



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**EVALUACION DE LA EFECTIVIDAD DE LA CASCARA DEL PLATANO (*Musa Spp*)
DURANTE EL PROCESO DE COAGULACIÓN/FLOCULACION PARA LA
CLARIFICACION DE AGUA CRUDA DEL RIO BADILLO**

**YULAINIS ESTHER ARIAS SARMIENTO
LILIBETH MARCELA RIOS VILLEGAS**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR-CESAR
2022-2**





**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**EVALUACION DE LA EFECTIVIDAD DE LA CASCARA DEL PLATANO (*Musa Spp*)
DURANTE EL PROCESO DE COAGULACIÓN/FLOCULACION PARA LA
CLARIFICACION DE AGUA CRUDA DEL RIO BADILLO**

**YULAINIS ESTHER ARIAS SARMIENTO
LILIBETH MARCELA RIOS VILLEGAS**

ING. YIM JAMES RODRIGUEZ DIAZ

Director.

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR-CESAR
2022-2**



DEDICATORIA

A nuestros padres y amigos por su apoyo incondicional en cada momento de este proceso, por sus palabras de aliento en aquellos momentos en que pensábamos que no lo podíamos lograr y por su amor y cariño que ha estado siempre presente en nuestros corazones para salir adelante.





**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios por darnos la fuerza, el aliento y la capacidad para alcanzar este sueño.

A nuestros padres y hermanos, por su constante motivación que cada día nos siguen dando para alcanzar nuestros anhelos.

A nuestra Familia y amigos, que nos brindaron su apoyo incondicional, especialmente a aquella persona que con sus conocimientos nos guio y dio parte de su tiempo para concluir este proceso, el ingeniero Yim James Rodríguez Diaz.

Y, por último, a todas aquellas personas que de una u otra manera hicieron parte de este proyecto.

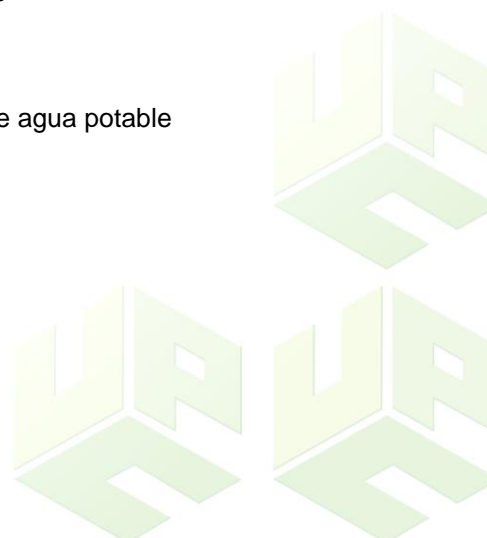
Infinitas Gracias.



RESUMEN Y ABSTRACT

Debido a determinadas características químicas, físicas y biológicas que presentan las fuentes hídricas en su estado natural, estas no cumplen con los estándares mínimos de calidad exigidos cuando se destina para consumo humano. Por ello, es muy importante que esta agua cruda se someta a una serie de tratamientos previos antes de ser utilizada, para garantizar la remoción total o parcial de dichas impurezas. La investigación tuvo por objeto evaluar la eficiencia de la cascara del plátano (*musa spp*) durante el proceso de coagulación/floculación para la clarificación de agua cruda del río Badillo. Se realizó por medio de 3 fases: caracterizar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua cruda a tratar, extraer un coagulante en polvo, elaborado a partir del residuo del plátano (*Musa spp*), y comprobar la eficacia de la cascara del plátano en el agua antes y después de agregar el coagulante teniendo en cuenta los parámetros de turbidez y pH. Los resultados de esta investigación permitieron evidenciar que en el caso de los dos coagulantes naturales, el de banano presentó las mayores eficiencias de remoción de turbidez con un promedio del 96,66% de remoción.

Palabras claves: Agua cruda, turbidez, tratamiento de agua potable





**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



ABSTRACT

Due to certain chemical, physical and biological characteristics that water sources present in their natural state, they do not meet the minimum quality standards required when destined for human consumption. For this reason, it is very important that this raw water undergoes a series of previous treatments before being used, to guarantee the total or partial removal of said impurities. The purpose of the research was to evaluate the efficiency of the banana peel (*musa spp*) during the coagulation/flocculation process for the clarification of raw water from the Badillo River. It was carried out through 3 phases: characterizing the physicochemical and microbiological properties of the raw water to be treated, extracting a powdered coagulant, made from the residue of the banana (*Musa spp*), and checking the effectiveness of the banana peel in the water. before and after adding the coagulant considering the parameters of turbidity and pH. The results of this investigation made it possible to show that in the case of the two natural coagulants, the banana coagulant presented the highest turbidity removal efficiencies with an average of 96.66% removal.

Keywords: *Raw water, turbidity, drinking water treatment*



Contenido

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN Y ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2. JUSTIFICACIÓN	16
3. OBJETIVOS	17
3.1 Objetivo General	17
3.2 Objetivos Específicos	17
4. MARCO REFERENCIAL	18
4.1 Antecedentes	18
4.2. Marco Teórico.	22
4.3 Marco Conceptual.	27
4.4 Marco Contextual.	28
4.5 Marco Legal.	31
5. MARCO METODOLÓGICO	32
5.1. Línea de investigación.	32
5.2 Tipo y Nivel de investigación.	32
5.3. Población de estudio.	32
5.4 Muestra poblacional.	33
5.5. Desarrollo Metodológico.	33
5.6. DISEÑO EXPERIMENTAL	¡Error! Marcador no definido.
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	43



6.1 Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del agua cruda a tratar (Turbiedad (NTU), pH, Temperatura, SST, DQO, DBO, coliformes totales y fecales).....	43
6.1.1 Toma de las muestras de agua.....	43
6.2 Extracción del coagulante en polvo, elaborado a partir del residuo del plátano (<i>Musa spp</i>).....	48
6.3 Comparación de la efectividad de los coagulantes orgánicos a través de las diferentes configuraciones de tipos de coagulantes y dosis óptimas teniendo como variable respuesta la turbidez y pH	52
7. DISEÑO EXPERIMENTAL	64
8. CONCLUSIONES	71
9. RECOMENDACIONES	73
10. BIBLIOGRAFIA	74





LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de coagulantes naturales	26
Tabla 2 Normatividad aplicable	31
Tabla 3 Técnicas para la caracterización.....	34
Tabla 4 Resultados de la caracterización de la muestra de agua en la época seca	45
Tabla 5 Resultados de la caracterización de la muestra de agua en la época lluviosa	46
Tabla 6 Caracterización microbiológica temporada seca	48
Tabla 7 Cantidad de residuos de plátano recolectado	49
Tabla 8 Caracterización del coagulante.....	50
Tabla 9 Dosis óptima con agua de 100NTU	52
Tabla 10 Dosis óptima con agua de 500NTU	53
Tabla 11 Dosis óptima con agua de 1000NTU	54
Tabla 12 Dosis óptima con agua de 100NTU	55
Tabla 13 Dosis óptima con agua de 500NTU	56
Tabla 14 Dosis óptima con agua de 1000NTU	57
Tabla 15 Resultados de la aplicación de la dosis óptima para aguas de turbidez de 96,9 NTU	58
Tabla 16 Resultados de la aplicación de la dosis óptima para aguas de turbidez de 164,7 NTU	60
Tabla 17 Resultados de la aplicación de la dosis óptima para aguas de turbidez de 232,5 NTU	62
Tabla 18 Resumend el diseño	64
Tabla 19 Información del factor	65



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Tabla 20 Procedimiento realizado	65
Tabla 21 Analisis de varianza	68
Tabla 22 Resumen del modelo	69





LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Perfil longitudinal de un río	23
Figura 2 Coagulantes químicos.....	25
Figura 3 Ubicación satelital del río Badillo	29
Figura 4 Puntos de muestreo	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5 Toma de muestras de agua zona baja	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6 Caracterización fisicoquímica de las muestras de agua	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7 Residuos recolectados de plátano	¡Error! Marcador no definido.
Figura 8 Trituración del residuo de plátano	¡Error! Marcador no definido.
Figura 9 Proceso de secado del residuo	¡Error! Marcador no definido.
Figura 10 Pulverización de la materia sólida	¡Error! Marcador no definido.
Figura 11 Tamizado del material	¡Error! Marcador no definido.
Figura 12 Dosificación del coagulante.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 13 Remoción de la turbidez agua de 100NTU.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 14 Remoción de la turbidez agua de 500NTU.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 15 Remoción de la turbidez agua de 1000NTU.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 16 Remoción de la turbidez agua de 100NTU.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 17 Remoción de la turbidez agua de 500NTU.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 18 Remoción de la turbidez agua de 1000NTU.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 19 Prueba de jarras.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 20 Resultados de la aplicación de la dosis óptima para aguas de turbidez de 96,9 NTU	¡Error! Marcador no definido.



- Figura 21** Resultados de la aplicación de la dosis óptima para aguas de turbidez de 164,7 NTU**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 22** Resultados de la aplicación de la dosis óptima para aguas de turbidez de 272,5 NTU**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 23** Efectos principales de la remoción de la turbidez **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 24** Interacción para remoción de la turbidez %.....**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 25** Diagrama de Pareto**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 26** Residuos para remoción de turbidez %.....**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 27** Grafica de probabilidad RESI1**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 28** remoción vs dosis**¡Error! Marcador no definido.**



INTRODUCCIÓN

Debido a determinadas características químicas, físicas y biológicas que presentan las fuentes hídricas en su estado natural, por lo general estas no cumplen con los estándares mínimos de calidad exigidos cuando se destina para consumo humano. Por ello, es muy importante que esta agua cruda se someta a una serie de tratamientos previos antes de ser utilizada, para garantizar la remoción total o parcial de dichas impurezas. (GARCÍA, 2012)

Teniendo en cuenta esta situación, día tras día se busca desarrollar e implementar nuevas tecnologías con las cuales se puedan llevar a cabo estos procesos de forma más económica, eficiente y amigable con el medio ambiente. En la actualidad los coagulantes preferidos siguen siendo las sales minerales de hierro y aluminio. Como alternativa a estos agentes químicos, al inicio de los años setenta en varios países latinoamericanos se propuso utilizar coagulantes naturales extraídos de especies vegetales o animales locales para disminuir en parte o en su totalidad el consumo de coagulantes sintéticos. (Hincapié, 2018). Retomando un poco esta iniciativa, el objetivo principal de este trabajo es valorar la capacidad que posee el plátano (*musa spp*) para remover la mayor cantidad de partículas suspendidas presente en el agua cruda. El alcance de esta investigación experimental se limitará a valorar la efectividad de un coagulante natural extraído del plátano, se espera que la información recopilada sirva como base para investigaciones futuras, que permitan establecer si es viable utilizar este producto a escala industrial, en los procesos de potabilización.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación de las aguas es una de las causas de millones de muertes por intoxicación cada año, por lo que es necesario potabilizar el agua con tratamientos elementales como la clarificación. Para que el agua pueda considerarse apta para el consumo, la alimentación y el uso doméstico, no debe contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radioactivo en concentraciones que la hagan peligrosa para la salud. (Zarsa, 2018).

Según cifras del DANE, en Colombia, la cobertura de los sistemas de tratamiento de agua potable en las zonas rurales no supera el 50% (Delgado, 2018) Así mismo, en el año 2017 en el departamento del Cesar fueron registradas 864 muestras donde se evaluó el IRCA de los 25 municipios, dejando por fuera a las áreas rurales de esta zona, donde no se calculó el IRCA, de modo que la información que se tiene sobre el agua en los corregimientos es incierta, considerando que en ellos es donde más riesgo hay de contaminación. (INCA, 2017)

En el corregimiento de Badillo la gran mayoría de los procesos agrícolas que se realizan, emplean fertilizantes y productos químicos para el cultivo de los alimentos. Estos productos llegan a las fuentes hídricas en el proceso de escorrentía superficial, es decir, que recoge todos los contaminantes del suelo, los cuales llegan al agua que se usa para consumo doméstico, provocando la aparición de bacterias que llevan a los habitantes a presentar enfermedades gastrointestinales, entre otras.



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Otra razón puede asociarse con la actividad turística que hay en este lugar, donde los visitantes arrojan basuras a las orillas del río causando la acumulación de microorganismos patógenos y compuestos tóxicos que desmejoran la calidad del agua. (Duarte, 2014)

1.1 Formulación Del Problema

A partir de este problema, se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿será eficiente el residuo del plátano (*musa spp*) durante el proceso de coagulación/floculación para la clarificación de agua cruda del río Badillo?

1.2 Hipótesis

La cascara del plátano funciona como coagulante natural para potabilizar el agua cruda logrando que haya una remoción de aquellos parámetros fisicoquímicos que afectan la calidad del agua teniendo en cuenta los límites máximos permisibles.

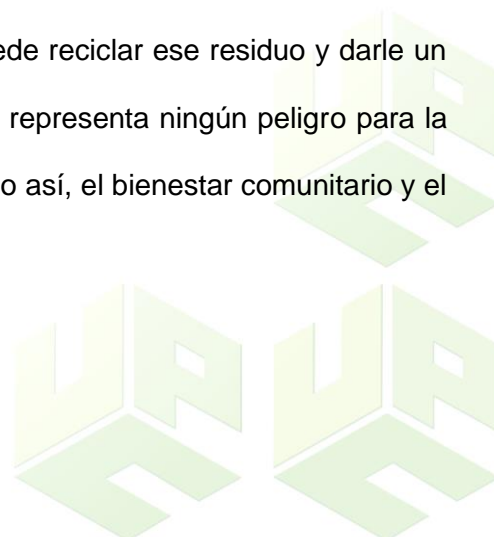


2. JUSTIFICACIÓN

La importancia de esta investigación radica en buscar alternativas naturales para la producción de coagulantes naturales a gran escala y poder dar inicio al uso factible de ellos en los procesos de potabilización a nivel regional. Los polímeros orgánicos naturales han llegado a convertirse en gran interés, debido a que son compuestos que no generan efectos altamente nocivos al medio ambiente y la salud humana y dada su naturaleza orgánica es más fácil obtenerlos a un bajo costo.

Por medio de esta nueva herramienta se busca que los habitantes del corregimiento de Badillo puedan acceder a una mejor calidad de agua sin necesidad de recurrir a los productos químicos convencionales como por ejemplo, el sulfato de aluminio. Ya que, al ser técnicas de potabilización complejas y de un alto costo no hay posibilidades de acceder a estas y optan por el consumo de aguas directamente del afluente, el cual está contaminado con fertilizantes y productos químicos que afectan su salud. (Duarte, 2014)

Se eligió la cascara del plátano por dos razones principales: primero, porque al hacer parte de la cadena alimenticia del corregimiento, se puede reciclar ese residuo y darle un uso experimental y segundo, el coagulante obtenido no representa ningún peligro para la salud humana, ni problemas de contaminación. Logrando así, el bienestar comunitario y el respeto al medio ambiente.





3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia de la cascara del plátano (*musa spp*) durante el proceso de coagulación/floculación para la clarificación de agua cruda del rio Badillo.

3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua cruda a tratar (Turbiedad, pH, Temperatura, SST, DQO, DBO, coliformes totales y fecales)
- Extraer un coagulante en polvo, elaborado a partir del residuo del plátano (*Musa spp*)
- Comprobar la eficacia de la cascara del plátano en el agua antes y después de agregar el coagulante teniendo en cuenta los parámetros de turbidez y pH



4. MARCO REFERENCIAL

4.1 Antecedentes

(Carrasquero, Montiel, & Parra, 2017) En su proyecto titulado efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas, se definió que se evaluó la eficiencia de remoción de turbidez y color utilizando coagulantes obtenidos de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) y residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) durante el tratamiento de aguas de baja, media y alta turbidez. Se prepararon soluciones turbias sintéticas con valores iniciales de 10, 15, 25, 75, 100 y 200 UNT. Se caracterizaron fisicoquímicamente las soluciones coagulantes preparadas a partir de cáscaras de papa y residuos de plátano mediante los parámetros: pH, color, turbidez, sólidos totales, disueltos y suspendidos. Se utilizó la prueba de Jarras para la determinación de las dosis óptimas de las soluciones coagulantes preparadas utilizando dosis de 10, 25, 50, 100, 250 y 500 mg/L para cada valor de turbidez inicial. Las mayores remociones de turbidez utilizando las soluciones coagulantes de cáscaras de papa y residuos de plátano fueron de 99,6 y 99,5% en el agua de 200 UNT con dosis de 50 y 25 mg/L, respectivamente. Para todas las pruebas de Jarras realizadas, se obtuvieron valores de pH después del tratamiento dentro del rango establecido en la norma sanitaria venezolana vigente. Se concluyó que las soluciones preparadas a partir de los residuos vegetales pueden ser utilizadas como coagulantes primarios en el tratamiento de aguas como alternativas frente al uso de coagulantes tradicionales.



(Gallardo & Bravo, 2017) En su proyecto titulado coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales de la universidad distrital francisco José de caldas, Definió que las especies vegetales con actividad coagulante y floculante que se han investigado durante los años 1995 hasta el 2016 para la remoción de metales pesados, sólidos suspendidos y turbidez en aguas residuales. La revisión y recopilación de la información, se realizó a partir de diferentes fuentes bibliográficas de carácter primario y secundario publicadas durante los años 1995 hasta el 2016. Estas fuentes consistieron en artículos científicos, tesis, fichas técnicas y textos académicos recopilados de diferentes bases de datos como Science Direct, Springer Link, Scopus, Pubmed, entre otras. La búsqueda de investigaciones en la literatura científica se realizó principalmente con las siguientes palabras, coagulantes y floculantes naturales para el tratamiento de aguas residuales. Los resultados de los estudios reportan que las diferentes fuentes naturales utilizadas como coagulantes para remediación de agua y aguas residuales tienen un gran potencial como alternativa de coagulantes inorgánicos, debido a su toxicidad con el medio ambiente. Para llevar a cabo la eficacia en la actividad coagulante es necesario tener en cuenta algunos parámetros fisicoquímicos como son principalmente dosis del agente coagulante, concentración de contaminantes y pH.

(Hincapié, 2018) En su proyecto titulado estudio de tratabilidad de aguas residuales domésticas usando almidón extraído del (bore) alocasia macrorrhiza como coagulante alternativo de la Universidad católica de Manizales. Se desea por medio de test de jarras determinar los rendimientos que esta planta nos brinda en cuanto al tratamiento de aguas



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



residuales teniendo en cuenta que solo se utilizara su tallo y raíz aérea dado a que presenta mayor cantidad de almidón en estas pts. específicas, además de solo medir su rendimiento en aguas de origen doméstico para investigar su factibilidad y compararlo con los resultados obtenidos con los coagulantes químicos comúnmente usados con el propósito innovar y solucionar problemas de carácter mundial como lo es el tratamiento de las aguas residuales de diversas índoles. Se comprobó mediante el estado del arte que Alocasia Macrorrhiza es poco investigada en el área ambiental, ya que la literatura nos indica un uso para la dieta de animales de engorde, los coagulantes inorgánicos muestran unas remociones de turbidez mayores al 95% en sus dosis óptimas, y el coagulante orgánico a partir de Alocasia Macrorrhiza presenta una remoción de turbidez cuando se hidroliza correctamente mayor del 95%. Las velocidades de mezcla rápida con un tiempo de 1 minuto y mezcla lenta con un tiempo de 12 minutos fueron los gradientes recomendados para la remoción de turbidez en las aguas residuales domésticas con el almidón de Alocasia Macrorrhiza. Mediante la metodología propuesta se logró extraer el almidón presente del tallo aéreo dando así resultados favorables en el test de jarras. El CNPP indica una dosis óptima de 20 ml en una relación 1:6 con agua termal para una turbidez de 23 NTU, por medio de los test de jarras se logró evidenciar una eficiencia mayor del 95% en la remoción de este parámetro.

(Damileth & Francisco, 2015) En su proyecto titulado, Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia. Se evaluó desempeño y eficiencia de dos coagulantes químicos: sulfato de aluminio y policloruro de aluminio (PAC), y dos naturales: moringa (*Moringa oleífera*) y cardón guajiro (*Lemaireoreus griseus*) en la remoción de nutrientes y sedimentos



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales conformado por lagunas de estabilización El Salguero ubicada en el municipio de Valledupar, Cesar, Colombia. Los ensayos se llevaron a cabo con muestras de agua procedentes del río Cesar recogidas en el efluente del sistema de tratamiento. La turbidez varía desde 25 NTU hasta 67 NTU durante la época de desarrollo de la investigación. Se obtuvo que el sulfato de aluminio pese a no alcanzar la turbidez exigida por la normatividad colombiana (Decreto 3930/2010, Artículo N°72 Turbidez ≥ 5 NTU) es un coagulante que remueve más del 80% de los parámetros de DQO, DBO y algas. El policloruro de aluminio es adecuado para disminuir significativamente la turbidez y los SST en un 92%, además presentó la mejor viabilidad económica de los tratamientos; y para la disminución de fósforo total resultaron efectivos los tratamientos con coagulantes naturales moringa y cardón, los cuales presentaron una remoción de 90.35%. Se concluye que los coagulantes evaluados presentan un potencial de remoción de los parámetros analizados, los resultados avalan a la Moringa oleífera como una posible alternativa natural en la potabilización de las aguas, ya que garantiza no sólo lograr con éxito el proceso de coagulación, sino también, la ausencia de residuos.

(Rodríguez, Cruz, López, Ricaurte, & Morales., 2015) En su proyecto titulado, Uso de un polímero natural (Quitosano) como coagulante durante el tratamiento de agua para consumo. En los sistemas de tratamiento del agua para el consumo humano, el proceso unitario de coagulación-floculación es uno de los más importantes para eliminar altas cargas coloidales. El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficacia del quitosano como coagulante durante el tratamiento del agua cruda proveniente de la cuenca media del río Guatapurí; para tal fin se determinó la dosis óptima del polímero orgánico en aguas con



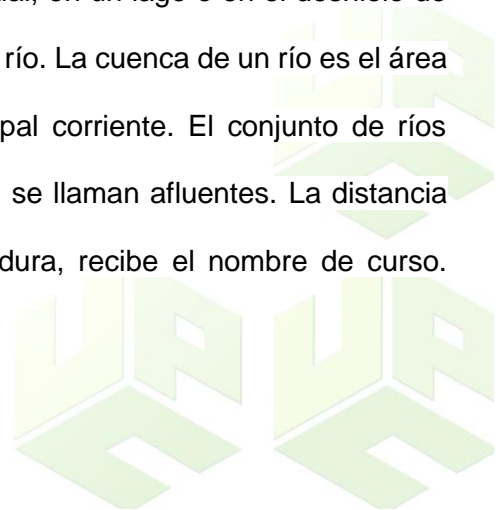
turbidez inicial de 100 y 1500 NTU. Los resultados obtenidos después del proceso fueron: para el agua con turbidez de 1500 NTU y dosis óptima 40 mg/l, las remociones alcanzaron hasta el 99,9 % de la turbidez. Mientras que para el agua con turbidez inicial de 100 NTU y dosis óptima de 20 mg/l la remoción arrojada fue superior al 96 %.

4.2. Marco Teórico.

4.2.1 Agua: Es un recurso natural imprescindible para el desarrollo de la vida. Está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía y la producción de alimentos, los ecosistemas saludables y para la supervivencia misma de los seres humanos. (Agua, R. 2019)

4.2.2. Agua cruda: es aquella que no ha recibido tratamiento alguno, como el agua de los ríos, de una quebrada, de un manantial o de un acueducto donde no se ha realizado ningún procedimiento de potabilización. (Araujo, Abondado, & Moreno, 2015)

4.2.3. Ríos: Son corrientes de agua que se deslizan sobre la superficie terrestre, desaguando luego en un mar, lago u otro río, o bien, perdiéndose en el terreno, por filtración. El origen de un río puede estar en una fuente o manantial, en un lago o en el deshielo de un glaciar. El caudal es la cantidad de agua que lleva un río. La cuenca de un río es el área territorial cuyas aguas van a dar a una única y principal corriente. El conjunto de ríos secundarios y cuyas aguas se vierten en otro principal, se llaman afluentes. La distancia que hay entre la naciente de un río y su desembocadura, recibe el nombre de curso. (Lageografia.com, 2016)

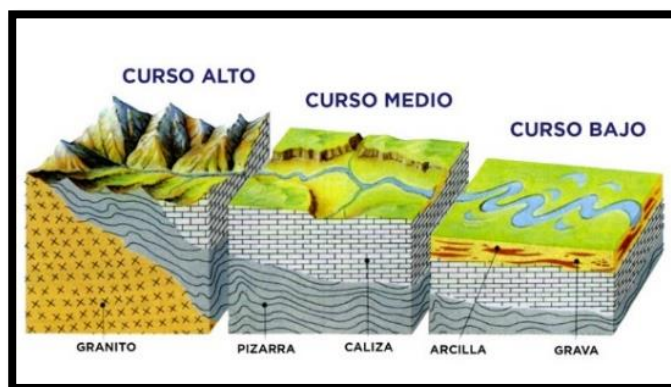


El curso medio, de corriente más lenta, ya que el declive es menos pronunciado. Allí el río empieza a ensanchar su valle por la erosión horizontal de las vertientes. (Lageografia.com, 2016)

El curso inferior, de suave pendiente y corriente tranquila, por desplazarse sobre relieve de llanura. Allí, el río deposita los materiales que lleva en suspensión, formando los valles aluviales o conos de deyección. El río forma meandros o curvas pronunciadas. (Lageografia.com, 2016)

Figura 1

Perfil longitudinal de un río



Fuente: (minerales, 2017)

4.2.3. Sistemas de Tratamiento de Agua Potable

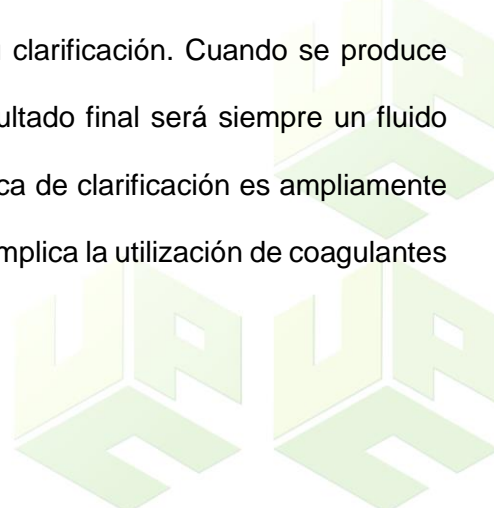
Un sistema de tratamiento de agua potable es un conjunto de estructuras de ingeniería en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano. La finalidad de estas operaciones es obtener aguas con las características adecuadas para el uso que se requieran. (Gallardo & Bravo, 2017)



Coagulación Una de las etapas fundamentales en cualquier proceso de potabilización, es la coagulación, la cual permite que estos pequeños sólidos disueltos en el agua se aproximen unos a otros lo suficiente como para acumularse y formar partículas de mayor tamaño que sedimentan por gravedad. Se necesita una mezcla o agitación rápida, de alta energía, para dispersar adecuadamente el coagulante y promover las colisiones de partículas, consiguiendo una buena coagulación y formación de los microfloculos. (Mazille & Spuhler, 2018)

Floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de los agentes antes coagulados que sirve para permitir el crecimiento y acumulación de los flósculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Etapa donde se realiza una mezcla suave, que aumenta el tamaño de las partículas de microfloculos microscópicos a partículas suspendidas visibles. Estos microfloculos se ponen en contacto entre sí mediante el proceso de mezcla lenta. (Mazille & Spuhler, 2018)

Clarificación es un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. La técnica de clarificación es ampliamente difundida en la remoción de turbiedad y color del agua e implica la utilización de coagulantes o polielectrolitos. (Limited, 2017)





4.2.4. Coagulantes-Floculantes Inorgánicos.

Figura 2

Coagulantes químicos

		Clases	Características	
Coagulantes	Metálicos	1. Sales de aluminio	Floc ligeramente pesado. El más utilizado, es el sulfato de aluminio por su bajo costo y fácil manejo.	
		2. Sales de hierro	Floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento. Trabajan en un rango más amplio de pH Los más conocidos son cloruro férrico, sulfato férrico y ferroso	
	Polímeros		Se necesita una cantidad excesiva. La coagulación es pobre para los tiempos y gradientes de velocidad usuales.	
	Ayudantes de coagulación/floculaci	Sílice activada		Acelera la coagulación. Amplia el rango de pH efectivo. Flóculos más voluminosos y pesados. Aumento de la eficiencia en sedimentadores.
Polímeros (polielectrol.)				Compuestos de alto peso molecular ($10^4 - 10^7$) Aplicación en bajas concentraciones (0,01 a 1 mg/L) y en solución para asegurar mezcla completa. Costosos. Los polielectrolitos catiónicos coagulan rápidamente a las algas

Fuente: (Buenaño, 2017)

4.2.7 Coagulantes-Floculantes Naturales

“Se consideran una fuente alternativa con un gran potencial, debido a que son biodegradables y no generan daños al medio ambiente y al ser humano en comparación con coagulantes inorgánicos y polímeros sintéticos.” El material que ha recibido mayor grado de atención son las semillas de Moringa oleífera gracias a sus componentes activos, los cuales son proteínas catiónicas de diferentes pesos moleculares, además de poseer capacidad antimicrobiana. Algunos autores han sugerido el uso de agentes coagulantes naturales extraídos de la Opuntia Ficus Indica (cactus). Esta especie es una de las más investigadas porque presenta óptimo rendimiento en el proceso de la coagulación. (Bravo, 2017).



Antecedentes reportados en diversos estudios científicos, se puede evidenciar que los coagulantes y floculantes de origen natural para la eliminación de turbidez, color y metales pesados presentes en aguas residuales, han sido utilizados desde hace siglos. (Gallardo & Bravo, 2017)

Tabla 1

Tipos de coagulantes naturales

Nombre	Se extrae de
<i>Moringa olifera</i>	<i>Planta</i>
<i>Tuna</i>	<i>Opuntia ficus indica</i>
<i>Frijol común</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>
<i>Escamas de pescado</i>	<i>Peces</i>
<i>Quitosano</i>	<i>Quitina</i>
<i>Maíz natural</i>	<i>Zea mays</i>
<i>Plátano</i>	<i>Musa spp</i>

Fuente: (Buenaño, 2017)

4.2.8 El Plátano

La cascara del plátano es un poli electrólito natural, el cual interacciona con los contaminantes del agua generalmente por los mecanismos de coagulación: neutralización de la carga y puente entre partículas. Las ventajas del uso orgánico en lugar de alumbre incluyen: los requisitos de dosis más baja coagulante, menor aumento de la carga iónica



del agua tratada, la reducción del nivel de aluminio en el agua tratada y el ahorro de costes. Se evaluó la cascara del plátano como una alternativa a los agentes de coagulación de metal convencionales. La actividad coagulante y floculante puede ser alterada por los algunos factores como la dosis de agente coagulante y pH. A partir de un pH > 4 la eficiencia de la coagulación de sólidos en suspensión aumenta significativamente, debido a la prolongación de algunos de los grupos funcionales tales como amino y carboxilo resultando en una alta densidad de carga positiva que ejerce fuertes fuerzas electrostáticas sobre la materia coloidal cargada negativamente” (Gallardo & Bravo, 2017). En la actualidad, tanto el plátano como la banana son cultivados en regiones tropicales y subtropicales a nivel mundial y ocupan el cuarto lugar de la lista de cosechas grandes, después de la uva, los cítricos y la manzana. (Zambrano & Polanco, 2017).

4.2 Marco Conceptual.

Coagulante: Sustancia que permite el agrupamiento de partículas muy finas, para dar origen a unas más grandes y pesadas

Coloidales: Aquella sustancia que, al encontrarse en un líquido, se dispersa poco a poco.

Clarificación: Proceso de separación de pequeñas cantidades de sólido suspendidas en un líquido por filtración

Cuenca: es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus aguas dan al mar a través de un único río o que vierte sus aguas a un único lago el cual no tiene salida fluvial.

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

Dosis óptima: Mayor eficiencia en una reacción

INCA: Informe nacional de calidad del agua para el consumo humano.

IRABA: Indicador microbiológico preciso de contaminación fecal del agua para el consumo humano.

IRCA: Índice de riesgo de la calidad del agua para el consumo humano.

Mezcla lenta: Agitación lenta para permitir la formación de flósculos

Mezcla rápida: Agitación rápida para producir dispersión de un producto en el agua

Prueba de jarras: Ensayo de laboratorio donde se simula las condiciones que se realizan en los procesos de oxigenación química, coagulación, floculación y sedimentación en una planta de tratamiento

Sub-cuenca: es toda área a la que su drenaje va directamente al río principal de la cuenca.

4.3 Marco Contextual.

4.4.1 Ubicación Geográfica

Realizaremos una breve descripción del corregimiento de Badillo donde se va a realizar dicha evaluación. Para conocer un poco más de las actividades que se realizan en este municipio tales como la agricultura, ganadería, turismo además de eso se dice que sus habitantes son fieles católicos.

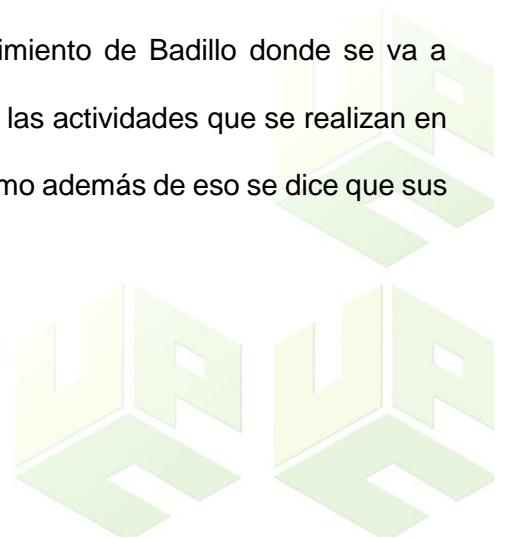
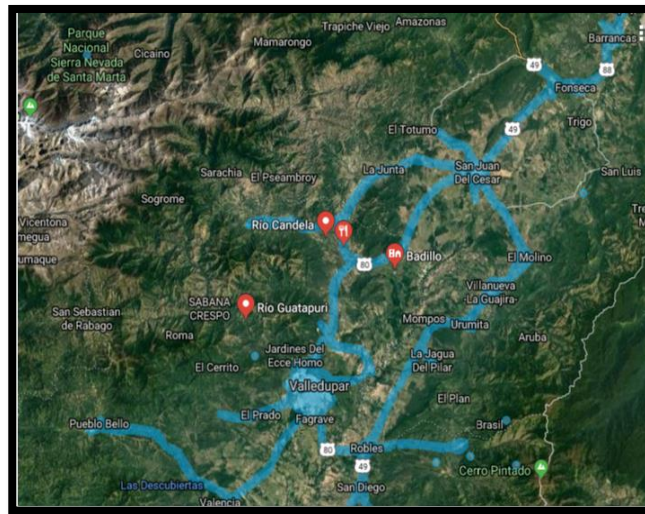


Figura 3

Ubicación satelital del río Badillo



Fuente (tomada de Google Earth, 2019)

Badillo es uno de los 26 corregimientos del municipio colombiano de Valledupar ubicado al norte, en el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta y a orillas del río Cesar, en el departamento del mismo nombre. Limita hacia el norte, nororiente, oriente, suroriente y sur con el departamento de La Guajira, con los municipios de San Juan del Cesar y Villanueva; al noroccidente limita con el corregimiento de Patillal, al occidente con el corregimiento de La Vega Arriba y al suroccidente con el corregimiento de El Alto de La Vuelta. El corregimiento hace parte de la cuenca del río Cesar. Uno de los afluentes del río Cesar es el río Badillo, que atraviesa el corregimiento hasta desembocar en el río Cesar (Duarte, 2014)

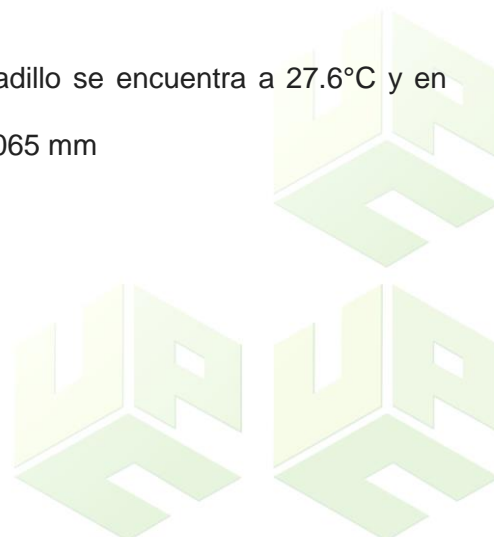


4.4.2. Agricultura: la mayoría de las habitantes de este lugar se dedica al cultivo de arroz y en tiempos de lluvia se ven muy afectados económicamente debido a que las lluvias le ocasionan grandes pérdidas y se les he muy difícil salir de esas crisis económicas. Sin embargo, en tiempos de sequía también se les ve afectada la cosecha porque el intenso verano seca las fuentes de agua por motivos del fenómeno del niño.

4.4.3. Ganadería: en este corregimiento hay muchas fincas y la mayoría de sus propietarios se dedican a trabajar con productos derivados de la leche y también se dedican a vender el ganado. En temporadas de verano los ganaderos también se ven afectados por las grandes pérdidas que les ocasiona el fenómeno del niño y además cuando se propagan las enfermedades patógenas los ganaderos tienen que activar los planes de prevención y vacunación para evitar que los todos los animales se enfermen.

4.4.4 Turismo: este lugar es bastante visitado por lugares como la iglesia, que es patrimonio cultural, la canción la custodia de Badillo del compositor Rafael Escalona y la casa donde nació el almirante José Prudencio Padilla, y hacen que este lugar sea muy especial.

4.4.5 Clima: La temperatura media anual en Badillo se encuentra a 27.6°C y en épocas de lluvias hay precipitaciones de alrededor de 1065 mm





5. MARCO LEGAL.

En Colombia existe una legislación que promete proteger y hacer cumplir las normas destinadas al cuidado de los recursos naturales.

Tabla 2

Normatividad aplicable

Fuente: Constitución Política de Colombia, 1991

ARTICULO 80 (CPC)	“Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.”
LEY 373 DE 1997 Art 1	Ahorro y uso eficiente del agua. Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
DECRETO 1575 DE 2007	Normas técnicas de calidad del agua potable.
RESOLUCION 2115 DE 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia, límites máximos permisibles para la calidad del agua para consumo humano

6. MARCO METODOLÓGICO

5.1. Línea de investigación.

Sostenibilidad y gestión ambiental.

5.1.1 Sub-línea de investigación.

Gestión Integral de Recurso Hídrico. (GIRH)

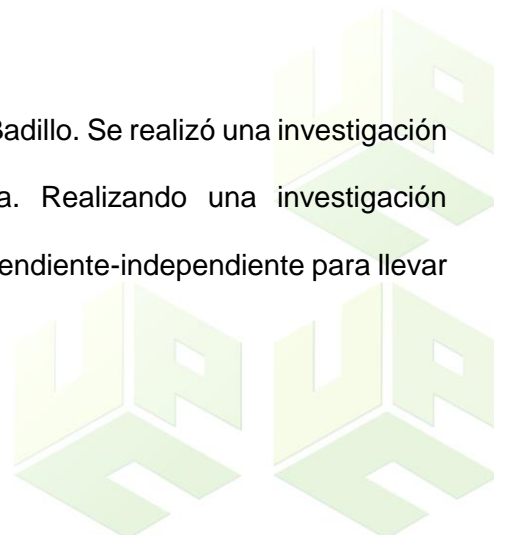
5.2 Tipo y Nivel de investigación.

(Martínez & González, 2012) El tipo de investigación que se trabajó es correlacional porque permite evaluar una relación que existe entre el agua y el coagulante teniendo en cuenta las variables dependientes (turbidez y pH) independientes (velocidad de agitación, concentración del coagulante y tiempo).

El nivel de la investigación fue experimental, porque nos permite dar a conocer la realidad de la investigación basado en el cómo y el por qué; además se dan a conocer las características del fenómeno o hecho que se desea investigar (variables dependientes-independientes).

5.3. Población de estudio.

La población objeto es la Fuente principal del río Badillo. Se realizó una investigación de las características fisicoquímicas del agua cruda. Realizando una investigación correlacional donde se tendrán en cuenta la variable dependiente-independiente para llevar a cabo el experimento de manera eficaz.



5.4 Muestra poblacional.

Se realizó una muestra simple de diferentes puntos del río y se obtuvieron 6 litros los cuales fueron conservados y preservados los cuales fueron llevados al laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria y se obtuvo la probabilidad que se requirió precisar para la realización de los parámetros y las pruebas de jarras.

5.5. Desarrollo Metodológico.

Etapas: **Etapa 1: Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del agua cruda a tratar (Turbiedad (NTU), pH, Temperatura, SST, DQO, DBO, coliformes totales y fecales)**

Actividad 1.1 Toma de las muestras de agua.

Descripción: Las obtenciones de las muestras se hicieron tomando como referencia la guía técnica del (IDEAM, 2020) Se realizó una muestra simple, que es la que se utiliza para determinar parámetros de calidad del agua. Se seleccionó un tramo uniforme sin interferencia del curso de agua por piedras o algún otro material. El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio de ingeniería ambiental de la Universidad Popular del Cesar.

Actividad 1.2 Aplicación de las técnicas seleccionadas para la caracterización del agua.

Descripción: Para la caracterización de las muestras se llevó el agua recolectada en tres recipientes de plástico con capacidad de 20 litros cada uno. Se midieron los siguientes parámetros; Turbiedad (NTU), pH, Temperatura, SST, DQO, DBO, coliformes totales y fecales tomando como referencia los métodos establecidos por la guía de procedimientos estándares del IDEAM.



Tabla 3

Técnicas para la caracterización

PARAMETROS	EQUIPO	PROCEDIMIENTO
Turbiedad (NTU)	SM 2130B Nefelométrico Turbidímetro: HACH 2100AN	<ul style="list-style-type: none">•Se Dejó que las muestras llegaran a temperatura ambiente.•Del total de la muestra se tomaron 100ml para desarrollar el ensayo•Agitamos la muestra en su recipiente.•Adicionamos cuidadosamente 15 ml de la muestra en la celda de tal manera que no formara burbujas.•Tapamos la celda y se manejó con un papel adsorbente para limpiarla de tal manera que no quede suciedad, ni motas en sus paredes externas.• Colocamos la celda con muestra en el porta celda, asegurándonos que la celda entrara hasta el fondo del porta celda.• Le dimos enter para iniciar la lectura.• Esperamos respuesta después de 6 segundos.• Registramos el dato en el formato.



		<ul style="list-style-type: none">• Se repitió este procedimiento 3 veces para promediar los resultados.
Ph	SM 2510B Electrométrico Equipo: Waterproof Multiparámetro	<ul style="list-style-type: none">• En primer lugar, recolectamos un poco de agua en un beacker de 50 ml u otro recipiente;• Se lavó el sensor del equipo con agua destilada y sumergimos la sonda del multiparámetro en el agua;• Oprimimos la tecla específica para que inicie la lectura del pH. Luego esperamos hasta que el valor en la pantalla se estabilizó;• Finalmente, se registró la lectura con la sonda del multiparámetro.
Temperatura	SM 2510B Electrométrico Equipo: Waterproof Multiparámetro	<ul style="list-style-type: none">• Primero, recolectamos un poco de agua en un beacker de 50 ml;• Se lavó el sensor del equipo con agua destilada y sumergir la sonda del multiparámetro en el agua;• Luego se esperó hasta que el valor en la pantalla se estabilizó;• Se hizo la lectura con la sonda del multiparámetro aún dentro del agua.



SST	SM2540 Gravimétrico Balanza analítica HR 250A-DE252 SERIE: 255190 Cápsulas de porcelana.	<ul style="list-style-type: none">• se manejó la cápsula mediante pinzas de madera;• Se secó la cápsula en el Horno precalentado a 105°C durante 1 horas, luego se llevó la cápsula a un desecador y se dejó enfriar, durante 15 minutos;• pesamos y registramos el peso de la cápsula en la libreta;• Agitamos la muestra invirtiendo el recipiente varias veces.• De la muestra recién agitada, tomamos rápidamente una alícuota de 30 mL medida con probeta, se transfirió cuidadosamente a la cápsula correspondiente;• Colocamos la cápsula para el secado en una estufa eléctrica durante el tiempo necesario de evaporación del agua, al culminar el tiempo se retiró la capsula cuando se secó totalmente el agua;• se transfirió nuevamente la cápsula al Horno a 103 - 105°C, durante 1 hora.
------------	---	---



• luego Llevamos la cápsula al desecador y dejamos enfriar por 15 minutos, hasta temperatura ambiente;

• Pesamos y registramos el peso de la cápsula en la libreta como peso 2.

Los cálculos se efectuaron por medio de la ecuación:

$$ST = \frac{(A - B)1000}{V}$$

DQO

Termoreactor

1. Para la determinación de la DQO empleamos el método de reflujo cerrado (método titulométrico). Se usaron tubos de cultivo de borosilicato de 20 x 100 mm, con tapones de rosca.

2. Se adicionaron en los tubos: - Para las muestras: 1ml de solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 0.0167M, 3 ml de solución de ácido Sulfúrico (H_2SO_4) más sulfato de plata (Ag_2SO_4), 2 ml de la muestra.

- Para el blanco: 1ml de solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 0.0167M, 3 ml de



solución de ácido Sulfúrico (H_2SO_4) más sulfato de plata (Ag_2SO_4) 2 ml de agua destilada.

3. Sacudimos levemente los tubos para homogenizar la mezcla y los llevamos al digestor de bloque de calentamiento o Termoreactor, que debe de estar precalentado a una temperatura de $150 \pm 2^\circ C$, los tubos fueron sometidos a reflujo durante dos (2) horas.

4. Transcurridas las dos (2) horas retiramos los tubos del digestor y son enfriados a temperatura ambiente.

5. Se vertieron los tubos en recipientes Erlenmeyer de 10 ml.

7. Se tituló empleando solución de ferroína 0.025M como indicador y solución de Sulfato de Amonio Ferroso (FAS) 0.10M como solución titulante, hasta que cambie de azul verdoso a rojizo.

Los cálculos se efectuaron por medio de la ecuación



$$DQO(mg/L) = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{ml \text{ de muestra}}$$

DBO	Equipo de DBO Oxítóp para 20°C. - Controlador Oxítóp	<ol style="list-style-type: none">1. para este procedimiento se necesitaron los resultados de la muestra de DQO2. Encendimos el equipo Oxítóp y ajustamos la temperatura a 20 °C.3. Removimos las cabezas amarillas y el tapón de hule color negro del cuello de las botellas oscuras para DBO5.4. Pusimos el volumen de muestra medido con la probeta dentro de la botella oscura y se introdujo el agitador magnético.5. En el tapón de hule color negro colocamos 3 pastillas de NaOH con una pinza6. Colocamos la cabeza amarilla y cerramos la botella para luego ponerla dentro del equipo Oxítóp7. Para iniciar y calibrar las cabezas, se oprimen los botones “S” y “M” al mismo tiempo por 2 segundos, hasta que aparezca 0.0 en la lectura.
------------	--	---



8. Después que la temperatura de incubación se ha alcanzado, el equipo iniciará automáticamente la medición de consumo de oxígeno (Tiempo que tarda 2 h).

9. El botón “S” al presionarlo durante 1 segundo muestra el valor de oxígeno consumido para el día 1, 2, 3, 4 y 5. 11. El botón “M” al presionarlo durante 1 segundo señala el valor de oxígeno consumido el ultimo día.

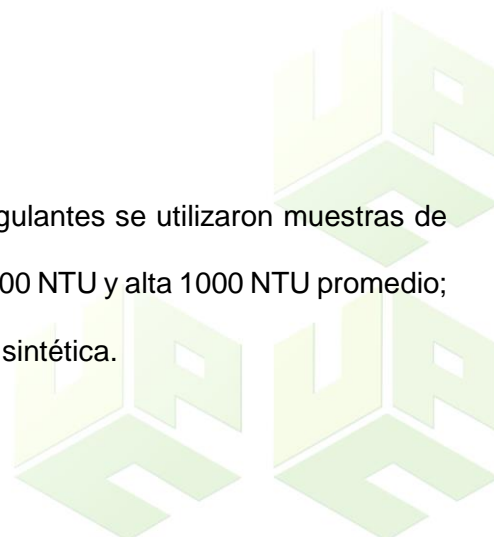
10. Al transcurrir cinco días, leímos la lectura final (DBO Experimental)

Fuente: Autores, 2022

Etapa 3: Comparación de la efectividad de los coagulantes orgánicos a través de las diferentes configuraciones de tipos de coagulantes y dosis óptimas teniendo como variable respuesta la turbidez y pH.

Actividad 3.1 Preparación del agua turbia sintética

Para la obtención de la dosis optima de los coagulantes se utilizaron muestras de agua con diferente turbidez: una baja: 100 NTU, media: 500 NTU y alta 1000 NTU promedio; para lo cual fue necesario la preparación de agua turbia sintética.





Este modelo no representa el agua real del río, pero es una suspensión estable que puede ser usada para estudiar el mecanismo de coagulación ahorrando costos de transporte de muestras, adicionalmente fue necesaria la utilización de Agua Turbia Sintética (ATS) debido a la dificultad de toma de muestras constantes asociado a la pandemia producida por el COVID-19. Estas muestras fueron preparadas empleando la metodología sugerida por (Okuda, W. Baes, W. Nishijima, & M. Okada, 2001) y (Asrafuzzaman , Fakhruddin , & Hossain, 2011) Se adicionaron diferentes cantidades de arcilla en 15 litros de agua de grifo hasta obtener valores de turbidez cercanos a los valores establecidos como bajo, medio y alto, se mezcló con un agitador de forma continua para lograr la dispersión uniforme.

Actividad 3.2. Determinación de la dosis optima de coagulante natural e inorgánico en las diferentes configuraciones de tipo y concentración de coagulantes.

Para definir la cantidad adecuada de coagulante se realizaron diferentes ensayos en el test de jarras siguiendo los lineamientos de (Rodríguez, Torregroza, Mejía, Atencia, & Villero, 2019).

La evaluación de la coagulación se llevó a cabo utilizando un aparato de Prueba de Jarra modelo PB-700, a cada uno de los seis vasos de precipitado de 1000 mL. Posteriormente, se procedió a agregar el coagulante, al iniciar el mezclado rápido (130 rpm, 1min); se agregaron las diferentes dosis de coagulante desde un rango de 5 mg/l hasta 200 mg/l) usando jeringas graduadas y pipetas, se aplicó luego el mezclado lento (40 rpm, 30 min), se finalizó el proceso con la fase de sedimentación (30 min).



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Estas pruebas se realizaron con el fin de determinar la dosis óptima; utilizando como parámetros de evaluación y control la turbidez y el pH tanto antes como después de los ensayos.

Finalmente se escogió la dosis que presentó mejores resultados, es decir, mayor clarificación en menos tiempo.





6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del agua cruda a tratar (Turbiedad _(NTU), pH, Temperatura, SST, DQO, DBO, coliformes totales y fecales).

6.1.1 Toma de las muestras de agua.

Antes de la toma de muestras, se identificó el punto de muestreo en el río Badillo, en el cual se tomaron 3 muestras de agua que posteriormente se homogenizaron.

Punto de muestreo (zona centro): Las tres muestras se tomaron en un tramo centro del agua del río Badillo, como se muestra en el anexo 1.

Una vez identificados los puntos de muestreo, se procedió a tomar las muestras de agua en el río Badillo.

Para el muestreo, se tomó como base metodología la guía de muestreo propuesta por el IDEAM, 2020. El muestreo se realizó en los tres puntos descritos con anterioridad (zona baja, centro y alta) para las dos temporadas del año: seca y lluviosa. Se seleccionó un tramo uniforme del río Badillo para cada punto sin interferencia del curso de agua por piedras o algún otro material. Se tomó una muestra de cada zona en cada época.

Las muestras tomadas fueron simples, se ubicaron en la sombra y se taparon para evitar alteraciones en las características de las muestras por elementos extraños.

Antes de llenar el envase con la muestra, se lavó 3 veces el recipiente con el agua que va a ser recolectada cada uno.

Se realizó la toma con cuidado para garantizar que los resultados analíticos representen la composición real.



Se llevó un registro con la información suficiente, que debe contener: nombre de quién toma la muestra, fecha, hora, localización, temperatura del agua, condiciones meteorológicas, nivel del agua. Por último, se refrigeró la muestra una vez recolectada, y se homogenizó en una sola muestra de agua representativa. La toma de muestras efectuada se logra visualizar en el anexo 2.

Una vez obtenida la muestra de manera homogénea, se trasladó al laboratorio de ingeniería ambiental de la Universidad Popular del Cesar, donde se realizaron los análisis correspondientes.

6.1.2 Aplicación de las técnicas seleccionadas para la caracterización del agua.

Para la caracterización de las muestras se llevaron al laboratorio de ingeniería ambiental de la Universidad Popular del Cesar, en un recipiente de plástico con capacidad de 20 litros cada una, debidamente rotulado. Posteriormente, se caracterizaron las muestras de agua conforme a los siguientes parámetros fisicoquímicos; Turbiedad_(NTU), pH, Temperatura, SST, DQO, DBO, coliformes totales y fecales tomando como referencia los métodos establecidos por la guía de procedimientos estándares del IDEAM, definidos en la metodología de la investigación. La tabla a continuación permite evidenciar los resultados obtenidos en la caracterización en la época seca:

Las tablas 4 y 5 proporcionan una visión general de la calidad del agua cruda del río Badillo en las dos temporadas marcadas (Seca y lluviosa), Estas se caracterizan por presentar valores promedio de pH de 7,69 y 8,95, evidenciando que no superan los valores máximos establecidos por la Resolución 2115 de 2007, estos valores se consideran aceptables según la normativa vigente en Colombia.

Tabla 4

Resultados de la caracterización de la muestra de agua en la época seca

Parámetro	Unidades	Resultado obtenido
Turbidez	NTU	164,7
pH	Unidades de pH	7,69
Temperatura	°C	27,5
SST	Mg/L	224
DQO	Mg/L	120
DBO	Mg/L	60

Fuente: Autores, 2022

Por otra parte, se observa que los valores de turbidez (164.7NTU y 223.5 NTU) en las dos muestras de agua tomadas temporada seca y lluviosa respectivamente, exceden notablemente los valores máximos establecidos por la Resolución 2115 de 2007, la cual establece un valor límite de 2NTU para consumo humano, así mismo, se evidencia que la turbidez en temporada lluviosa es mayor debido a la cantidad de sólidos suspendidos totales presentes (ver tabla 5). Esto se fundamenta en la investigación de Mendoza, (2019) quien afirma que a medida que aumenta el volumen de agua en un afluente arrastra una mayor cantidad de sedimentos haciendo que exista una mayor cantidad de partículas suspendidas y por consecuencia, aumente la turbiedad en el agua.

En cuanto al valor de la DBO obtenido en la muestra de temporada seca, el IDEAM (2015), establece que la oxidación microbiana o mineralización de la materia orgánica es una de las principales reacciones que ocurren en los cuerpos naturales de agua y constituye una de las demandas de oxígeno, ejercida por los microorganismos heterotrófico esto, según (Tecnal, 2022), se debe a que en cuanto mayor es el valor de esta en el cuerpo de agua, menor es el oxígeno disponible para todas las formas de vida acuática.



Por otra parte, la DQO es la Demanda Química de Oxígeno del agua. Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO₂ y H₂O. Cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua. La DQO en aguas superficiales puede situarse entre 50 y 1.000 mgO₂/l, aunque puede llegar a 5.000 según el tipo de agua, esto según (Pérez, 2000), por ende, el valor obtenido cumple con lo establecido.

Tabla 5

Resultados de la caracterización de la muestra de agua en la temporada lluviosa

Parámetro	Unidades	Resultado obtenido
Turbidez	NTU	232,5
pH	Unidades de pH	8,95
Temperatura	°C	32,8
SST	Mg/L	410
DQO	Mg/L	280
DBO	Mg/L	140

Fuente: Autores, 2022

En el caso de los resultados de sólidos suspendidos totales en las muestras de agua, se evidencia que para la temporada seca y lluviosa se obtuvo valores de 224 mg/L y 410 mg/L respectivamente, lo que tiene relación con el material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua del río Badillo (ver tabla 4 y 5). Se evidenció que en la temporada lluviosa este aumenta en su concentración, lo que se debe a lo descrito por (Mendoza, 2019), así mismo, la presencia de Sólidos Suspendidos Totales en corrientes naturales obedece también a la dinámica de los ríos, en cuanto al tipo de material del cauce y el clima de la región, en particular la precipitación. Aunque el indicador de SST



no se ha reglamentado para valorar la calidad del agua de aguas con certeza, la OMS y EPA (2015) sugieren 1000 mg/L de SST como valor límite que indica contaminación en un cuerpo de agua, por lo que se determina que en el río Badillo no se supera este valor máximo.

En cuanto al valor de pH este cumple con lo estipulado por (Rodríguez, 2017), quien menciona que las fuentes hídricas naturales poseen materiales en suspensión y coloidal de diferentes tamaños responsables de aportar turbidez y el color en el agua de río, y sus características pueden variar de acuerdo con el origen de diversas fuentes (Rodríguez et al., 2017). En el Departamento del Cesar (Colombia), las aguas del río Guatapurí se caracterizan por presentar valores de parámetros fisicoquímico en función de la temporada anual de lluvia o sequía, presentándose valores de pH, turbidez y alcalinidad de 7,49, 1500 unidades nefelométricas de turbidez (NTU) y 38 mg/L de respectivamente (Rodríguez et al., 2015), y de acuerdo con la Resolución 2115 los valores para turbidez no cumplen con lo mínimo requerido por la norma correspondiente a 2 NTU para el consumo humano del fluido (MINAMBIENTE, 2007).

Por último, valores de DBO y DQO en temporada seca fueron de 60 mg/L y 120mg/L respectivamente (ver tabla 4), y en temporada de lluvia de 140 mg/L y 280 mg/L (ver tabla 5). En ese sentido, se puede determinar en el caso de la DBO que esta representa un índice de carga contaminante mayor en época lluviosa. Arias (2015) afirma que el oxígeno disuelto presente para las distintas formas de vida acuática es menor, en relación de estas dos variables tanto para época seca, como la lluviosa es de $DQO/DBO= 2$, si la $DQO/DBO= >2$,



la fracción biodegradable es elevada, siendo un indicador para el uso de tratamiento biológico. La caracterización se puede observar en el anexo 3.

A continuación, se observan los resultados obtenidos en la caracterización microbiológica y la técnica usada por el laboratorio de análisis.

Tabla 6

Caracterización microbiológica temporada seca

Naturaleza de la muestra	Ensayo	Unidades	Resultados	Valores		
				de referencia	Técnica	Método
Agua superficial	Coliformes totales	UFC/100 ml	2300	5000	Sustrato definido	9223 B STM
	Coliformes termotolerantes		220	1000		

Fuente: Laboratorio Bioindalamb, 2022

Conforme a los resultados de la caracterización microbiológica se observa que, los coliformes totales, y los coliformes termotolerantes no superan los valores máximos permitidos, por ende, se deduce que no indica un alto riesgo de la presencia de organismos que pueden causar enfermedades.

6.2 Extracción del coagulante en polvo, elaborado a partir del residuo del plátano (*Musa spp*)

6.2.1 Recolección del residuo de plátano

Se recolectaron cascaras de plátanos verdes (*Musa paradisiaca*) provenientes de las actividades domésticas de dos viviendas de la ciudad de Valledupar, Colombia. los



residuos fueron recogidos durante una semana para garantizar la cantidad necesaria de elaboración del coagulante natural. La tabla a continuación permite observar la cantidad de residuos de plátano en kilogramos recolectados en las dos viviendas en el tiempo establecido:

Tabla 7

Cantidad de residuos de plátano recolectado en kilogramos

Día de la semana	Cantidad de residuos (kg)	
	Vivienda 1	Vivienda 2
Lunes	0,1	0,5
Martes	1	1,1
Miércoles	0,6	0,98
Jueves	0,7	1,0
Viernes	0,5	0,9
Subtotal vivienda	2,9	3,48
Total	6,38 kilogramos	

Fuente: Autores, 2022

Se recolectaron en las dos viviendas un total de 6,38 kilogramos de residuos de cáscara de plátano para la elaboración del coagulante natural.

6.2.2 Trituración del residuo de plátano

Para dar cumplimiento a esta actividad se desmenuzó el residuo de plátano hasta alcanzar una materia sólida más pequeña, realizando además la remoción de la cutícula.

6.2.3 Proceso de secado del residuo

Para realizar el secado se llevó el residuo al horno y se secaron las tiras durante 48 horas continuas, alcanzando temperaturas entre 59°-61°C. El proceso de secado se puede observar en el anexo 4.

6.2.4 Pulverización de la materia sólida

Una vez realizado el secado se realizó la pulverización de la materia sólida con un mortero hasta alcanzar un material granular. El proceso de pulverización se puede observar en el anexo 5.

6.2.5 Tamizado del material

Se realizó el tamizado con la finalidad de obtener las partículas con diámetro inferior a 0.5 mm. El proceso de tamizado se puede observar en el anexo 6.

6.2.6 Caracterización del coagulante

Para la caracterización del coagulante, se determinaron las siguientes propiedades:

Tabla 8

Caracterización del coagulante

COAGULANTE	pH PROMEDIO	TURBIDEZ PROMEDIO (NTU)	CONDUCTIVIDAD (µs/cm)
Plátano 1%	5.39	145	2085
Banano 1%	5.85	83,3	883,5

Fuente: Autores, 2022

Como se puede observar en la tabla. de las soluciones de los coagulantes al 1% que fueron aplicadas al agua cruda, el pH promedio de 5,9 (ácido), por lo tanto, este podría



reducir los valores de pH del agua tratada que en promedio es de 7,025, adicionalmente se observó que la turbidez promedio de las soluciones coagulantes son inferiores a las presentadas en el agua cruda, por consiguiente, esta no tendría influencia en la turbidez del agua a tratar.

En el caso del estado físico, se observó que este presentaba una textura fresca, de color grisáceo.

6.2.7 Dosificación del coagulante.

Para la preparación de la solución del coagulante se disolvió 1 gr del producto final, en 100 ml de agua destilada, esto con la ayuda de una probeta graduada. La concentración de la solución coagulante se obtuvo por medio de la relación peso/volumen, de la siguiente manera:

$$\text{Relacion } \frac{\text{peso}}{\text{volumen}} = \frac{\text{masa soluto}}{\text{volumen del solvente}} * 100$$

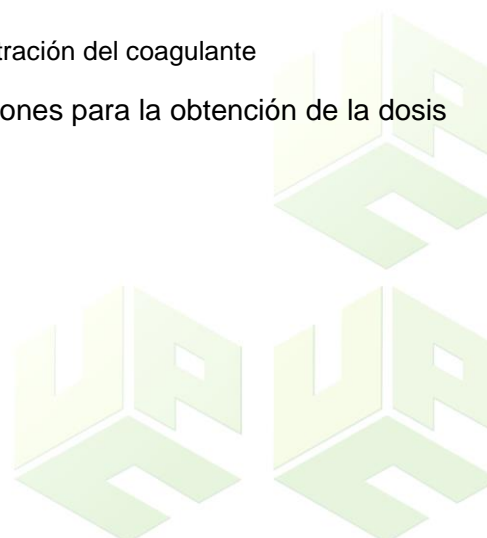
$$R \frac{p}{v} = \frac{1 \text{ gr}}{100 \text{ ml}} * 100 = 1\%$$

Ilustración 4: Fórmula para calcular la concentración del coagulante

A partir de esta, se calcularon las diferentes concentraciones para la obtención de la dosis optima con la siguiente formula:

$$C1V1=C2V2$$

$$C2 = \frac{C1V1}{V2}$$





6.3 Comparación de la efectividad de los coagulantes orgánicos a través de las diferentes configuraciones de tipos de coagulantes y dosis óptimas teniendo como variable respuesta la turbidez y pH.

6.3.1 Preparación del agua turbia sintética coagulante de plátano

Tabla 9

Dosis óptima de coagulante de plátano con agua de 100NTU

CON (mg/L)	TURBIEDAD	% REMOCION
5	42	34,4
15	53,7	45,3
35	50,5	48,7
45	45,9	52,4
55	36,7	67,6
75	38,5	60,3
100	43,7	45,3
150	40,3	40,5

Fuente: Autor, 2022

Se determinó la dosis óptima para el agua de 100NTU a una concentración de 55mg/L, la cual logró un porcentaje de remoción de turbidez en un 67,6% alcanzando una turbidez de 36,7 NTU. La remoción de la turbidez se observa en el anexo 8.

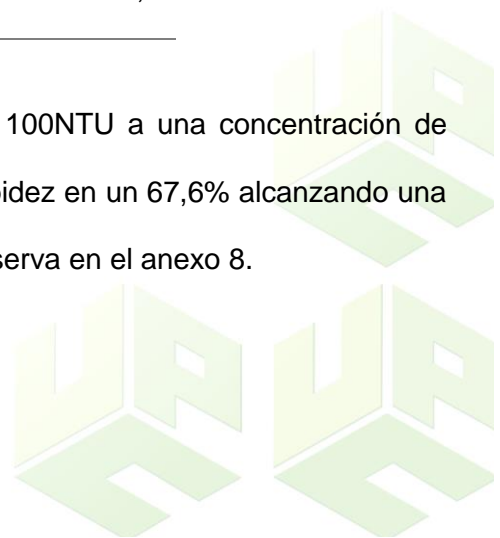




Tabla 10

Dosis óptima coagulante de plátano con agua de 500NTU

CON (mg/L)	TURBIEDAD	% REMOCION
15	229	60,4
25	227	62,5
35	225	67,6
45	221	75,8
75	226	65,3
100	228	61
150	230	54
200	231	52,2

Fuente: Autor, 202

Se determinó la dosis óptima de coagulante de plátano para el agua de 500NTU a una concentración de 45mg/L, la cual logró un porcentaje de remoción de turbidez en un 75,8% alcanzando una turbidez de 221 NTU. La remoción de la turbidez se observa en el anexo 9.





Tabla 11

Dosis óptima coagulante de plátano con agua de 1000NTU

CON (mg/L)	TURBIEDAD	% REMOCION
5	762	23,8
10	746	24,4
15	756	35,8
20	567	43,6
55	610	40,10
75	599	37,5
100	597	32,6
110	612	30,2

Fuente: Autor, 2022

Se determinó la dosis óptima para el agua de 1000NTU a una concentración de 20mg/L, la cual logró un porcentaje de remoción de turbidez en un 43,6% alcanzando una turbidez de 567 NTU. La remoción de la turbidez se observa en el anexo 10.

6.3.1.2 Preparación del agua turbia sintética para la dosis óptima del banano

Se preparó el agua turbia sintética para la determinación de la dosis óptima del banano, a continuación, se evidencia los resultados obtenidos:

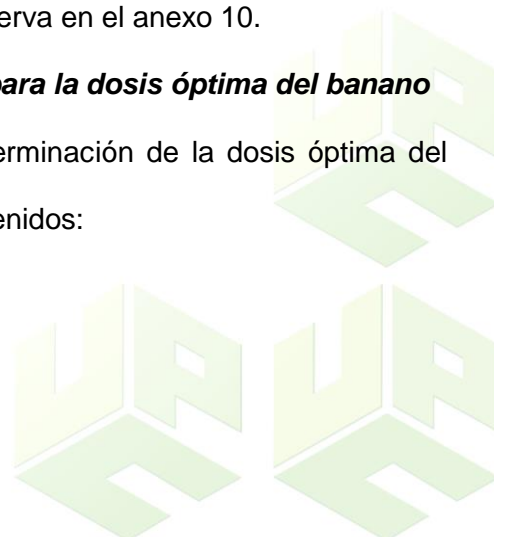




Tabla 12

Dosis óptima coagulante de banano con agua de 100NTU

DOSIS	TURBIEDAD	% REMOCION
5	40	60
15	34,5	62,5
35	32,1	67,9
45	33,7	65,8
55	33,2	65,1
75	32,9	64,3
100	30,5	63,7
150	30,1	63,3

Fuente: Autor, 2022

Se determinó la dosis óptima para el agua de 100NTU a una concentración de 35mg/L, la cual logró un porcentaje de remoción de turbidez en un 67,9% alcanzando una turbidez de 32,1 NTU. La remoción de la turbidez se observa en el anexo 11





Tabla 13

Dosis óptima coagulante de banano con agua de 500NTU

DOSIS	TURBIEDAD	% REMOCION
5	198,3	53,8
10	221,4	55,72
15	220,5	55,9
20	190,4	61,92
35	215,9	56,82
45	221,7	55,66
55	229,4	54,12
75	228,1	54,38

Fuente: Autor, 2022

Se determinó la dosis óptima para el agua de 500NTU a una concentración de 20mg/L, la cual logró un porcentaje de remoción de turbidez en un 61,92% alcanzando una turbidez de 190,4 NTU. La remoción de la turbidez se observa en el anexo 12.

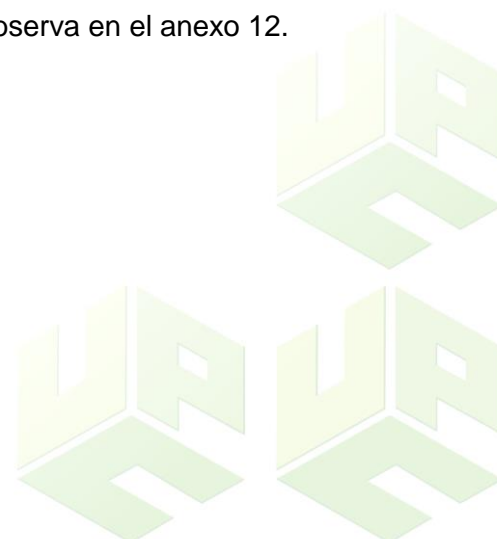


Tabla 14

Dosis óptima coagulante de banano con agua de 1000NTU

DOSIS	TURBIEDAD	% REMOCION
3	575,8	38,56
5	570,5	40,54
8	568,9	43,24
10	565,6	47,87
25	610,5	38,95
35	612	38,8
55	620,5	37,95
75	622,7	37,73

Fuente: Autor, 2022

6.3.2. Determinación de la dosis óptima de coagulante natural e inorgánico en las diferentes configuraciones de tipo y concentración de coagulantes.

Para definir la cantidad adecuada de coagulante se realizaron diferentes ensayos en el test de jarras siguiendo los lineamientos de (Rodríguez, Torregroza, Mejía, Atencia, & Villero, 2019).

La evaluación de la coagulación se llevó a cabo utilizando un aparato de Prueba de Jarra modelo PB-700, a cada uno de los seis vasos de precipitado de 1000 mL. Posteriormente, se procedió a agregar el coagulante, al iniciar el mezclado rápido (130 rpm, 1min); se agregaron las diferentes dosis de coagulante desde un rango de 5 mg/l hasta 200 mg/l) usando jeringas graduadas y pipetas, se aplicó luego el mezclado lento (40 rpm, 30

min), se finalizó el proceso con la fase de sedimentación (30 min). Estas pruebas se realizaron con el fin de determinar la dosis óptima; utilizando como parámetros de evaluación y control la turbidez y el pH tanto antes como después de los ensayos. El proceso de prueba de jarras se observa en el anexo 12.

Una vez obtenidas las dosis óptimas del coagulante de plátano y banano, se procedió a realizar la aplicación de las dosis para la turbidez del agua de 96,9 NTU, 164,7NTU y 232,5NTU. La tabla a continuación evidencia los resultados obtenidos:

Aplicación de la dosis óptima en el agua río con turbidez 96,9 NTU

Tabla 15

Resultados de la aplicación de la dosis óptima para aguas de turbidez de 96,9 NTU.

Dosis de coagulante mg/L	Turbidez (NTU)	Remoción de turbidez %	Tipo de coagulante- desviación estándar			
			Control	Plátano	Banano	Sulfato de aluminio
55	13,13	86,45	91,10±0,26	94,11± 1,02	96,19± 0,2	97,19 ± 0,87
35	11,26	88,38	93,01±1,54	96,3 ± 1,83	97,54± 1,7	98,65 ± 0,43
6	10,23	89,44	93,19±1,21	97,41 ±1,31	98,22± 1,2	99,23 ± 0,76

Fuente: Autores, 2022

La tabla 15 permite evidenciar que el coagulante de plátano en presencia de una turbiedad alta como lo es 13,13 NTU, mostró el menor porcentaje de remoción aún con dosis altas, sin embargo, en turbiedades bajas como 10,23 en el caso de estudio, el coagulante sulfato de Aluminio mostró el mayor porcentaje de remoción de turbidez, por lo



que se deduce que este trabaja mejor en escenarios de baja turbidez, demostrando porcentajes de remoción más altos con dosis bajas. Esto se fundamenta en la investigación de (Rodríguez, 2017), quien menciona que, para una turbidez inicial de 250 NTU, el parámetro de estudio turbidez presenta diferencias significativas al usar los distintos coagulantes, siendo los más eficientes el coagulante inorgánico sulfato de aluminio (87,7 %) y el extracto de banano (86,8 %), al lograr las mejores remociones en el agua del río Guatapurí de baja turbidez. Según los resultados obtenidos se evidencia que existe diferencia significativa entre los tratamientos empleados.

En el caso del pH, los coagulantes banano y sulfato de aluminio presentaron un cambio de este de neutro a ácido, y solo el coagulante de plátano, mantuvo en promedio este parámetro. Según (Arias, 2019), cada tipo de coagulante aplicado requiere de un rango de pH para ser más o menos efectivo, por lo que es importante seleccionarlos de manera adecuada. Por ejemplo, las sales con base en hierro o aluminio deben usarse en agua con pH bajos, menores a 2.2 y 4.5 respectivamente, ya que si son mayores influyen en la hidrólisis, la polimerización y las especies resultantes. Este proceso tiene lugar junto con el aumento del pH, lo que a su vez forma especies con una reducción de carga cada vez mayor; además, se produce la formación de especies polinucleares.

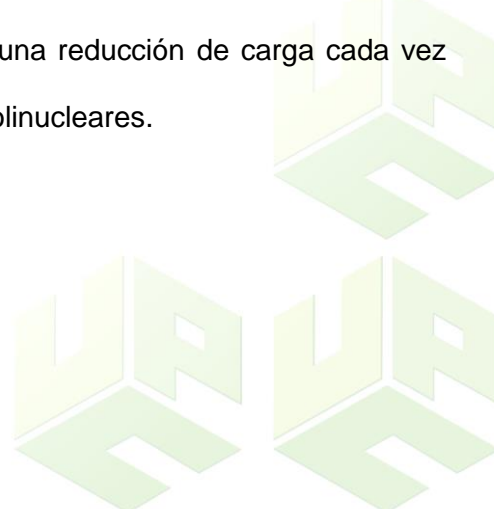


Tabla 16

Resultados de la aplicación de la dosis óptima para aguas de turbidez de 164,7 NTU

Dosis de coagulan te mg/L	Turbid ez (NTU)	Remoción de turbidez %	Tipo de coagulante- desviación estándar			
			Control	Plátano	Banano	Sulfato de aluminio
20	8,86	94,62	51,20±0,56	84,31 ± 1,98	86,51± 1,42	87,21 ±0,19
6	7,53	95,43	50,12±1,24	86,5 ± 0,83	87,15± 1,07	88,11 ±0,12
55	10,21	93,80	93,09±0,61	97,33 ± 1,53	98,17± 0,22	99,84 ± 1,12

Fuente: Autores, 2022

La tabla 16 permite evidenciar que el coagulante de plátano en presencia de una turbiedad alta como lo es 10,21 NTU, mostró el menor porcentaje de remoción aún con dosis altas, sin embargo, en turbiedades bajas como 7,53 en el caso de estudio, el coagulante sulfato de Aluminio mostró el mayor porcentaje de remoción de turbidez, por lo que se deduce que este trabaja mejor en escenarios de baja turbidez, demostrando porcentajes de remoción más altos con dosis bajas. Lo anterior se puede sustentar con las investigaciones de (Martínez, 2019), quien realiza la prueba de jarras para la remoción de la turbidez con un coagulante químico y otro natural (moringa oleífera), este establece que el coagulante químico utilizado, es mucho más efectivo que el coagulante natural empleado para reducir la turbidez del agua. Sin embargo, los coagulantes naturales por su baja toxicidad son una alternativa para reemplazar parcialmente al sulfato de aluminio.



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Así mismo, menciona que el coagulante natural tiene un porcentaje de remoción de turbidez entre el 75-90 %, cuando la turbidez inicial es alta, aproximadamente 200 UNT. Por el contrario, si la turbidez es baja, 40 UNT, el porcentaje de remoción alcanza el 50 %. Según los resultados obtenidos se evidencia que existe diferencia significativa entre los tratamientos empleados.

En el caso del pH, los coagulantes control, banano y sulfato de aluminio presentaron un cambio, solo el coagulante de plátano mantuvo en promedio este parámetro. Según (Arias, 2019), cada tipo de coagulante aplicado requiere de un rango de pH para ser más o menos efectivo, por lo que es importante seleccionarlos de manera adecuada. Por ejemplo, las sales con base en hierro o aluminio deben usarse en agua con pH bajos, menores a 2.2 y 4.5 respectivamente, ya que si son mayores influyen en la hidrólisis, la polimerización y las especies resultantes. Este proceso tiene lugar junto con el aumento del pH, lo que a su vez forma especies con una reducción de carga cada vez mayor; además, se produce la formación de especies polinucleares.





Tabla 17

Resultados de la aplicación de la dosis óptima para aguas de turbidez de 232,5 NTU

Dosis de coagulante mg/L	Turbidez (NTU)	Remoción de turbidez %	Tipo de coagulante c			
			Control	Plátano	Banano	Sulfato de aluminio
20 plátano	8,84	96,20	52,37±0,63	86,20 ± 1,09	86,11± 1,09	87,11 ± 0,32
10 banano	7,94	96,58	52,43±0,34	87,35 ± 0,21	87,87± 1,12	88,01 ± 0,21
6 aluminio	8,22	96,46	52,94±1,56	87,38 ± 0,98	88,57± 0,87	88,86 ± 0,25

Fuente: Autores, 2022

La tabla 17 permite evidenciar que, a mayor turbidez, menor será la remoción de esta según los coagulantes empleados. El coagulante de plátano en presencia de una turbiedad alta como lo es 8,84 NTU según el estudio, mostró el menor porcentaje de remoción aún con la mayor dosis de aplicación, sin embargo, para una turbidez baja como 7,94 el coagulante de banano mostró el mayor porcentaje de remoción, siendo este el único montaje en el que este coagulante natural superó el químico. Según los resultados obtenidos se evidencia que existe diferencia significativa entre los tratamientos empleados.

En el caso del pH, los coagulantes control, banano y sulfato de aluminio presentaron un cambio, solo el coagulante de plátano mantuvo en promedio este parámetro.



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Según (Arias, 2019), cada tipo de coagulante aplicado requiere de un rango de pH para ser más o menos efectivo, por lo que es importante seleccionarlos de manera adecuada. Por ejemplo, las sales con base en hierro o aluminio deben usarse en agua con pH bajos, menores a 2.2 y 4.5 respectivamente, ya que si son mayores influyen en la hidrólisis, la polimerización y las especies resultantes. Este proceso tiene lugar junto con el aumento del pH, lo que a su vez forma especies con una reducción de carga cada vez mayor; además, se produce la formación de especies polinucleares.



7. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo dicho modelo experimental se empleó el programa estadístico MINITAB 18, que es un programa íntegro de estadística básica y avanzada, ideal para analizar datos de investigaciones, que incluye estadísticas descriptivas, pruebas de hipótesis, intervalos de confianza, análisis de varianza, entre otros. También cuenta con la visualización de gráficas (barra, interacción, probabilidad, contorno y otras).

Se realizó un análisis previo de los datos utilizando técnicas descriptivas donde la variable de respuesta fue el % de remoción de turbidez, mientras que los factores son:

- Tipo de coagulante (A)
- Dosis de coagulante (B)

7.1 Diseño factorial de múltiples niveles

- **Resumen del diseño**

Tabla 18

Resumen del diseño

Factores:	2	Réplicas:	3
Corridas base:	16	Total de corridas:	48
Bloques base:	1	Total de bloques:	3

Fuente: Autores, 2022

Número de niveles: 4; 4

A partir de los anteriores datos se determinó cada uno de los análisis estadísticos establecidos para el modelo factorial de múltiples niveles.



- Información del factor

Tabla 19

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tipo de coagulante	4	1; 2; 3; 4
Dosis de coagulante (ml/L)	4	0; 6; 35; 55

Fuente: Autores, 2022

El procedimiento del experimento se sintetiza en la tabla siguiente hoja de trabajo:

Tabla 20

Procedimiento realizado

OrdenEst	Orden Corrida	TipoPt	Bloques	Tipo de coagulante	Dosis de coagulante (ml/L)	Remoción de turbidez %
1	1	1	1	1	0	91,55
2	2	1	1	1	6	91,09
3	3	1	1	1	35	91,67
4	4	1	1	1	55	91,64
5	5	1	1	2	0	91,54
6	6	1	1	2	6	91,62
7	7	1	1	2	35	91,46
8	8	1	1	2	55	91,38



9	9	1	1	3	0	88,96
10	10	1	1	3	6	90,09
11	11	1	1	3	35	89,47
12	12	1	1	3	55	88,44
13	13	1	1	4	0	89,27
14	14	1	1	4	6	87,24
15	15	1	1	4	35	88,38
16	16	1	1	4	55	87,24
17	17	1	2	1	0	91,46
18	18	1	2	1	6	91,07
19	19	1	2	1	35	91,49
20	20	1	2	1	55	91,61
21	21	1	2	2	0	98,88
22	22	1	2	2	6	91,35
23	23	1	2	2	35	91,47
24	24	1	2	2	55	91,60
25	25	1	2	3	0	88,24
26	26	1	2	3	6	88,44
27	27	1	2	3	35	88,96
28	28	1	2	3	55	89,37
29	29	1	2	4	0	86,48



30	30	1	2	4	6	86,79
31	31	1	2	4	35	87,10
32	32	1	2	4	55	86,45
33	33	1	3	1	0	90,86
34	34	1	3	1	6	91,67
35	35	1	3	1	35	91,55
36	36	1	3	1	55	91,72
37	37	1	3	2	0	91,23
38	38	1	3	2	6	91,25
39	39	1	3	2	35	91,49
40	40	1	3	2	55	91,07
41	41	1	3	3	0	89,16
42	42	1	3	3	6	88,85
43	43	1	3	3	35	88,65
44	44	1	3	3	55	89,59
45	45	1	3	4	0	88,14
46	46	1	3	4	6	87,10
47	47	1	3	4	35	85,67
48	48	1	3	4	55	87,14

Fuente: Autores, 2022

Se estimaron efectos de los factores e interacciones: se realizó una preselección de aquellos efectos que se consideran no significativos. La grafica de estos principales efectos se puede observar en el anexo 13 y 14.

Por ende, se representaron dichas estimaciones en un diagrama de Pareto, el cual se puede observar en el anexo 15.

En esta gráfica se pudo inferir que la dosis de coagulante es estadísticamente significativa en el nivel de 0,05 con los términos actuales del modelo. Debido que está por delante del nivel de referencia.

Por último, se construyó la tabla ANOVA con los efectos y se contrastó su significatividad:

Tabla 21

Análisis de Varianza

Fuente	G L	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	17	194,318	11,4305	7,15	0,000
Bloques	2	1,385	0,6923	0,43	0,653
Lineal	6	181,286	30,2144	18,89	0,000
Tipo de coagulante	3	176,542	58,8474	36,80	0,000
Dosis de coagulante (ml/L)	3	4,744	1,5814	0,99	0,411
Interacciones de 2 términos	9	11,647	1,2941	0,81	0,611



Tipo de coagulante*Dosis de coagulante (ml/L)	9	11,647	1,2941	0,81	0,611
Error	30	47,976	1,5992		
Total	47	242,295			

Fuente: Autores, 2022

Con estos datos tuvimos una mejor estimación de la varianza residual

Planteamiento de hipótesis: H_0 : Todas las medias son iguales

H_1 : $\tau_i \neq 0$, por lo menos una media es diferente $\alpha = 0,05$, nivel de significancia

Los valores de p son mayores que el nivel de significancia e indican que las medias de los tratamientos son iguales, por lo cual se acepta la hipótesis la nula.

Se hizo un diagnóstico de los residuos para comprobar que el modelo es el adecuado.

Tabla 22

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad.	R-cuad.
		(ajustado)	(pred)
1,26460	80,20%	68,98%	49,31%

Fuente: Autores, 2022

Los residuos para remoción de turbidez % se observa en el anexo 16. Para la Normalidad, pudimos observar que los residuos están cercanos a la línea de ajuste, con lo que identificamos que los datos son normales, pero se tiene un valor atípico.



La *Varianza constante* se notó que los residuos están distribuidos de forma aleatoria. Y finalmente, en la variable *Independencia*, se logró observar que los residuos son independientes, debido a que no tienen un patrón.

Se construyó la recta de contorno y se obtuvo con ella las condiciones de los factores que proporcionan mejores valores de la variable respuesta, la cual se encuentra en el anexo 17.

Por último, con la gráfica de contorno podemos constatar que los mayores porcentajes de remoción se encuentra en las zonas inferiores a la dosis de 6mg/L, obteniendo valores muy diferentes con los tres tipos de coagulantes.

- Extraer un coagulante en polvo, elaborado a partir del residuo del plátano (*Musa spp*)
- Comprobar la eficacia de la cascara del plátano en el agua antes y después de agregar el coagulante teniendo en cuenta los parámetros de turbidez y pH





8. CONCLUSIONES

En cuanto a la caracterización del agua, los valores promedio de pH no superaron los valores máximos establecidos por la Resolución 2115 de 2007, sin embargo, los resultados de la turbidez evidencian contaminación, ya que superan este valor. Los valores de DBO y DQO en ambas temporadas permiten determinar en el caso de la DBO que esta representa un índice de carga contaminante mayor en época lluviosa, ya que, menor es el oxígeno disuelto presente para las distintas formas de vida acuática. Conforme a los resultados microbiológicos se observa que, los coliformes totales, y los coliformes termotolerantes no superan los valores máximos permitidos, pero aun así presenta contaminación.

Para el segundo objetivo, se observó que las soluciones de los coagulantes al 1% que fueron aplicadas al agua cruda, el pH promedio de 5,9 (ácido), por lo tanto, este podría reducir los valores de pH del agua tratada, adicionalmente se observó que la turbidez promedio de las soluciones coagulantes son inferiores a las presentadas en el agua cruda, por consiguiente, esta no tendría influencia en la turbidez del agua a tratar.

En cuanto al último objetivo, se determinó la dosis óptima para el agua de 100NTU a una concentración de 55mg/L, la cual logró un porcentaje de remoción de turbidez en un 67,6% alcanzando una turbidez de 36,7 NTU. La dosis óptima para el agua de 500NTU a una concentración de 45mg/L, la cual logró un porcentaje de remoción de turbidez en un 75,8% alcanzando una turbidez de 221 NTU, y, por último, la dosis óptima para el agua de 1000NTU a una concentración de 20mg/L, la cual logró un porcentaje de remoción de turbidez en un 43,6% alcanzando una turbidez de 567 NTU. En el caso de los dos

coagulantes naturales, el de banano presentó las mayores eficiencias de remoción de turbidez con un promedio del 96,66% de remoción.





9. RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar las investigaciones en la aplicación y uso de coagulantes naturales como lo son el plátano y banano en temporada seca, ya que, en esta fue donde mayor resultado y porcentaje de remoción presentó en comparación con la temporada de lluvia, evaluando parámetros como turbidez en la investigación.

Se recomienda el uso del coagulante de banano, ya que este presentó las mayores eficiencias de remoción de turbidez con un promedio del 96,66% de remoción que el de plátano

Se recomienda que para aguas de baja turbidez no se aplique ningún tipo de coagulante, ya que solamente con la mezcla rápida y la mezcla lenta, puede lograr un gran porcentaje de remoción.

Se recomienda ampliar las investigaciones acerca de los dos coagulantes naturales empleados (plátano y banano) a partir de la comparación de la efectividad de los coagulantes orgánicos que el coagulante de banano a pesar de no tener diferencias significativas obtuvo mejores resultados en los parámetros estudiados (turbidez, pH) que el coagulante de plátano en todas las temporadas.





10. BIBLIOGRAFIA

- Arias, A. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la *m. Oleífera* como coagulante natural. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial Edición Especial No. 1 (29-39).
- Asrafuzzaman M, (2011). Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. ISRN Microbiology, 2011:1-6.
- Cárdenas, J. (2017). Análisis de contaminantes en el agua para consumo humano de la población urbana del municipio de Coello. (Tolima, Colombia). Girardot, 211p. Trabajo realizado para optar al título de ingeniero Civil. universidad piloto de Colombia, facultad de ingeniería.
- Carrasquero, S. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*sonalum tuberosum*) y plátano (*musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. Rev. Fac. Cienc. Básicas Vol. 13 (2).
- Cerón, V. (2016). Estudio para la determinación y dosificación óptima de coagulantes en el proceso de clarificación de aguas crudas en la potabilización de aguas de la empresa Empoobando e.sp. San Juan de pasto, 114p. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Química. universidad de Nariño, facultad de ciencias exactas y naturales.
- Chávez, J. (2019). Proceso de obtención y evaluación de la eficiencia del almidón del plátano de seda (*musa acuminata aaa*) para la coagulación- floculación de las aguas superficiales del río puchca – ancash a nivel de laboratorio. Callao, febrero, 125p.



Trabajo de grado presentado para optar el título profesional de ingeniero químico.

Universidad nacional del callao, facultad de ingeniería química.

Coronel, D. (2018). Análisis de la efectividad de la semilla de *moringa oleifera* Lam. 1783 como coagulante para tratamiento de agua potable. Yopal, 83p. Trabajo de grado, monografía. Universidad nacional abierta y a distancia. Programa de Ingeniería Ambiental.

Fuentes L, (2011). Efectividad de un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización del agua. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia., 34(1):48-56.

Gutiérrez, L. (2017). Estudio de la concentración de minerales pesados y su aplicación en la procedencia de sedimentos de la cuenca media del Río Guatapurí, Valledupar – Cesar. Revista Agunkuya. ingeniería geológica nº7.

Guzmán, L. (2015). Polvo de la semilla *cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial Vol. 13 No. 2 (123-129).

Hernández, Franklin & Morales, Yeison & Marín, Luis & Pasqualino, Jorgelina & Lambis-Miranda, Henry. (2015). Extracción de almidón a partir de residuos de piel de plátano. XXVIII Congreso Colombiano de Ingeniería Química.

Másmela, A. (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 Bogotá, 131p. Proyecto de investigación presentado como requisito parcial para optar al



título de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente.

Moreno, G. (2018). Aplicación de semilla de Moringa oleifera Lam, como alternativa coagulante de agua almacenada en el municipio de Zirándaro, Gro. Toluca de Lerdo, 91p. Tesis para obtener el título de licenciada en ciencias ambientales. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional.

Ojeda, L. (2012). Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del *tropaeolum tuberosum*, en el tratamiento del agua cruda de la planta de puengasí de la epmaps. Quito, 159. Tesis previa a la obtención del Título de: ingeniero en biotecnología de los recursos naturales.

Organización Mundial de la Salud (OMS). 2011. Guidelines for Drinking-water quality. Cuarta edición. Ginebra, Suiza. pp. 1-490.

Ramírez, H. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. Revista facultad de ciencias básicas. Volumen 11. Número 2 Páginas 136-153. ISSN 1900-4699.

Rivera, R. (2017). Eficiencia de coagulante natural obtenidos de yuca (*Manihot Esculenta*) y plátano (*Musa Paradisiaca*) para remover turbidez y *Escherichia Coli* del riachuelo Santa Perené Chanchamayo. LIMA, 91p. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental. Universidad César Vallejo, facultad de ingeniería.

Rodríguez, C. (2008). Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable. Sincelejo, 97pag. Trabajo de grado, modalidad monografía,



presentado como requisito parcial para optar el título de ingeniero civil. Universidad de sucre facultad de ingeniería.

Rodríguez, Y. (2015). Uso de un polímero natural (*quitosano*) como coagulante durante el tratamiento de agua para consumo. INGENIARE. Universidad Libre-Barranquilla, Año 11, No. 19, pp. 25-32 • ISSN: 1909-2458.

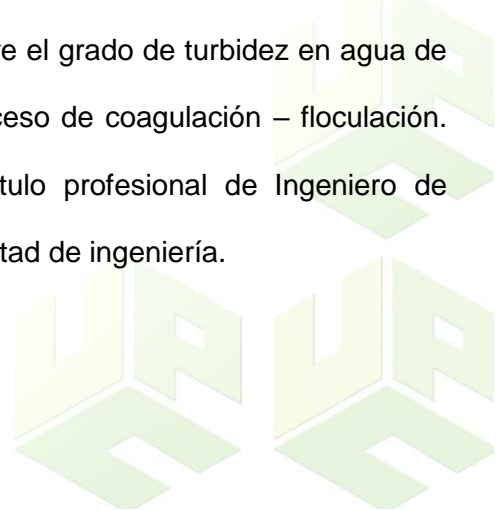
Romero, L. (2019). Evaluación de la utilización del almidón de papa, yuca y banano como bio coagulantes para el tratamiento de aguas de una industria láctea. Quito, 108p. trabajo para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y Remediación. Universidad de las Américas, Facultad de ingeniería y ciencias aplicadas.

Salas, H. (2016). Estudio comparativo de un coagulante natural frente a coagulantes químicos. {En línea}. {20 enero de 2020} disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/100145>.

Trujillo, D. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. Rev. Ion. 2014;27(1):17-34.

Vásquez, B. (2019). Influencia del tipo y dosificación de almidones naturales obtenidos de yuca blanca, plátano verde y papa amarilla, sobre el grado de turbidez en agua de riego de la empresa agualima, mediante el proceso de coagulación – floculación.

Trujillo – Perú, 60p. Trabajo Para optar el título profesional de Ingeniero de Materiales. Universidad nacional de Trujillo, facultad de ingeniería.





ANEXOS

Anexo 1. Puntos de muestreo



Anexo 2. Toma de muestras de agua zona baja



Anexo 3. Caracterización fisicoquímica de las muestras de agua



Anexo 4. Proceso de secado del residuo



Anexo 5. Pulverización de la materia solida



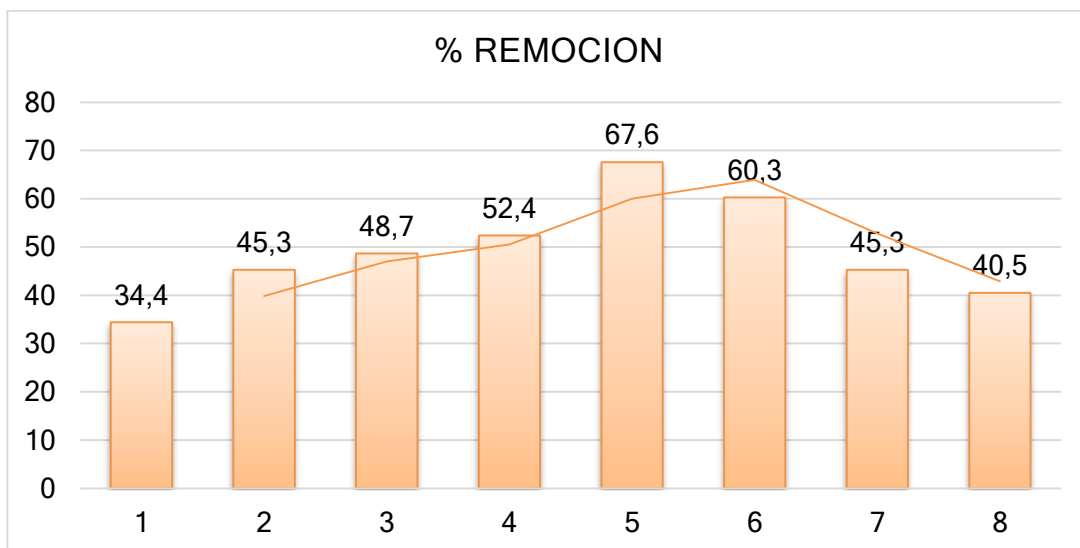
Anexo 6. Tamizado del material



Anexo 7. Dosificación del coagulante

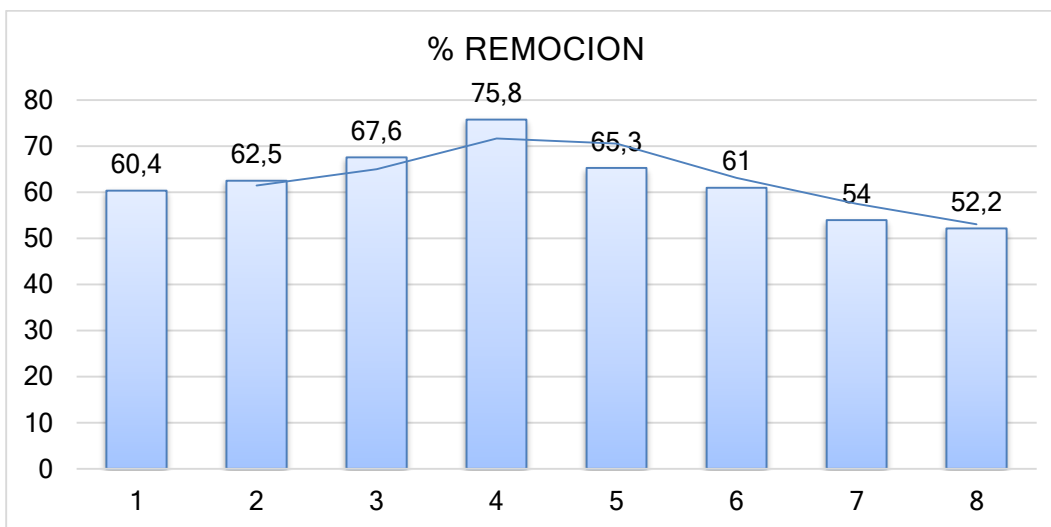


Anexo 8. Remoción de la turbidez agua de 100NTU coagulante de plátano

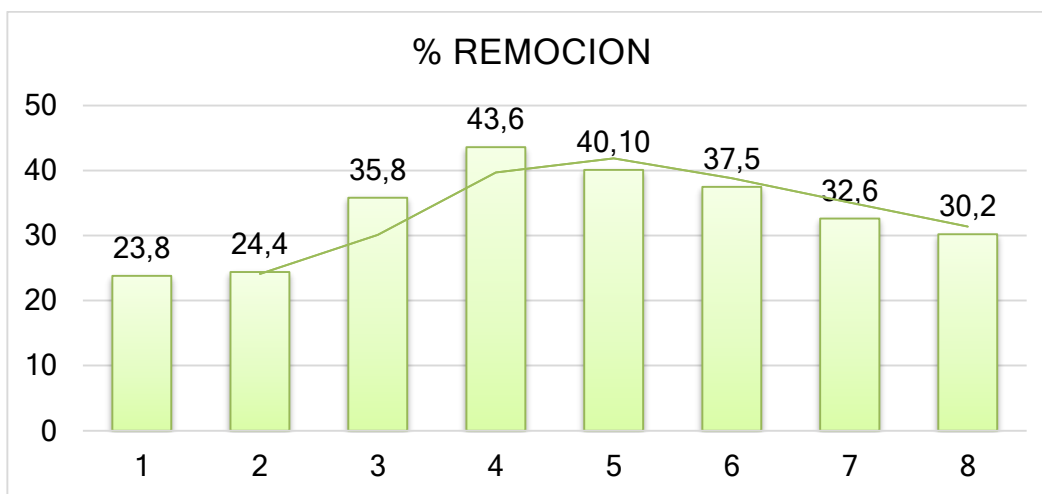




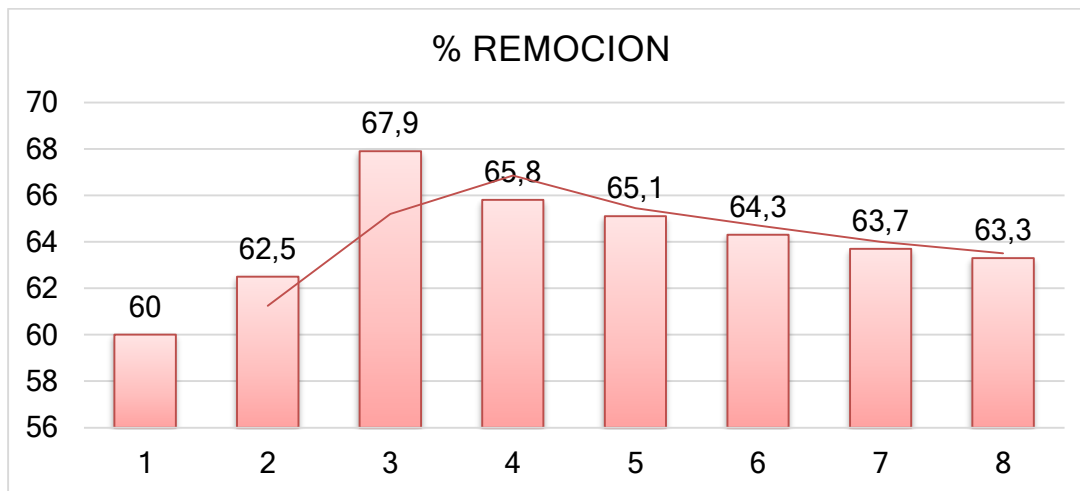
Anexo 9. Remoción de la turbidez agua de 500NTU



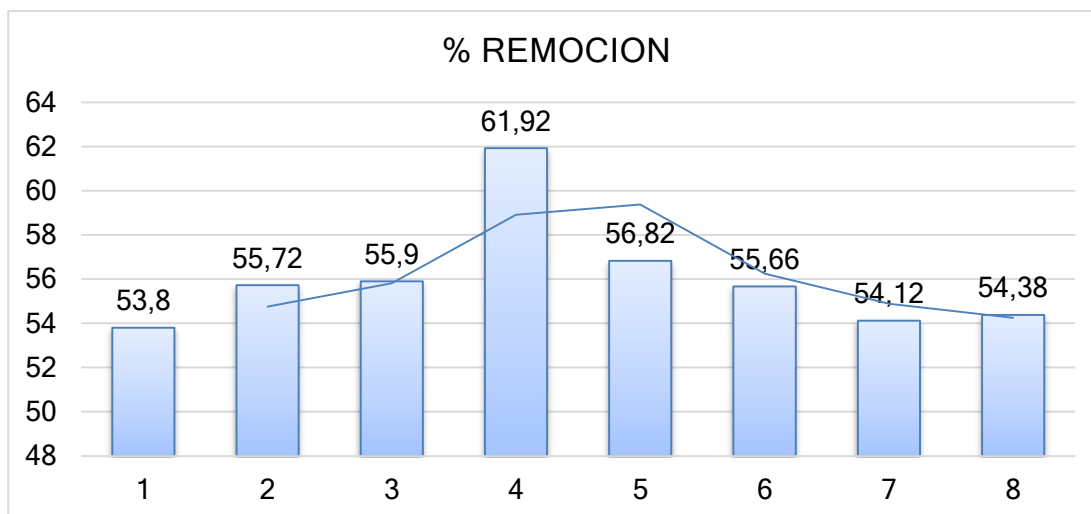
Anexo 10. Remoción de la turbidez agua de 1000NTU



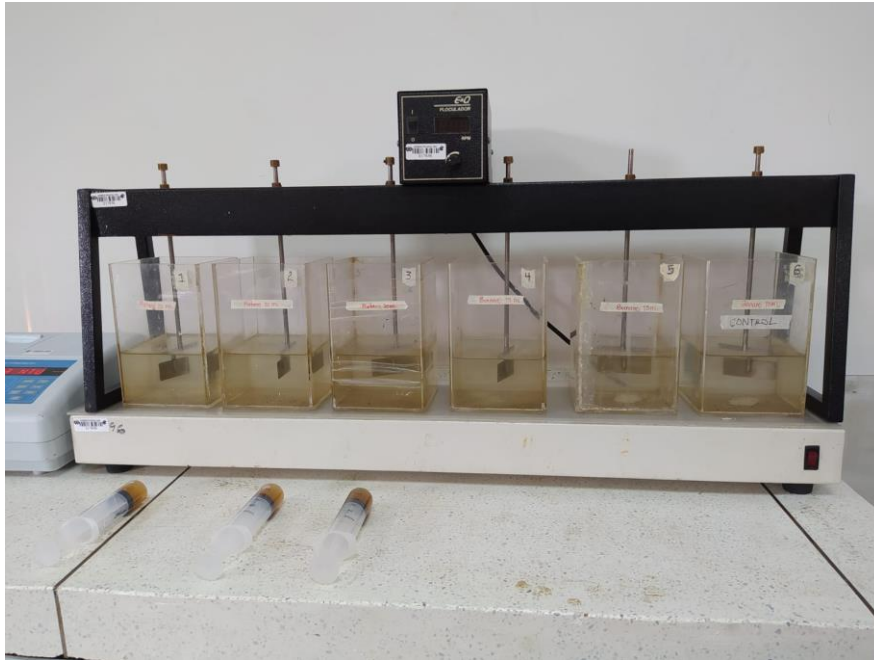
Anexo 11. Remoción de la turbidez agua de 100NTU



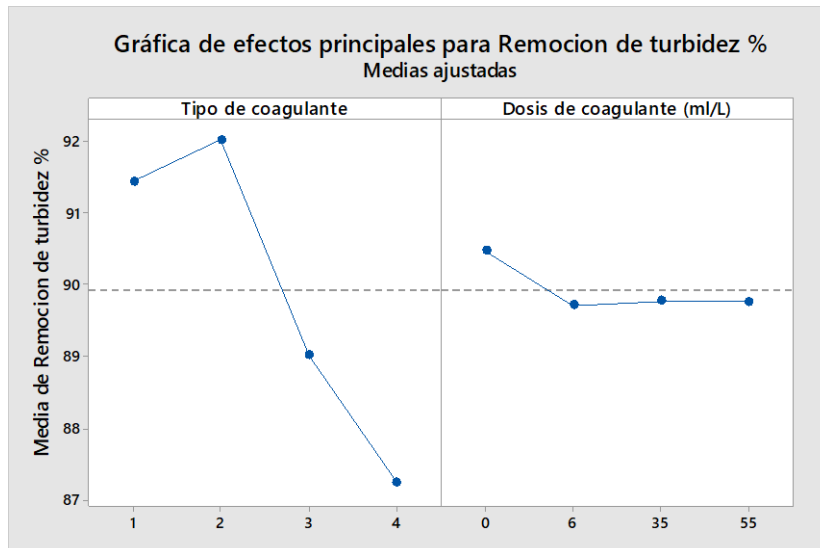
Anexo 12. Remoción de la turbidez agua de 500NTU



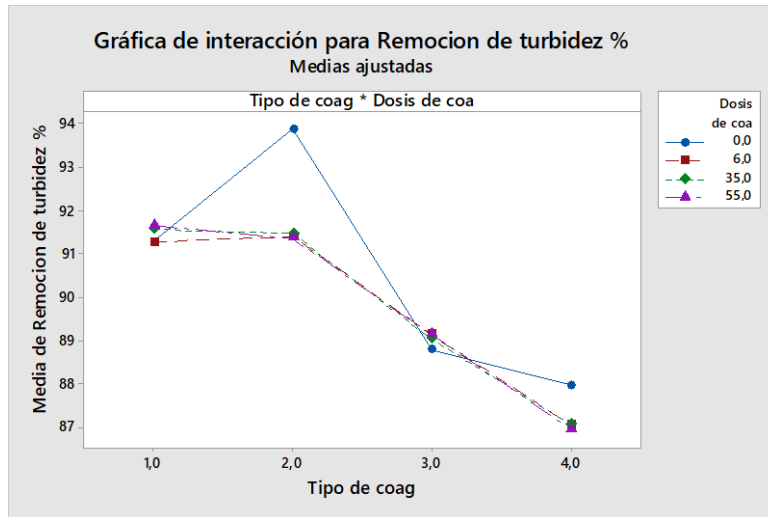
Anexo 13. Prueba de jarras



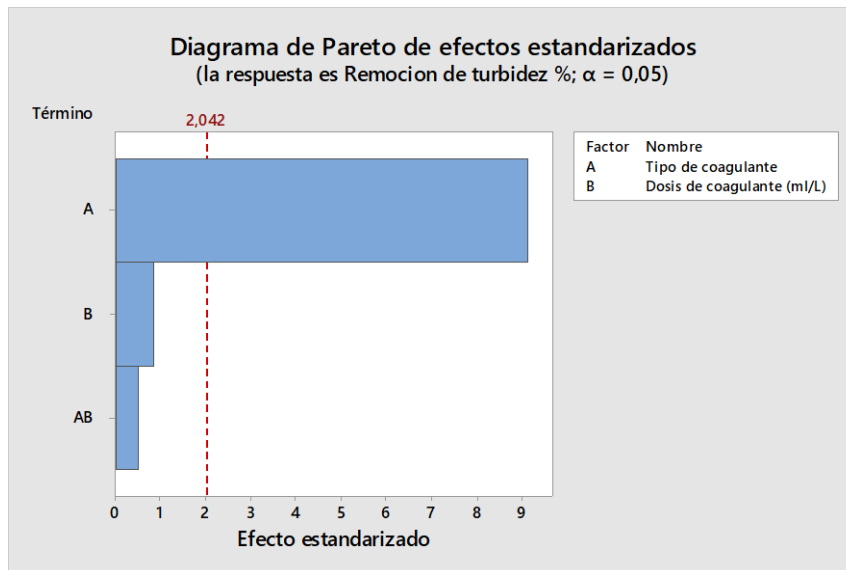
Anexo 14. Efectos principales de la remoción de la turbidez

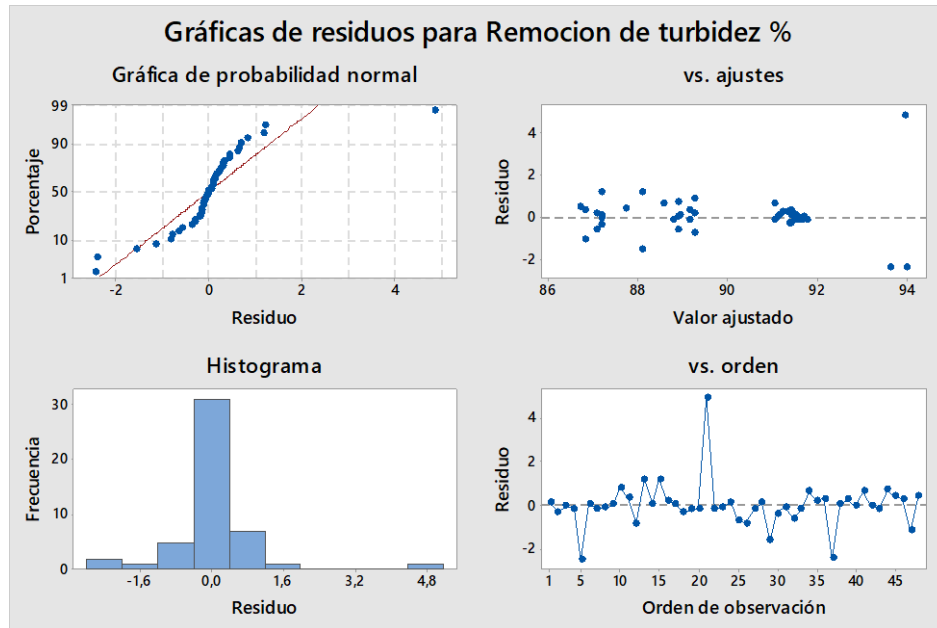


Anexo 15. Interacción para remoción de la turbidez %

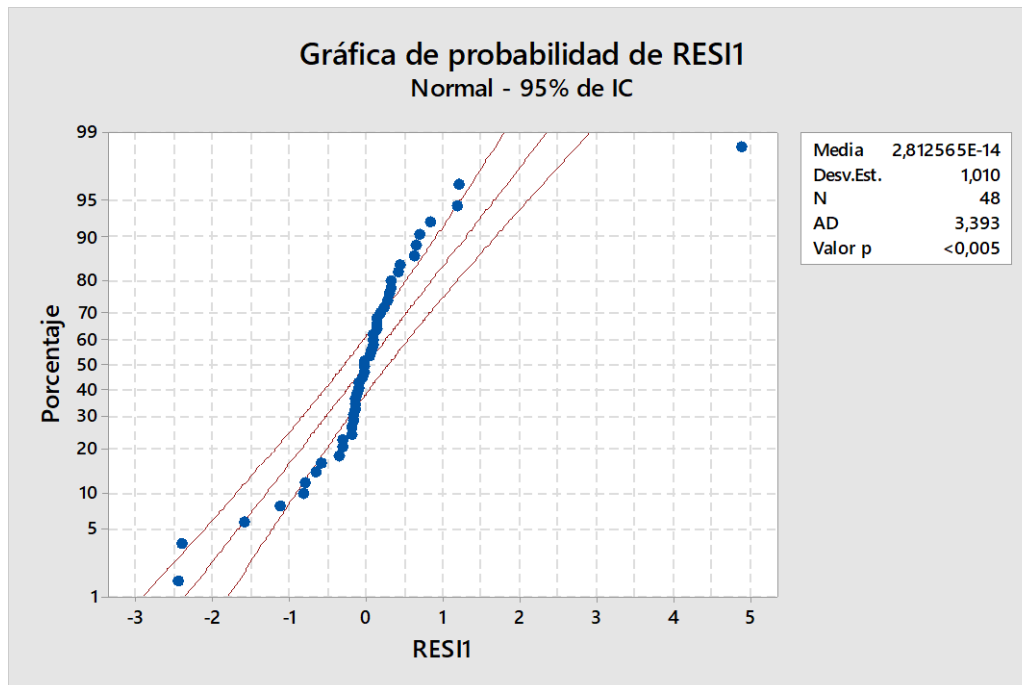


Anexo 16. Diagrama de Pareto





Anexo 17. Grafica de probabilidad RESI1





Anexo 18. Remoción vs dosis

