

**COAGULANTES NATURALES EXTRAIDOS DE LAS PLANTAS *Calotropis  
procera* y *Cordia sebestena* APLICADOS EN AGUAS CRUDAS DEL RIO  
GUATAPURI**

**AUTOR (ES):**

**LOPEZ DUARTE BRAYAN SAMIR  
MEJIA AHUMADA MARIA CAMILA**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR - CESAR  
2022**

**COAGULANTES NATURALES EXTRAIDOS DE LAS PLANTAS *Calotropis  
procera* y *Cordia sebestena* APLICADOS EN AGUAS CRUDAS DEL RIO  
GUATAPURI**

**AUTOR (ES):**

LOPEZ DUARTE BRAYAN SAMIR  
MEJIA AHUMADA MARIA CAMILA

**DIRECTOR:**

ING. YIM JAMES RODRIGUEZ DIAZ

**ASESOR:**

ING. OSCAR DAVID BELEÑO

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR - CESAR  
2022**

## **DEDICATORIA**

Principalmente a mis padres por su arduo trabajo, dedicación y apoyo incondicional, ya que fue de gran importancia para lograr este objetivo en mi vida, también a mis compañeros que a lo largo del ciclo dejaron su aporte.

**López Duarte Brayan Samir**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación como profesional. A mi familia, por su apoyo durante este proceso y a todos mis compañeros que estuvieron presentes en cada uno de los momentos vividos.

**Mejía Ahumada María Camila**



## **AGRADECIMIENTO**

Ante todo, agradecimiento infinito con Dios nuestro señor, por todas y cada una de sus bendiciones a lo largo de todo el proceso; de su mano siempre estuvo el apoyo de mis familiares en los cuales encontré la fuerza y ganas de salir adelante siempre y nos desfallecer en los momentos más difíciles.

A mis compañeros de carrera los cuales brindaron un aporte significativo, del mismo modo a mi gran equipo de trabajo detrás de todo el proceso de este proyecto, todos y cada uno son piezas fundamentales en el éxito alcanzado.

**López Duarte Brayan Samir**

Primeramente, gracias a Dios porque en los momentos difíciles y de angustia me dio la fuerza para no desfallecer. A mis padres por su apoyo incondicional, en estos años, a todos mis amigos y compañeros por su apoyo y comprensión en los momentos más difíciles.

Por último y no menos importante gracias al Ingeniero Yim Rodríguez por su perseverancia e interés en esta investigación tan significativa para nosotros.

**Mejía Ahumada María Camila**





**Universidad  
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



## **RESUMEN**

En el tratamiento del agua cruda, la coagulación representa un alto nivel de importancia porque permite separar y eliminar las partículas suspendidas en el agua, En el presente trabajo se evidencia la extracción y utilización de coagulantes naturales a partir de la semilla *Cordia sebestena* y el tallo de *Calotropis procera*, se realizó el estudio de las plantas y sus posibles capacidades coagulantes, sin embargo, encontrar sustancias en la naturaleza que provean remociones importantes y que además sean de fácil adquisición y bajo costo motiva la investigación en el área del tratamiento de las aguas crudas. Estas plantas no han sido estudiadas antes en algún proceso de coagulación por tal razón decidimos realizar la investigación y observar cual era el comportamiento de dichas plantas en este proceso de coagulación en las aguas del Rio Guatapurí.

## **ABSTRACT**

In the treatment of raw water, coagulation represents a high level of importance because it allows to separate and eliminate the particles suspended in the water, In the present work the extraction and use of natural coagulants from the seed *Cordia sebestena* and the stem of *Calotropis procera* is evidenced, the study of the plants and their possible coagulant capacities was carried out, however, finding substances in nature that provide important removals and that are also easy to acquire and low cost motivates research in the area of raw water treatment. These plants have not been studied before in some coagulation process for this reason we decided to carry out the research and observe what was the behavior of these plants in this coagulation process in the waters of the Guatapurí River.



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. TITULO DE PROYECTO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA .....</b>	<b>11</b>
<b>3. JUSTIFICACION.....</b>	<b>13</b>
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1 Objetivo General .....</b>	<b>15</b>
<b>4.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>15</b>
<b>5. MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>16</b>
<b>5.1 Antecedentes .....</b>	<b>16</b>
<b>5.2 Marco Teórico.....</b>	<b>18</b>
<b>5.2.1 El Agua .....</b>	<b>18</b>
<b>5.1.2 Parámetros fisicoquímicos del agua.....</b>	<b>19</b>
<b>5.2.3 Coagulación – Flocculación .....</b>	<b>21</b>
<b>5.2.4 Coagulantes Naturales .....</b>	<b>21</b>
<b>5.3 Marco Conceptual .....</b>	<b>23</b>
<b>5.4 Marco Contextual.....</b>	<b>24</b>
<b>5.5 Marco Legal .....</b>	<b>26</b>
<b>6. MARCO METODOLOGICO .....</b>	<b>28</b>
<b>6.1 Línea y Sub – Línea de Investigación .....</b>	<b>28</b>
<b>6.2 Tipo de Investigación .....</b>	<b>28</b>
<b>6.3 Nivel de Investigación.....</b>	<b>28</b>



<b>6.4 Población de Estudio</b> .....	28
<b>6.5 Muestra Poblacional</b> .....	28
<b>6.6 Diseño de la Investigación</b> .....	28
<b>6.7 Desarrollo Metodológico</b> .....	29
<b>6.7.1 Etapa 1:</b> Caracterización de los coagulantes extraídos a partir de las plantas Calotropis Procera y Cordia Sebestena. ....	29
<b>6.7.2 Etapa 2:</b> Determinación de las características fisicoquímicas (Turbidez, pH, Temperatura, Alcalinidad, SST y SSV) del agua cruda del Rio Guatapurí según la normatividad vigente Resolución 2115 del 2007. ....	30
<b>6.7.3 Etapa 3:</b> Comparación de la efectividad de los coagulantes orgánicos a través de las diferentes disposiciones de los tipos de coagulantes y dosis óptimas teniendo como variable la turbidez. ....	36
<b>7. RESULTADOS Y ANALISIS</b> .....	39
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	60

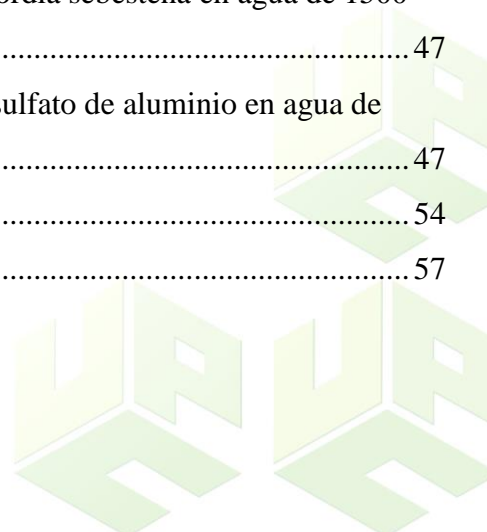


## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características Generales.....	24
Tabla 2. Normativa ambiental .....	26
Tabla 3. Procedimiento para la caracterización de la muestra de agua .....	31
Tabla 4. Resultados obtenidos en la caracterización de los coagulantes al 1% .....	39
Tabla 5. Resultados obtenidos en la caracterización de los coagulantes al 1% .....	39
Tabla 6 Resultados obtenidos de la caracterización del agua.....	40
Tabla 7. Resultados de la turbidez promedio .....	41
Tabla 8. Determinación de la reducción de turbidez del agua (150 NTU), dosis optima de Calotropis procera y Cordia sebestena .....	48
Tabla 9. determinación de la reducción de turbidez del agua de (150 NTU) con dosis optima del sulfato de aluminio .....	50
Tabla 10. Determinación de la reducción de turbidez del agua (576 NTU).....	50
Tabla 11. Caracterización de la operación del agua en baja turbidez.....	51
Tabla 12. Diseño factorial de un solo factor con múltiples niveles.....	52
Tabla 13. Descripción del factor.....	52
Tabla 14. Hoja de trabajo .....	53
Tabla 15. Descripción de medias.....	53
Tabla 16. Caracterización de la operación.....	55
Tabla 17. Diseño factorial de un solo factor con múltiples niveles.....	55
Tabla 18. Descripción de factor.....	55
Tabla 19. Hoja de trabajo .....	56
Tabla 20. Descripción de medias.....	56

## LISTA DE GRAFICAS

Figura 1. Departamento del Cesar .....	25
Figura 2. Obtención de dosis optima de coagulante de Calotropis procera en agua de 500 NTU.....	42
Figura 3. Obtención de dosis optima del coagulante de Cordia sebestena en agua de 500 NTU .....	43
Figura 4. Obtención de dosis optima del coagulante de sulfato de aluminio en agua de 500 NTU .....	43
Figura 5. Obtención de dosis optima del coagulante de Calotropis procera en agua de 1000 NTU .....	44
Figura 6. Obtención de dosis optima del coagulante de Cordia sebestena en agua de 1000 NTU .....	45
Figura 7. Obtención de dosis optima del coagulante de sulfato de aluminio en agua de 1000 NTU .....	45
Figura 8. Obtención de dosis optima del coagulante de Calotropis procera en agua de 1500 NTU .....	46
Figura 9. Obtención de dosis optima del coagulante de Cordia sebestena en agua de 1500 NTU .....	47
Figura 10. Obtención de dosis optima del coagulante de sulfato de aluminio en agua de 1500 NTU .....	47
Figura 11. Descripción del factor .....	54
Figura 12. Descripción del factor .....	57

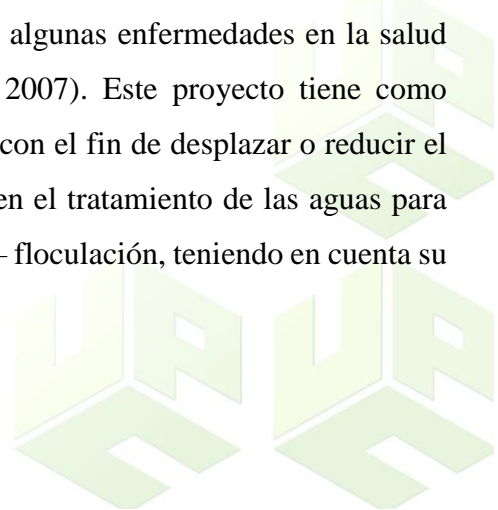


## INTRODUCCION

El agua es el principal compuesto en la naturaleza humana, teniendo en cuenta que de este depende en gran parte la calidad de vida (Villena, 2018). Ahora bien, el agua del cual se abastece cualquier población es proveniente de fuentes superficiales y subterráneas, estas aguas suelen tener partículas suspendidas y disueltas las cuales deberán ser removidas para así poder tener como resultado un agua potable apta para el consumo humano, estas a su vez tienen características particulares que deben cumplir como son olor, color, sabor (Lomazzi, 2010).

Por todo lo anterior es que se hace necesario el tratamiento del agua a través de los procesos de coagulación – floculación, en la actualidad existen distintos agentes químicos los cuales hacen que este proceso sea efectivo entre estos podemos encontrar sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, entre otros (Solorzano, 2009). Pero han surgido nuevas alternativas en este proceso, una de estas es el estudio de coagulantes orgánicos o naturales, siendo estos también muy efectivos dadas las características proteicas que estos contienen, en este caso fueron estudiadas dos plantas poco conocidas y que no han sido antes utilizadas en procesos de coagulación como lo son: *Calotropis procera* y *Cordia sebestena*.

La utilización de coagulantes naturales tiende a ser una técnica poco utilizada, pero con altas probabilidades de eficiencia, logran minimizar algunas enfermedades en la salud humana y reducir costos en la operación (Rodríguez, 2007). Este proyecto tiene como finalidad presentar una alternativa de coagulante natural con el fin de desplazar o reducir el uso de coagulantes convencionales usados actualmente en el tratamiento de las aguas para consumo humano, basados en el proceso de coagulación – floculación, teniendo en cuenta su comportamiento dentro del proceso.



## 1. TITULO DE PROYECTO

Coagulantes naturales extraídos de las plantas *Calotropis procera* y *Cordia sebestena* aplicados en aguas crudas del Rio Guatapurí.



## **2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA**

Las comunidades urbanas y rurales se abastecen a partir de fuentes de agua natural ya sean superficiales o subterráneas, estas fuentes de agua son impactadas de manera negativa debido a las diferentes actividades económicas desarrolladas por la población o en zonas aledañas a la fuente de abastecimiento. El agua puede llegar a contener una gran variedad de sustancias solubles e insolubles destacando las partículas coloidales, las cuales resultan complejas de remover, por su tamaño y por su carga eléctrica que les dificulta la aproximación entre ellas, por esta razón es importante agregar algunas sustancias que le ayuden a desestabilizarse y que puedan ser removidas un gran porcentaje de estas, (Guzmán, 2013).

En el artículo científico según, (Banchon et al. 2016) se afirma que desde los inicios de la década de los setenta en algunos países de Latinoamérica se fomentó la implementación de nuevas tecnologías para el tratamiento de agua potable, con esto empieza a surgir la importancia de coagulantes naturales que puedan disminuir en gran parte las sustancias encontradas en estas aguas crudas, desplazando de cierto modo los coagulantes químicos los cuales ocasionan un desafío en el proceso de tratamiento de aguas crudas.

Los coagulantes químicos aunque son una alternativa eficiente en cuanto a tratamiento de aguas, es importante resaltar que tiene algunos contras en cuanto a su utilización ya que estos están formados por reactivos que pueden llegar a ser consumidos por la población dado el residual que permanece en el agua tratada, algunos autores como (Guzmán et al. 2013) afirman que estos reactivos pueden llegar a causar enfermedades importantes en el organismo, así como también generar altos costos en la compra e implementación de dichos reactivos, no siendo poco pueden generar gran cantidad de lodos y por consiguiente ocasionar un impacto ambiental con respecto a los suelos. Por esto se considera importante la investigación de coagulantes naturales que comprende algunas ventajas frente a los coagulantes químicos,



**Universidad  
Popular del Cesar**

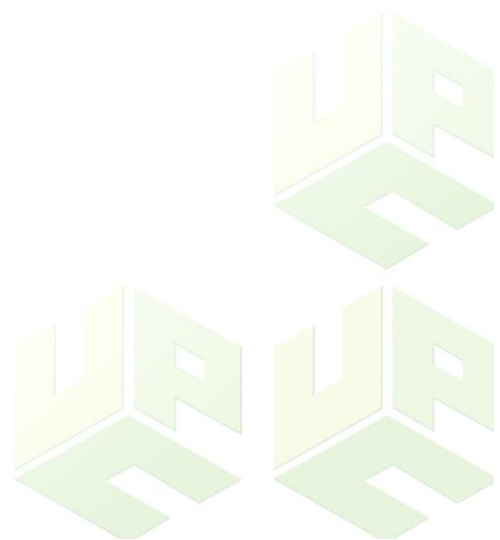
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Teniendo en cuenta lo anterior se deben tener en cuenta medidas estrictas para lograr la descontaminación de las aguas, siendo fundamental la búsqueda de nuevas alternativas fundamentadas en investigaciones sobre los distintos sistemas de tratamiento de aguas que opten por una mejor calidad del recurso hídrico.

¿Es factible el uso de coagulantes naturales a partir de las plantas *Cordia sebestena* y *Calotropis procera* en el tratamiento de agua cruda?

¿Qué tan eficiente puede llegar a ser los coagulantes a partir de las plantas *Cordia sebestena* y *Calotropis procera* en el tratamiento de agua cruda?



### **3. JUSTIFICACION**

Conforme al pasar del tiempo y todo lo relacionado que consigo lleva la evolución de la humanidad, evidenciamos un impactante menoscabo en nuestro medio ambiente, el cual se debe en gran parte a las diversas actividades de distintos tipos, entre las cuales cobran protagonismo los procesos industriales, agropecuarios, y actividades mineras las cuales se desarrollan a diario con el fin de conseguir un avance y desarrollo que permita la subsistencia como seres humanos, sin mediar todos los impactos que se generan a nuestros recursos naturales.

Una de las preocupaciones ambientales más estudiadas por (Šciban et al. 2009) es la contaminación de los recursos hídricos, generados por la industria textil, curtiembres, agroindustriales, entre otras. Entre las técnicas más utilizadas en el tratamiento de aguas es la coagulación y floculación, estos procesos se realizan con coagulantes químicos o naturales, los cuales son añadidos a las aguas con el fin de desestabilizar partículas coloidales para el desarrollo de la agregación de partículas formando grandes flóculos.

Evidenciando también que países en desarrollo como Colombia, difícilmente pueden asumir los costos de productos químicos importados para el tratamiento de aguas. Además, se presentan efectos nocivos sobre la salud humana y el medio ambiente, debido a que tienen muy baja biodegradabilidad en el suelo y agua, formando aglomerados residuos de lodos, los cuales tienen elevados niveles de toxicidad, generando enfermedades como Alzheimer, así como el hecho de que afectan considerablemente pH del agua tratada, (Vijayaraghavan et al. 2011).

Por ello es que surge la necesidad de modificar y tomar nuevas acciones en los procedimientos, insumos o materiales que son usados en las labores para el tratamiento de aguas, aprovechando la gran biodiversidad con las que cuenta Colombia y los posibles beneficios ecosistémicos que esta ofrece, es por ello que es fundamental e importante el

estudio e implementación de estas nuevas tecnologías las cuales son mucho más amigables con el medio ambiente y cada uno de sus recursos.





## 4. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia de los coagulantes orgánicos extraídos a partir de las plantas *Calotropis procera* y *Cordia sebestena* en el proceso simulado de Coagulación – Floculación en el tratamiento de aguas crudas provenientes del Río Guatapurí.

### 4.2 Objetivos Específicos

- ❖ Caracterizar los coagulantes extraídos a partir de las plantas *Calotropis procera* y *Cordia sebestena*.
- ❖ Determinar las características fisicoquímicas (Turbidez, pH, Temperatura, Alcalinidad, SST y SSV) del agua cruda del Río Guatapurí según la normatividad vigente Resolución 2115 del 2007.
- ❖ Comparar 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.



## 5. MARCO REFERENCIAL

### 5.1 Antecedentes

En este sub – capítulo se presentará las investigaciones más recientes con respecto al tema de investigación correspondiente que aportan importante información a nuestro proyecto.

**Carrascal Payares Yaneira Yineth, Duran Pérez María José, (2021). Coagulantes orgánicos extraídos de Jatropha y Moringa en el proceso de coagulación y floculación aplicado a aguas del Rio Guatapurí:** Esta investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia de los coagulantes extraídos de Jatropha Curcas y Moringa Olifeira. Para esta investigación se recolecto una muestra de agua del Rio Guatapurí ubicado en el departamento del Cesar, a dicha muestra se le realizo caracterización fisicoquímica, se realizó la extracción de los coagulantes, seguido de esto la estimación de las dosis optimas y finalmente con la realización del test de jarras se obtuvieron resultados importantes con respecto a la eficiencia en donde se evidencia que la Moringa obtuvo mayor eficiencia frente a la Jatropha, así como también se demostró que la turbidez de las soluciones coagulantes no tuvo influencia sobre la turbidez del agua a tratar.

**Vásquez Rosado Fanny Lorena, Zuleta Pérez Pedro Pablo, (2021). Uso de coagulantes orgánicos extraídos de los residuos de plátano y banano (Musa Padisisca) en el proceso de coagulación y floculación en el tratamiento de aguas crudas en el Rio Guatapurí:** Esta investigación tiene como propósito evaluar el comportamiento y la eficiencia de los coagulantes extraídos de los residuos de plátano y banano. Para este estudio de investigación se tuvo en cuenta la caracterización de la muestra de agua, la extracción y caracterización del coagulante, teniendo como resultados en el parámetro de turbiedad que

estos no presentan mayor influencia sobre la turbiedad del agua, así como también se tiene parámetros de eficiencia en donde se observó que el coagulante de banano obtuvo un mayor porcentaje con respecto al coagulante de plátano.

**Sierra Valest José Ignacio, (2021). Tratamiento de aguas residuales asociadas a explotación de carbón con coagulante orgánico (Quitosano) en la Jagua de Ibirico – Cesar):** Esta investigación tiene como objetivo principal evaluar la eficiencia del Quítosano como coagulante orgánico en aguas residuales, para esta investigación se tomaron muestras significativas de aguas residuales producidas en el PIT sur de la mina Jagua de Ibirico, teniendo como metodología de trabajo la caracterización fisicoquímica del agua, la determinación de dosis óptimas del coagulante y finalmente obteniendo como resultados que el Quitosano es una alternativa factible para el tratamiento de las aguas residuales de mina de carbón ya que se evidencia una eficiencia en remoción de turbidez, DQO, DBO y SST.

**Acevedo Picón Ernesto de Jesús, (2019). Uso de semillas de moringa (Moringa Oleífera) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de río negro, río de oro y quebrada Floridablanca, Santander:** Esta investigación propone el tratamiento de agua usando semillas de moringa con el fin de reemplazar el sulfato de aluminio, para llevar a cabo esta investigación se realizó la toma de muestra en Río de Oro, Río Negro y Quebrada Floridablanca, teniendo en cuenta una metodología de trabajo en donde se realiza inicialmente la caracterización fisicoquímica de la muestra, caracterización y determinación de dosis óptimas y finalmente en el desarrollo del test de jarras se obtuvieron remoción bastante importantes, llegando a ser superiores a al 90% en algunos casos.

**Panadero Delgado Evelyn Sabina, Posada Rodríguez Lina María, (2016). Eficiencia del coagulante natural a partir de la semilla *Jatropha Curcas* para aguas crudas evaluando variables fisicoquímicas del agua:** Esta investigación tiene como

propósito evaluar la eficiencia de coagulantes a partir de la semilla *Jatropha Curcas* para aguas cruda, la muestra de agua fue tomada en el Río Magdalena y la metodología de esta investigación se desarrolló en varias etapas teniendo dentro de estas la toma y caracterización de muestras, recolección de semillas y finalmente realizar el desarrollo del test de jarras; obteniendo resultados importante en donde se resalta que la turbidez tuvo una reducción general con respecto al coagulante químico, observando los resultados obtenidos haciendo énfasis en el coagulante orgánico se evidencia que tuvo un porcentaje máximo de remoción del 18% y un notorio aumento del color.

**Rodríguez Díaz Yim James, de La Cruz Frías Guillermo Antonio, López Mena Walner Enrique, Ricaurte Valdez Lineth, Morales Gutiérrez María Lucio, (2015). Uso de un polímero natural (Quitosano) como coagulante durante el tratamiento de agua para el consumo:** 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 desarrollar dicha metodología se realizó la siguiente metodología: toma y caracterización de la muestra, preparación de la solución coagulante, determinación de la dosis optima y evaluación de la eficiencia del coagulante por medio del test de jarra; para finalmente obtener que el Quitosano es un coagulante eficaz para el tratamiento de agua para consumo humano con turbidez de 100 y 1500 NTU, dado que presenta resultados de remoción para turbidez que superan el 96 %.

## **5.2 Marco Teórico**

### **5.2.1 El Agua**

El agua es un compuesto con características únicas, de gran importancia para la supervivencia, el más abundante en el medio ambiente y preciso en los procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernas el medio natural, (Fernández, 2012). Según Fernández



el agua es considerado el solvente universal más importante y que ayuda en la dispersión de sustancias con las que puede entrar en contacto el agua estas sustancias se pueden encontrar ya sean en: sólidos, líquidos o gaseosos y a su vez formar con estos iones, complejos solubles o insolubles, coloides o simplemente partículas dispersas con distintos tamaños y pesos, resaltando que las aguas pueden tener características físicas como el olor, color y sabor. Considerando todo lo anterior se estima que las poblaciones tienen la necesidad de poseer el recurso agua en una calidad propia para el consumo humano.

### **5.1.2 Parámetros fisicoquímicos del agua**

Según la CEPIS se estiman los parámetros importantes dentro de la calidad del agua, según las características físicas que estas puedan tener:

- ❖ **Turbiedad:** La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides, la turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado, estas medidas en unidades nefelométricas NTU, (CEPIS, 2004).
- ❖ **Sólidos y Residuos:** Se denomina así a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada. Según el tipo de agrupación que se da con el agua, los sólidos se encuentran suspendidos o disueltos, (CEPIS, 2004).
  - **Sólidos totales:** Corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua
  - **Sólidos disueltos:** También se pueden llamar sólidos filtrables, que son aquellos que se obtienen después de la evaporación de una muestra previamente filtrada.
  - **Sólidos en suspensión:** Corresponden a los sólidos presentes en el agua residual, exceptuando los solubles y los sólidos en fino estado coloidal. Estos



son considerados como aquellos que tienen un tamaño de partícula mayor a 1  $\mu\text{m}$  y son retenidos por medio de una filtración.

- **Sólidos volátiles y fijos:** Los sólidos volátiles son aquellos que se pierden por calcinación a 550°C, mientras que el material remanente se define como sólidos fijos. Entendiéndose de cierta manera que los sólidos volátiles corresponden a material orgánico y los sólidos fijos a material inorgánico.
- ❖ **Color:** Este parámetro se encuentra estrechamente relacionado con la turbiedad que se puede presentar en el agua, dando lugar a tonalidades oscuras o claras en las fuentes, así como también por el color puede evidenciarse la presencia de sustancias químicas o agentes contaminantes.
- ❖ **Olor y sabor:** El olor y el sabor están muy relacionados ya que este es el principal motivo por el cual los consumidores rechazan o aceptan consumir el agua, en términos generales el olor es un indicador de que en el agua tiene ausencia de sustancias contaminantes, así como el sabor que puede indicar que esta acta para el consumo humano.
- ❖ **Temperatura:** Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. En el agua existen varios factores que pueden incidir en la variación de las temperaturas, estos son los factores ambientales.
- ❖ **pH:** El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones que se pueden presentar con el pasar de los años en las redes de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección.

### 5.2.3 Coagulación – Floculación

El llamado proceso de Coagulación–floculación es un método útil para la disociación de partículas muy finas de naturaleza coloidal que presentan gran estabilidad en el agua, (Bermúdez et al. 2009). Según Bermúdez la coagulación actúa en función de las características del agua y de las partículas presentes, estas mismas definen el valor de los parámetros conocidos como pH, alcalinidad, color verdadero, turbiedad, temperatura, movilidad electroforética, fuerza iónica, sólidos totales disueltos, tamaño y distribución de tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión, etcétera.

Dentro del proceso de coagulación – floculación se tienen en cuenta los siguientes pasos:

- i. Mezcla Rápida:** dentro de la mezcla rápida lo que se busca es crear turbulencia o movimiento necesario para poner en contacto el coagulante con las partículas coloidales del agua.
- ii. Mezcla Lenta:** dentro de la mezcla lenta lo que se quiere lograr es mantener el agua mezclada y permitir el desarrollo de los flóculos.
- iii. Sedimentación:** en este proceso se decantan las partículas que quedan suspendidas en el recipiente.

En el proceso de coagulación se presentan etapas significativas como lo son: 1ra Fase: Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas existentes en la suspensión. 2da Fase: Precipitación y formación de componentes químicos que se polimerizan. 3ra Fase: Adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides. 4ta Fase: Adsorción mutua entre los coloides. 5ta Fase: Acción de barrido, (Lorenzo, 2006).

### 5.2.4 Coagulantes Naturales

Los coagulantes naturales son una fuente alternativa con gran potencial aún no explotado suficientemente; se producen de manera espontánea, debido a reacciones bioquímicas que ocurren en animales y en plantas. Por lo general, presentan una mínima o nula toxicidad y, en muchos casos, son productos alimenticios con alto contenido de

carbohidratos y de proteínas solubles en agua, algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial; en muchos lugares son utilizados, (Guzmán et al. 2013).

#### **5.2.5.1 *Cordia Sebestena***

Pequeño árbol de densa copa presenta hojas ovales o elípticas de colores verdes intensos y rugosos al tacto, este árbol porta numerosas flores hermafroditas con lóbulos irregulares, encrespados y de color anaranjado vivo; los frutos son drupas ovoides de color blanco que contienen de 1 – 4 semillas. Es una especie muy ornamental está limitado a zonas tropicales y subtropicales, se adapta a una amplia variedad de suelos, prefiriendo suelos arenosos y bien drenantes.

Los frutos son comestibles, estos no tienen un sabor agradable y tienen un consumo muy limitado, todas las partes de esta planta son ampliamente utilizadas en la medicina tradicional, (Puccio, 2018).

#### **5.2.5.2 *Calotropis Procera***

Es una planta de la familia de las apocináceas, esta se presenta en forma de arbusto y puede llegar a extenderse en varias ramificaciones, presenta hojas grandes, opuestas y sésiles, estas se encuentran abrazadas al tronco y predomina su color verde grisáceo; por otra parte sus flores son muy llamativas debido a su color púrpura, de 5 pétalos y que da lugar a un fruto redondo que puede alcanzar el tamaño de un mango, sin embargo, todas las partes de la planta producen un látex que puede ser tóxico, oxalato de calcio, que es utilizado como producto medicinal y farmacéutico, (Enrich, 2021).

La pared celular primaria de la fibra de *Calotropis Procera* se compone principalmente de celulosa, lípidos, proteínas y polisacáridos, similares a la pared celular primaria de las fibras de algodón, (Kamran et al. 2013), el autor hace énfasis en que este árbol tiene una importancia ambiental dado que beneficia a los procesos de control de erosión y la

estabilización de dunas; además de la revegetación de zonas áridas y proporciona sombra y refugio para algunos organismos. Es utilizada como pesticida adicional de ser venenoso para algunos mamíferos.

### **5.3 Marco Conceptual**

En este sub – capítulo se presenta un glosario de palabras referente al tema que se está investigando con el fin de dar a lector mayor claridad sobre la investigación.

- ❖ **Afluente:** hace referencia al cuerpo de agua cuya desembocadura no se produce en el mar, sino que lo hace en un río superior o de mayor importancia, (Marquez, 2021).
- ❖ **Agua cruda:** es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas, (Ullauri & Cordero, 2011).
- ❖ **Alcalinidad:** es una medida de la capacidad que tiene el agua para neutralizar estos ácidos y es debida a la presencia de bases débiles y fuertes, (Ponce et al. 2019).
- ❖ **Coagulación:** consiste en añadir al agua o agua residual determinados aditivos químicos con el objetivo de favorecer la sedimentación de materia coloidal no sedimentable o aumentar la rapidez de sedimentación por la formación de flóculos, (Guerrero & López, 2015).
- ❖ **Coagulante:** Son compuestos químicos que permiten reducir en el agua el crecimiento bacteriano, la presencia de algas, el color aparente y la turbidez del agua; debido a la desestabilización de los coloides que se encuentran suspendidos en ella, (Caldera et al. 2007)
- ❖ **Coagulante Naturales:** están compuestos principalmente en polímeros de origen natural extraídos de plantas, algas o animales. Entre estos encontramos polisacáridos y sustancias solubles en agua que actúan como agentes de coagulación y/o floculación, (Renault et al. 2009).



- ❖ **Contaminación:** es la presencia desmedida en el ambiente de “intrusos” que alteran las características de cualquier recurso natural, (Ruiz, 1999).
- ❖ **Eficiencia:** es la capacidad de lograr un efecto positivo en cuanto a la remoción de turbidez y color en un tratamiento, (Caldera et al. 20116).
- ❖ **Partícula:** se define en química como la menor porción de materia de ese cuerpo que conserva sus propiedades químicas, (La Materia, 2011).
- ❖ **Turbiedad:** es una expresión de la propiedad óptica que causa la luz al ser dispersada y absorbida en vez de transmitida sin cambios en la dirección del nivel de flujo a través de la muestra, (IDEAM, 2007).

#### 5.4 Marco Contextual

##### ❖ Municipio de Valledupar

Valledupar es la capital del departamento del Cesar, Colombia. Está ubicada al nororiente de la Costa Caribe colombiana, a orillas del río Guatapurí, en el valle del río Cesar formado por la Sierra Nevada de Santa Marta y la serranía del Perijá. La ciudad es un importante centro para la producción agrícola, agroindustrial y ganadera en la región comprendida entre el norte del departamento del Cesar y el sur del departamento de La Guajira.

**Tabla 1.**

##### Características Generales

CARACTERÍSTICA	DIMENSIÓN
Extensión	4.493 Km <sup>2</sup>
Nº de Habitantes	493.342
Corregimientos y Veredas	25 Corregimientos 102 Veredas





balneario Hurtado (Martínez & Zequeira, 2018).

## 5.5 Marco Legal

En este sub – capitulo se encuentra la normativa colombiana que rige para el recurso agua con respecto al tema en investigación.

**Tabla 2.**

### Normativa ambiental

LEYES	
<b>Ley 9/1979</b>	Por la cual se dictan medidas sanitarias.
<b>Ley 142/1994</b>	Ley de competencia, protección de los derechos de los usuarios, define de derecho privado de los servicios y reglas básicas de operación de los servicios intervención del estado en los servicios públicos, conforme a las reglas de competencia.
<b>Ley 373/1997</b>	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
DECRETOS	
<b>Decreto 1594/1984</b>	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III - Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.



**Decreto 1575/2007**

Por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.

### RESOLUCIONES

**Resolución 2115/2007**

Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano.

**Resolución 622/2020**

Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

---

Fuente: Autores, 2021



## **6. MARCO METODOLOGICO**

### **6.1 Línea y Sub – Línea de Investigación**

- ❖ Sostenibilidad y Gestión Ambiental
- ❖ Gestión Integral del Recurso Hídrico

### **6.2 Tipo de Investigación**

Según (Ruiz, 2019), considera que la investigación experimental está integrada por un conjunto de actividades metódicas y técnicas que se realizan para recabar la información y datos necesarios sobre el tema a investigar y el problema a resolver.

### **6.3 Nivel de Investigación**

Dentro de los niveles de investigación decidimos utilizar el nivel experimental, ya que responde a interrogantes, tiene como estudiar relaciones de causalidad y da a conocer el motivo, causa, efecto o circunstancia, (Noguera, 2003).

### **6.4 Población de Estudio**

La población de estudios para nuestra investigación es la red hidrológica de la cuenca del Rio Guatapurí.

### **6.5 Muestra Poblacional**

Para fines de la investigación el área de estudio está conformada por el agua cruda del Rio Guatapurí del municipio de Valledupar en el departamento del Cesar, tomando como punto específico la zona alta, media y baja del rio Guatapurí.

### **6.6 Diseño de la Investigación.**

El diseño de la investigación es fundamenta en un enfoque de tipo experimental debido a que en esta se manipularan una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. Dicho de otra forma, el experimento consistirá en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a

cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular, (Alonso et al. S.f).

Para realizar el modelo experimental se empleó el programa estadístico MINITAB 18, que es un programa integro de estadística básica y avanzada, ideal para analizar datos de investigaciones, que incluyan la estadística descriptiva, prueba de hipótesis, intervalos de confianza, análisis de varianza, entre otros; también cuenta con la visualización de gráficas.

## **6.7 Desarrollo Metodológico**

**6.7.1 Etapa 1:** Caracterización de los coagulantes extraídos a partir de las plantas *Calotropis Procera* y *Cordia Sebestena*.

- **Actividad 1.1: Extracción del coagulante**

Para la obtención de las muestras de la planta *Cordia sebestena* nos dirigimos al punto de muestreo ubicado en el barrio primero de mayo de la ciudad de Valledupar, allí se recolecto una muestra de 1 Kg de fruto y luego fue trasladado al laboratorio para realizar el respectivo análisis y tratamiento.

Para la obtención de las muestras de la panta *Calotropis procera* nos dirigimos al punto de muestreo ubicado en el municipio de Codazzi, allí se recolecto una muestra de 1,5 Kg de corteza o tallo y luego se trasladó al laboratorio para realizar el respectivo análisis y tratamiento (Anexo 1).

- ✓ *Cordia sebestena*: para el proceso de extracción se tiene en cuenta el siguiente método: inicialmente se realizó el descascarado del fruto para obtener de allí las semillas que este contiene, seguido de esto se realizó el proceso de secado por 12 horas al sol, luego se llevó al proceso de molienda o trituración para luego ser tamizada y así obtener un producto en polvo (Anexo 2).
- ✓ *Calotropis procera*: para el proceso de extracción de esta planta se realizó de la siguiente forma, se aprovechó el tallo de la planta, el cual fue sometido a trituración



o molienda en mortero o molino, finalmente fue sometido al proceso de tamizado (Anexo 3).

- **Actividad 1.2: Preparación del coagulante**

Inicialmente para preparar la solución madre de *Cordia sebestena* se tomó un recipiente al cual se le agregó 100 ml de agua destilada y 5 gr del coagulante previamente triturado y molido, finalmente se realizó la agitación hasta que la mezcla se denotó homogénea y finalmente obtener una solución al 5% P/V.

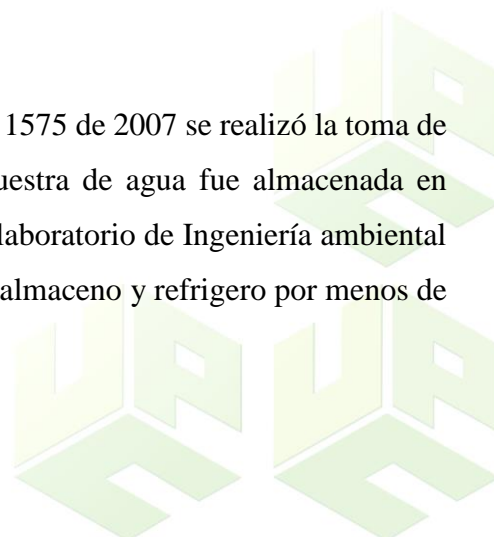
Por otra parte, para preparar la solución de *Calotropis procera* se toma un recipiente al cual se le agregan 100 ml de agua destilada y luego se procede a licuar la corteza o el tallo de la planta y agregar 5gr de este resultado al recipiente inicial, esta solución estará al 5% P/V.

Cabe resaltar que se realizó este mismo proceso para obtener un coagulante con concentración del 1% (Anexo 4).

**6.7.2 Etapa 2:** Determinación de las características fisicoquímicas (Turbidez, pH, Temperatura, Alcalinidad, SST y SSV) del agua cruda del Rio Guatapurí según la normatividad vigente Resolución 2115 del 2007.

- **Actividad 2.1: Toma de la muestra**

Según lo establecido en el artículo 27 del Decreto 1575 de 2007 se realizó la toma de muestra en distintos puntos del Rio Guatapurí, esta muestra de agua fue almacenada en recipientes plásticos, herméticos, y transportada hasta el laboratorio de Ingeniería ambiental y sanitaria de la Universidad Popular del Cesar donde se almaceno y refrigero por menos de 48 horas (Anexo 5).





- **Actividad 2.2: Caracterización inicial del agua**

En este inciso de la metodología se realizó la toma de los parámetros iniciales de la muestra de agua recolectada, dentro de los parámetros estudiados tenemos: turbiedad, pH, alcalinidad, temperatura, SST y SSV (Anexo 6).

**Tabla 3.**

**Procedimiento para la caracterización de la muestra de agua**

**PROCEDIMIENTO DE PARAMETROS**

**Turbiedad**

1. Purgue una celda limpia de cuarzo limpia con la muestra.
2. Llene con la celda con la muestra hasta la marquilla.
3. Llene la otra celda de cuarzo con un blanco de agua destilada.
4. Si utiliza un fotómetro, marque el método de análisis y siga los procedimientos indicados en la pantalla del instrumento. Lea y registre el dato.

**pH**

1. Mida 100 ml de cada una de las muestras a analizar.
2. Deje sedimentar las muestras 10 minutos.
3. Comenzando con la muestra de la salida, introduzca el electrodo a cada muestra en el agua sobrenadante de tal forma que el electrodo no toque el sedimento.
4. Deje el electrodo en el agua por espacio de 3-4 minutos. Anote el pH en la hoja de control.



5. Enjuague el electrodo con agua destilada y séquelo con papel toalla.

---

#### Alcalinidad de fenolftaleína

1. Se toman 50 ml de muestra en un matraz Erlenmeyer.
2. Se agregan 3 gotas de indicador de fenolftaleína.
  - Si se observaba una coloración rosa es porque existía alcalinidad a la fenolftaleína, y se pasaba al paso 3.
  - Si se mantenía incoloro, no presenta alcalinidad a la fenolftaleína y esta es cero (0).
3. Se titula la muestra con solución de ácido sulfúrico 0.02N hasta su decoloración.
4. Se toma la lectura de solución titulante en mililitros de ácido agregado.
5. Se reemplaza en la ecuación y calculamos la alcalinidad a la fenolftaleína:

#### Alcalinidad

$$\frac{mg}{L} CaCO_3 = \frac{V_t * N_t * P_{eq-gr} CaCO_3 * 1000}{V_m}$$

#### Alcalinidad Total

1. Se toman 50 ml de muestra en un matraz Erlenmeyer.
2. Agregamos 3 gotas del indicador anaranjado de metilo.



- Si resultaba una coloración amarilla, es porque existía alcalinidad al Naranja de Metilo, y se pasaba al paso 3.
  - Si daba una coloración naranja, no presenta alcalinidad y esta es cero (0). 40
3. Titulamos la muestra con solución de ácido sulfúrico 0.02N, hasta que viraba a color naranja (correspondiente a PH = 4.5).
  4. Tomamos la lectura de solución titulante en mililitros de ácido agregado.
  5. Reemplazamos en la ecuación y calculamos la alcalinidad Total:

$$\frac{mg}{L} CaCO_3 = \frac{V_t * N_t * P_{eq-gr} CaCO_3 * 1000}{V_m}$$

Para la toma de temperatura se hace necesaria la utilización de un termómetro

### **Temperatura**

1. Se toma un poco de muestra en un recipiente
2. Luego se introduce el termómetro en el recipiente y se espera un rango de tiempo entre 3 – 5 minutos.

### **SST (Solidos Suspendidos Totales)**

1. Preparación del filtro de fibra de vidrio: Siempre maneje el filtro mediante pinzas metálicas y/o micro espátula metálica. No manipule el filtro con la mano.



2. Marque cada cápsula de aluminio con un número, de forma consecutiva.
3. Coloque el disco sobre el soporte, con el lado rugoso hacia arriba, aplique vacío.
4. Lave el disco con tres porciones sucesivas de 20 ml de agua destilada, medidos con probeta.
5. Deje el vacío durante 1 minuto adicional para secar el disco.
6. Cuidadosamente y con la ayuda de una micro espátula o de unas pinzas, retire el disco y colóquelo dentro de la cápsula de aluminio correspondiente.
7. Seque el conjunto (cápsula de aluminio + filtro) en el Horno precalentado a 105°C por 1 h.
8. Lleve el conjunto a un desecador y deje enfriar aproximadamente por 15 minutos, hasta temperatura ambiente.
9. Pese y registre el peso obtenido (Peso 1)
10. Repita el ciclo de secado, enfriado y pesado.

Procedimiento de la muestra:

1. Saque del desecador el conjunto correspondiente a la muestra que va a procesar. Instale el filtro en el equipo de filtración. Haga vacío en el sistema y fije el disco con una pequeña cantidad de agua destilada.



2. Agite invirtiendo el recipiente de la muestra varias veces.
3. De la muestra recién agitada, tome rápidamente una alícuota medida con probeta, transfiera cuantitativamente al filtro y registre el volumen total filtrado.
4. Deje el vacío por un minuto más para retirar el exceso de humedad del filtro.
5. Retire cuidadosamente el disco con ayuda de una micro espátula y colóquelo en la cápsula de aluminio correspondiente.
6. Seque el conjunto en el Horno a 103-105°C, durante 1 hora.
7. Lleve el conjunto a un desecador y deje enfriar aproximadamente por 15 minutos, hasta temperatura ambiente.
8. Pese y registre el peso
9. Repita el ciclo de secado, enfriado y pesado. Regístrese el nuevo peso, (Peso 2).

$$\frac{mg}{L} SST = \frac{(p2 - p1) * 1000}{Vm}$$

1. Tomando la muestra de la determinación anterior de SST, llevar a calcinación los crisoles en una mufla a 550°C.
2. Usualmente se requieren de 15 – 20 minutos en la mufla.

**SSV (Solidos Suspendidos  
Volátiles)**

3. Posterior a este tiempo, parar el crisol a un desecador para tener un balanceo de temperatura y pesar.
4. Repetir el ciclo del secado, enfriamiento en el desecador, pesado hasta tener un peso constante (Peso 3).

$$\frac{mg}{L} SSV = \frac{(p3 - p2) * 1000}{Vm}$$

Fuente: Métodos de análisis fisicoquímicos del agua.

**6.7.3 Etapa 3:** Comparación de la efectividad de los coagulantes orgánicos a través de las diferentes disposiciones de los tipos de coagulantes y dosis óptimas teniendo como variable la turbidez.

- **Actividad 3.1: Preparación de agua turbia sintética para la obtención de dosis óptimas**

Para la obtención de la dosis óptima de los coagulantes se utilizaron muestras de agua con diferente turbidez: baja 500 NTU, media 1000 NTU y alta 1500 NTU, para lo cual fue necesario la preparación de agua turbia sintética (ATS). Este modelo según (López et al., 2008) no representa el agua real de ninguna ciudad, 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 ATS debido a la dificultad de toma de muestras constantes debido a la pandemia producida por el COVID-19. Fue preparada empleando la metodología sugerida por (Okuda, W. Baes, W. Nishijima, & M. Okada, 2001) y (Asrafuzzaman, Fakhruddin, & Hossain, 2011) Se adicionaron diferentes cantidades de caolín en 15 litros de agua de grifo hasta obtener valores de turbidez cercanos a los valores establecidos como bajo, medio y alto. Para turbidez baja se agregaron 15 gramos, para agua

de turbidez media de agregaron 55 gramos y para turbidez alta se adicionaron 70 gramos. Dicha suspensión se mezcló con un agitador de forma continua para lograr la dispersión uniforme; transcurrido ese tiempo, se dejó reposar durante 24 horas para la completa hidratación del material arcilloso (Anexo 7).

- **Actividad 3.2: Test de Jarras**

Para simular el proceso de coagulación – floculación se realizará la implementación de la prueba de jarras que teniendo en cuenta a (Rojas, 2002) el procedimiento es el siguiente:

- ✓ Se llena cada una de las jarras o vasos de precipitado con un volumen de 2000 ml y los colocaremos en el equipo de prueba de Jarras
- ✓ Las 5 primeras jarras se les asigna una dosis (ppm), dejando la jarra 6 como control.
- ✓ Se enciende el equipo de prueba de jarras y se programan las paletas para girar entre 110 y 150 rpm. Preferiblemente 130 rpm.
- ✓ Luego se adicionan los volúmenes (ml) de solución del coagulante (Calotropis Procera y Cordia Sebestena) a las 5 primeras jarras correspondientes a las dosis (ppm) asignadas en el punto anterior y que se quieren conformar en las respectivas jarras
- ✓ Se deja mezclar por 1 minuto a las revoluciones asignadas después de la adición del coagulante (Mezcla Rápida).
- ✓ Luego se reduzca la velocidad de agitación entre 30 y 40 rpm durante 20 min exactos (Mezcla Lenta).
- ✓ Tener en cuenta el tiempo que tardan en formarse los primeros flóculos visibles para cada vaso.
- ✓ Se apagan las paletas y se retiran cuidadosamente sin generar rompimiento del floc formado y deje sedimentar por 30 min (Reposo).
- ✓ Por último, Extraiga un volumen del clarificado en cada jarra con el cuidado de no generar suspensión del sedimentado y determine analíticamente la turbiedad, tomándola como parámetro de referencia.



- ✓ Repita el proceso hasta determinar el rango adecuado y que la mejor remoción de turbidez se de en las jarras intermedias (jarra 3).
- ✓ Una vez se establecido el rango adecuado que presenta la mejor remoción, se extraerá un volumen del clarificado en cada jarra con el cuidado de no generar suspensión del sedimentado y se determinará analíticamente la turbiedad (Anexo 6).
- **Actividad 3.3: Análisis de la eficiencia de los coagulantes de *Calotropis procera* y *Cordia sebestena* en la muestra de agua**

Finalmente se deben obtener los resultados de los parámetros de la muestra de agua después del proceso de coagulación – floculación, se debe realizar la digitalización de los datos para obtener las gráficas donde se denote la eficiencia de remoción de los coagulantes y obteniendo de esa forma la dosis optima de cada coagulante expresada en ppm.



## 7. RESULTADOS Y ANALISIS

Etapa 1: Caracterización de la solución coagulante

**Tabla 4.**

**Resultados obtenidos en la caracterización de los coagulantes al 1%**

SOLUCION COAGULANTE	pH	TURBIDEZ
<i>Cordia sebestena</i> 1%	6,02	93
<i>Calotropis procera</i> 1%	5,58	86

Fuente: Autores, 2022.

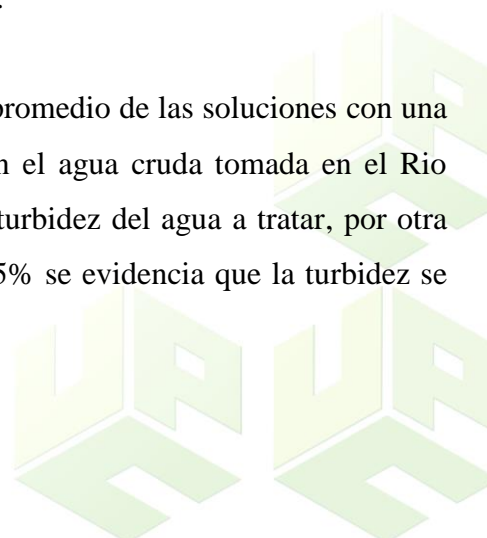
**Tabla 5.**

**Resultados obtenidos en la caracterización de los coagulantes al 1%**

SOLUCION COAGULANTE	pH	TURBIDEZ
<i>Cordia sebestena</i> 5%	5,56	158
<i>Calotropis procera</i> 5%	5,52	137

Fuente: Autores, 2022.

Como se observa en la tabla N°4 y 5 la turbidez promedio de las soluciones con una concentración al 1% son inferiores a las presentadas en el agua cruda tomada en el Rio Guatapurí por lo cual no tendría cierta influencia en la turbidez del agua a tratar, por otra parte, la solución preparada con una concentración del 5% se evidencia que la turbidez se mantiene similar a la reportada en la temporada seca.



Etapa 2: Determinación de la caracterización fisicoquímica del Río Guatapurí.

**Tabla 6**

**Resultados obtenidos de la caracterización del agua**

TEMPORADA	TURBIDEZ (NTU)	pH	TEMPERATURA (°C)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	ALCALINIDAD (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
<b>Seca</b>	150	7,03	26,2	224	144	22
<b>Lluvia</b>	576	7,02	25,3	410	66	16

Fuente: Autores, 2022.

La tabla N° 6 se evidencian ciertos parámetros de la calidad del agua cruda del río Guatapurí en las dos temporadas antes mencionadas, las cuales se caracterizaron por presentar valores promedio de pH de 7,03 y 7,02 unidades, dichos valores se consideran aceptables según la normativa vigente en Colombia de calidad de agua para consumo humano, por el contrario se observa que los valores de turbiedad de las dos muestras (150 y 576 NTU); no cumplen con lo establecido en la resolución 2115 donde el valor máximo aceptable es de 2 NTU, además la turbidez en temporada lluviosa es mayor debido a la cantidad de solidos suspendidos totales presentes inducidos por la degradación del suelo y escorrentías superficiales (Benjumea, Suarez & Villabona, 2018). Teniendo en cuenta los resultados de alcalinidad para las muestras de temporada seca y lluviosa se puede deducir que las dos aguas muestreadas presentan valores bajos 22 mg/L de CaCO<sub>3</sub> y 16 mg/L de CaCO<sub>3</sub> respectivamente cumpliendo con el valor máximo permisible de 200 mg/l de CaCO<sub>3</sub> consignado en la norma a la cual se viene haciendo alusión.

Los resultados de este estudio serán comparados con los obtenidos en un anterior trabajo realizado para aguas del; río Guatapurí por (Rodríguez, De la Cruz, López, Ricaurte, & Morales, 2015) en el cual se obtuvo una turbidez de 100 NTU durante el período seco; se observa que los parámetros fisicoquímicos del agua cruda no presentan variaciones considerables en pH, SST y alcalinidad, ya que sus valores fueron: pH de 7.49; SST de 266,66 mg/l y alcalinidad de 38 mg/l de CaCO<sub>3</sub>.



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

### 3.1 Preparación del agua turbia sintética (ATS)

La tabla 7 muestra los resultados promedios de la turbidez de agua preparada según lo presentado en la metodología para poder obtener las dosis óptimas en turbidez

**Tabla 7.**

#### **Resultados de la turbidez promedio**

<b>TURBIDEZ PROMEDIO</b>	<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
	500	1001	1500
Desviación estándar	3	6	3
Coef. De Variación	0,55	0,57	0,19
Varianza	8	32	9

Fuente: Autores, 2022.

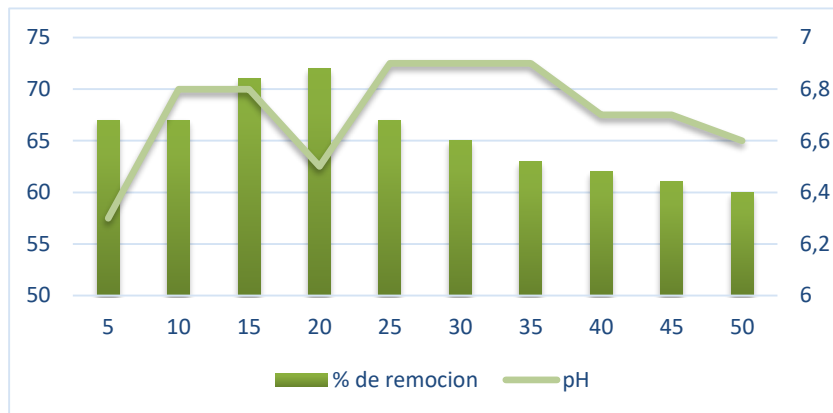


3.2: Determinación de la dosis optima de coagulantes natural en las diferentes configuraciones de tipo y concentración de coagulantes utilizando ATS.

### DETERMINACION DOSIS OPTIMA EN AGUAS TURBIDEZ PROMEDIO DE 500 NTU

**Figura 2.**

Obtención de dosis optima de coagulante de *Calotropis procera* en agua de 500 NTU.



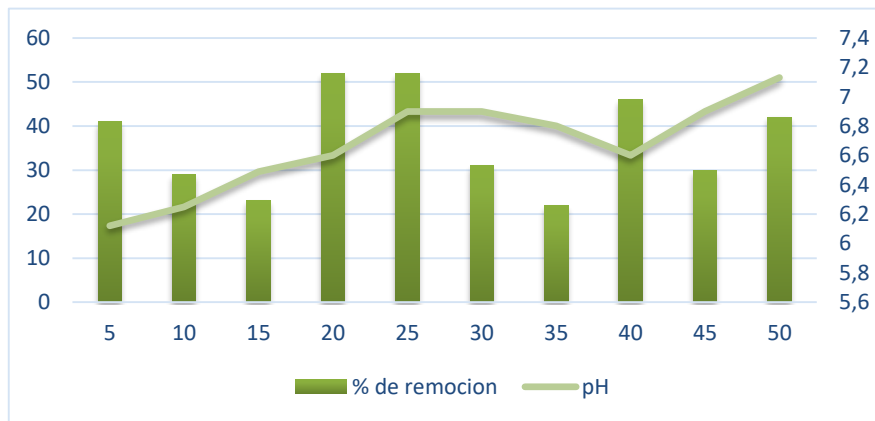
Fuente: Autores, 2022.

Se determinó que la dosis optima es de 15 mg/l, debido a que esta representa la mayor remoción de turbidez, además de no disminuir el pH del agua por valores debajo de los establecidos en la resolución 2115 de 2007.



**Figura 3.**

**Obtención de dosis óptima del coagulante de *Cordia sebestena* en agua de 500 NTU**

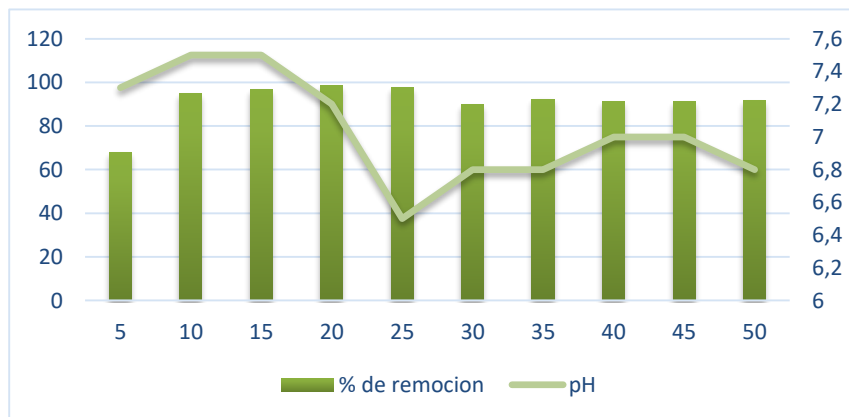


Fuente: Autores, 2022.

Se determinó que la dosis óptima es de 20 mg/l, debido a que esta representa la mayor remoción de turbidez, además de no disminuir el pH del agua por valores debajo de los establecidos en la resolución 2115 de 2007.

**Figura 4.**

**Obtención de dosis óptima del coagulante de sulfato de aluminio en agua de 500 NTU**



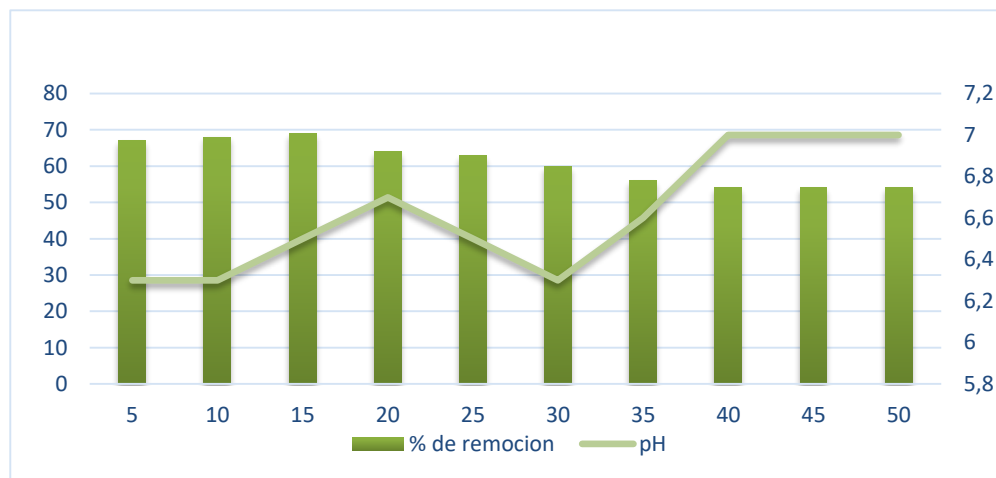
Fuente: Autores, 2022.

Se determinó que la dosis optima es de 20 mg/l, debido a que esta representa la mayor remoción de turbidez, además de no disminuir el pH del agua por valores debajo de los establecidos en la resolución 2115 de 2007.

### DETERMINACION DOSIS OPTIMA EN AGUAS TURBIDEZ PROMEDIO DE 1000 NTU.

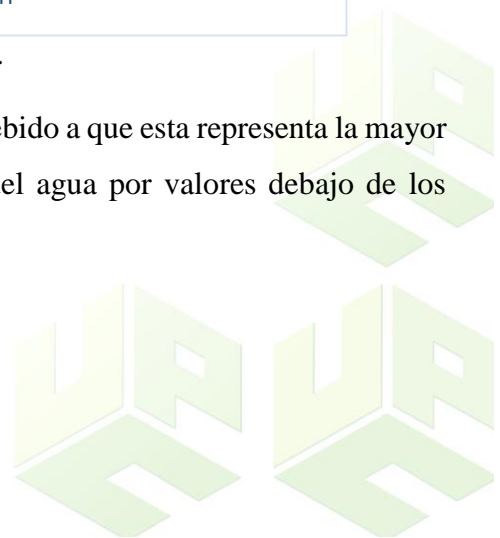
**Figura 5.**

**Obtención de dosis optima del coagulante de *Calotropis procera* en agua de 1000 NTU**



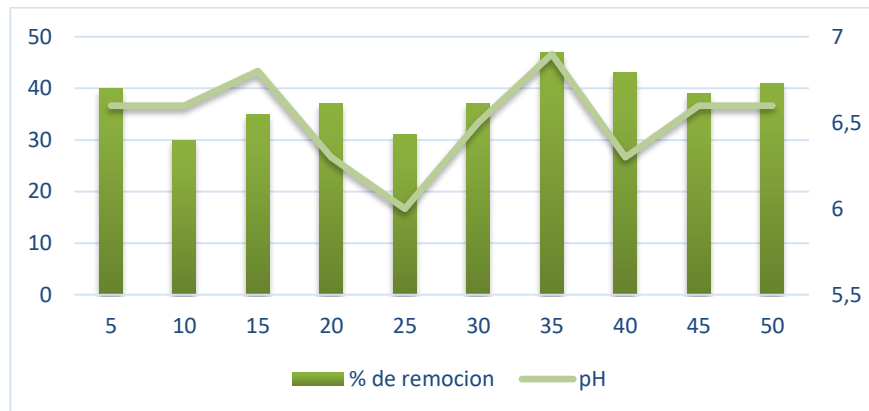
Fuente: Autores, 2022.

Se determinó que la dosis optima es de 15 mg/l, debido a que esta representa la mayor remoción de turbidez, además de no disminuir el pH del agua por valores debajo de los establecidos en la resolución 2115 de 2007.



**Figura 6.**

**Obtención de dosis óptima del coagulante de *Cordia sebestena* en agua de 1000 NTU**

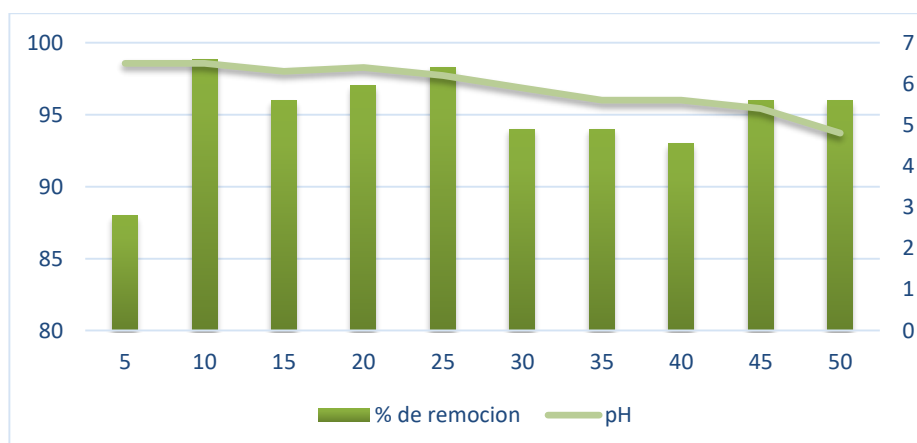


Fuente: Autores, 2022.

Se determinó que la dosis óptima es de 35 mg/l, debido a que esta representa la mayor remoción de turbidez, además de no disminuir el pH del agua por valores debajo de los establecidos en la resolución 2115 de 2007.

**Figura 7.**

**Obtención de dosis óptima del coagulante de sulfato de aluminio en agua de 1000 NTU**



Fuente: Autores, 2022.

Se determinó que la dosis optima es de 10 mg/l, debido a que esta representa la mayor remoción de turbidez, además de no disminuir el pH del agua por valores debajo de los establecidos en la resolución 2115 de 2007.

### DETERMINACION DOSIS OPTIMA EN AGUAS TURBIDEZ PROMEDIO DE 1500 NTU

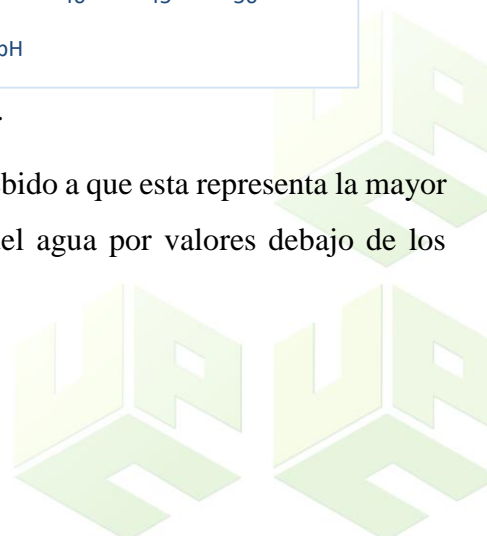
**Figura 8.**

**Obtención de dosis optima del coagulante de *Calotropis procera* en agua de 1500 NTU**



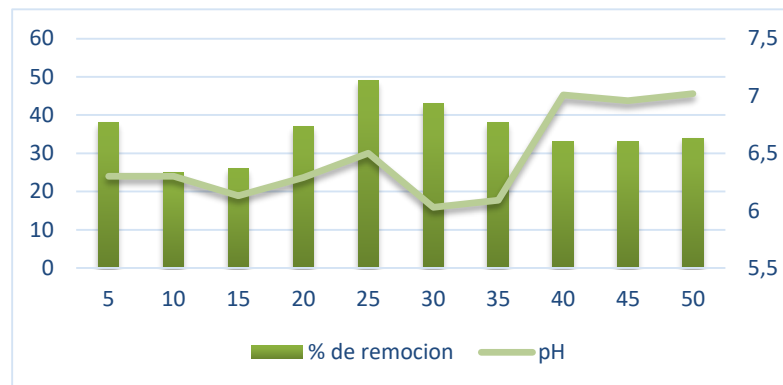
Fuente: Autores, 2022.

Se determinó que la dosis optima es de 15 mg/l, debido a que esta representa la mayor remoción de turbidez, además de no disminuir el pH del agua por valores debajo de los establecidos en la resolución 2115 de 2007.



**Figura 9.**

**Obtención de dosis óptima del coagulante de *Cordia sebestena* en agua de 1500 NTU**

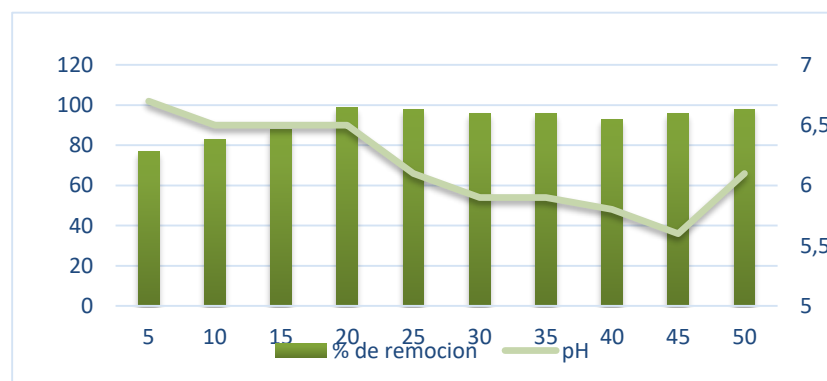


Fuente: Autores, 2022.

Se determinó que la dosis óptima es de 25 mg/l, debido a que esta representa la mayor remoción de turbidez, además de no disminuir el pH del agua por valores debajo de los establecidos en la resolución 2115 de 2007.

**Figura 10.**

**Obtención de dosis óptima del coagulante de sulfato de aluminio en agua de 1500 NTU**



Fuente: Autores, 2022.

Se determinó que la dosis optima es de 20 mg/l, debido a que esta representa la mayor remoción de turbidez, además de no disminuir el pH del agua por valores debajo de los establecidos en la resolución 2115 de 2007.

De los resultados obtenidos en las gráficas anteriores se observa el registro de las dosis óptimas para cada coagulante en las distintas turbiedades presentadas, donde se detalla que la solución coagulante de *Calotropis procera* fue satisfactoria debido a que los porcentajes de remoción obtenidos en la práctica se encuentran entre el 60% – 75%, que comparado con la solución coagulante química sulfato de aluminio se encuentran similitudes en los porcentajes de remoción. Por el contrario, la solución coagulante de *Cordia sebestena* no tuvo una reacción satisfactoria en el agua debido a los bajos porcentajes de remoción encontrados en las distintas corridas realizadas, dicha afirmación se asocia a la proporción de color del coagulante el cual hace un aporte negativo en el agua tratada.

Una vez determinada las dosis optimas se procedió a comparar dichas dosis con los 3 tipos de coagulantes en las muestras de agua tomada. Para la muestra de agua N°1 se aplicaron dosis optimas encontradas en aguas de 150 NTU siendo el *Cordia sebestena* (15 mg/l), *Calotropis procera* (15 mg/l) y el sulfato de aluminio (10 mg/l).

**Tabla 8.**

**Determinación de la reducción de turbidez del agua (150 NTU), dosis optima de *Calotropis procera* y *Cordia sebestena***

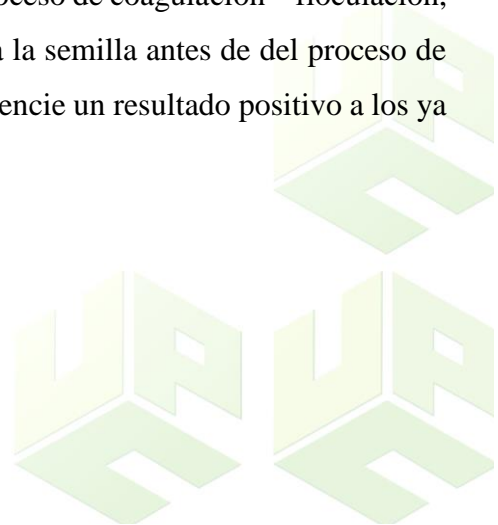
BLOQUE	TIPODE COAGULANTE	DOSIS DE COAGULANTE (MG/LT)	REMOCION DE TURBIDEZ (%)	pH
1	Prueba	0	52,8	7,0
1	<i>Cordia sebestena</i>	15	47,3	6,3
1	<i>Calotropis procera</i>	15	78,9	6,9
1	Sulf. de Aluminio	15	96,6	6,5



2	Prueba	0	53,1	7,3
2	<i>Cordia sebestena</i>	15	48,1	6,5
2	<i>Calotropis procera</i>	15	79,9	6,8
2	Sulf. de Aluminio	15	96,0	6,7
3	Prueba	0	52,4	7,2
3	<i>Cordia sebestena</i>	15	48,7	6,2
3	<i>Calotropis procera</i>	15	82,7	7,0
3	Sulf. de Aluminio	15	88,9	6,9

Fuente: Autores, 2022

En la tabla N° 8 se observa que la dosis optima se encuentra en 15 mg/L para ambos coagulantes naturales, que al comparar con los resultados obtenidos del coagulante sulfato de aluminio encontrado en la tabla N° 9 se denota una similitud en los porcentajes de remoción para el caso de la solución coagulante *Calotropis procera*. Por otra parte, la solución coagulante *Cordia sebestena* en cuanto a su eficiencia en la remoción de turbidez fue baja, comparada con los resultados obtenidos de la prueba en blanco se observa una gran diferencia al ser estos últimos mayores en porcentaje de remoción, esto pudo deberse a ciertas propiedades aceitosas de la semilla, como lo denota (Barreto & Vargas, 2019) en su investigación eficiencia de la semilla de aguacate en el proceso de coagulación – floculación, en esta sugiere que se le realice la extracción del aceite a la semilla antes de del proceso de coagulación – floculación y esto con el fin de que se evidencie un resultado positivo a los ya estudiados en las plantas.





**Tabla 9.**

**determinación de la reducción de turbidez del agua de (150 NTU) con dosis óptima del sulfato de aluminio**

BLOQUE	TIPO DE COAGULANTE	DOSIS DE COAGULANTE (MG/LT)	REMOCION DE TURBIDEZ (%)	pH
1	Prueba	0	50,1	7,6
1	<i>Cordia sebestena</i>	10	43,6	6,2
1	<i>Calotropis procera</i>	10	77,6	7,5
1	Sulf. de Aluminio	10	97,2	7,2
2	Prueba	0	50,7	7,6
2	<i>Cordia sebestena</i>	10	43,9	6,4
2	<i>Calotropis procera</i>	10	75,3	7,0
2	Sulf. de Aluminio	10	97,1	7,0
3	Prueba	0	52,3	7,6
3	<i>Cordia sebestena</i>	10	44,2	6,5
3	<i>Calotropis procera</i>	10	75,8	7,1
3	Sulf. de Aluminio	10	99,3	6,9

Fuente: Autores, 2022.

**Tabla 10.**

**Determinación de la reducción de turbidez del agua (576 NTU)**

BLOQUE	TIPO DE COAGULANTE	DOSIS DE COAGULANTE (MG/LT)	REMOCION DE TURBIDEZ (%)	pH
1	Prueba	0	48,2	7,5
1	<i>Cordia sebestena</i>	20	49,8	6,6
1	<i>Calotropis procera</i>	20	81,6	6,8



1	Sulf. de Aluminio	20	98,5	7,0
2	Prueba	0	51,3	7,4
2	<i>Cordia sebestena</i>	20	47,6	6,8
2	<i>Calotropis procera</i>	20	81,9	7,0
2	Sulf. de Aluminio	20	97,9	7,2
3	Prueba	0	46,7	7,6
3	<i>Cordia sebestena</i>	20	49,3	6,7
3	<i>Calotropis procera</i>	20	83,3	6,9
3	Sulf. de Aluminio	20	97,1	7,1

Fuente: Autores, 2022.

En la tabla N°10 encontramos que la dosis óptima para las soluciones coagulantes *Calotropis procera*, *Cordia sebestena* y sulfato de aluminio se encuentran en un mismo punto es decir en 20 mg/L pero se sostiene y se confirma que las soluciones con porcentajes de remoción más eficientes son las soluciones coagulantes *Calotropis procera* y sulfato de aluminio, teniendo en cuenta que las solución de coagulante *Cordia sebestena* nuevamente presenta porcentajes de remoción bajos tal como se presenta en la tabla N°8.

Todos los datos resultantes en las tablas anteriores se analizaron para efectuar el procesamiento estadístico de los datos mediante gráficos, por esta razón se realizó el experimento con solo dos niveles para cada uno de los factores a considerar, se dividieron los diseños teniendo en cuenta el tipo de turbidez que presentaba el agua los cuales fueron (150 NTU y 576 NTU).

#### **Análisis de resultados del agua de baja turbidez (150 NTU)**

**Tabla 11.**

#### **Caracterización de la operación del agua en baja turbidez**

#### **CARACTERÍSTICAS DE LA OPERACIÓN**



<b>Volumen</b>	2L
<b>Tipo de Coagulante</b>	( <i>Calotropis procera</i> , <i>Cordia sebestena</i> )
<b>Dosis de Coagulante</b>	(10 mg/lt , 20 mg/lt)
<b>Tiempo de Mezclado</b>	(2min - 20 min)
<b>Velocidad de Mezclado</b>	(120 rpm - 50 rpm)

Fuente: Autores, 2022.

El procedimiento general para resolver el diseño se resume en los siguientes puntos:

1. Se realiza un análisis previo de los datos utilizando técnicas descriptivas:
2. La variable respuesta fue el % de eficiencia, mientras que el único factor: el tipo de coagulante con 4 niveles. Como se presenta a continuación:

**Tabla 12.**

**Diseño factorial de un solo factor con múltiples niveles**

<b>FACTORES</b>	<b>1</b>	<b>REPLICAS</b>	<b>3</b>
<b>Corridas base</b>	4	<b>Total Corridas</b>	12
<b>Bloques base</b>	1	<b>Total Bloques</b>	3
<b>Numero de Niveles: 4</b>			

Fuente: Autores, 2022.

**Tabla 13.**

**Descripción del factor**

<b>Factor</b>	<b>Niveles</b>	<b>VARIABLES</b>
<b>Tipo de Coagulante</b>	4	<i>Calotropis procera</i> <i>Cordia sebestena</i> Sulfato de Aluminio



Control

Fuente: Autores, 2022.

Una vez obtenidos los resultados se sintetizan los datos en una hoja de trabajo.

**Tabla 14.**

**Hoja de trabajo**

ORDEN	CORRIDAS	BLOQUE	T. DE COAGULANTE	REMOCION DE TURBIDEZ (%)
1	1	1	Prueba	50,1
2	2	1	<i>Cordia sebestena</i>	43,6
3	3	1	<i>Calotropis procera</i>	77,6
4	4	1	Sulf. de Aluminio	97,2
5	5	2	Prueba	50,7
6	6	2	<i>Cordia sebestena</i>	43,9
7	7	2	<i>Calotropis procera</i>	75,3
8	8	2	Sulf. de Aluminio	97,1
9	9	3	Prueba	52,3
10	10	3	<i>Cordia sebestena</i>	44,2
11	11	3	<i>Calotropis procera</i>	75,8
12	12	3	Sulf. de Aluminio	99,3

Fuente: Autores, 2022

**Tabla 15.**

**Descripción de medias**

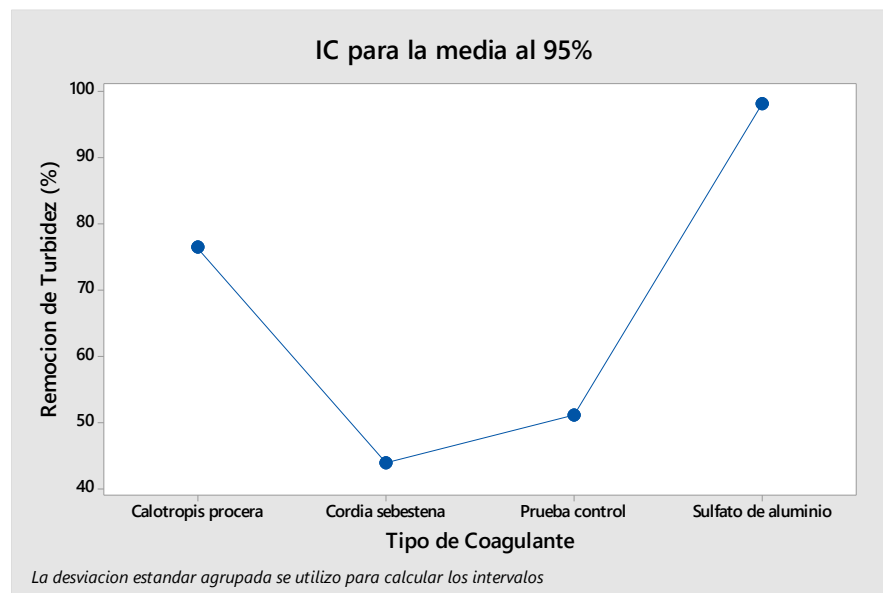
TIPO DE COAGULANTE	N	MEDIA	DESV. ESTÁNDAR	IC AL 95%
<i>Calotropis Procera</i>	3	76,2	1,21	(74,86 ; 77,60)

<i>Cordia Sebestena</i>	3	43,9	0,30	(43,31 ; 44,49)
Prueba control	3	51	1,14	(48,77 ; 53,23)
Sulfato de aluminio	3	97,9	1,24	(95,47 ; 100,33)

Fuente: Autores, 2022.

Para el análisis comparativo de los tipos de coagulantes utilizamos la gráfica de intervalos de Remoción de turbidez (%) vs. Tipo de coagulante y la gráfica de caja de remoción de turbidez. Para estas graficas se utilizaron las medias, la desviación estándar y el nivel de confianza.

**Figura 11.**  
**Descripción del factor**



Fuente: Autores, 2022.

En la gráfica #11 se pudo constatar que los coagulantes con mayor remoción son la *Calotropis procera* y el Sulfato de aluminio, por el contrario, se observa que en el coagulante *Cordia sebestena* y la prueba control se obtuvieron % de remoción inferiores a los requeridos.



✚ **Análisis de resultados del agua de alta turbidez (576 NTU)**

**Tabla 16.**

**Caracterización de la operación**

<b>CARACTERÍSTICAS DE LA OPERACIÓN</b>	
<b>Volumen</b>	2L
<b>Tipo de Coagulante</b>	( <i>Calotropis procera</i> , <i>Cordia sebestena</i> )
<b>Dosis de Coagulante</b>	(10 mg/lt , 20 mg/lt)
<b>Tiempo de Mezclado</b>	(2min - 20 min)
<b>Velocidad de Mezclado</b>	(120 rpm - 50 rpm)

Fuente: Autores, 2022.

El procedimiento general para resolver el diseño se resume en los siguientes puntos:

1. Se realiza un análisis previo de los datos utilizando técnicas descriptivas:
2. La variable respuesta fue el % de eficiencia, mientras que el único factor: el tipo de coagulante con 4 niveles. Como se presenta a continuación:

**Tabla 17.**

**Diseño factorial de un solo factor con múltiples niveles**

<b>FACTORES</b>	<b>1</b>	<b>REPLICAS</b>	<b>3</b>
Corridas base	4	Total Corridas	12
Bloques base	1	Total Bloques	3
<b>Numero de Niveles: 4</b>			

Fuente: Autores, 2022.

**Tabla 18.**

**Descripción de factor**

<b>Factor</b>	<b>Niveles</b>	<b>Variables</b>
<b>Tipo de Coagulante</b>	4	<i>Calotropis procera</i>

*Cordia sebestena*  
Sulfato de Aluminio  
Control

Fuente: Autores, 2022.

Una vez obtenidos los resultados se sintetizan los datos en una hoja de trabajo.

**Tabla 19.**

**Hoja de trabajo**

ORDEN	CORRIDAS	BLOQUE	T. DE COAGULANTE	REMOCION DE TURBIDEZ (%)
1	1	1	Prueba	48,2
2	2	1	<i>Cordia sebestena</i>	49,8
3	3	1	<i>Calotropis procera</i>	81,6
4	4	1	Sulf. de Aluminio	98,5
5	5	2	Prueba	51,3
6	6	2	<i>Cordia sebestena</i>	47,6
7	7	2	<i>Calotropis procera</i>	81,9
8	8	2	Sulf. de Aluminio	97,9
9	9	3	Prueba	46,7
10	10	3	<i>Cordia sebestena</i>	49,3
11	11	3	<i>Calotropis procera</i>	83,3
12	12	3	Sulf. de Aluminio	97,1

Fuente: Autores, 2022

**Tabla 20.**

**Descripción de medias**

TIPO DE COAGULANTE	N	MEDIA	DESV. ESTÁNDAR	IC AL 95%
-----------------------	---	-------	-------------------	-----------

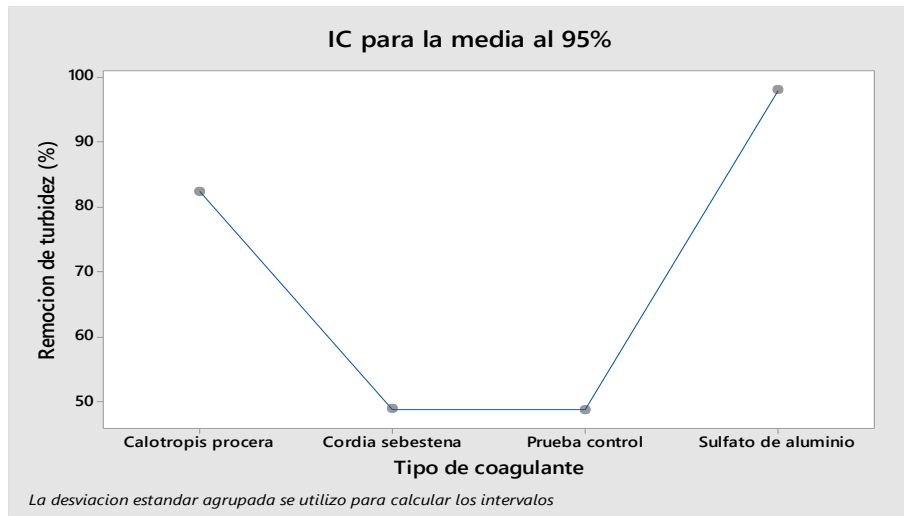
<i>Calotropis procera</i>	3	82,3	0,907	(81,241 ; 83,297 )
<i>Cordia sebestena</i>	3	48,9	1,153	(47,595 ; 50,205)
Prueba control	3	48,8	2,35	(46,07 ; 51,39)
Sulfato de aluminio	3	97,8	0,702	(97,036 ; 98,624)

Fuente: Autores, 2020.

Para el análisis comparativo de los tipos de coagulantes utilizamos la gráfica de intervalos de Remoción de turbidez (%) vs. Tipo de coagulante y la gráfica de caja de remoción de turbidez. Para estas graficas se utilizaron las medias, la desviación estándar y el nivel de confianza.

**Figura 12.**

**Descripción del factor**



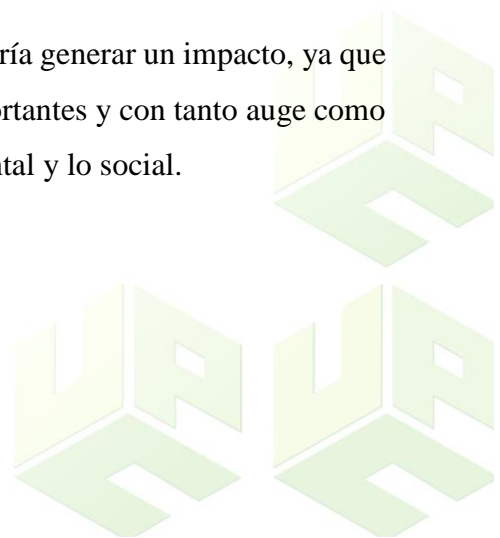
Fuente: Autores, 2022.

Finalmente, con este modelo de diseño experimental logramos denotar que la mejor propuesta como alternativa de coagulación es el coagulante de la planta Calotropis Procera, siendo este en el cual se obtiene mejor remoción de turbidez.



## CONCLUSIONES

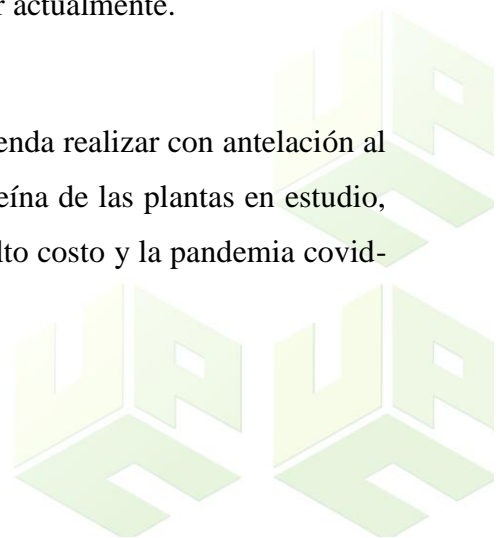
- ✓ Con los resultados obtenidos podemos concluir que el tallo es la parte más rica en carbohidratos de esta planta, por lo cual se le atribuye una eficiencia coagulante en las aguas crudas.
- ✓ Mediante los resultados obtenidos se pudo inferir, que con el coagulante de *Cordia sebestena* a medida que se varía las concentraciones de las dosis que se adicionan al agua a tratar, se percibe un aporte significativo en turbidez tanto en temporada seca como en temporada de lluvia.
- ✓ El coagulante (sulfato de aluminio) usado a lo largo del proceso con fines de comparar la efectividad de los demás coagulantes, presentó los mejores resultados en la remoción de turbidez, pero aporta significativamente en la alteración proporcional del pH inicial del agua, y su uso consiguientemente trae efectos que pueden alterar la salud humana.
- ✓ Con la ejecución de esta investigación se lograría generar un impacto, ya que beneficiaría en gran medida en temas tan importantes y con tanto auge como lo son la salud humana, el componente ambiental y lo social.





## RECOMENDACIONES

- ✓ Para fines prácticos en el proceso de obtención de los coagulantes es recomendable para el caso de la (*Cordia sebestena*) en la cual se usó la semilla, usarla fresca para así garantizar que no se biodegrade antes de realizarle el debido proceso, también tener en cuenta para futuras investigaciones el uso de cualquier otra parte de esta planta para así descartar la capacidad coagulante.
- ✓ En este estudio solo se tuvo en cuenta la remoción de turbiedad en el agua a tratar evaluando el comportamiento de los coagulantes, por lo cual es recomendable hacer una investigación más exhaustiva para así junto a otros procesos se pueda garantizar una mejor remoción de turbiedad.
- ✓ Se requiere análisis más exhaustivo frente a los distintos tipos de coagulantes de origen orgánico ya que con esto se garantizará una mejora en aspectos como calidad, salud, economía etc., frente a los aportes que hacen la mayoría de los coagulantes inorgánicos existentes en el mercador actualmente.
- ✓ Con fines de próximas investigaciones se recomienda realizar con antelación al desarrollo de la investigación un análisis de proteína de las plantas en estudio, en este caso no se pudo realizar por factores de alto costo y la pandemia covid-19.



## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alonso S. Atenea, García S. Lorena, León R. Irene, García G. Elisa, Gil A. Belén, Ríos Brea Lea, (s.f.). Métodos de investigación de enfoque experimental. Disponible de: <https://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/10.pdf>

Alcaldía del Municipio de Valledupar, Mi municipio. Disponible en: <http://www.valledupar-cesar.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>

Bajwa, K. S., Shahid, A. A., Rao, A. Q., Kiani, M. S., Ashraf, M. A., Dahab, A. A., ... & Husnain, T. (2013). Expression of Calotropis procera expansin gene CpEXPA3 enhances cotton fibre strength. *Australian Journal of Crop Science*, 7(2), 206-212. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Kamran-Bajwa/publication/235898024\\_Expression\\_of\\_Calotropis\\_procera\\_expansin\\_gene\\_CpEXPA3\\_enhances\\_cotton\\_fibre\\_strength/links/5405e49b0cf2c48563b1e997/Expression-of-Calotropis-procera-expansin-gene-CpEXPA3-enhances-cotton-fibre-strength.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Kamran-Bajwa/publication/235898024_Expression_of_Calotropis_procera_expansin_gene_CpEXPA3_enhances_cotton_fibre_strength/links/5405e49b0cf2c48563b1e997/Expression-of-Calotropis-procera-expansin-gene-CpEXPA3-enhances-cotton-fibre-strength.pdf)

Banchón, C., Baquerizo, R., Muñoz, D., & Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE*, 7(4), 111-126. Recuperado de: [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-65422016000400111](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422016000400111)

Bermúdez, X. C., Moya, A. M. C., & Ramírez, M. F. (2009). Estudio del Proceso de Coagulación floculación de Aguas Residuales de La Empresa Textil” Desembarco



del Granma” a Escala De Laboratorio. Tecnología química, 29(3), 64-73. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf>

Caldera, Y., Mendoza, I., Briceño, L., Garcia, J., & Fuentes, L. (2007). Eficiencia de las semillas de Moringa 61ebesten como coagulante alternativo en la potabilización del agua. *Boletín del centro de investigaciones biológicas*, 41(2), 244-254. Recuperado de: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/76/0>

Caldera Yaxcelys, Fuentes Lorena, Puyosa Geraldine, Rodolfo Barrera, Iván Mendoza y Yoalis González, (2017). Quitosano como coagulante natural durante el tratamiento de aguas con alta turbidez

Carpio, T., Coy, G., & Duque, M. (2007). Turbiedad por nefelometría (método B). Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM). Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%ADa..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc#:~:text=La%20turbiedad%20es%20una%20expresi%C3%B3n,transm%20itida%20a%20trav%C3%A9s%20de%20la>

Cordero, M., & Ullauri, P. (2011). Filtros caseros, utilizando ferrocemento, diseño para servicio a 10 familias, constante de 3 unidades de filtros gruesos ascendentes (fgas), 2 filtros lentos de arena (fla), sistema para aplicación de cloro y 1 tanque de almacenamiento. Monografía [seriado en línea]. Recuperado de: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/747/1/ti874.pdf>

Deloya Alma, Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales. Tecnología en marcha. Recuperado de:

[file:///C:/Users/luzad\\_000/Downloads/Dialnet-  
MetodosDeAnalisisFisicosYESpectrofometricosParaEIA-4835509.pdf](file:///C:/Users/luzad_000/Downloads/Dialnet-MetodosDeAnalisisFisicosYESpectrofometricosParaEIA-4835509.pdf)

Enrich, M. (s. f.). Manzana de Sodoma (Calotropis. . . Botanical-online. Recuperado 29 de agosto de 2021, Recuperado de: <https://www.botanical-online.com/plantas-medicinales/calotropis-sodoma-propiedades>

Federación de enseñanza de CC.OO. de Andalucía, (2011). La materia. Recuperado de: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8733.pdf>

Fernández Alicia, (2012). El agua un recurso esencial. Química Viva. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>

Guerrero, B., & López, M. (2015). Generalidades del sistema de la coagulación y pruebas para su estudio. Investigación Clínica, 56(4), 432-454. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/3729/372943268010.pdf>

Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 16(1), 253-262. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n1/v16n1a29.pdf>

Hernández Ana María, (2007). Sólidos suspendidos en agua secados a 103 – 105°C, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a->



1958aac1179c#:~:text=Es%20un%20m%C3%A9todo%20gravim%C3%A9trico%20que,cantidad%20de%20s%C3%B3lidos%20suspendidos%20totales.

Lorenzo-Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 40(2), 10-17. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>

Márquez, A. (s. f.). Qué es un afluente. Ecologiaverde.com. Recuperado 29 de agosto de 2021, de <https://www.ecologiaverde.com/que-es-un-afluente-3264.html>.

Martínez García, N., & Zequeira Cuervo, Á. A.(2018) .Evaluación del recurso hídrico del balneario Hurtado, río Guatapurí, determinada a través de macroinvertebrados acuáticos implementando índices biológicos y fisicoquímicos. Recuperado de: [.https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13864/2018nicolasmartinezalvarozequeira.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13864/2018nicolasmartinezalvarozequeira.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Mazza, G. (2018, 2 marzo). Cordia 63ebestena. Monaco Nature Encyclopedia. Recuperado de: <https://www.monaconatureencyclopedia.com/cordia-sebestena/?lang=es>

Ponce de L. Rosa M, Aguilera R. María S & Molina L. Idolina, (2011). Manual de prácticas de laboratorio de química analítica. Recuperado de: [http://bios.biologia.umich.mx/obligatorias/quimica/manual\\_quimica\\_analitica\\_2019.pdf](http://bios.biologia.umich.mx/obligatorias/quimica/manual_quimica_analitica_2019.pdf)



**Universidad  
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



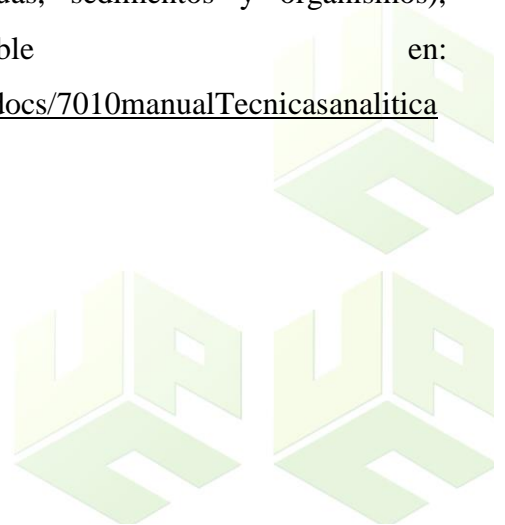
Renault B. Sancey PM. Badot G. Crini, (2009). Quitosano para procesos de coagulación – floculación: un enfoque ecológico. ScienceDirect. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0014305708007222>

Romero Rojas, J. A. (2002). Calidad del agua. Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería.

Ruiz, L. S., de la Paz, C., Valenzuela, R., Salazar, M. O., Olavarría, C., Jiménez, R., ... & de Propiedad Intelectual, R. Editor: Ministerio de Educación Programa de Educación Ambiental Pedro Jáuregui Morales Coordinador. Recuperado de: [http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/libro\\_la\\_contaminacion\\_ambiental.pdf](http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/libro_la_contaminacion_ambiental.pdf)

Ruiz Luis J, (2019). Investigación experimental. Recuperado de: <https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/wp-content/uploads/2019/01/Investigaci%C3%B3n-experimental.pdf>

Vives José, (s. f.) Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos), INVEMAR. Disponible en: <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas..pdf>





**Universidad  
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**Ingeniería  
Ambiental y Sanitaria**

## ANEXOS

**Anexo 1:** Recolección de la semilla *Cordia Sebestena* y el tallo de *Calotropis Procera*.



**Anexo 2:** Pelado y secado de la semilla *Cordia Sebestena* y el tallo de *Calotropis Procera*.



**Anexo 3:** Trituración de la semilla Cordia Sebestena y el tallo de Calotropis Procera.



**Anexo 4:** Tamizado de la semilla Cordia Sebestena y el tallo de Calotropis Procera.



**Anexo 5: Toma de muestra de agua del Rio Guatapurí.**



**Anexo 6. Caracterización fisicoquímica**

