0.02% p/V y 0.03% p/v. Si se usa demasiada concentración el resultado será obtener mayor turbidez
(Victor Ajao H. B., 2018)	Evaluar la capacidad de coagulación, y reducción de DQO en aguas residuales sintéticas frescas y salinas de las industrias de biodiesel y bioetanol usando sustancias poliméricas extracelulares (EPS) microbianas como floculantes naturales	polímeros extracelulares microbianos (EPS) a una concentración de 1 g/L.	Para agua dulce se observó un mejor rendimiento para la remoción del 95% de DQO y un 90% de turbiedad, en comparación con el agua salada teniendo en cuenta que el PH es de 6,5
(CALVACHI, 2016)	Determinar la actividad biofloculantes de Pseudomonas luteola, Bacillus coagulans y Bacillus amyloliquefaciens en suspensiones de caolín.	Pseudomonas luteola, Bacillus coagulans y Bacillus amyloliquefaciens.	La actividad coagulante y floculante se determinó con ayuda de una suspensión de Caolín, la cual fue mezclada a temperatura ambiente y se dejó reposar durante 5 minutos, se midió la absorbancia y el oxígeno disuelto. Se obtuvo como resultados: Pseudomonas luteola presentó una actividad floculante del 67%, Bacillus coagulans de 60,5% y Bacillus amyloliquefaciens de 41%. Obteniendo una gran remoción teniendo en cuenta que no se usó coadyuvante
(Kumar, Othman & Asharuddin. 2016)	Disminuir el uso de agentes químicos y cascara de balsa en la clarificación de jugo de panela usando plantas	Cadillo, Balso Blanco Balso rojo, Malva Monte, Abrojo, Cucarda, Falso Joaquín, Nieve, malva blanca, malva rosa, moquillo, Yausabara, Uyanguilla, Yausa	Los polímeros naturales se pueden utilizar para el tratamiento de las AR. Tiene un potencial de eficiencia ya que brindan beneficios tales como son

	mucilaginosas conocidas como malas hierbas		prolíferos y están exentos a cambios físicos y químicos.
--	---	--	---

5.1.2.3. Metodología de extracción.

El material vegetal nativo se recolectó en Planes, Manzanares, Caldas, Colombia; coordenadas 5°16'20.2"N 75°06'33.5"W.

Se realizó un corte en seco y superficialmente rectangular de la corteza del árbol de Balso Blanco, a su vez para la recolección del Cadillo el corte del tallo del árbol se hizo de manera diagonal.

Los cortes no perjudican la salud de la planta, debido a que el corte de cada uno de los árboles le permite la recuperación de esta.

...incluso se propone como alternativa de manejo, retirar solo parte de la corteza de cada árbol, teniendo cuidado de no hacer cortes profundos, que pongan en riesgo de sobrevivencia del árbol. Se conoce que anteriormente quienes usaban este árbol y querían protegerlo, cubrían la herida que le ocasionaban con hojas, de esta manera el árbol no se secaba. También podrían usarse para el proceso de clarificación otras especies como el cadillo (*Triumfetta lappula*)” (Espinosa, 2019).

Es importante conservar la humedad del material vegetal para así evitar que su tejido interno se seque perdiendo así sus propiedades bioquímicas.



Ilustración 9 Recolección Heliocarpus Popayanensis

Fuente: Yeison Alberto Garcés Gómez.

Posterior a la obtención del material vegetal se procedió a la extracción del tejido interno, para esto se aplicó la metodología empleada por (Ortiz, 2011) la cual indica:

Primero se hizo una adecuación de las materias primas consistente en una prelimpieza y lavado con agua potable al material vegetal. Se picó el material en trozos de 2x2 cm con un cuchillo de acero inoxidable (p.34).



Ilustración 10 Disminución de tamaño de Trumfetta Bogotensis.

Fuente: Propia.

Una vez triturado el material vegetal se prosiguió a tomar 50 gramos de cada uno de los coagulantes, cada extracto se licuó por separado con 200 mL de agua destilada cada uno, durante aproximadamente medio minuto. El material mucilaginoso obtenido se envaso en un frasco de vidrio ámbar con 600 mL de agua destilada, posterior a esto se agitó el material por separado cada 5 minutos, con la finalidad de que el extracto se hidrate para que aumente su viscosidad.

Para separar el material mucilaginoso de la fibra del material vegetal se filtró, a continuación, se agregó Etanol al 96%, en una relación 1:4 v/v y se agitó la mezcla con una varilla de vidrio y por último se dejó en reposo el material para su debida precipitación.

Este procedimiento se realizó basado en la metodología de (Ortiz, 2011).



Ilustración 11 Filtración extractos naturales nativos Trumfetta Bogotensis y Heliocarpus Popayanensis respectivamente

Fuente: Propia.

Para el mayor rendimiento del coagulante natural se llevó a cabo la hidrolisis física-térmica a 60°C durante 1 hora en agitación constante, para así efectuar la escisión de los carbohidratos contenidos en la celulosa del material mucilaginoso, esto con el fin de potencializar y aprovechar al máximo las propiedades coagulantes que el extracto posee.



Ilustración 12 Hidrolisis del extracto vegetal nativo Heliocarpus Popayanensis y Trumfetta Bogotensis respectivamente

Fuente: Propia

Tratamiento de muestra para caracterización de carbohidratos

Se lleva a cabo la deshidratación del extracto vegetal nativo purificándolos con etanol al 96% con el fin de saponificar las grasas, a continuación, se procede con la metodología empleada por (Ortiz, 2011) la cual indica realizar un secado a 38°C durante 11 horas en una estufa de secado para su máxima deshidratación y así llevar a cabo la determinación y el análisis de las características químicas de los extractos vegetales nativos.

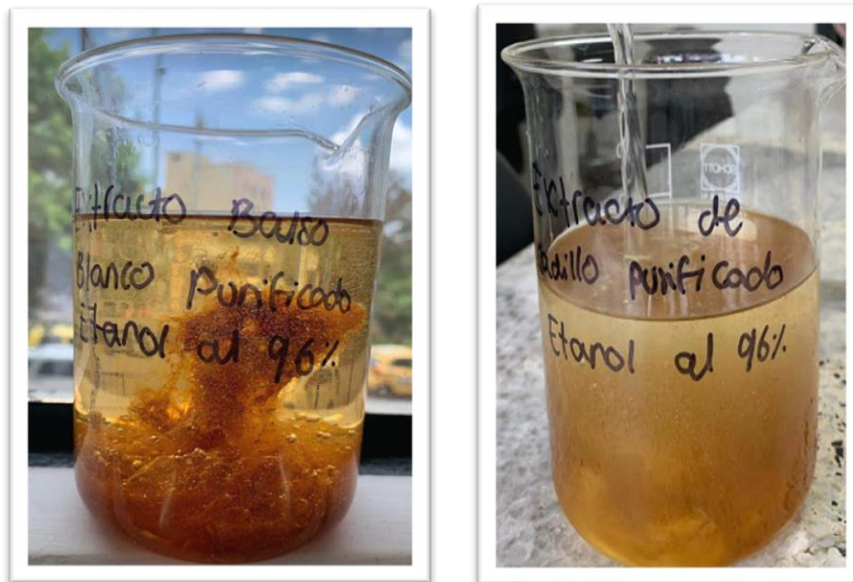


Ilustración 13 Purificación e Hidrolisis de Heliocarpus Popayansensis y Trumfetta Bogotensis respectivamente para el proceso de caracterización bioquímica.

Fuente: Propia



Ilustración 14 Incubación material vegetal nativo

Fuente: Propia

Se llevaron a cabo diferentes pruebas con el fin de determinar las características bioquímicas de cada coagulante natural. El método de cada prueba se ejecutó de la siguiente manera:

- **Prueba de Molish:** En un tubo de ensayo se agregó 30 mg de Balso Blanco en 2 mL de Agua Destilada y 3 gotas del reactivo Molish.
- **Prueba de Yodo:** Se puso a reaccionar 30 mg de Blaso Blanco, 2 mL de Agua Destilada y 1 ml de reactivo de Lugol.
- **Prueba de Barfoed:** En 2 mL de agua se adicionó 30 mk de Balso Blanco y 1 mL de reactivo Barfoed. Una vez realizada la mezcla se somete la muestra en baño maría durante 3 minutos.
- **Prueba de Bial:** Se realiza una mezcla de 30 m de Balso Blanco, 2 mL de Agua Destilada y 1 mL de reactivo Bial, posterior a esto se deja la muestra en baño maría durante 5 minutos.
- **Prueba de Seliwanoff:** En un tubo de ensayo se agrega 30 mg de Balso Blanco, 2 mL de Agua Destilada y 1 mL de reactivo Sliwanoff, se calienta el tubo de ensayo directamente de la llama durante 2 minutos.
- **Prueba de Benedict:** Agregar en un tubo de ensayo 30 mg de Balso Blanco, 2 mL de Agua Destilada y 1 mL de reactivo Benedict, luego calentar la muestra en baño maría durante 3 minutos.

5.1.2.4. Prueba de jarras.

Para la elaboración de la prueba de jarras se tomó 1 Litro de muestra de agua residual para cada jarra, se toma la turbidez inicial y el pH, a continuación, se siguieron los puntos desde el 10.1 hasta el 10.6 de la Norma Técnica Colombiana 3903 (NTC 3903), (Ambiente, 2001) expone que se comienza la prueba con la velocidad rápida “mezcla instantánea”, es decir a 120 rpm una vez agregadas las dosis en las respectivas jarras se contabiliza 1 minuto de mezcla instantánea a velocidad constante.

Posterior a esto, se comienza con la mezcla lenta, se debe disminuir la velocidad hasta que ésta sea óptima para evita romper los flóculos, este proceso de floculación se realiza durante 20 minutos. En el experimento realizado con los coagulantes naturales se consideró trabajar a 40 rpm basado en lo aprendido en el curso de operaciones unitarias. A medida que la mezcla lenta se va ejecutando, se puede observar la formación de los flóculos y su respetiva sedimentación.

Por último, se deja reposar las muestras durante 15 minutos para lograr una sedimentación de los flóculos formados durante la mezcla lenta. Una vez pasado el tiempo se toma del caldo que sobrenada una muestra para así registrar la turbidez final.

El proceso se manifestó de la siguiente manera:

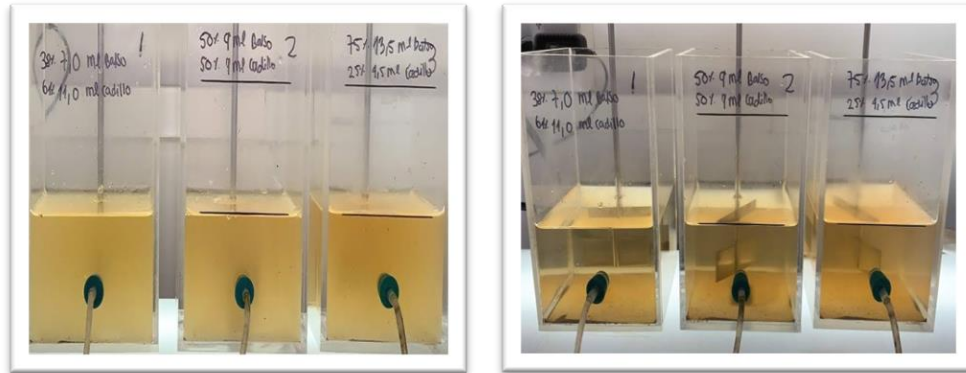


Ilustración 15 Prueba de jarras antes y después

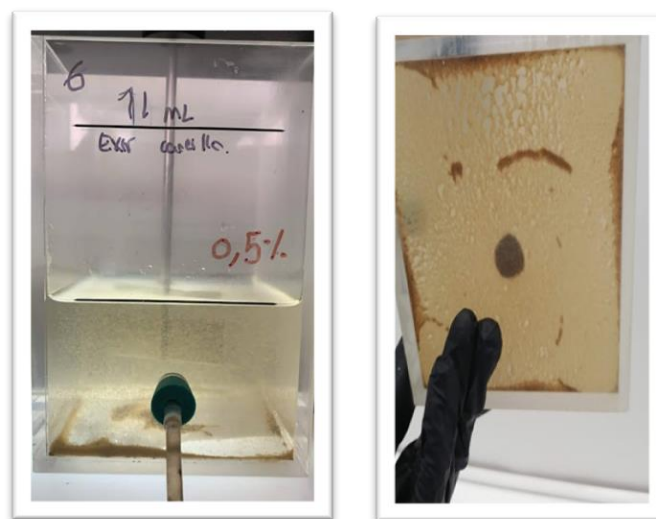


Ilustración 16 Formación y sedimentación de flocs.

Se realizaron 17 pruebas de jarras para observar el comportamiento de cada coagulante a diferentes dosis, pH y combinaciones, de este modo se logró determinar la variable óptima en función de la turbidez final. Estas fueron las siguientes:

1. Determinación de dosis óptima

Para llevar a cabo la prueba se llenaron las seis jarras con 1 litro de agua residual, antes de comenzar, se tomaron los parámetros iniciales, es decir, turbidez y pH. Una vez finalizado el proceso completo de coagulación/floculación y sedimentación, se tomó la turbidez final de cada jarra. Se procedió a realizar una prueba de jarras para determinar el pH óptimo.

2. Determinación de pH óptimo

Una vez determinada la dosis óptima, se agrega la misma dosis de coagulante natural a cinco jarras, se varía el pH del agua aproximadamente desde 5 y 9 respectivamente. Se realiza la toma de los parámetros iniciales, posterior a esto se lleva el proceso completo como se menciona en el punto anterior y se toma la turbidez final, para seguir con la determinación de la combinación óptima de los extractos vegetales.

3. Determinación de la combinación más efectiva de ambos extractos vegetales nativos

Se procedió a realizar una relación para establecer las proporciones de cada uno de los coagulantes para así mezclarlos y determinar la de combinación óptima en función de las dosis de cada uno de los coagulantes naturales.

El procedimiento se hizo de la siguiente manera:

La primera combinación (a.) se definió con base en las dosis óptimas de cada coagulante, las cuales fueron 7 mL y 11 mL para Balso Blanco y Cadillo respectivamente. La suma de estas dos dosis da como resultado 18 mL; por lo que 7 mL corresponde al 38% y 11 mL al 61%.

Para llevar a cabo la relación se tuvo en cuenta las siguientes proporciones de Balso Blanco y Cadillo respectivamente:

- a) 38:61
- b) 50:50
- c) 75:25

La tabla 10 muestra la cantidad en mL de cada uno de los coagulantes con relación a las proporciones asignadas.

4. Determinación de dosis óptimas a pH constante.

Se realizaron 5 pruebas de jarras para cada coagulante; en cada prueba las 6 jarras tenían un pH aproximadamente constante, es decir la primera prueba se llevó a cabo el proceso completo con las 6 jarras en pH 5, la segunda prueba las seis jarras tenían pH 6, en la tercera prueba todas las jarras tenían pH 7 y así se continuo hasta llegar a un pH de 9, esto con ambos coagulantes con la finalidad de determinar la dosis óptima a pH constante.

6. CAPITULO 6.

6.1.RESULTADOS Y ANALISIS.

6.1.2. Resultados

6.1.2.1.Caracterización de la composición del material vegetal nativo.

6.1.2.1.1. *Heliocarpus popayanensis*

Es un árbol semideciduo con una corona densa; Puede crecer de 6 a 12 metros de altura. El tronco moderadamente recto puede tener un diámetro de 30 a 50 cm, a menudo se ramifica desde la parte inferior hacia la parte superior. También llamada balso blanco.

Características físicas: Su madera es clara de color blanco hueso y dura; el tejido interno del árbol es color café-anaranjado y de contextura densa.

Características bioquímicas: Con base en los resultados obtenidos de las pruebas bioquímicas realizadas en la asignatura de bioquímica de la Universidad Católica de Manizales, se indica lo siguiente:

Tabla 2 Resultados pruebas bioquímicas para el Balso

CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA DEL BALSO BLANCO	
Tipo de prueba	Resultados
Prueba de Molisch.	<ul style="list-style-type: none"> • Positivo para carbohidratos en general.
Prueba de Lugol.	<ul style="list-style-type: none"> • Negativo para almidón.
Prueba de Barfoed.	<ul style="list-style-type: none"> • Positivo para sacarosa.

Prueba de Bial.	<ul style="list-style-type: none"> • Negativo para pentosa. • Positivo para hexosa
Prueba de Seliwanoff	<ul style="list-style-type: none"> • Positivo para cetosa. • Negativo para aldosa
Prueba de Benedict	<ul style="list-style-type: none"> • Negativo para carbohidratos reductores.

Como lo describe la tabla 2 la caracterización del extracto del Balso Blanco dio positivo para la presencia de los carbohidratos en general, sacarosa, hexosa y cetosa en su composición.

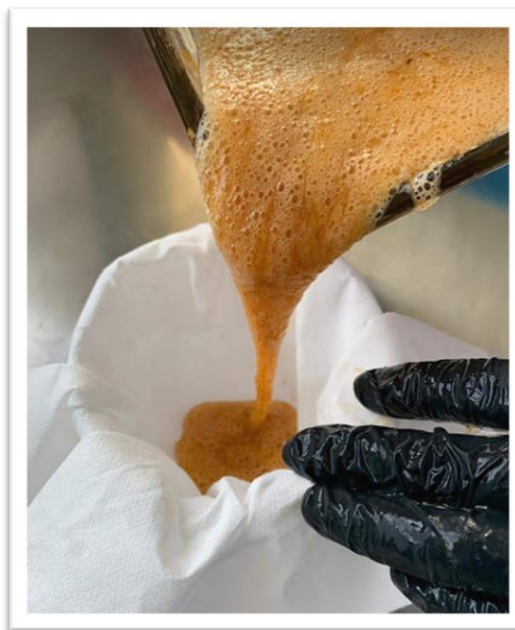


Ilustración 17 *Heliocarpus Popayanensis*

Fuente: Propia.

6.1.2.1.2. *Triumfetta Bogotensis*

Son árboles pequeños con hoja ovadas, produce flores amarillas y es conocido como Cadillo.

Características físicas: Su capa externa es de color café oscuro, hojas verdes y flor de pétalos blancos, pistillo y estambre amarillo; su tejido interno es color café verdoso de textura medio densa.

Características químicas: (Pacheco S. Agosto del 2019), docente investigador de la Universidad Católica de Manizales, expone lo siguiente:

Tabla 3 Resultados pruebas bioquímicas para el Cadillo

CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA DEL CADILLO	
Tipo de prueba	Resultados
Prueba de Molisch.	<ul style="list-style-type: none"> • Negativo para carbohidratos en general.
Prueba de Lugol.	<ul style="list-style-type: none"> • Negativo para almidón.

	<ul style="list-style-type: none"> • Positivo para glicógeno y eritrodextina.
Prueba de Barfoed.	<ul style="list-style-type: none"> • Positivo para sacarosa.
Prueba de Bial.	<ul style="list-style-type: none"> • Negativo para cetona.
Prueba de Seliwanoff	<ul style="list-style-type: none"> • Negativo para cetosas.
Prueba de Benedict	<ul style="list-style-type: none"> • Positivo para carbohidratos reductores.

Como lo describe la tabla 3 la caracterización del extracto de Cadillo dio positivo para la presencia glicógeno, eritrodextina, sacarosa y carbohidratos reductores.



Ilustración 18 Tejido externo e interno del Trumfetta Bogotensis

Fuente: Propia

6.1.2.2. Pruebas de jarras

6.1.2.2.1. Determinación de dosis óptima.

6.1.2.2.1.1. Primera sesión (Dosis de 1 mL a 6mL).

A continuación, se evidenciará las pruebas de jarras realizadas con una dosis de 1 mL hasta 6 mL aumentando la dosis de a 1 mL, esto con cada uno de los coagulantes naturales.

➤ **Condiciones iniciales para Cadillo:**

pH: 6.674

Turbidez inicial <UNT>: 111.333

Tabla 4 Datos dosis óptima para Cadillo primera sesión.

Condiciones finales para Cadillo primera sesión.		
Dosis <mL>	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
1.00	103.100	7.365
2.00	88.900	20.179
3.00	93.200	16.257
4.00	93.200	16.287
5.00	81.900	26.467
6.00	71.300	35.988

En la tabla 4 se observa que la reducción de turbidez en general es muy baja, la dosis óptima se presentó en el extremo superior, es decir, que con una dosis de 6 mL de Cadillo se alcanza a remover un 36% de la turbidez del agua residual.

La dosis que menor desempeño obtuvo fue de 1 mL, solamente se alcanzó a remover un 7.4% de la turbidez. Una vez aumentó 1 mL la dosis, se triplicó la remoción, al seguir aumentando la dosis, el porcentaje de remoción disminuyó, al agregar 5 mL de coagulante se incrementó el porcentaje de remoción progresivamente. Esto se debe ya que las primeras dosis no son suficientes para la formación de flocs, se requiere de dosis más altas para que la remoción sea significativa.

➤ **Condiciones iniciales para Balso Blanco:**

pH: 6.674

Turbidez inicial <UNT>: 11.333

Tabla 5 Datos dosis óptima para Balso Blanco primera sesión.

Condiciones finales para Balso Blanco primera sesión.		
Dosis <mL>	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
1.00	105.100	5.568
2.00	89.900	19.221
3.00	93.600	15.928
4.00	94.200	15.419
5.00	87.400	21.497
6.00	74.700	32.934

Como lo muestra la tabla 5 el Balso Blanco también remueve muy poco la turbidez con poca dosis de coagulante, la dosis óptima también se presentó en un extremo superior.

Como se observó en la tabla 4 el comportamiento del Balso Blanco fue muy similar, teniendo la menor remoción con 1 mL de coagulante aumentando en 2 mL y disminuyendo en las siguientes 2 dosis, finalmente aumentó considerablemente la remoción al agregar más cantidad de coagulante.

Debido a que ambos coagulantes presentaron dosis óptima en el extremo superior y no se logró una remoción de más del 50% de la turbidez, se decidió continuar realizando pruebas de jarras para dosis óptima, iniciando con una dosis de 7 mL y aumentándola 2 mL hasta finalizar con 17 mL.

6.1.2.2.1.2.Segunda sesión (Dosis de 7 mL a 17 mL).

Como las dosis óptimas de la prueba anterior resultaron siendo valores de un extremo se procedió a aumentar la dosis a 2 mL, pero esta vez iniciando en 7 mL.

➤ **Condiciones iniciales para Cadillo:**

pH: 6.399

Turbidez inicial <UNT>: 97.833

Tabla 6 Datos dosis óptima para Cadillo segunda sesión.

Condiciones finales para Cadillo segunda sesión.		
Dosis <mL>	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
7.00	43.700	53.919
9.00	37.900	60.000

11.00	34.400	63.760
13.00	34.900	63.198
15.00	40.100	57.750
17.00	38.600	59.297

En la tabla 6 se evidencia que la dosis óptima es de 11 mL alcanzando a remover un 63.8%, por otro lado, la dosis que tuvo menos eficiencia de remoción fue 7 mL con un porcentaje del 53.9%, esto se debe a que 7 mL es muy poca dosis para 1 litro de AR.

➤ **Condiciones iniciales para Balso Blanco:**

pH: 6.399

Turbidez inicial <UNT>: 97.833

Tabla 7 Datos dosis óptima para Balso Blanco segunda sesión.

Condiciones finales para Balso Blanco segunda sesión.		
Dosis <mL>	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
7.00	39.000	58.910
9.00	40.100	57.750
11.00	44.900	52.618
13.00	44.800	52.759
15.00	48.400	48.963
17.00	44.100	53.532

En la tabla 7 se observa que casi todas las dosis tuvieron una remoción de más del 50%, siendo la dosis de 7 mL la que mayor remoción logró alcanzando a disminuir hasta un 58.9%, mientras que la dosis 15 mL no supero el 49% de remoción.

6.1.2.2.2. Determinación de pH óptimo

Se continuó con las pruebas de jarras, pero esta vez modificar el pH para así determinar el valor óptimo que logra remover la mayor cantidad de la turbidez.

➤ **Condiciones iniciales para Cadillo:**

Dosis óptima <mL>: 11.000

Turbidez inicial <UNT>: 56.767

Tabla 8 Datos pH óptimo para Cadillo

Condiciones finales para Cadillo		
pH	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
4.970	25.800	54.609
6.050	53.600	5.637
7.160	44.700	21.315
8.170	27.900	50.792
8.990	36.300	36.054

Como lo muestra la tabla anterior el Cadillo trabaja de manera eficiente cuando el agua residual presenta un pH de 5 unidades, debido a que presenta la mayor remoción de la turbidez en comparación con los diferentes pH.

Por el contrario, cuando se coagula con un pH de 6 unidades, la remoción de la turbidez es mínima.

➤ **Condiciones iniciales para Balso Blanco:**

Dosis óptima <mL>: 7.000

Turbidez inicial <UNT>: 57.667

Tabla 9 Datos pH óptimo para Balso Blanco.

Condiciones finales para Balso Blanco		
pH	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
5.030	34.700	39.884
5.950	39.900	30.867
7.150	30.400	47.283
8.020	32.900	43.005
8.990	33.600	41.791

Como lo presenta la tabla 9 el Balso Blanco obtuvo buenos resultados cuando se trabaja con un pH neutro, sin embargo, la remoción de la turbidez no varía mucho al modificar el valor del pH. El Balso Blanco tiene una remoción del 30.1% cuando se trabaja con un pH de 6 unidades.

6.1.2.2.3. Determinación de la combinación más efectiva de ambos extractos vegetales nativos.

Tabla 10 Datos de dosis de cada coagulante natural según la proporción

Dosis de coagulantes naturales según las proporciones			
Mezclas	Coagulante natural	Porcentajes <%>	Dosis <mL>
1	Balso Blanco	38	7.0
	Cadillo	62	11.0
2	Balso Blanco	50	9.0
	Cadillo	50	9.0
3	Balso Blanco	75	13.5
	Cadillo	25	4.5

En la tabla 10 se observa las combinaciones entre los coagulantes

La primera combinación resultó de combinar las dosis óptimas de ambos coagulantes las cuales fueron 7 mL para Balso Blanco y 11 mL para Cadillo, por lo que al adicionar ambas se obtuvo una dosis final de 18 mL, lo cual corresponde al 38% y 61% de Balso Blanco y Cadillo respectivamente.

Para la segunda combinación se decidió continuar con la dosis final de 18 mL, pero en esta ocasión las proporciones fueron iguales, es decir, 50% para Balso Blanco y 50% para Cadillo, lo que es equivalente a 9 mL para cada coagulante.

Finalmente, en la tercera combinación se optó por usar proporciones de 75% para el Balso Blanco y 25% para el Cadillo a razón de que en la primera prueba se usó más cantidad de Cadillo que de Balso Blanco, esto correspondió a 13.5 mL para Balso Blanco y 4.5 mL para Cadillo.

- **Condiciones iniciales para Balso Blanco – BB mas Cadillo-C:**
pH óptimo: 6.000
Turbidez inicial <UNT>: 76.500

Tabla 11 Datos de combinación óptima para Balso Blanco + Cadillo

Condiciones finales para Balso Blanco + Cadillo		
Combinaciones de dosis <mL>	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
7.000 BB + 11.000 C	22.600	70.413
9.000 BB + 9.000 C	36.300	52.549
13.500 BB + 4.500 C	27.400	64.139

Como lo indica la tabla 11 la mejor remoción se obtuvo con la primera combinación de coagulantes, contando con 7 mL de Balso Blanco y 11 mL de Cadillo. Al realizar el experimento de coagulación/floculación con la proporción del 50% para cada coagulante se evidenció el menor porcentaje de remoción de turbidez.

6.1.2.2.4. Determinación de dosis óptima a pH constante.

6.1.2.2.4.1. Dosis óptima con pH 5

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al trabajar a un pH constante de 5 unidades y con dosis variable, iniciando en 7 mL; adicionando de 2 mL en cada jarra hasta llegar a 17 mL.

Se usó 0.3 mL de Ácido Acético Glacial para ajustar el pH a las 5 unidades requeridas.

- **Condiciones iniciales para Cadillo:**

Turbidez inicial <UNT>: 102.600

Tabla 12 Datos de dosis óptima para pH 5 para Cadillo

Condiciones finales para pH 5 para Cadillo		
Dosis <mL>	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
7.00	19.900	80.636
9.00	19.700	80.831
11.00	15.900	84.535
13.00	16.300	84.080
15.00	21.900	78.687
17.00	17.000	83.398

Como se observa en la tabla 12, a un pH constante de 5 la dosis óptima de Cadillo es de 11 mL, obteniendo un porcentaje de remoción del 84.5%, por el contrario, al agregar una dosis de 15 mL se presenta la menor remoción, correspondiendo a un 78.7% de la turbidez del agua residual.

- **Condiciones iniciales para Balso Blanco:**
Turbidez inicial <UNT>: 102.233

Tabla 13 Datos de dosis óptima para pH 5 para Balso Blanco

Condiciones finales para pH 5 para Balso Blanco		
Dosis	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
7.00	40.800	60.091
9.00	55.100	46.136
11.00	32.400	68.275
13.00	42.600	58.363
15.00	40.300	60.612
17.00	40.700	60.156

Como lo muestra la tabla anterior la dosis óptima es de 11 mL debido a que presenta una remoción del 68.3%, por el contrario, el menos porcentaje de remoción, el cual corresponde a un 46.1% con una dosis de 9 mL.

6.1.2.2.4.2. Determinación dosis óptima con pH 6

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al trabajar a un pH constante de 6 unidades y con dosis variable, iniciando en 7 mL; adicionando de 2 mL en cada jarra hasta llegar a 17 mL.

Se usó 0.1 mL de Ácido Acético Glacial para ajustar el pH a las 6 unidades requeridas.

- **Condiciones iniciales para Cadillo:**
Turbidez inicial <UNT>: 97.400

Tabla 14 Datos dosis óptima para pH 6 para Cadillo

Condiciones finales para pH 6 para Cadillo		
Dosis	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
7.00	59.700	38.706
9.00	50.400	48.254
11.00	44.600	54.243
13.00	21.500	77.960
15.00	35.000	64.065
17.00	57.100	41.375

Como lo indica la tabla anterior cuando se usa el coagulante cadillo a un pH de 6 unidades, la remoción superior es de 77.9% al agregar una dosis de 13 mL. Cuando se adiciona la dosis más pequeña de cadillo no se logra una buena remoción, el porcentaje disminuye a 38.7%.

- **Condiciones iniciales para Balso Blanco:**
Turbidez inicial <UNT>: 97.400

Tabla 15 Datos dosis óptima para pH 6 para Balso Blanco

Condiciones finales para pH 6 para Balso Blanco		
Dosis	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
7.00	43.200	55.681
9.00	46.500	52.224
11.00	61.900	36.481
13.00	52.700	45.893
15.00	50.800	47.809
17.00	49.600	49.041

Como lo indica la tabla 15 cuando el Balso Blanco coagula a un pH de 6 unidades logra remover como máximo un 55.7%, siendo este un porcentaje de remoción no muy alto.

6.1.2.2.4.3. Determinación dosis óptima con pH 7

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al trabajar a un pH constante de 7 unidades y con dosis variable, iniciando en 7 mL; adicionando de 2 mL en cada jarra hasta llegar a 17 mL.

Se usó 0.1 mL de Hidróxido de Sodio analítico al 0.1 M para ajustar el pH a neutro.

- **Condiciones iniciales para Cadillo:**
Turbidez inicial <UNT>: 102.900

Tabla 16 Datos dosis óptima para pH 7 para Cadillo

Condiciones finales para pH 7 para Cadillo		
Dosis	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
7.00	53.200	48.293
9.00	32.400	68.513
11.00	67.500	34.402
13.00	51.900	49.562
15.00	25.800	74.959
17.00	65.800	36.054

Como se aprecia en la tabla 16 al coagular/flocular el agua residual con Cadillo a un pH de 7 y una dosis de 15 mL, este logra disminuir en casi un 75% la turbidez inicial del agua, sin embargo, al adicionar 2 mL más para una dosis de 17 mL la remoción disminuye drásticamente a un 36%.

➤ **Condiciones iniciales para Balso Blanco:**

Turbidez inicial <UNT>: 102.900

Tabla 17 Datos dosis óptima para pH 7 para Balso Blanco

Condiciones finales para pH 7 para Balso Blanco		
Dosis	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
7.00	63.500	38.321
9.00	57.900	43.693
11.00	56.000	45.578
13.00	42.100	59.054
15.00	48.800	52.542
17.00	60.600	41.107

Como lo indica la tabla anterior la dosis que tuvo mejor desempeño cuando se coagula a un pH de 7 unidades es de 13 mL y cuando se agregan 7 mL se obtiene un desempeño bajo alcanzando solo a remover un 38.3%.

6.1.2.2.4.4. Determinación dosis optima con pH 8

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al trabajar a un pH constante de 8 unidades y con dosis variable, iniciando en 7 mL; adicionando de 2 mL en cada jarra hasta llegar a 17 mL.

Se usó 0.9 mL de Hidróxido de Sodio analítico al 0.1 M para ajustar el pH de 8 unidades.

➤ **Condiciones iniciales para Cadillo:**

Turbidez inicial <UNT>: 48.467

Tabla 18 Datos dosis óptima para pH 8 para Cadillo

Condiciones finales para pH 8 para Cadillo		
Dosis	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
7.00	41.900	13.480
9.00	33.600	30.742
11.00	28.400	41.403
13.00	26.900	44.429
15.00	31.500	35.006
17.00	35.400	27.028

La tabla 18 señala que a un pH constante de 8 unidades se debe adicionar 13 mL de Cadillo ya que remueve un 44.4% de la turbidez, sin embargo, el Cadillo no obtiene óptimos resultados cuando el agua residual se encuentra a un pH de 8.

- **Condiciones iniciales para Balso Blanco:**
Turbidez inicial <UNT>: 48.467

Tabla 19 Datos dosis óptima para pH 8 para Balso Blanco

Condiciones finales para pH 8 para Balso Blanco		
Dosis	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
7.00	43.400	10.453
9.00	41.300	14.718
11.00	58.600	-20.907
13.00	47.200	2.613
15.00	56.400	-16.299
17.00	41.200	14.924

La tabla 19 presenta que el Balso Blanco no tiene un buen rendimiento bajo condiciones de pH 8 a raíz de que la turbidez puede aumentar en algunos casos, por ejemplo, cuando se adicionan dosis de 11 mL y 15 mL. Y cuando este logra remover la turbidez, no supera el 15%.

6.1.2.2.4.5. Determinación dosis óptima con pH 9

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al trabajar a un pH constante de 9 unidades y con dosis variable, iniciando en 7 mL; adicionando de 2 mL en cada jarra hasta llegar a 17 mL.

Se usó 3.2 mL de Hidróxido de Sodio analítico al 0.1 M para ajustar el pH de 9 unidades.

- **Condiciones iniciales para Cadillo:**
Turbidez inicial <UNT>: 96.133

Tabla 20 Datos dosis óptima para pH 9 para Cadillo

Condiciones finales para pH 9 para Cadillo		
Dosis	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
7.00	74.400	22.642
9.00	47.300	50.762
11.00	36.500	62.083
13.00	43.800	54.403
15.00	39.200	59.188
17.00	41.900	56.414

En la tabla 20 se muestra que al agregar una dosis de 11 mL de Cadillo se logra remover un 62% de la turbidez inicial del agua residual. Al agregar pocas dosis de Cadillo como 7 mL se obtiene una remoción baja de turbidez correspondiendo a un porcentaje del 22.6.

- **Condiciones iniciales para Balso Blanco:**
Turbidez inicial <UNT>: 96.133

Tabla 21 Datos dosis óptima para pH 9 para Balso Blanco

Condiciones finales para pH 9 para Balso Blanco		
Dosis	Turbidez final <UNT>	% de remoción de turbidez
7.00	75.800	21.858
9.00	81.300	15.464
11.00	74.300	22.746
13.00	68.500	28.779
15.00	67.100	30.201
17.00	49.200	48.855

La tabla anterior presenta que el Balso Blanco bajo las condiciones de pH 9 no alcanza a remover el 50% de turbidez inicial. Al adicionar 17 mL del coagulante se logra una remoción del 48%, el cual indica el resultado óptimo para esta prueba.

6.1.3. Análisis

6.1.3.1. Representación gráfica tridimensional evaluando los parámetros químicos dosis, pH y porcentaje de remoción para Cadillo.

La siguiente gráfica se elaboró al confrontar los datos experimentales de las pruebas de jarras realizadas para determinar el pH y la dosis óptimas.

Variación del Porcentaje de Remoción con base en la Modificación del pH y la Dosis. Gráfica para el Cadillo.

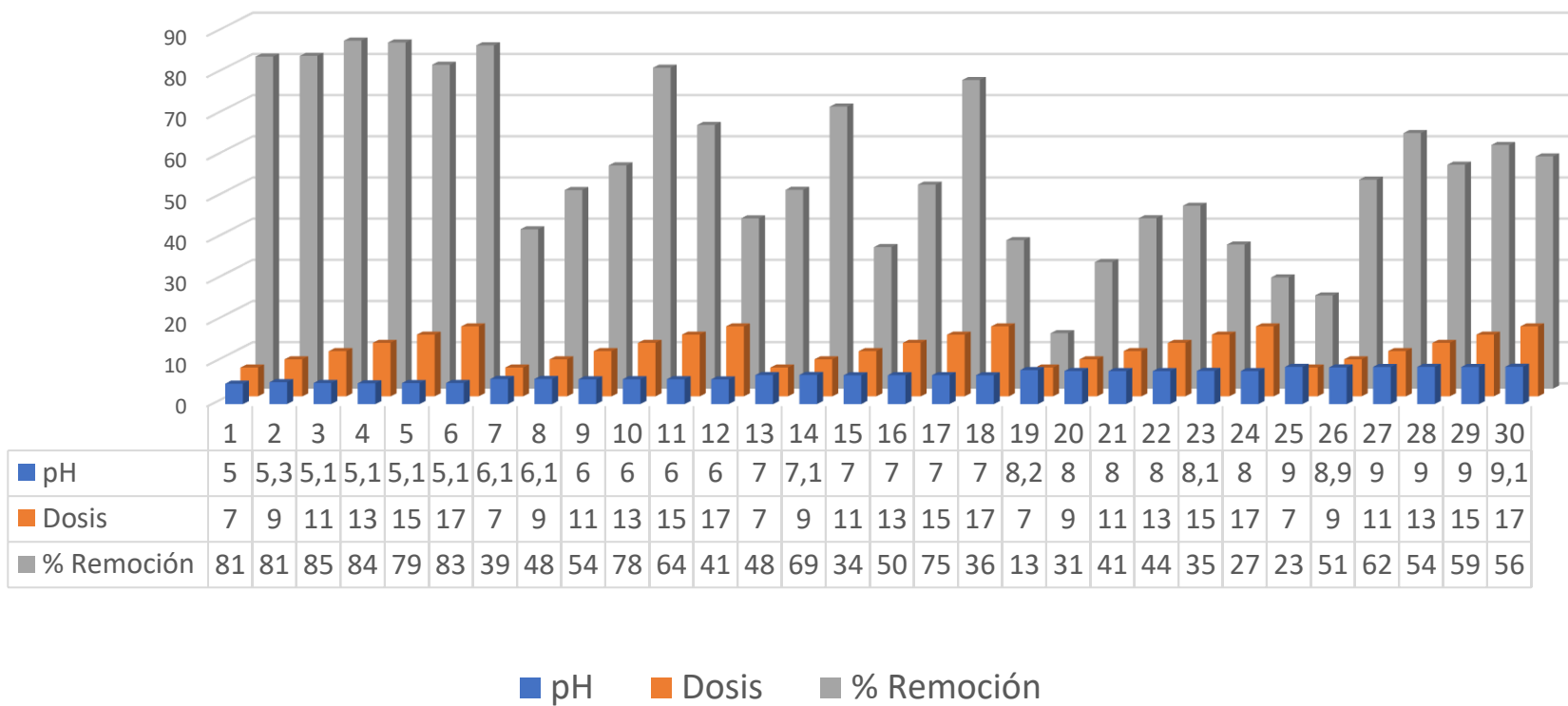


Ilustración 19 pH vs Dosis vs % de remoción CADILLO

Según la tabla anterior el Cadillo removió hasta el 85% de la turbidez en el agua residual doméstica con un pH de 5 unidades y una dosis de 11 mL. Por el contrario, al trabajar con un pH de 8 y una dosis de 7 mL se presenta la menor remoción la cual corresponde a un 13%.

Como lo presenta la gráfica los mayores porcentajes de remoción se presentaron cuando el agua residual se encontraba a un pH de 5 unidades, como lo indica (Rodríguez, 2008) “El pH óptimo para la remoción de coloides negativos varía según la naturaleza del agua, pero cae entre pH 5,0 y 6,5.”. Además (Rojas. A, 2009) afirma en su libro Calidad del Agua que las sales inorgánicas logran porcentajes altos de remoción cuando el agua residual posee un pH entre 4 y 7 unidades.

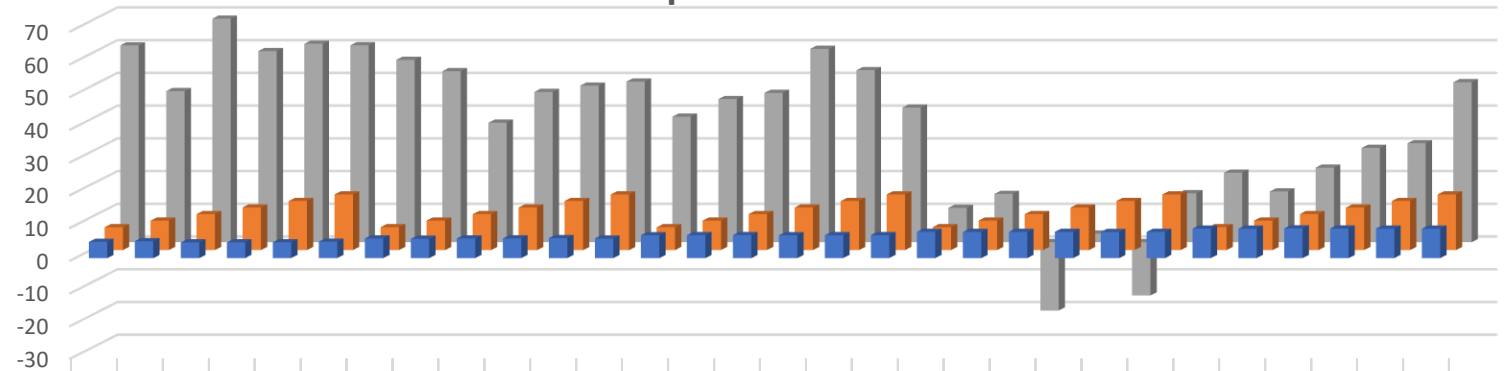
La gráfica indica que el Cadillo realiza un proceso de coagulación/floculación capaz de remover más del 70% de la turbidez del agua residual cuando se opera con pH de 6 unidades y dosis de 13 mL, pH 7 y dosis de 9 mL y pH 7 y dosis de 15 mL.

Cuando los valores de pH y dosis son relativamente iguales la remoción disminuye y no supera el 50%.

6.1.3.2. Representación gráfica tridimensional evaluando los parámetros químicos dosis, pH y porcentaje de remoción para Balso Blanco.

Variación del Porcentaje de Remoción con base en la Modificación del pH y la Dosis.

Gráfica para el Balso Blanco.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
■ pH	5	5,2	4,8	4,8	4,8	5	6	5,9	6	6	6,1	6	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	9	9	9,1	9	9	9
■ Dosis	7	9	11	13	15	17	7	9	11	13	15	17	7	9	11	13	15	17	7	9	11	13	15	17	7	9	11	13	15	17
■ %Remoción	60	46	68	58	61	60	56	52	36	46	48	49	38	44	46	59	53	41	10	15	-21	2,6	-16	15	21	15	23	29	30	49

Ilustración 20 pH vs Dosis vs % de remoción BALS0 BLANCO

Se observa que el balso removió un 68% de la turbidez del agua trabajando con una dosis de 11 mL y un pH de 5. En términos generales el balso coagula eficazmente cuando el agua tiene un pH hasta 7, posterior a este pH, la eficiencia disminuye, como se mencionó anteriormente la remoción óptima de turbidez se presenta cuando el agua residual se encuentra en un rango de pH entre 4 y 7 unidades.

Además, cuando se adiciona 11 mL y 15 mL del coagulante a un pH de 8 unidades, la turbidez aumenta en un 20% y 16% respectivamente.

El Balso Blanco pierde su eficiencia de remoción al coagular a un pH de 8 unidades y una dosis de 7 mL y 9 mL.

Cuando el agua residual domestica presenta un pH de 8 el Balso Blanco no tiene un buen desempeño para la coagulación/floculación.

Al llevar a cabo el experimento con un pH de 9 unidades el Balso Blanco logra remover entre un 21% y 49%.

- Según el planteamiento del problema y el estudio realizado, se evidencia que los extractos vegetales del Cadillo y del Balso Blanco si tienen la capacidad coagulante/floculante para remover la turbidez de las aguas residuales. Para esto se debe suministrar la dosis óptima de 11 mL para Cadillo y 7 mL para Balso cuando el agua residual se encuentra con un pH de 6 unidades. Este es un pH común que se presenta en la mayoría de las aguas residuales domésticas y es permitido por la normativa ambiental nacional.
- Al realizar las combinaciones se evidenció que al mezclar la dosis óptima de ambos coagulantes se obtuvo el mejor porcentaje de remoción de las diferentes combinaciones realizadas. Existe una consistencia en los datos y experimentos realizados con las pruebas de jarras.
- Al comparar ambos coagulantes naturales en las pruebas de pH constantes como se especifica en la sección 6.1.2.2.4; se concluye que, para un pH constante de 5 el que tuvo mejor desempeño fue el Cadillo con una remoción del 84.5%; para un pH constante de 6 el Cadillo también removió eficientemente la turbidez con un porcentaje de remoción de 64%; al coagular con un pH constante de 7 se removió la turbidez un 68.5%. El mejor resultado lo obtuvo el Cadillo
- Las remociones más bajas se obtuvieron para un pH de 8 donde el Cadillo removió solo un 44.4% de la turbidez del agua, en cambio el Balso Blanco aumento la turbidez del agua y por último al trabajar con un pH constante de 9 el coagulante que arrojó mejores resultados fue el cadillo, removiendo hasta un 62% de la turbidez.
- Existe una congruencia al momento de determinar la dosis óptima de Balso Blanco debido a que, al realizar la prueba de pH óptimo, se presentaron las mismas condiciones de operación (pH de 6 con una dosis de 7 mL) que cuando se hizo la prueba de dosis optima obteniendo los mismos resultados.
- Ambos coagulantes naturales tienen mayor capacidad de remoción a una dosis óptima de 11 mL cuando el agua residual domestica presenta un pH de 5.
- El cadillo puede llevar a cabo la coagulación/floculación del agua residual a diferentes rangos de pH, los cuales pueden oscilar entre 5 y 7 unidades. Usualmente las aguas residuales domesticas poseen un pH de 5 o 6 unidades; por lo que este coagulante es una opción viable.

- El extracto del cadillo fue el que mejor desempeño tuvo de los dos coagulantes utilizados superando al Balso Blanco, el porcentaje de remoción estuvo un 15.571% por encima de la mejor remoción presentada por el Balso Blanco, trabajando bajo las mismas condiciones.
- Es más favorable coagular las aguas residuales domesticas con el extracto del cadillo ya que, entre ambos coagulantes el que mejor desempeño tuvo fue el cadillo debido a que alcanzo porcentajes altos de remoción.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que al momento de extraer los coagulantes estos se maceren para trabajar con ellos en estado sólido y no líquido, ya que en comparación con diferentes estudios los cuales trabajaron con los coagulantes en estado sólido (pulverizado) se obtuvieron mejores resultados.
- No es recomendable coagular el agua residual doméstica con altas concentraciones de alcalinidad, puesto que en el artículo 8 de la resolución número 0631 del 2015 se indica que el pH para el vertimiento de las aguas residuales debe oscilar entre 6 y 9 unidades.
- Si se busca realizar el tratamiento fisicoquímico a una ARm a un pH de 5, este se debe posteriormente neutralizar, dado que la mejor remoción presentada en este trabajo fue al realizar el experimento para la determinación de dosis óptima a pH constante cuando el agua se encontraba en un pH de 5 unidades.
- Se recomienda realizar más estudios con otros tipos de hidrolisis, como lo son hidrolisis acida con HCl a una concentración del 0.33 M y la hidrolisis enzimática.
- Se sugiere evaluar la capacidad proteica de las plantas utilizadas en la presente investigación para coagular/flocular.

7. REFERENCIAS

Bibliografía

- 1996-07-24, C. D. (2001). *Norma Técnica Colombiana 3903. Gestión Ambiental. Agua. Procedimiento para el Método de Jarras de Coagulación-Floculación de Agua*. Colombia: ICONTEC.
- Ayo Samuel Afolabi, R. S. (2013). Evaluation of Natural Flocculants for conventional Water Treatment . *Trans Tech Publications Switzerland*, 7.
- Carlos Alberto Ortiz G, D. J. (2011). Extracción y secado de floculantes naturales usados en la clarificación de jugos de caña. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 9.
- Choque-Quispe David, C.-Q. Y.-R.-P. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas. *Universidad Nacional de San Antonio*, 12.
- Guzmán Luis, V. Á. (2013). Reducción de la turbidez del Agua usando coagulantes naturales: Una revisión. *Artículo Técnico*, 10.
- H. Bakraouy, S. S. (2017). OPTIMIZATION OF THE TREATMENT OF AN ANAEROBIC PRETREATED LANDFILL LEACHATE BY A COAGULATION-FLOCCULATION PROCESS USING EXPERIMENTAL DESIGN METHODOLOGY. *Process Safety and Environment Protection*, 21.

- Hildebrando Ramirez Arcila, J. J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Universidad Militar Nueva Granada*, 18.
- M.C. Garcia, A. S. (2008). Enhanced solid–liquid separation of dairy manure with natural flocculants. *Elsevier*, 7.
- M.C. Garcia, A. S. (2018). Enhanced solid-liquid separation of dairy manure with natural flocculants. *ELSEVIER*, 7.
- Magdalena Czemińska, A. S.-W. (2015). Purification of wastewater by natural flocculants. *Journal of Biotechnology, Computational Biology and Bionanotechnology*, 7.
- Maricelly Gómez Vargas, C. G. (2015). EL ESTADO DEL ARTE: UNA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales* , 442.
- Ntsaluba Luvuyo, U. u. (2013). Studies on bioflocculant production by a mixed culture of *Methylobacterium* sp. Obi and *Actinobacterium* sp. Mayor. *BMC Ciotechnol*, 13-62.
- Ranjan, T. T. (2006). Flocculation: A New Tay to Treat the Waste Water. *Physical Sciences*, 93-127.
- Rocio Espinosa, A. M. (2019). *Árboles nativos importantes para la conservación de la biodiversidad*. Región Cafetera.
- José V. Chang (2009). Calidad del Agua. Escuela superior Politécnica del litoral. Disponible:<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6145/2/Calidad%20de%20Agua%20Unidad%201%2C2%2C3.pdf> & https://www.chj.es/es/es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20de%20Recuperaci%C3%B3n%20del%20J%C3%BAcar/Cap.3_part2_Libro_blanco_del_agua.pdf
- Leandro Marcó, Ricardo Azario, Celia Metzler y María del Carmen García (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). Disponible en:[https://www.saludpublica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510156890491c_Hig.Sanid.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://www.saludpublica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510156890491c_Hig.Sanid.Ambient.4.72-82(2004).pdf)file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-CalidadDelAguaEnLaReservaForestalRegionalProductor-5432254.pdf
- Carmen González Toro (2011). Monitoreo de la calidad del agua. 2 la turbidez. Disponible en:<http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>
- Luis Guzmán, Ángel Villabona, Candelaria Tejada, Rafael García (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. Disponible en:<https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/881/1035>
- Mónica Alejandra Bravo Gallardo (2017) coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. Disponible en:<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5609/1/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf>
- Dianita Andrade Díaz (2015). Caracterización morfológica y molecular de los recursos genéticos del balsa blanco *heliocarpus americanus* Watss. En el departamento de Nariño. Disponible en:<http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/91373.pdf>

- Rocío Espinosa, Andrés M. López. (2019). Árboles nativos importantes para la conservación de la biodiversidad propagación y uso en paisajes cafeteros 77-81.P. Disponible en:<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/1087/1/Arboles%20nativos%20importantes.pdf>
- Calipso Yumirami Mamani Morales (2017). Evaluación del efecto antiulceroso y toxicidad aguda del extracto hidroalcohólico al 70 % de la corteza de *triumfetta bogotensis* (rata- rata) en animales de experimentación. Disponible en:http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/UNSAAC/1709/253T20170267_TC.pdf?sequence=3
- Carlos Alberto Ortiz G, Deiby Julián Solano C, Héctor Samuel Villada C, Silvio Andres Mosquera, Reinaldo Velasco M (2011). Extracción y secado de floculantes naturales usados en la clarificación de jugos de caña. Disponible en:<https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/778/403>
- Universidad nacional del san Juan (2018). Departamento de electrónica y automática. Practica N°2 glúcidos. Disponible en: <http://dea.unsj.edu.ar/quimica2/LABORATORIO%20%20GLUCIDOS.pdf>
- Coralía Aguiar T., Fernando Carrillo, Sandra Díaz, Jhoana Parreño, Luis Vallejo (2014). Escuela superior politécnicas de Chimborazo. Facultad de ciencias. Escuela de bioquímica y farmacia. Cátedra de bioquímica I. Disponible en: <https://sites.google.com/site/laboratoriosbioquimica/bioquimicai/carbohidratos/reaccion-de-barfoed>
- CALVACHI, G. E. (2016). ACTIVIDAD BIOFLOCULANTE DE *Pseudomonas luteola*, *Bacillus coagulans* y, 75.
- Carlos Banchón, R. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. Enfoque UTE, V.7-N.4, 16.
- Hincapié, J. C. (2018). Estudio de tratabilidad de aguas residuales domésticas usando Almidón extraído del (Bore)2018. 68.
- M.C. Garcia, A. S. (2009). Enhanced solid-liquid separation of dairy manure with natural flocculants. Elsevier, 7.
- Victor Ajao, H. B. (2018). Natural flocculants from fresh and saline wastewater: Comparative properties and flocculation performances. ELSERVIER, 11
- Rodríguez Salcedo, C.F. (2008). Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable. Universidad de Sucre, Facultad de ingeniería.
- Romero Rojas, JA. (2009). *Calidad del agua*. Colombia. Escuela colombiana de ingeniería, 3era edición.
- Bravo Gallardo, MA. (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. Proyecto de curricular de licenciatura en química.
- Eliet, V. *et al.* (2010). Evaluación de la eficiencia de procesos de coagulación-floculación-ozonización a escala de laboratorio en el tratamiento de aguas residuales municipales. Centro nacional de investigaciones científicas. Cuba.
- Aguilar, MI, *et al.* (2002). *Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales coagulación-floculación*. España. Universidad de Murcia. Primera edición.