

**EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA SEMILLA DE JATROPHA
CURCAS COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE
POTABILIZACIÓN DEL AGUA CRUDA DEL RÍO GUATAPURÍ.**

AUTORES:

JORGE ADOLFO RANGEL PIÑERES.

OSCAR DANIEL JIMÉNEZ DE LA ROSA.

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR.

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA.

VALLEDUPAR-CESAR.

2022

**EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA SEMILLA DE JATROPHA
CURCA COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE
POTABILIZACIÓN DEL AGUA CRUDA DEL RIO GUATAPURÍ.**

AUTORES:

JORGE ADOLFO RANGEL PIÑERES.

OSCAR DANIEL JIMÉNEZ DE LA ROSA.

DIRECTOR.

JOSE MAURICIO PÉREZ ROYERO.

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIA

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR.

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA.

VALLEDUPAR-CESAR.

2022

DEDICATORIA.

Quiero dedicar el fruto de esta tesis a mi madre Yarid Piñeres Zuluaga, por darme todo su apoyo, confianza y comprensión durante este tiempo de estudio, sin ella no hubiera tenido la dicha de recorrer este camino hacia mi vida profesional, a mi padre Jorge Rangel Ospino, a mis hermanos, Jorge Luis, Daniel y Carolay, en ellos he encontrado el apoyo incondicional para continuar en este camino de sacrificios, triunfos y obstáculos.

Jorge Adolfo Rangel Piñeres.



DEDICATORIA.

Quiero dedicar esta tesis a mi fallecida madre Cecilia De la rosa Ríos, por formarme en quien soy hoy, darme el impulso para perseverar en mis estudios, sin ella no hubiera tenido la dicha de recorrer este camino hacia mi vida profesional, a mi padre Manuel Antonio Jiménez Puello, quien me apoyo incondicionalmente todo este tiempo, a mis hermanos, Gean Carlos Jiménez, José Javier Jiménez y Manuel Fernando Jiménez, quienes me impulsaron a seguir adelante a pesar de las dificultades.

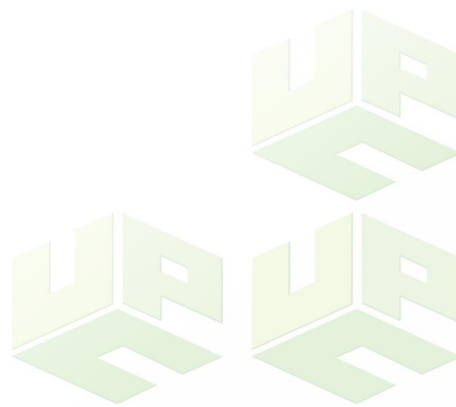
Oscar Daniel Jiménez De la rosa.



AGRADECIMIENTOS.

Agradecer primordialmente a Dios por ser nuestro guía a lo largo de este camino, a mis padres y familiares por su perseverancia y apoyo incondicional durante este arduo proceso, a mis amigos y compañeros que aportaron su ayuda durante la carrera y por ultimo a la Universidad Popular del Cesar y a sus docentes por brindarnos sus conocimientos y sabiduría durante todo este proceso academico.

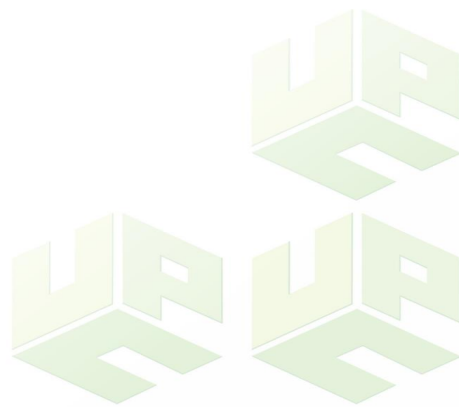
Jorge Adolfo Rangel Piñeres.



AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a Dios por darme la fuerza para perseverar, a mi familia y amigos por darme su apoyo incondicional e impulsarme a seguir adelante, a la universidad y los profesores por guiarme a lo largo de estos años de estudio académico

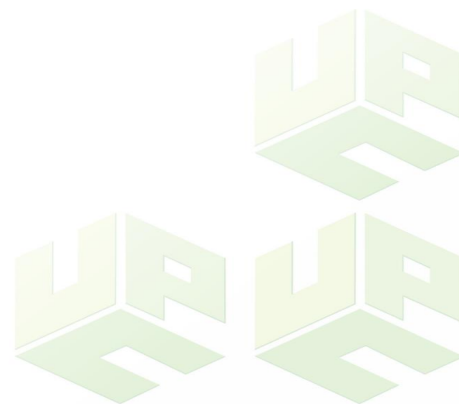
Oscar Daniel Jiménez De la rosa.



RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo principal evaluar la efectividad de la semilla de *Jatropha curca* como coagulante natural en el tratamiento de potabilización del agua cruda del río Guatapurí. Esta tesis pretende promover la utilización de extractos naturales de plantas para la potabilización del agua cruda del río Guatapurí. Para la preparación del coagulante se realizó una serie de procesos que consistió en secado, molienda y licuado, luego se realizaron una serie de pruebas de jarras para observar el comportamiento del coagulante natural. La eficiencia del coagulante se determinó comparando la turbidez inicial con los valores finales obtenidos después de cada tratamiento.

Palabras claves: *Jatropha Curca*, turbidez, coagulante, coagulación, potabilización.



ABSTRACT.

The main objective of this research was to evaluate the efficacy of jatropha curca seed as a natural coagulant in the purification treatment of raw water from the Guatapurí river. This thesis aims to promote the use of natural plant extracts for the purification of raw water from the Guatapurí river. For the preparation of the coagulant, a series of processes was carried out that consisted of drying, grinding and blending, then a series of jar tests were carried out to observe the behavior of the natural coagulant. The efficiency of the coagulant is prolonged by comparing the initial turbidity with the final values obtained after each treatment.

Keywords: Jatropha Curca, turbidity, coagulant, coagulation, purification.

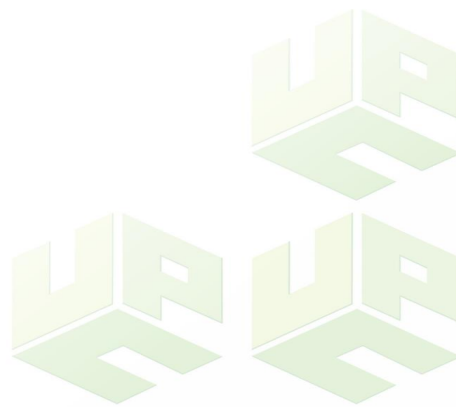


TABLA DE CONTENIDO.

	Pág.
Introducción.....	1
2. Planteamiento Del Problema.....	2
3. Justificación.....	4
4. Objetivos.....	6
4.1. Objetivo General.....	6
4.2. Objetivos Específicos.....	6
5. Marco Referencial.....	7
5.1. Antecedentes De La Investigación.....	7
5.2. Marco Teórico.....	10
5.2.1. El Agua: Un Disolvente Universal.....	10
5.2.2. Las Fuentes De Agua De Origen Superficial.....	10
5.2.3. Calidad Del Agua.....	11
5.2.4. Características Físicas.....	11
5.2.5. Principales Operaciones Unitarias Empleadas En El Tratamiento Del Agua.	11
5.3. Plantas De Tratamiento De Agua Potable.....	14
5.3.1. Tipos de Plantas De Tratamiento De Agua.....	14
5.3.2. Proceso De Potabilizacion Del Agua.....	17
5.3.3. Procesos De Coagulación – Mezcla Rápida.....	21
5.3.4. Jatropha Curcas.....	22
5.4. Marco Conceptual.....	25

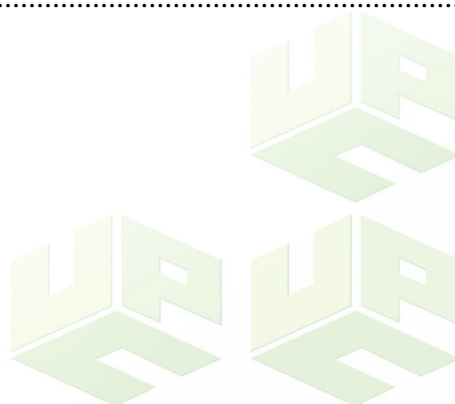
5.5. Marco Contextual.....	27
5.5.1. Ubicación.....	27
5.5.2. Clima.....	29
5.6. Marco Legal.....	30
6. Marco Metodológico.....	33
6.1. Línea y Sublínea De Investigación.....	33
6.2. Tipo De Investigación.....	33
6.3. Nivel De Investigación.....	33
6.4. Población De Estudio.....	33
6.5. Muestra.....	34
6.6. Desarrollo Metodológico.....	34
6.6.1. Etapa1: Caracterizar La Muestra De Agua Proveniente Del Río Guatapurí En Cuanto a Turbidez, pH, Temperatura y Conductividad Electrica (antes de la aplicación del coagulante) .	34
6.6.2. Etapa2: Establecer la Dosis Optima de Jatropha a Aravés de un Montaje Piloto.	36
6.6.3. Etapa3: Comparar la Efectividad de la Jatropha Curcas como Coagulante con Respecto al Sulfato de Aluminio.....	39
6.7. Diseño Experimental.....	39
7. RESULTADOS Y ANALISIS.....	40
7.1.1 Etapa1: Caracterización De La Muestra De Agua Proveniente Del Río Guatapurí En Cuanto a Turbidez, pH, Temperatura y Conductividad Electrica.....	40
7.1.2 Etapa2: Establecer la Dosis Optima de Jatropha y Sulfato de Aluminio a Aravés de un Montaje Piloto.....	42

7.1.3 Etapa3: Comparación De La Efectividad De La Jatropha Curcas Como Coagulante Con Respecto Al Sulfato de Aluminio.	52
8. CONCLUSIONES.	55
9. RECOMENDACIONES.	56
10. REFERENCIAS.	57
11. ANEXOS.	62



ÍNDICE DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Normatividad de Colombia.....	30
Tabla 2. Valores límites permisibles de parámetros físicos-químicos en la calidad del agua para consumo humano.	35
Tabla 3. Valores obtenidos de las muestras de agua y Niveles permisibles en la normatividad colombiana.....	41
Tabla 4. Pruebas para dosis óptima Jatropha Curcas con turbiedades bajas (rio Guatapurí.....	42
Tabla 5. Pruebas para dosis óptima Jatropha Curcas con turbiedades bajas.....	43
Tabla 6. Pruebas para dosis óptima Jatropha Curcas con turbiedades bajas y semilla tostada.....	44
Tabla 7. Prueba con mezcla lenta a 20rpm	45
Tabla 8. Determinación de dosis óptima para el coagulante Jatropha Curcas ensayo 1.....	47
Tabla 9. Determinación de dosis óptima para el coagulante jatropha curca ensayo 2.....	47
Tabla 10. Determinación de dosis óptima para el coagulante jatropha curca ensayo 3.....	48
Tabla 11. Determinación de la dosis óptima para el coagulante sulfato de aluminio prueba1..	49
Tabla 12. Determinación de la dosis óptima para el coagulante sulfato de aluminio prueba2..	50
Tabla 13. Determinación de la dosis óptima para el coagulante sulfato de aluminio prueba 3..	51
Tabla 14. Aplicación del diseño experimental en los porcentajes de remoción ó de cada prueba.	53



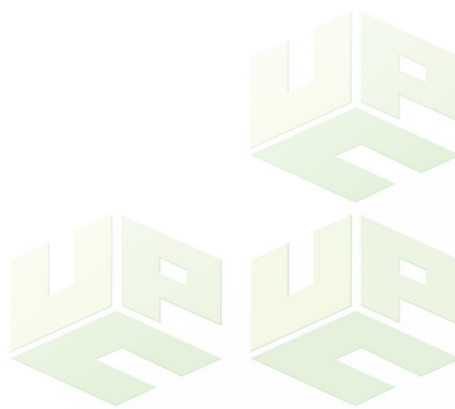
ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Localización geográfica.....27

ÍNDICE DE GRAFICAS.

Grafica 1. Turbidez vs dosis aplicada para el coagulante de *Jatropha curca*.....52

Grafica 2. Turbidez vs dosis aplicada para el coagulante sulfato de aluminio.....53



Introducción.

El presente trabajo de grado tuvo como objetivo principal evaluar la efectividad de la *Jatropha Curca* como coagulante natural en la remoción de turbiedad en las aguas crudas del río Guatapurí. Se hicieron mediciones de las variables físicos y químicas como turbiedad, Ph y Conductividad eléctrica antes y después del tratamiento con el coagulante natural, comparándolo con los resultados obtenidos del sulfato de aluminio y con la normatividad técnica Colombiana. Se realizaron ensayos a nivel de laboratorio de coagulación, floculación y sedimentación con tiempos de 4 minutos para mezcla rápida, 20 minutos para mezcla lenta y 30 minutos para simular el proceso de sedimentación. La *Jatropha Curca* no fue eficiente en la remoción para turbiedades menores a 40 NTU arrojando como resultados un 0 % en la eliminación de turbidez, mientras que para turbiedades similares 238 NTU tuvo un porcentaje de remoción superior al 90%.



1. Planteamiento Del Problema.

La coagulación y floculación son unos de los procesos más importante en el tratamiento de agua potable; ya que a través de estos procesos se da la desestabilización, aglomeración y remoción de los coloides presentes en el agua; es por ello que coagulantes a base de las sales de aluminio como el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) son los más utilizados para el tratamiento de agua potable como de aguas residuales por su alta eficiencia en la eliminación de partículas suspendidas en el agua. Sin embargo, una de las desventajas que tienen estas sustancias químicas es que una vez culminado el proceso de potabilización permanecen en el agua en forma residual acumulándose en el medio ambiente (Flaton, 2001).

De igual manera, (Melo Oliveira, 2017) menciona que, los organismos presentes en el agua son los principales afectados por estas sustancias; además, el sulfato de aluminio en los seres humanos tiene incidencia en el deterioro cognitivo, demencia y en la aparición de la enfermedad del Alzheimer, cáncer y enfermedades óseas. (V. Rondeau, 2009.), (Poddar et al, 2004). De forma similar, esta sustancia química deteriora las células epiteliales intestinales, responsables de proteger el intestino de sustancias nocivas y filtrar distintos componentes de la dieta diaria. (Djouina, 2016). Como se citó en (Meza leones et al, 2018).

Por un lado, en la ciudad de Valledupar en la planta de tratamiento de agua potable a cargo de la empresa *Emdupar S.A.E.S.P.*, se produce lodo extraído del sedimentador de la planta de tratamiento; el cual es vertido nuevamente en el río Guatapurí, donde estudios sobre el vertimiento describen en el momento de la descarga aumentos de la turbiedad de 6 a 117 NTU aguas abajo del punto de descarga (balneario el rincón) y hasta 62.1 NTU en el puente de hurtado y contenido de aluminio de 0,02 a 175 mg/L de sulfato de aluminio y valores de DBO que sobrepasa en 38,95 Mg/lit (Durán, 2015). Igualmente, estos lodos son residuos sólidos que contienen microorganismos y metales pesados como el aluminio, el hierro, el cobre, entre otros los cuales son nocivos para la salud y el medio ambiente.

Debido a lo anterior, se hace necesario la búsqueda de alternativas que incluyan la utilización de coagulantes que logren reducir la turbidez y el color sin dejar después de su utilización residuos que puedan afectar la salud humana (Aboulhassan et al; 2006), sino conseguir el bienestar de las personas, mejorando su nivel de vida, salud, concediendo un líquido vital con características aptas para su consumo; Por esta razón en esta investigación se plantea la utilización materiales vegetales extraídos de hojas, exudados, cortezas, raíces y semillas de plantas como una alternativa excelente para remover la turbidez del agua, donde sus ventajas radican en su biodegradabilidad, bajo costo, fácil adquisición y sin efectos negativos en la salud humana y a la naturaleza (Muthuraman & Sasikala, 2014).

En consonancia con lo anterior, se plantean la siguiente pregunta:

¿Cuál es la efectividad del coagulante de *Jatropha Curcas* en la remoción de turbiedad de las aguas del río Guatapurí en comparación al sulfato de aluminio?



2. Justificación.

La coagulación es el proceso más importante en el tratamiento convencional del agua; ya que su aplicación incluye la remoción de especies en suspensión mediante la adición de coagulantes químicos cuyo uso trae desventajas asociadas a altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo y el hecho de que afectan el pH del agua tratada. (Guzmán, 2013).

El coagulante más usado para la clarificación del agua en Colombia es el sulfato de aluminio; ya que es una técnica efectiva en lo que a remoción de turbidez y a color se refiere; sin embargo, existen desventajas asociadas al uso de este coagulante como altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo en comparación con otros métodos naturales que pueden también causar la remoción de materiales en suspensión tales como: arcilla, limo y lodos presentes en el agua, a un precio más económico, teniendo en cuenta que la cantidad de lodo residual es menor y más amigable con el medio ambiente (Yin, 2010).

Por el contrario, el empleo de materiales naturales puede minimizar o evitar el uso de los coagulantes químicos, la mayoría de estos se derivan de semillas, hojas, cortezas o savia, raíces y frutos de árboles y plantas o pueden extraerse de microorganismos, animales o tejidos vegetales. Además, los coagulantes naturales producen menos cantidad de lodos rápidamente degradables que su contraparte el alumbre.

En esa misma línea, la *Jatropha curcas* es una de las plantas que posee la capacidad coagulante, gracias a las proteínas catiónicas que poseen sus semillas siendo una buena opción para el tratamiento de agua potable. Con base a lo anterior, el interés de esta investigación reside en el estudio de la eficiencia de la semilla de la *Jatropha Curca* como coagulante natural en la remoción de turbiedad y color del agua cruda del río Guatapurí, siendo un reemplazo de los coagulantes inorgánicos y una mejora de la calidad del agua para el consumo humano.

La importancia de esta investigación radica en que la *J. Curca* podría ser una alternativa viable desde el punto de vista ambiental, ya que podría generar volúmenes de lodos menores que

las sales de aluminio y sin agentes contaminantes que llegan a los ríos caso puntual; el río Guatapurí, de esta forma podría presentar una solución viable desde el punto económico para Emdupar, dado que el lodo que se generaría sería biodegradable y podría tener rendimientos iguales o superiores que los diferentes agentes químicos utilizados. Además, este estudio pretende resolver de manera integral los procesos de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano a través de alternativas de bajo costo que ayuden al mejoramiento de los procesos de potabilización del agua y al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades vulnerables de bajo recursos que no pueden acceder al agua potable. Por estas razones, es de vital importancia realizar investigaciones que ayuden al reemplazo de los coagulantes inorgánicos y que aporten a futuras investigaciones sobre las propiedades de la *Jatropha* como coagulante natural y que genere nuevas posibilidades de tratamiento de agua potable y a la mejora de la calidad del agua para el consumo humano.



3. Objetivos.

3.1. Objetivo General.

Evaluar la efectividad de la semilla de *Jatropha curcas* como coagulante natural en el tratamiento de potabilización del agua cruda del río Guatapurí.

3.2. Objetivos Específicos.

- ✓ Caracterizar la muestra de agua proveniente del río Guatapurí en cuanto a turbidez, pH, temperatura y conductividad.
- ✓ Establecer la dosis óptima de *Jatropha* a través de un montaje piloto.
- ✓ Comparar la efectividad de la *Jatropha curca* como coagulante con respecto al sulfato de aluminio.



4. Marco Referencial.

4.1. Antecedentes De La Investigación.

(Quintero et al, 2018). Desarrolló la investigación titulada "Evaluación de coagulantes de extractos naturales de Moringa Oleifera y Jatropha Curcas en las aguas residuales del Café"; Con la finalidad de evaluar el efecto coagulante de la Moringa Oleífera y Jatropha Curcas. Se realizaron 3 etapas; en la etapa 1 se llevó a cabo la extracción de grasas a las semillas, por medio de un procedimiento de extracción sólido-líquido y se realizó la extracción del compuesto coagulante. En la etapa 2 se efectuaron pruebas de coagulación donde se evaluó el efecto sobre las aguas residuales a pH original después de efectuar el tratamiento primario con Ca(OH)_2 adicionando el extracto y el hidróxido de calcio y en la etapa 3 se seleccionó las dosis óptimas, se determinó la DQO del agua residual tratada y se comparó con la DQO del agua residual sin tratamiento para determinar la eficiencia de remoción en cada uno de los tratamientos evaluados. Como resultado se obtuvo que para un tratamiento con J. curcas a una concentración de 12.500 ppm y a pH original, se lograron remociones promedio en la DQO entre 78,0% y 67,7% y en los sólidos suspendidos entre 86,5% y 68,4%. Para la mezcla de J. curcas con Ca(OH)_2 , a una concentración de 12.500 ppm, se alcanzaron remociones promedio de DQO entre 79,2% y 70,1% y de sólidos suspendidos entre 71,5% y 88,6%; Para una concentración a pH original, con J. curcas a una concentración de 25000 ppm se presentaron remociones de DQO promedio entre 65,7% y 66,5% y de SST entre 85,4% y 84,9%. Finalmente, se realizó el tratamiento del agua residual a 25.000 ppm con Ca(OH)_2 y J. curcas, se obtuvieron remociones promedio para la DQO entre 70,7% y 68,5% y para los SST entre 87,0% y 87,9%. Se concluyó que para todos los tratamientos evaluados se obtuvieron remociones superiores al 60%.

(Olivero Verbel et al; 2017). Elaboro la investigación "Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, con la finalidad de evaluar el desempeño de tres coagulantes para la remoción de sólidos suspendidos y disueltos para el tratamiento del agua del río Magdalena. La investigación se efectuó en 3 etapas, en la primera se siguieron los pasos propuestos por Núñez (2012) para la obtención del extracto de la semilla de la moringa oleífera, inicialmente se eliminó

la cascara a la moringa oleífera, las semillas se pasaron por un molino para reducir el tamaño y quedar como polvo; en la segunda se evaluaron los valores iniciales de turbidez y pH del agua del río Magdalena, posteriormente se evaluaron los tratamientos por separado de los coagulantes opuntia, moringa y alumbre; luego se procedió a mezclar los 3 coagulantes en diferentes proporciones y en la tercera etapa se compararon los resultados para saber si el uso de sulfato de aluminio en los porcentajes dados altera la clarificación; Los resultados obtenidos permitieron concluir que mezclando Moringa oleífera y Opuntia Ficus se puede remover un porcentaje de turbidez mayor a 90 %, en comparación con la mezcla de alumbre y coagulantes naturales, la cual puede remover al menos un 99% de turbidez en el agua.

(Panadero et al; 2016). Realizaron el estudio sobre la “Eficiencia del coagulante natural a partir de la semilla de *Jatropha curcas* para aguas crudas evaluando variables físico- químicas del agua”; Para optar el título de Ingeniero Ambiental en la Universidad de Cundinamarca; Con la finalidad de Evaluar la eficiencia de la *Jatropha curca* en la remoción de turbidez a través del test de jarras y diferentes parámetros físicos y químicos como son turbidez, color y pH. Se realizaron 3 etapas, en la etapa 1 Se midieron 3 variables, turbiedad, color y pH; en la etapa 2 se hicieron varias dosificaciones para encontrar la más efectiva y en la etapa 3 se determinó la eficiencia de los dos coagulantes determinando cual tiene mayor porcentaje de remoción de turbidez. Los resultados concluyeron que la semilla de *Jatropha curcas* como coagulante presento un porcentaje máximo de remoción de turbidez de 18% con una concentración de 80 ppm, con pH de 7.3 y un aumento de color de 336 UPC, lo que indica que la *Jatropha curcas* no cumple con los requerimientos exigidos por la normatividad Colombiana para la aplicación de tratamiento de agua potable del país.

(Guzmán et al; 2013). “Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una Revisión”, publicado en la biblioteca electrónica “SciELO” en el año 2013, tuvo como propósito realizar una revisión bibliográfica acerca del uso de los coagulantes naturales de origen vegetal, utilizados en la remoción de turbidez en procesos de tratamiento de aguas y dar a conocer aspectos como su clasificación, su eficiencia y sus mecanismos de coagulación. La metodología aplicada fue de tipo cualitativo exploratoria, en donde se realizó una investigación documental,

para la cual, se empleó, como técnica, la observación documental y, como instrumento, una matriz de análisis o de registro, que incluyo criterios como: coagulante natural utilizado, turbidez inicial, porcentaje de remoción de turbidez, dosis optima de coagulante, autores y año. Como resultado, se encontró que todos los extractos de origen vegetal reportados son eficientes con un 90% en la remoción de la turbidez del agua en niveles mayores a (49 NTU), Bajos requerimientos en la dosis del coagulante, volumen reducido en producción de lodo, aumento en la carga iónica del agua tratada y economías en el costo entre 25-30%.

(Abidin et al., 2011).” Un estudio preliminar sobre *Jatropha Curcas* como coagulante en el tratamiento de aguas residuales”; publicado en la revista *Environmental Technology* en el año 2011, Su objetivo principal fue investigar la capacidad de la semilla y la torta prensada de *Jatropha curca* para reducir la turbidez de las aguas residuales a través de la coagulación, la cual para preparar el coagulante las semillas de *J. curca* pasaron por una batidora eléctrica para crear un polvo, 5g del polvo se mezcló con 100 ml de agua destilada para extraer los ingredientes activos de las almendras de *Jatropha*. Por último, se utilizó caolín como modelo de agua residual, se preparó una solución madre de caolín disolviendo 10 g en 1 L de agua destilada; La suspensión se agitó a 20 rpm durante una hora en un aparato de jarra para uniformidad de dispersión de partículas y se dejó reposar durante 24 horas para permitir su completa hidratación. Finalmente se encontró que la semilla de *Jatropha* es un coagulante efectivo con más del 96% de eliminación de turbidez a pH 1-3 y pH 11-12. Además, la mayor remoción de turbidez se registró a pH 3 usando una dosis de 120 mg/L. Se observó que los flóculos formados con *Jatropha* eran más grandes y sedimentaban más rápido en comparación con los formados con alumbre. La eliminación de turbidez fue alta (>98 %) en todas las turbiedades (100 NTU a 8000 NTU), Estos resultados respaldan firmemente el uso de la semilla y la torta prensada de *Jatropha curcas* como agente coagulante potencial.

4.2. Marco Teórico.

4.2.1. El Agua: Un Disolvente Universal.

El agua es el constituyente más importante del organismo humano y del mundo en el que vivimos. Tiene una gran influencia en los procesos bioquímicos que ocurren en la naturaleza. Esta influencia no solo se debe a sus propiedades fisicoquímicas como molécula bipolar sino también a los constituyentes orgánicos e inorgánicos que se encuentran en ella. (Barrenechea Martel, 2004).

Se considera que el agua es un solvente universal, debido a que es capaz de disolver o dispersar la mayoría de sustancias con las que tiene contacto, sean estas sólidas, líquidas o gaseosas, y de formar con ellas iones, complejos solubles e insolubles, coloides o simplemente partículas dispersas de diferente tamaño y peso. Desde el punto de vista de la salud humana, el agua ayuda a eliminar las sustancias resultantes de los procesos bioquímicos que se desarrollan en el organismo humano, a través de los órganos excretores, en especial la orina y el sudor. Sin embargo, por esta misma propiedad, puede transportar una serie de tóxicos al organismo que pueden afectar a diferentes órganos, de manera reversible o irreversible. (Barrenechea Martel, 2004).

4.2.2. Las Fuentes De Agua De Origen Superficial.

Por otro lado, la contaminación de los recursos hídricos superficiales es un problema cada vez más grave, debido a que se estos se usan como destino final de residuos domésticos e industriales, sobre todo en las áreas urbanas e incluso en numerosas ciudades importantes del continente. Estas descargas son las principales responsables de la alteración de la calidad de las aguas naturales, que en algunos casos llegan a estar tan contaminadas que su potabilización resulta muy difícil y costosa.

Debido a la amplia gama de contaminantes, a los diferentes niveles de contaminación, así como a la cinética química de las sustancias, elementos, materia orgánica y microorganismos que se incorporan en el cuerpo de agua, es indispensable conocer las características físicas, químicas y biológicas del agua antes de seleccionarla como fuente de agua cruda. (Barrenechea Martel, 2004).

4.2.3. Calidad Del Agua.

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria.

Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial. (Barrenechea Martel, 2004).

4.2.4. Características Físicas.

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua.

Se consideran importantes las siguientes:

- Turbiedad.
- sólidos solubles e insolubles.
- Color.
- Olor y sabor.
- Temperatura, y
- PH.

4.2.5. Principales Operaciones Unitarias Empleadas En El Tratamiento Del Agua.

Los principales procesos de transferencia utilizados en el tratamiento del agua para consumo humano son los siguientes:

transferencia de sólidos, transferencia de iones, transferencia de gases, y transferencia molecular o de nutrientes.

4.2.5.1 Transferencia De Sólidos. Se consideran en esta clasificación los procesos de cribado, sedimentación, flotación y filtración. (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004).

- **Cribado o cernido:** Consiste en hacer pasar el agua a través de rejillas o tamices, los cuales retienen los sólidos de tamaño mayor a la separación de las barras, como ramas, palos y toda clase de residuos sólidos. También está considerado en esta clasificación el microcernido, que consiste básicamente en triturar las algas reduciendo su tamaño para que puedan ser removidas mediante sedimentación. (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004).
- **Sedimentación:** Consiste en promover condiciones de reposo en el agua, para remover, mediante la fuerza gravitacional, las partículas en suspensión más densas. Este proceso se realiza en los desarenadores, presedimentadores, sedimentadores y decantadores; en estos últimos, con el auxilio de la coagulación. (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004).
- **Flotación:** El objetivo de este proceso es promover condiciones de reposo, para que los sólidos cuya densidad es menor que la del agua asciendan a la superficie de la unidad de donde son retirados por desnatado. Para mejorar la eficiencia del proceso, se emplean agentes de flotación. (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004)
- **Filtración:** Consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio poroso.
- **Transferencia de iones:** La transferencia de iones se efectúa mediante procesos de coagulación, precipitación química, absorción e intercambio iónico.
- **Coagulación química:** La coagulación química consiste en adicionar al agua una sustancia que tiene propiedades coagulantes, la cual transfiere sus iones a la sustancia que

se desea remover, lo que neutraliza la carga eléctrica de los coloides para favorecer la formación de flóculos de mayor tamaño y peso.

Los coagulantes más efectivos son las sales trivalentes de aluminio y fierro. Las condiciones de pH y alcalinidad del agua influyen en la eficiencia de la coagulación. Este proceso se utiliza principalmente para remover la turbiedad y el color. (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004).

- **Precipitación química:** La precipitación química consiste en adicionar al agua una sustancia química soluble cuyos iones reaccionan con los de la sustancia que se desea remover, formando un precipitado. Tal es el caso de la remoción de hierro y de dureza carbonatada (ablandamiento), mediante la adición de cal. (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004).
- **Intercambio iónico:** Como su nombre lo indica, este proceso consiste en un intercambio de iones entre la sustancia que desea remover y un medio sólido a través del cual se hace pasar el flujo de agua. Este es el caso del ablandamiento del agua mediante resinas, en el cual se realiza un intercambio de iones de calcio y magnesio por iones de sodio, al pasar el agua a través de un medio poroso constituido por zeolitas de sodio. Cuando la resina se satura de iones de calcio y magnesio, se regenera introduciéndola en un recipiente con una solución saturada de sal. (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004).
- **Absorción:** La absorción consiste en la remoción de iones y moléculas presentes en la solución, concentrándolos en la superficie de un medio adsorbente, mediante la acción de las fuerzas de interfaz. Este proceso se aplica en la remoción de olores y sabores, mediante la aplicación de carbón activado en polvo. (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004).
- **Transferencia de gases:** Consiste en cambiar la concentración de un gas que se encuentra incorporado en el agua mediante procesos de aereación, desinfección y recarbonatación. (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004).
- **Aireación:** La aireación se efectúa mediante caídas de agua en escaleras, cascadas, chorros y también aplicando el gas a la masa de agua mediante aspersión o burbujeo.

Se usa en la remoción de hierro y manganeso, así como también de anhídrido carbónico, ácido sulfhídrico y sustancias volátiles, para controlar la corrosión y olores.

- **Desinfección:** Consiste en la aplicación principalmente de gas cloro y ozono al agua tratada.
- **Recarbonatación:** Consiste en la aplicación de anhídrido carbónico para bajar el pH del agua, normalmente después del ablandamiento.
- **Transferencia molecular:** En el proceso de purificación natural del agua. Las bacterias saprofitas degradan la materia orgánica y transforman sustancias complejas en material celular vivo o en sustancias más simples y estables, incluidos los gases de descomposición.

También los organismos fotosintéticos convierten sustancias inorgánicas simples en material celular, utilizando la luz solar y el anhídrido carbónico producto de la actividad de las bacterias y, a la vez, generan el oxígeno necesario para la supervivencia de los microorganismos aeróbicos presentes en el agua.

Este tipo de transferencia se lleva a cabo en la filtración, en la cual los mecanismos de remoción más eficientes se deben a la actividad de los microorganismos. (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004).

4.3. Plantas De Tratamiento De Agua Potable.

Son estructuras destinadas al tratamiento del agua cruda con el fin de hacerla apta para el consumo humano, preservando las condiciones de salud de la población.

Una planta de tratamiento es una secuencia de operaciones o procesos unitarios, convenientemente seleccionados con el fin de remover totalmente los contaminantes microbiológicos presentes en el agua cruda y parcialmente los físicos y químicos, hasta llevarlos a los límites aceptables estipulados por las normas. (Emapal, 2009).

4.3.1. Tipos de Plantas De Tratamiento De Agua.

Las plantas de tratamiento de agua se pueden clasificar, de acuerdo con el tipo de procesos que las conforman, en plantas de filtración rápida y plantas de filtración lenta.

También se pueden clasificar, de acuerdo con la tecnología usada en el proyecto, en plantas convencionales antiguas, plantas convencionales de tecnología apropiada y plantas de tecnología importada o de patente. (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004).

4.3.1.1 Plantas De Filtración Rápida. Estas plantas se denominan así porque los filtros que las integran operan con velocidades altas, entre 80 y 300 m³/m².d, de acuerdo con las características del agua, del medio filtrante y de los recursos disponibles para operar y mantener estas instalaciones.

Como consecuencia de las altas velocidades con las que operan estos filtros, se colmatan en un lapso de 40 a 50 horas en promedio. En esta situación, se aplica el retrolavado o lavado ascensional de la unidad durante un lapso de 5 a 15 minutos (dependiendo del tipo de sistema de lavado) para descolmatar el medio filtrante devolviéndole su porosidad inicial y reanudar la operación de la unidad. De acuerdo con la calidad del agua por tratar, se presentan dos soluciones dentro de este tipo de plantas: plantas de filtración rápida completa y plantas de filtración directa. (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004)

4.3.1.1.1 Planta De Filtración Rápida Completa. Una planta de filtración rápida completa normalmente está integrada por los procesos de coagulación, decantación, filtración y desinfección. El proceso de coagulación se realiza en dos etapas: una fuerte agitación del agua para obtener una dispersión instantánea de la sustancia coagulante en toda la masa de agua (mezcla rápida) seguida de una agitación lenta para promover la rápida aglomeración y crecimiento del floculo (etapa de floculación).

La coagulación tiene la finalidad de mejorar la eficiencia de remoción de partículas coloidales en el proceso de decantación (sedimentación de partículas floculentas). El proceso final de filtración desempeña una labor de acabado, le da el pulimento final al agua.

De acuerdo con las investigaciones realizadas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, el filtro debe producir un efluente con una turbiedad menor o igual a 0,10 UNT para garantizar que esté libre de huevos de parásitos (Giardia, Cryptosporidium,

etcétera). Para lograr esta eficiencia en la filtración, es necesario que los decantadores produzcan un agua con 2 UNT como máximo.

Finalmente, se lleva a cabo la desinfección, proceso común a los dos tipos de plantas, las de filtración rápida completa y las de filtración directa. La función principal de este proceso es completar la remoción de microorganismos patógenos que no quedaron retenidos en el filtro y servir de protección contra la contaminación que el agua pueda encontrar en el sistema de distribución.

La desinfección, en la forma en que normalmente se aplica (esto es, con residual libre de 1 mg/L a la salida de la planta y tiempo de contacto mínimo de 30 minutos), solo tiene la capacidad de remover bacterias. Como se verá detalladamente en el capítulo sobre desinfección, para remover huevos de parásitos se necesitarían aplicar dosis altísimas y disponer de tiempos de contacto muy largos, que hacen impracticable el proceso. Como los huevos de parásitos son grandes, un filtro que opere eficientemente y reciba agua con no más de 2 UNT puede producir un efluente exento de huevos de parásitos.

Las altas tasas con las que operan estos sistemas, así como el empleo de la coagulación (proceso cuya operación requiere sumo cuidado), demandan recursos humanos capacitados, por lo que debe estudiarse con detenimiento la posibilidad de utilizarlos fuera de la zona urbana, en zonas marginales, rurales o, en general, en zonas económicamente muy deprimidas. (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004).

4.3.1.1.2 Filtración Directa. Es una alternativa a la filtración rápida, constituida por los procesos de mezcla rápida y filtración, apropiada solo para aguas claras.

Son ideales para este tipo de solución las aguas provenientes de embalses o represas, que operan como grandes presedimentadores y proporcionan aguas constantemente claras y poco contaminadas.

Cuando la fuente de abastecimiento es confiable, caso de una cuenca virgen o bien protegida, en la que la turbiedad del agua no supera de 10 a 20 UNT el 80% del tiempo y no supera

30 UNT ni 25 UC el 90% del tiempo, puede considerarse la alternativa de emplear filtración directa descendente.

Cuando el agua viene directamente del río y aunque clara la mayor parte del año, presenta frecuentes fluctuaciones de turbiedad, normalmente se considera una floculación corta, generalmente de no más de 6 a 8 minutos, para obtener un efluente de calidad constante, aunque con carreras de filtración más cortas. Esta es la alternativa más restringida de todas en cuanto a la calidad de agua que se va a tratar.

En el caso de aguas que el 90% del tiempo no sobrepasan los 100 UNT y las 60 UC y alcanzan esporádicamente hasta 200 UNT y 100 UC, podrían ser tratadas mediante filtración directa ascendente.

La tercera alternativa disponible para aguas relativamente claras es la filtración directa ascendente–descendente. Esta alternativa es aplicable a aguas que el 90% del tiempo no sobrepasan las 250 UNT ni las 60 UC, y alcanzan esporádicamente más de 400 UNT y 100 UC. (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004).

4.3.2. *Proceso De Potabilizacion Del Agua.*

4.3.2.1 Entrada O Captacion Del Agua Cruda. La captación de aguas superficiales se realiza por medio de tomas de agua que se hacen en los ríos o diques. El agua proveniente de ríos está expuesta a la incorporación de materiales y microorganismos, requiriendo un proceso más complejo para su tratamiento. La turbiedad, el contenido mineral y el grado de contaminación varían según la época del año (Pérez Carrión & Cánepa de Vargas, 1992) Citado en (IDROVO, 2009 – 2010).

4.3.2.2 Agregado Y Dosificación De Productos Químicos. El agregado de productos químicos se realiza para la desestabilización del coloide o turbiedad del agua.

4.3.2.3 Sustancias Químicas Empleadas En La Coagulación. A la variedad de productos químicos empleados en la coagulación se los clasifica como coagulantes, modificadores de pH y ayudantes de coagulación.

4.3.2.4 Coagulantes. Los productos químicos más usados como coagulantes en el tratamiento de las aguas son el sulfato de aluminio, el cloruro férrico, el sulfato ferroso y férrico y el cloro- sulfato férrico.

4.3.2.5 Tipo de coagulantes. Los componentes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando. (Loza Pacheco, 2014)

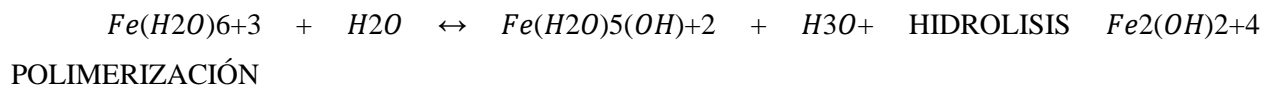
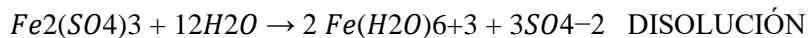
Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son el sulfato de aluminio, el cloruro férrico.

4.3.2.5.1 Sales De Aluminio. Sulfato de aluminio en forma líquida o solida está formado $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, cloruro de aluminio $AlCl_3$, aluminato sódico $NaAlO_3$. Estas sales trabajan solas o combinadas con cal $Ca(OH)_2$, sosa caustica $NaOH$, carbonato de sodio Na_2CO_3 entre otras.

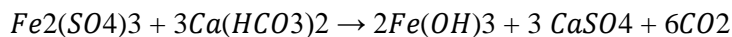
El sulfato de aluminio se usa como coagulante tradicional, el cual es un monómero que al ser dosificado al agua reacciona, con las bases que conforman la alcalinidad del agua, originando una disminución en el pH del agua. Cuando se aumenta la turbidez con el empleo del sulfato de aluminio es necesario el uso de floculantes a base de polímeros orgánicos, que permita un mejoramiento en la formación de flocs, incrementan su peso dando como resultado una clarificación óptima, incrementando el costo en el tratamiento de agua. (Loza Pacheco, 2014)

4.3.2.5.2 Polímeros De Aluminio. Las sales de aluminio tienen la propiedad de condensarse, llegando a la formación de polímeros capaces de coagular y flocular. De esta manera se forma el policloruro de aluminio, neutralizando de manera progresiva con sosa una solución de cloruro de aluminio. Así mismo se llega a obtener polímeros cuyas propiedades coagulantes y floculantes son excepcionales. El policloruro de aluminio se debe preparar en el mismo lugar donde se va usar de acuerdo al procedimiento establecido. (Loza Pacheco, 2014)

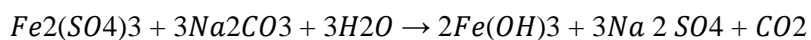
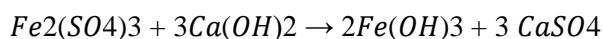
4.3.2.5.3 Sales De Hierro. Las sales férricas como el cloruro férrico y sulfato férrico, se comportan en solución del mismo modo que las sales de aluminio. Como se ilustra en las siguientes reacciones para el sulfato férrico se da reacciones de disolución, hidrolisis y polimerización de manera idéntica a las de aluminio.



Las sales de hierro llegan a acidificar la solución y consumen alcalinidad.



Si la alcalinidad natural no es suficiente se puede agregar oxido de calcio o carbonato de sodio.



Los coagulantes férricos presentan ciertas ventajas que dependen de las características de las aguas a las que se aplican.

Las sales de hierro son más efectivas por remover color, olor, etc. (Loza Pacheco, 2014).

4.3.2.5.4 Coagulantes Naturales. La fase de coagulación es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado (Andía, 2000) citado en (Ramírez & Jaramillo, 2015). Este proceso incide en la clarificación del agua y remoción de partículas suspendidas presentes en el agua, reduciendo su turbidez. Es un proceso que incluye floculación, en donde las partículas se aglomeran y se forman los llamados flocs. Citado en (Lugo Arias, 2017).

Como alternativa, los países en vías de desarrollo, han adaptado una serie de tecnologías tradicionales para eliminar la turbidez del agua en el ámbito doméstico; para ello se han empleado coagulantes naturales, los cuales son extraídos a partir de microorganismos, tejidos de plantas o animales, presentan las siguientes ventajas: (1) son biodegradables y seguros para la salud humana; (2) producen menos lodos que el empleo de coagulantes metálicos (alrededor del 20-30%); (3) son solubles en agua y actúan de modo similar a los coagulantes y desinfectantes sintéticos, ya que logran aglomerar partículas en suspensión contenidas en el agua cruda; (4) algunos coagulantes poseen además propiedades antimicrobianas, que ayudan a reducir microorganismos capaces de producir enfermedades en la salud humana; y (5) los agentes coagulantes y floculantes naturales, principalmente polisacáridos, son considerados ambientalmente amigables en comparación con los agentes orgánicos e inorgánicos debido a su biodegradabilidad (Ramírez & Jaramillo, 2015; Antov et al., 2012). Citado en (Lugo Arias, 2017)

El uso de coagulantes a base de plantas para el tratamiento de aguas turbias se ha reportado desde hace varios milenios (Sanghi et al., 2002), y hasta ahora, los científicos ambientales han podido identificar varios tipos de plantas para esta finalidad (Guzmán et al., 2013). Se presume que el empleo de materiales naturales puede minimizar o evitar la importación de coagulantes químicos (Yin, 2010), los cuales han demostrado ser peligrosos para la salud humana. Citado en (Lugo Arias, 2017).

Se ha identificado que la mayoría de los extractos naturales se derivan de semillas, hojas, cortezas, raíces y frutas, que son extraídos de plantas y árboles (Pritchard et al., 2009). Los polímeros orgánicos naturales han sido usados por más de 4000 años en África, India y China

como eficientes coagulantes y ayudantes de coagulación de aguas turbias para uso doméstico en áreas rurales (Asrafuzzaman et al., 2011). Citado en (Lugo Arias, 2017).

4.3.2.6 Modificadores De pH. Como se ha visto, para lograr mejores resultados en el tratamiento, en algunos casos será necesario regular la alcalinidad del agua o modificar su pH; para ello se emplean:

- a. Hidróxido de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- b. Carbonato de sodio, Na_2CO_3
- c. Bicarbonato sódico, NaHCO_3 .

4.3.2.7 Ayudantes De Coagulación. Son polímeros aniónicos, catiónicos o neutros, los cuales pueden presentar forma sólida (polvo) o líquida. Son sustancias de un alto peso molecular, de origen natural o sintético. Requieren ensayos de coagulación y floculación antes de su elección.

Los polímeros sólidos son generalmente poliacrilamida o poliacrilamida hidrolizada y son no iónicos. Los líquidos son generalmente soluciones catiónicas, que contienen de 10 a 60% de polímero activo (Pérez Carrión & Cánepa de Vargas, 1992) (OPS & OMS, 1984), como se cito en (IDROVO, 2009 – 2010).

4.3.3. Procesos De Coagulación – Mezcla Rápida.

La remoción de las partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: floculación, sedimentación y filtración.

La coagulación se lleva a cabo generalmente con la adición de sales de aluminio y hierro.

Este proceso es resultado de dos fenómenos:

- Fenómeno químico.
- Fenómeno físico.

Este proceso es muy rápido, toma desde décimas de segundo hasta cerca de 100 segundos, de acuerdo con las demás características del agua. Se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada mezcla rápida. De allí en adelante, se necesitará una agitación relativamente lenta, la cual se realiza dentro del floculador. En esta unidad las partículas chocarán entre sí, se aglomerarán y formarán otras mayores denominadas flóculos; estas pueden ser removidas con mayor eficiencia por los procesos de sedimentación, flotación o filtración rápida.

La coagulación está esencialmente en función de las características del agua y de las partículas presentes, las mismas que definen el valor de los parámetros conocidos como pH, alcalinidad, color verdadero, turbiedad, temperatura, sólidos totales disueltos, tamaño y distribución de tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión, etcétera.

4.3.4. *Jatropha Curcas.*

Es una oleaginosa de porte arbustivo con más de 3500 especies agrupadas en 210 géneros. Es originaria de México y Centroamérica, pero crece en la mayoría de los países tropicales. Se le cultiva en América Central, América del Sur, Sureste de Asia, India y África. La palabra *Jatropha* proviene del griego *iatrós* que significa médico y *trophé* alimento. Es un arbusto grande, de crecimiento rápido, cuya altura normal es de dos a tres metros, pero puede alcanzar hasta ocho metros en condiciones especiales. El tronco presenta un fuste ramificado a poca altura y una corteza lisa de madera suave, médula desarrollada poco resistente, de aproximadamente 20 cm de diámetro, de color blanco grisáceo; floema con largos canales que se extienden hasta las raíces, por los cuales circula el látex, jugo lechoso que brota con abundancia de cualquier herida. (Alfonso Bártoli, 2008) cómo se citó en (Posadas Villeda, 2011).

Raíz: La planta de piñón posee raíces cortas y poco ramificadas, normalmente cuando las plántulas proceden de semilla se forman cinco raíces, una central y cuatro periféricas (2 secundarias y 2 terciarias). En el caso de propagación por material vegetativo (asexual) la nueva planta no posee raíz pivotante y las raíces que se forman se insertan superficialmente. (Alfonso Bártoli, 2008) cómo se citó en (Posadas Villeda, 2011).

Tallo: No existe uniformidad en el crecimiento de los tallos. El tronco o fuste es dividido desde la base, en ramas largas, con numerosas cicatrices producidas por la caída de las hojas en la estación seca, las cuales surgen luego de las primeras lluvias (Alfonso Bártoli, 2008) cómo se citó en (Posadas Villeda, 2011).

Hojas: Las hojas del piñón son verdes, amplias y brillantes, largas y alternas, en forma de palmas pecioladas, la mayoría de 7-16 cm. de largo y de alrededor del mismo ancho, con nervaduras blanquecinas y salientes en el envés. Se forman con 5-7 lóbulos acuminados, pocos profundos y grandes, con pecíolos largos de 10-15 cms. El piñón es un árbol de hojas caducas (caducifolio) (Alfonso Bártoli, 2008) cómo se citó en (Posadas Villeda, 2011).

Flores: La floración es monoica, presentándose los órganos masculino y femenino en la misma planta, las inflorescencias se forman terminalmente en el axial de las hojas en las ramas. Ambas flores, son pequeñas (6–8 mm), de color verdoso amarillo en el diámetro y pubescente. Cada inflorescencia cuajada muestra un racimo de aproximadamente 5–10 frutos (Alfonso Bártoli, 2008) cómo se citó en (Posadas Villeda, 2011)

Fruto: Son cápsulas drupáceas y ovoides con diámetro de 1.5 a 3.0 cm. Al inicio son carnosas, pero dehiscentes cuando se secan. El desarrollo del fruto toma entre 60 y 120 días, por lo general 90, desde la floración hasta la madurez de la semilla según las variedades, igualmente la reproducción se detiene al inicio del periodo de lluvias. Los frutos se presentan frecuentemente disparejos y, el crecimiento de los frutos tardíos comienza hasta después de la maduración de los frutos tempranos (Alfonso Bártoli, 2008) cómo se citó en (Posadas Villeda, 2011)

Semilla: La semilla es relativamente grande; cuando está seca mide de 1.5 a 2.0 cm de largo y 1.0 a 1.3 cm de diámetro. Debajo de la envoltura de la semilla (tegumento) existe una película blanca cubriendo la almendra; el albumen abundante, blanco, oleaginoso, conteniendo el embrión provisto de dos largos cotiledones achatados. La semilla de piñón, pesa entre 0.551 a 0.797 g, puede tener, dependiendo de la variedad y de los tratamientos culturales, en proporción de 33.7 a 45% de cáscara y de 55 a 66% de almendra. En esas semillas, según la literatura, se concentran: 7.2% de agua, 37.5% de aceite y 55.3% de azúcar, almidón, albuminoides y materiales

minerales, siendo 4.8% de cenizas y 4.2% de nitrógeno (Alfonso Bártoli, 2008) cómo se citó en (Posadas Villeda, 2011)



4.4. Marco Conceptual.

Absorción: La absorción consiste en la remoción de iones y moléculas presentes en la solución, concentrándolos en la superficie de un medio adsorbente, mediante la acción de las fuerzas de interfaz. Este proceso se aplica en la remoción de olores y sabores, mediante la aplicación de carbón activado en polvo. (De Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004).

Color. El color es la capacidad del agua para absorber ciertas radiaciones del espectro visible. El color natural en el agua existe debido al efecto de partículas coloidales cargadas negativamente. Puede estar asociado a sustancias en solución (color verdadero) o a sustancias en suspensión (color aparente). Se mide en unidades de color (UC) y unidades de color verdadero (UCV). La unidad de color (UC) es el color producido por un mg/L de platino, en la forma de ion cloroplatinato (la intensidad del color es proporcional al platino, el cobalto forma el complejo que permite medir el color), es expresado en unidades de la escala Pt-Co (Pacheco, 2016).

Coagulación: Es el proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas floc. Dicho proceso se usa para: La remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente, remoción de color verdadero y aparente, eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación, destrucción de algas y plancton en general y para la eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos en otros.

Conductividad: La conductividad o Conductancia es la habilidad de una sustancia para conducir corriente eléctrica. La unidad más utilizada para expresar la conductividad es el micromhos/cm, y en el sistema internacional de unidades (SI) el siemens o microsiemens. El agua químicamente pura tiene una muy baja conductividad eléctrica, el cual es un valor que tiene significancia puramente teórica, ya que el agua pura es muy difícil de obtener (Torrelavega, 1996).

Intercambio iónico: Como su nombre lo indica, este proceso consiste en un intercambio de iones entre la sustancia que desea remover y un medio sólido a través del cual se hace pasar el

flujo de agua. Este es el caso del ablandamiento del agua mediante resinas, en el cual se realiza un intercambio de iones de calcio y magnesio por iones de sodio, al pasar el agua a través de un medio poroso constituido por zeolitas de sodio. Cuando la resina se satura de iones de calcio y magnesio, se regenera introduciéndola en un recipiente con una solución saturada de sal. (De Vargas, 2004).

PH: El pH es el logaritmo negativo o el logaritmo recíproco de la actividad del ión hidrógeno en una solución acuosa o de otro solvente especificado. El valor del pH juega un papel importante en ciertos procesos de potabilización, como la coagulación, la desinfección por cloro, el ablandamiento y el control de corrosión. Su medición es usada universalmente para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o alcalinas de una solución. Es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H^+) en una sustancia (Samboni et al; 2010).

Precipitación Química: La precipitación química consiste en adicionar al agua una sustancia química soluble cuyos iones reaccionan con los de la sustancia que se desea remover, formando un precipitado. Tal es el caso de la remoción de hierro y de dureza carbonatada (ablandamiento), mediante la adición de cal. (De Vargas, 2004).

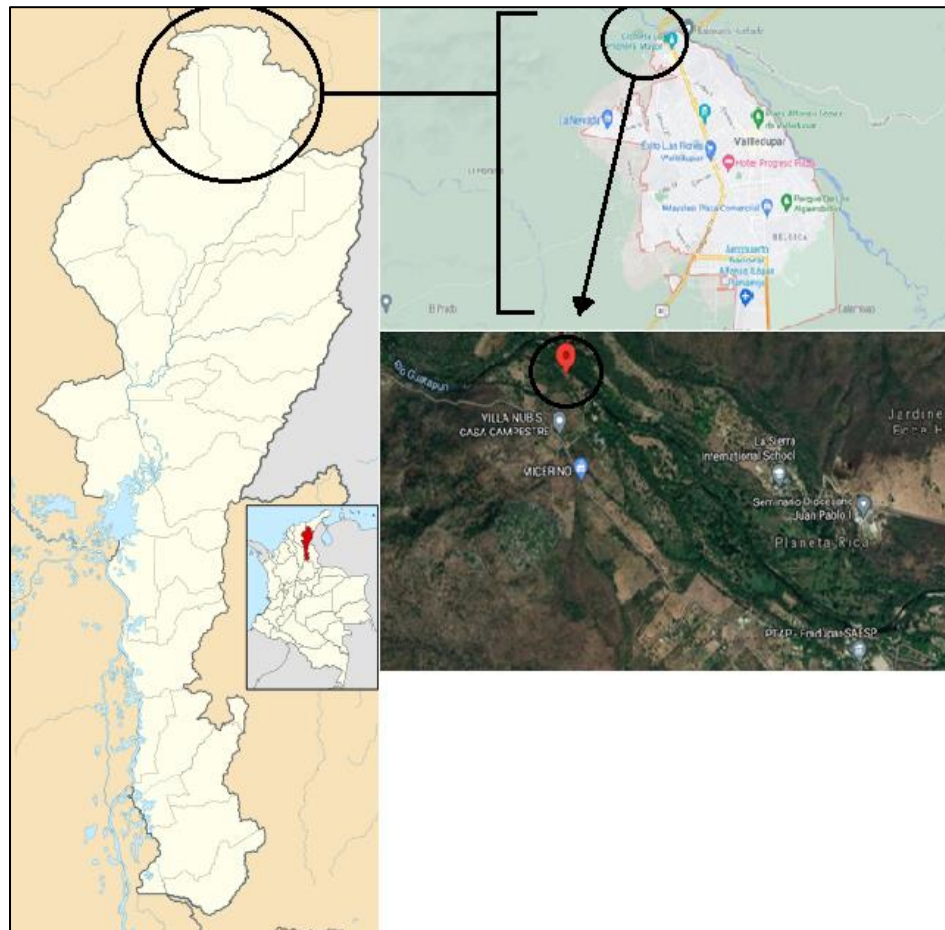
Turbidez: La turbidez es la capacidad de un líquido de diseminar un haz luminoso, puede deberse a partículas de arcilla provenientes de la erosión del suelo, algas o a crecimientos bacterianos. La medición de la turbidez se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) (Severiche et al; 2013).

4.5. Marco Contextual.

4.5.1. Ubicación.

Figura 1.

Localización geográfica.



Fuente: Autores, 2023.

Valledupar, también llamada Ciudad de los Santos Reyes del Valle de Upar, es un municipio colombiano, capital del departamento del Cesar. Es la cabecera del municipio homónimo, el cual tiene una extensión de 4493 km², 493 342 habitantes y junto a su área metropolitana reúne 677 941³ habitantes; está conformado por 25 corregimientos y 102 veredas.

Está ubicada al nororiente de la Costa Atlántica colombiana, a orillas del río Guatapurí, en el valle del río Cesar formado por la Sierra Nevada de Santa Marta al occidente y la serranía del Perijá al oriente.

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, en el punto intermedio de las dos cuencas de explotación carbonífera más grandes del país: Cerrejón al norte y el complejo minero operado por Glencor La Loma-La Jagua al sur. También es uno de los principales epicentros musicales, culturales y folclóricos de Colombia por ser la cuna del vallenato, género musical de mayor popularidad en el país y actualmente símbolo de la música colombiana. Anualmente atrae a miles de visitantes de Colombia y del exterior durante el Festival de la Leyenda Vallenata, máximo evento del vallenato.

El río Guatapurí es un río del departamento del Cesar, en la Costa Atlántica de Colombia. Nace en la laguna Curigua, en la Sierra Nevada de Santa Marta, a 4400 msnm y desemboca en la margen derecha del río Cesar, cerca de Valledupar. A lo largo de su curso recibe, entre otros, los ríos Donachui, Curiba, Los Mangos y Mamanqueca. En un descenso de 85 km, su pendiente media es de 20°. El río Guatapurí en su cuenca media es una corriente de carácter torrencial y corre por un cañón de flancos de fuerte pendiente; se encuentra acorazado por bloques heterométricos de diferente composición pero predominantemente de rocas ígneas.

A su paso por el norte de Valledupar se encuentra el balneario de Hurtado, principal lugar de recreación y diversión de la capital del Cesar. En este mismo sitio se encuentran el Pueblito Vallenato y el parque Lineal. Además, alimenta de agua al acueducto de dicha ciudad.

4.5.2. Clima.

Valledupar, dada su latitud, se encuentra en la zona de dominios tropicales, posee un clima tropical donde las características generales del clima son elevadas temperaturas y escasa oscilación térmica anual.

En cuanto a las temperaturas, según los datos acumulados desde 1969 por el IDEAM en su estación meteorológica ubicada en el aeropuerto Alfonso López, la temperatura media anual es de 28,4 °C, con mínimas y máximas de 22 °C y 34 °C respectivamente. El mes más caluroso es abril con un promedio de 30 °C y el más fresco es octubre con 26 °C.

Esta investigación será realizada en la margen izquierda del río Guatapurí en la ciudad de Valledupar, ubicada al nororiente de la Costa Atlántica colombiana, a orillas del río Guatapurí, en el valle del río Cesar formado por la Sierra Nevada de Santa Marta al occidente y la serranía del Perijá al oriente; el punto de la toma de muestra será aguas arriba del punto de captación de la PTAP de EMDUPAR.



4.6. Marco Legal.

Tabla 1.

Normatividad de Colombia.

Normatividad	Descripción
Ley 09 de 1979.	Por lo cual se dictan las Medidas Sanitarias, las cuales incluyen la vigilancia y control en salud pública de la calidad del agua para consumo humano a desarrollar a través de las direcciones territoriales de salud.
Ley 99 de 1993.	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del ambiente y los recursos naturales renovables.
Ley 142 1994.	Las personas que prestan el servicio público de acueducto, bajo condiciones normales, deben además garantizar el suministro en cantidad, continuidad y buena presión en la red de distribución, acorde con lo dispuesto en los Planes de Gestión y Resultados (PGR).
La ley 373 de 1997	Da las políticas para el uso eficiente y ahorro del agua.
Ley 715/2001.	Las autoridades de Salud de los Departamentos, Distritos o Municipios,

	ejergerán la vigilancia y control sobre la Calidad del Agua Potable como parte de las funciones asignadas por la Ley 715/2001 y las acciones del Plan de Atención Básica PAB en su jurisdicción.
Decreto 2811 de 1974.	Por el cual se dicta el código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente.
Decreto 2105 de 1983.	Por el cual se reglamenta parcialmente el título II de la ley 09 de 1979 en cuanto a potabilización del agua.
Decreto 1562 de 1984.	Mediante el cual se regulan las actividades relacionadas con la vigilancia y control epidemiológicos, en especial el artículo 14 de dicha reglamentación, la información recolectada del control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano.
Decreto 1575 de 2007.	Por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua consumo humano.
Resolución 1096 de 2000.	Se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico.
Resolución 1075 de 2003.	Se actualiza el plan nacional de capacitación y asistencia técnica para el sector de agua potable saneamiento básico y ambiental

Resolución 1075 de 2003.

Se actualiza el plan nacional de capacitación y asistencia técnica para el sector de agua potable saneamiento básico y ambiental.

Resolución 2115 de 2007.

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

Fuente: Autores, 2023.



5. Marco Metodológico.

5.1. Línea y Sublínea De Investigación.

La línea de investigación para el desarrollo del presente estudio es la siguiente: Sostenibilidad y Gestión Ambiental, así como la sublínea de investigación es Gestión Integral del Recurso Hídrico.

Enfocado en el desarrollo y aplicación de sistemas de detección, programas de seguimiento y metodologías para el análisis fisicoquímico del agua; y evaluación de la calidad de esta, sometiéndola a una serie de operaciones con el fin de hacerla apta para el consumo humano.

5.2. Tipo De Investigación.

El tipo de estudio es descriptivo-experimental. Descriptivo porque trata de explicar propiedades, características de una muestra de agua o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis.

También podemos clasificar nuestra investigación como tipo de investigación experimental ya que se utiliza la metodología experimental con la finalidad de controlar uno o varias variables independientes a evaluar para un posible uso del agua potable.

5.3. Nivel De Investigación.

El diseño de la investigación es experimental porque obtendremos datos partir de varias muestras y concluiremos de las mismas.

5.4. Población De Estudio.

La población de estudio son las aguas provenientes del río Guatapurí en el municipio de Valledupar-Cesar, las muestras serán trasladadas a las instalaciones del laboratorio ambiental de la Universidad Popular del Cesar, quienes prestaran los equipos necesarios para las pruebas y

análisis de laboratorio que se describen en el anteproyecto, las cuales serán realizadas por los mismos estudiantes investigadores.

5.5. Muestra.

Las muestras para el tratamiento serán muestras representativas tomadas del río Guatapurí, la cantidad será 60 litros de agua.

5.6. Desarrollo Metodológico.

La evaluación de la eficiencia de la semilla de *Jatropha Curca* como coagulante natural, se basó en la remoción de turbidez presentes en las aguas crudas del río Guatapurí, se realizó una prueba piloto mediante el desarrollo y ejecución de varias etapas que incluyeron diferentes actividades, técnicas y procedimientos, las cuales se mencionan a continuación.

5.6.1. Etapa1: Caracterizar La Muestra De Agua Proveniente Del Río Guatapurí En Cuanto a Turbidez, pH, Temperatura y Conductividad Eléctrica (antes de la aplicación del coagulante).

Actividad 1.1 Punto de muestreo y Toma de la muestra.

El punto de la toma de muestra será aguas arriba del punto de captación de la PTAP de EMDUPAR ubicado al noroccidente de Valledupar, debido a que al encontrarse cercano a la captación de la PTAP obtendremos muestras de agua con características similares a las que toman en la PTAP, por lo tanto, los resultados serán mucho más confiables.

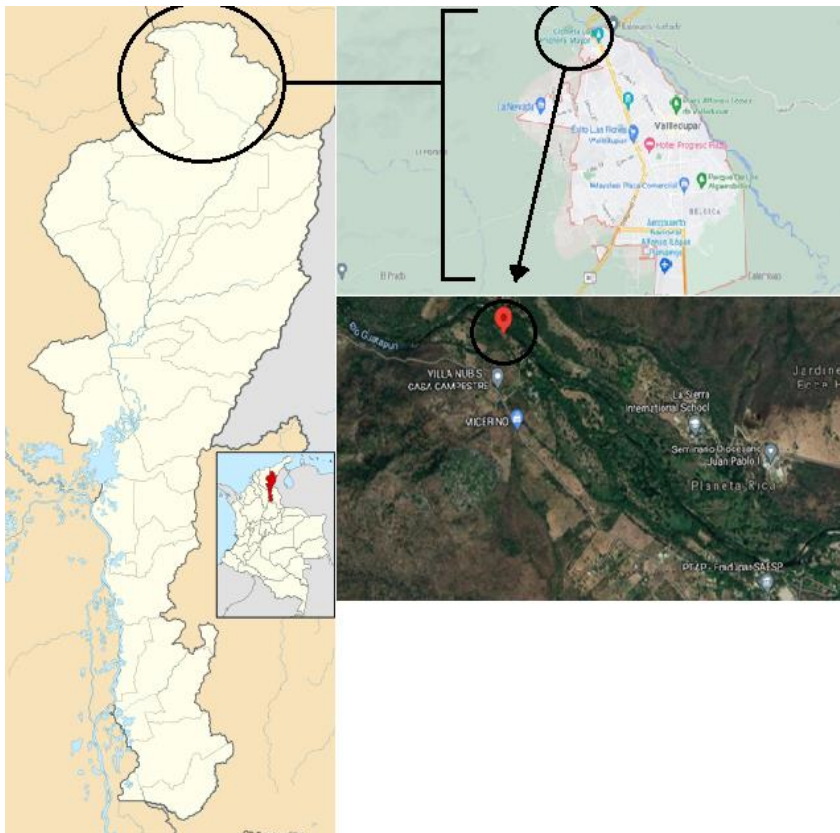
A continuación, se describen los pasos para la toma de la muestra.

- ✓ Usar envases compatibles con los parámetros que se van a analizar.
- ✓ Enjuagar los envases con el agua a muestrear por lo menos dos veces de manera consecutiva.
- ✓ Identificar clara e inmediatamente la muestra. En algunos casos es mejor emplear un número correlativo o una clave que indique la fuente o el lugar de procedencia de la muestra.

- ✓ Las muestras se deberán tomar en los sitios de mayor mezcla, o inmediatamente después de ésta, para asegurar la representatividad del agua contenida en el punto de muestreo.
- ✓ Evitar tomar las muestras en sitios muy cercanos a la orilla o bordes del cuerpo de agua.
- ✓ No recolectar sedimentos o materiales adheridos a la orilla o bordes del cuerpo de agua o superficie del mismo, así como tampoco es recomendable recolectar partículas grandes.
- ✓ De preferencia usar solamente recipientes nuevos en la toma de muestras de agua.

Figura 2.

Ubicación del sitio a estudiar.



Fuente: Autores, 2023.

Actividad 1.2 Caracterización Físicoquímica de la muestra de agua mediante la realización de la prueba de Turbidez, pH y Conductividad eléctrica.

Para realizar las pruebas correspondientes, las muestras se almacenarán en recipientes plásticos de 25 litros debidamente aseados para evitar cualquier tipo de alteración de las condiciones naturales del agua y serán llevadas al laboratorio de la UPC, donde se medirán los parámetros de (pH, Turbidez, Conductividad, Temperatura), para evaluar las condiciones iniciales del agua.

Medición de turbidez: Para realizar esta prueba se utilizará el turbidímetro, en el cual se analizarán las muestras de agua cruda y el agua después de los dos tratamientos de coagulación arrojando la turbiedad del agua en unidades nefelométrías de turbidez.

Medición de prueba química – pH: Se realizarán mediciones con un pH-metro portátil, en el cual se ejecutarán la muestra al inicio y final de los dos tratamientos.

Medición de Conductividad Eléctrica: Se utilizará un equipo multiparámetro, el cual será calibrado y se lavará con agua destilada para introducirlo en la muestra hasta determinar la conductividad.

5.6.2. Etapa2: Establecer la Dosis Optima de *Jatropha* a Aravés de un Montaje Piloto.

Actividad 2.1 Obtención de coagulante J Curca y Sulfato de Aluminio.

Para la obtención del coagulante se aplicará un procedimiento similar al utilizado por (Panadero & Posada, 2016).

Para la activación del biocoagulante se realizará el siguiente procedimiento:

- ✓ La cáscara de la J. curcas semillas se retirarán manualmente.
- ✓ Se seleccionarán semillas de buena calidad y los granos se molerán a un polvo fino utilizando un molino de alimentos ordinario.

- ✓ Se pesarán 5 g de J. curcas polvo y se mezclarán con 100 ml de agua destilada con cloruro de sodio al 99%, dejando el disolvente con una concentración de 0.5 M. Usando un procesador de alimentos ordinario durante 2 minutos se mezclará la semilla con el disolvente para extraer el agente de coagulación activo desde el J. curcas semillas.
- ✓ La suspensión se filtrará a través de papel filtro para evitar los efectos del envejecimiento, tales como cambios en el pH, la viscosidad y la actividad de coagulación debido a la descomposición microbiana de compuestos orgánicos durante el almacenamiento, agente coagulante fresca se prepara y se utilizará inmediatamente para cada secuencia de experimento.

Para la obtención de sulfato de Aluminio se efectuará el siguiente procedimiento:

En la preparación de la muestra matriz de Sulfato de Aluminio se utilizará una concentración de 5 gr en 100ml de agua destilada para obtener una concentración del 5%.

Actividad 2.2 Dosificación de los coagulantes.

Para la dosificación del coagulante de Jatropha Curca y Sulfato de Aluminio se realizará el siguiente procedimiento:

Se calculará en cada jarra los rangos de dosificación mediante la ecuación de balance de masas con el fin de hallar el rango optimo del coagulante.

Ecuación 1.

Dosificación del coagulante.

$$V1C1 = V2C2$$

Nota: Ecuación de balance de masa para la obtención de la dosis deseada.

Donde:

V_1 = Volumen del Coagulante a agregar

C_1 = Concentración del Coagulante

V_2 = Volumen de la muestra

C_2 = Concentración de la muestra.

Actividad 2.3 Proceso de Coagulación-Floculación con *Jatropha Curcas* y Sulfato de Aluminio.

Para determinar la dosis optima de los coagulantes se realizará diferentes ensayos en el test de jarras usando la metodología establecida Norma Técnica Colombiana NTC 3903 (ICONTEC, 2010), el aparato consta de seis unidades (vasos precipitados) con capacidad 2L, donde se le añadirán a cada vaso de precipitado 1L de la muestra. Posteriormente se dará inicio a la mezcla rápida a 120 rpm por 4 minutos, seguidamente se procederá agregar con ayuda de jeringas las diferentes dosis del coagulante a las jarras a excepción de una de ellas para ser utilizada como control. Luego de que se haya terminado el proceso de mezclado rápido se dará inicio a la mezcla lenta a 20 rpm durante 20 minutos para simular el proceso de floculación y registrar los tiempos de formación de flóculos. El proceso finalizara con la fase de sedimentación dejando los vasos a quietud durante 30 minutos a 0 rpm. Una vez terminado el proceso se procede a tomar una muestra de 50 ml de cada vaso de precipitado, para la determinación de los parámetros físicos y químicos. La dosis optima del coagulante será determinada por la cantidad de remoción de turbidez del agua de muestra.

5.6.3. Etapa3: Comparar la Efectividad de la *Jatropha Curcas* como Coagulante con Respecto al Sulfato de Aluminio.

Actividad 3.1: Comparación De Resultados.

Con los resultados de las pruebas anteriormente mencionadas se evaluará la efectividad de la *Jatropha curcas* luego de ser tabulada y graficada, esta información servirá para calcular la eficiencia de la *Jatropha Curcas*, además se compararán los resultados finales de remoción de

turbidez, pH y conductividad eléctrica con los valores mínimos aceptados por la normatividad vigente de Colombia.

5.7. Diseño Experimental.

El objetivo de la investigación es evaluar la eficiencia del coagulante natural obtenido de la semilla de *Jatropha curcas* para el tratamiento de esta agua en específico, se seleccionó un coagulante convencional y de reconocida eficiencia para comparar su rendimiento.

Para realizar estas pruebas se utilizó el diseño experimental completamente al azar, cuyos factores fueron el tipo de coagulante (sulfato de aluminio y *Jatropha Curcas*), y la dosis del coagulante.

El diseño experimental utilizado es aleatorio dando la misma probabilidad de inclusión de todos los niveles. La variable dependiente o respuesta a los experimentos fueron los resultados de % de remoción de turbiedad, pH y conductividad obtenidos del agua luego de haber sido tratada. Para contar con valores más precisos se realizaron tres replicas para cada coagulante. Al final se realizó una comparación de las dosis óptimas y sus porcentajes de remoción para cada coagulante.



6. RESULTADOS Y ANALISIS.

6.1.1 Etapa1: Caracterización De La Muestra De Agua Proveniente Del Río Guatapurí En Cuanto a Turbidez, pH, Temperatura y Conductividad Electrica.

En esta etapa se definió el punto de muestro y se buscó medir las características físicas y químicas del agua del rio Guatapurí para determinar si cumplen con lo que establece la norma técnica de Colombia.

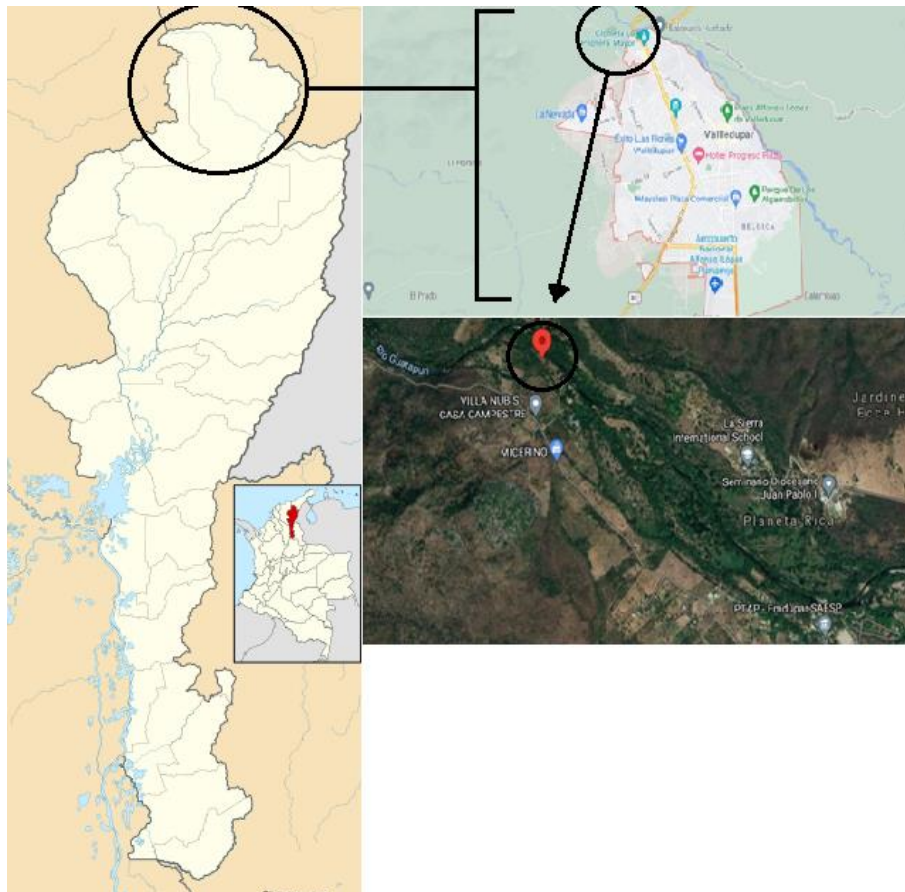
6.1.1.1 Actividad 1.1 Punto de muestreo y Toma de la muestra.

El punto de la toma de muestra fue aguas arriba de la zona de captación de la PTAP de Valledupar con las siguientes coordenadas $10^{\circ}31'06.9''N-73^{\circ}18'07.0''W$, esto con el fin de obtener muestras de agua con características similares a las que toman en la PTAP, las muestras fueron trasladadas al laboratorio de fisicoquímica ambiental de la Universidad Popular del Cesar donde se midieron los parámetros iniciales de (pH, Turbidez, Conductividad y Temperatura. Con el fin de compararlos con los valores permisibles definidos en la Resolución 2115 del 2007 en el cual se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano.

Para realizar las pruebas correspondientes, las muestras se almacenaron en recipientes plásticos de 30 litros debidamente aseados para evitar cualquier tipo de alteración de las condiciones naturales del agua y fueron llevadas al laboratorio de la UPC. (Anexo A).

Figura 3

Ubicación de la toma de la muestra.



Nota: la figura representa el punto donde exacto donde se realizará la toma de la muestra de aguas para la realización de este trabajo de grado, realizado por Autores, 2023.

6.1.1.2 Actividad 1.2 Caracterización Físicoquímica de la muestra de agua mediante la realización de la prueba de Turbidez, pH y Conductividad eléctrica.

Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de fisicoquímica ambiental de la Universidad Popular del Cesar donde se midieron los parámetros iniciales de (pH, Turbidez, Conductividad y Temperatura). Con el fin de compararlos con los valores permisibles definidos en la Resolución 2115 del 2007 en el cual se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano.

Medición de pH: El pH se determinó usando un equipo multiparámetro a través del método potenciométrico, usando un pH-metro (Orión Start A215), con electrodo de vidrio, calibrado con soluciones buffers de pH 4 y 7. Se midieron 50 ml de muestra en un beaker de 250 mL, se introdujo electrodo del pH-metro hasta obtener la lectura constante. (Anexo B).

Medición de turbiedad: Para la determinación de la turbidez se analizó una muestra previamente agitada de 20 ml con ayuda de un turbidímetro marca HACH 2100AN, calibrado con agua destilada, arrojando la medida de turbidez. (Anexo C).

Medición de Conductividad Eléctrica: Se realizaron mediciones de conductividad eléctrica con ayuda de un equipo multiparámetro de marca y modelo Thermo (Orión Start A215), donde el equipo fue calibrado y se lavó el sensor con agua destilada para introducirlo en la muestra hasta determinar la conductividad. (Anexo D).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas fisicoquímicas realizadas a las muestras provenientes del río Guatapurí y los rangos óptimos para consumo humano estipulado en la resolución 2115 de 2007.

Tabla 3.

Valores obtenidos de las muestras de agua y Niveles permisibles en la normatividad colombiana.

Parámetros	Valor Obtenido	Valores límites - Res. 2115 DE 2007	Cumple o No Cumple
pH	9.00	6.5 – 9.00	Cumple
Turbidez	31,3	2 UNT	No cumple
Conductividad Eléctrica	78.2	1000 $\mu\text{m}/\text{cm}$	Cumple
Temperatura	24°C	NR	NR

Nota. Fuente: Resolución 2115 2007, Adaptada por autores, 2022

En términos generales se puede observar que los parámetros de pH y Conductividad Eléctrica cumplen con los límites permisibles según la legislación colombiana (Res. 2115 del 2007). También se observó que la turbidez no cumple, debido a que se encuentra por encima del valor máximo permisibles establecido por la resolución 2115 del 2007 de 2 UNT.

Además, no se está cumpliendo con los parámetros establecido por la normatividad Colombiana debido a que es una muestra de agua cruda, la cual fue tomada en temporada de lluvia (Septiembre-Noviembre del 2022).

6.1.2 Etapa2: Establecer la Dosis Optima de Jatropha y Sulfato de Aluminio a Aravés de un Montaje Piloto.

En esta etapa se buscó determinar la dosis optima del coagulante mediante pruebas de jarras, con la cual se busca establecer la cantidad adecuada por litro de agua del coagulante de Jatropha Curca que se debe aplicar para obtener resultados óptimos.

6.1.2.1 Actividad 2.1 Obtención de coagulante J Curca.

Para la obtención del coagulante se aplicó un procedimiento similar al utilizado por (Panadero & Posada, 2016). La metodología implica unas series de etapas, las cuales consisten en adquisición y selección de la semilla, descascarado, secado, molienda y tamizado, pesado y preparación del coagulante. (Anexo E).

Las semillas de Jatropha Curcas se obtuvieron en el Sena-CBC a las afueras de la ciudad de Valledupar y posteriormente se seleccionaron las semillas de mejor calidad.

- **Descascarado:** la cascara de las semillas se retiraron manualmente quedando la parte blancuzca y sólida.
- **Secado:** Una vez descascarada la semilla se procedió a colocarlas en una bandeja para introducirlas en el horno durante 72 horas continuas a temperaturas que rondaban los 60 y 62°C para eliminar la humedad existente.

- **Molienda y tamizado:** Después del proceso de secado de las semillas, estas fueron introducidas en un molino para reducir su tamaño y luego se procedió a someterlas a una picadora y así obtener un polvo más fino.
- **preparación del coagulante.** Para la preparación del coagulante se usó un beaker de 250 ml donde se añadieron 100 ml de agua destilada y 5 gr del coagulante previamente molido, posteriormente la mezcla fue agregada a una licuadora y utilizada a máxima potencia durante 10 minutos para obtener una mezcla homogénea al 5% (p/v), de acuerdo a lo propuesto por (Panadero & Posada, 2016) y (Carrascal Pallares & Duran Perez, 2021), con algunas modificaciones hechas por los autores. Por último, la mezcla fue filtrada a través de papel filtro con el fin de obtener una solución acuosa limpia y sin presencia de gránulos.

La concentración de la solución coagulante se obtuvo por medio de la relación peso/volumen de la siguiente manera:

Ecuación 2

Concentración del coagulante.

$$\begin{aligned} \text{Relacion} \frac{\text{peso}}{\text{volumen}} &= \frac{\text{masa soluto}}{\text{volumen del sovente}} * 100 \\ \Rightarrow \frac{10 \text{ gr}}{100 \text{ ml}} * 100 &= 10\% \\ \Rightarrow \frac{5 \text{ gr}}{100 \text{ ml}} * 100 &= 5\% \end{aligned}$$

Nota: Se estableció una concentración de 5% del coagulante, la concentración se seleccionó con el propósito de compararlo con el sulfato de Aluminio.

6.1.2.2 Actividad 2.2 Dosificación de los coagulantes.

Para la dosificación de los coagulantes Jatropha Curca y Sulfato de Aluminio se realizó el siguiente procedimiento:

Se calculo en cada jarra los rangos de dosificación mediante la ecuación de balance de masas con el fin de hallar el rango optimo del coagulante, los valores de concentración se eligieron teniendo en cuenta diversas investigaciones y referencias bibliográficas.

Ecuación 3

Obtención de la dosis deseada.

$$V1C1 = V2C2$$

Nota: la ecuación 3 representa el cálculo para la obtención para la concentración deseada.

Donde:

V1= Volumen del Coagulante a agregar

C1= Concentración del Coagulante

V2= Volumen de la muestra

C2= Concentración de la muestra.

6.1.2.3 Actividad 2.3. Proceso de Coagulación-Floculación con Jatropha Curcas y Sulfato de Aluminio.

Para determinar la dosis optima de los coagulantes se realizó diferentes ensayos en el test de jarras usando la metodología establecida Norma Técnica Colombiana NTC 3903 (ICONTEC, 2010), el aparato consta de seis unidades (vasos precipitados) con capacidad 2L, donde se le añadieron a cada vaso de precipitado 1L de la muestra. Posteriormente se inició la mezcla rápida a 120 rpm por 4 minutos, seguidamente se procedió a agregar con ayuda de jeringas las diferentes

dosis del coagulante a las jarras a excepción de una de ellas para ser utilizada como control. Luego de haber terminado el proceso de mezclado rápido se dio inicio a la mezcla lenta a 20 rpm durante 20 minutos para simular el proceso de floculación y registrar los tiempos de formación de flóculos. El proceso se finalizó con la fase de sedimentación dejando los vasos a quietud durante 30 minutos a 0 rpm y se extrajeron las paletas cuidadosamente para no alterar el agua. Una vez terminado el proceso se procedió a tomar una muestra de 50 ml de cada vaso de precipitado, para la determinación de los parámetros fisicoquímico. La dosis optima del coagulante fue determinada por la cantidad de remoción de turbidez del agua de muestra. (Anexo F).

6.1.2.3.1 Prueba con semilla cruda de *J. Curca*.

En esta prueba se usó la semilla cruda para las pruebas, se realizó el montaje de prueba de jarras con una mezcla rápida de 120 rpm por 4 minutos, luego una fase lenta de 40 rpm por 25 minutos y por último la sedimentación por 30 minutos, este ensayo se realizó bajo condiciones iniciales:

- ✓ Turbiedad: 15.3
- ✓ Ph: 8.94
- ✓ Temperatura: 26.5°C
- ✓ Concentración: 5%

Tabla 4.

*Pruebas para dosis óptima *Jatropha Curcas* con turbiedades bajas (rio Guatapurí).*

Jarra	Concentración (ppm)	Ph	Turbidez (NTU)	Conductividad (µs/cm)
1	0	9.54	8.26	100.2
2	20	8.91	10.9	371.6

3	40	8.14	14.7	644.2
4	60	7.84	17,6	898.2
5	80	7.75	20.5	1146
6	100	7.67	25.2	1371

Nota: tratamiento con J. Curca cruda. Autores, 2023.

Como se puede observar en la tabla 4 el ensayo se hizo con una concentración de coagulante que iba desde los 20 ppm hasta los 100 ppm aumentando la concentración de coagulante en cada jarra en 20 ppm. El incremento de la conductividad es mayor a medida que se aplican mayores dosis de coagulantes, esto podría deberse al aporte extra de cationes y aniones por parte del coagulante, mientras que el Ph disminuye cuando se incrementa la dosis de coagulante respecto al valor del Ph inicial.

6.1.2.3.2 Prueba con semilla tostada de *Jatropha Curca*.

En esta prueba la semilla se ingresó al horno A 60°C por 72 horas para separar sus aceites ya que se sospechaba que podría estar inhibiendo el agente coagulante, se realizó el montaje de prueba de jarras con una mezcla rápida de 120 rpm por 4 minutos, luego una fase lenta de 40 rpm por 25 minutos y por último la sedimentación por 30 minutos este ensayo se realizó bajo condiciones iniciales:

- ✓ Concentración: 5%
- ✓ Ph: 8.94
- ✓ Temperatura: 26.5°C
- ✓ Turbiedad inicial: 20.1 NTU

Tabla 5.

*Pruebas para dosis óptima *Jatropha Curcas* con turbiedades bajas.*

Jarra	Concentración (ppm)	Ph	Turbidez (NTU)	Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
1	0	8.84	7.21	275.8
2	20	9.88	10.07	351
3	40	8.63	13.9	760
4	60	8.78	15.9	623.9
5	80	8.28	20.5	992.1
6	100	8.17	17.5	827.5

Nota: Tratamiento de *Jatropha Curca* cocida. Autores, 2023.

En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos a partir del coagulante hecho con las semillas de *J. Curca* cocidas, donde se evidencia que en la jarra de control presento mayor porcentaje de remoción en comparación con las otras 5 jarras a las cuales se le aplico el coagulante, la remoción presentada por la jarra control es debida a que los sólidos presentes en la muestra de agua se han sedimentado por la acción de la gravedad.

Tabla 6.

Pruebas para dosis óptima Jatropha Curcas con turbiedades bajas y semilla tostada.

Jarra	Concentración (ppm)	Ph	Turbidez (NTU)	Conductividad (µs/cm)
1	0	9.54	7.2	275.8
2	110	9.07	16.4	1057
3	120	8.72	17.6	1201
4	130	8.46	18.7	1299
5	140	8.34	20.2	1432

Nota: Ensayos con concentraciones que van desde los 110 ppm hasta los 140 ppm. Autores, 2023.

En términos generales en la tabla 6, se observó que la turbidez va incrementándose a medida que aumenta la dosis de coagulante aplicado en cada jarra, disminuyendo el porcentaje de remoción eliminada debido a una posible sobresaturación de coagulante agregado, después del tratamiento la conductividad eléctrica aumento un 98,67 %.

6.1.2.3.3 Prueba con mezcla lenta a 20 rpm.

En esta prueba se redujo la velocidad de la mezcla lenta para reducir la conductividad que se observaba demasiado alta, se realizó el montaje de prueba de jarras con una mezcla rápida de 120 rpm por 4 minutos, luego una fase lenta de 20 rpm por 25 minutos y por último la sedimentación por 30 minutos este ensayo se realizó bajo condiciones iniciales:

- ✓ Concentración: 5%
- ✓ Ph: 7.94
- ✓ Conductividad: 62.13 μ s/cm
- ✓ Turbidez: 38.9NTU

Tabla 7.

Prueba con mezcla lenta a 20rpm

Jarra	Concentración (ppm)	Ph	Turbidez (NTU)	Conductividad (μ s/cm)
1	0	7.9	20.9	62.13
2	10	9.09	20.03	91.02
3	20	8.4	21.6	172.1
4	30	8.14	22.4	223.5
5	40	8.76	22.9	112.9
6	50	8.83	25.8	220.5

Nota: Aumento de la concentración de coagulante en 10 ppm por cada jarra. Autores, 2023.

En la tabla 7 se muestran las condiciones en las que se comportó el agua durante el test de jarras con concentraciones que van desde las 10ppm hasta los 50ppm, se puede indicar una vez más que para muestras con Ph 7,94 y turbidez de 38,9 NTU el proceso de coagulación-floculación no ha sido efectivo, puesto que se observan resultados mas alto en cuanto a turbidez que los obtenidos en tablas anteriores, en cuanto al comportamiento del Ph se puede decir que la variabilidad es alta, donde el mayor valor se alcanza a 10ppm mientras que el menor rango se ve

en los 30ppm. El aumento de la conductividad eléctrica al momento de aumentar la dosis presenta ciertas variaciones, por lo tanto, se presume que no existe una relación directa entre el incremento de la CE y la concentración del coagulante.

Las tablas 4, 5, 6 y 7 muestran el comportamiento de la *Jatropha Curca* durante los ensayos para obtener la dosis óptima con agua cruda del río Guatapurí en época de invierno, es importante destacar que se trabajó con un agua con turbidez por encima de la normatividad Colombiana y con una conductividad que está en los rangos permitidos por la norma técnica. Se puede observar que para las muestras con diferentes concentraciones no hubo reducción de la turbidez, sino que por el contrario se obtuvo un aumento en los niveles de turbiedad de las 5 jarras en comparación con la jarra control.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos anteriores, se presume que el coagulante de *Jatropha Curca* permite la cohesión de sólidos mucho más gruesos y no finos, debido a que sus aniones y cationes que genera el coagulante no tienen la capacidad de atraer sólidos más finos sino mucho más gruesos.

Resultados similares reportan los autores (Panadero & Posada, 2016), donde hay una inferencia del Ph, en su investigación señalan que “la eficiencia de la proteína de semilla de *Jatropha curcas* en el proceso de coagulación se hizo deficiente debido a que el pH con el que cuenta el agua en promedio es neutro. Lo que se puede explicar con el pH isoelectrico de las proteínas, que nos dice que en disolución con un valor alto de pH (disoluciones básicas) las proteínas suelen tener carga neta negativa. Por el contrario, en disoluciones de pH bajo (disoluciones acidas) las proteínas tienen carga neta positiva. A un valor intermedio de pH, la carga neta de una proteína tendrá que ser cero. El pH de la disolución en la cual la proteína tiene una carga neta cero se denomina pH isoelectrico (iso=igual). A este pH isoelectrico el número de cargas de negativos y positivas es el mismo con lo que la carga neta es cero. Siendo esta la situación que se presenta con el agua del río Magdalena.” (Panadero & Posada, 2016).

Además, Según los resultados de diferentes investigaciones realizadas por Abidin et al. (2011), buscaron un método mejorado y alternativo para la extracción del agente coagulante activo

a partir de semilla de *Jatropha curcas*, donde lograron un porcentaje de remoción de turbiedad > al 90% a un pH de 3. (Panadero & Posada, 2016).

De igual manera, en un estudio previo (Abidin et al., 2011) encontró que el extracto de las semillas de *J. curcas* en una solución de 0,5 M de NaCl es eficiente como coagulante natural en condiciones ácidas, especialmente a pH 3, logrando una reducción significativa en la eliminación de la turbidez, confirmado por una correlación negativa entre el aumento del pH y la eficiencia de remoción de la turbidez. (Bravo Gallardo, 2017)

Cabe resaltar que en esta etapa no se logró determinar la dosis óptima para *J. Curca* por lo cual se decidió revisar la literatura y se hizo una exhaustiva revisión de artículos científicos donde se evidencio que en la tesis realizado por Carrascal & Payares (2022), obtuvieron remociones superiores al 95% en aguas con turbidez inicial de 500 y 1000 NTU utilizando la *J. Curcas* como coagulante natural, viendo que en tesis anteriores obtuvieron buenos resultados con turbiedades bastantes altas se decidió buscar una muestra de agua más turbia proveniente de la ciénaga de Zapatosa para seguir con la metodología planteada en este proyecto.

A continuación, se muestran los resultados con la muestra proveniente de la ciénaga de Zapatosa.

6.1.2.3.4 *Determinación de la dosis óptima para la *Jatropha Curca*.*

Se determinó la turbidez como única variable respuesta dependiente para el coagulante natural *Jatropha curcas* expresada en unidades nefelométricas de turbidez (NTU), teniendo como variables independientes la concentración de las dosis optimas de cada coagulante expresadas en ppm y el propio coagulante natural de *J. curcas* que luego se comparara con el coagulante sulfato de aluminio. Los ensayos fueron realizados por triplicado para determinar las dosis óptimas para el coagulante natural con las siguientes condiciones iniciales:

- ✓ PH=8.95
- ✓ Conductividad=191.1
- ✓ Turbidez=238 NTU

✓ Concentración =5%

Se realiza la mezcla rápida a 120rpm por 4 minutos luego se pasa a la mezcla lenta a 40 rpm por 25 minutos por último se deja en sedimentación por 30 minutos.

Tabla 8.

Determinación de dosis óptima para el coagulante Jatropha Curcas ensayo 1.

Jarra	Dosis (ml)	Concentración (ppm)	Ph	Turbidez (NTU)	Conductividad (μ s/cm)
1	0	0	8.84	33.2	295.8
2	2.4	120	8.36	5.2	331.2
3	2.8	140	7.82	3.51	375.4
4	3.2	160	7.91	2.92	401.7
5	3.6	180	7.42	6.3	444.8
6	4	200	6.99	6.54	475.2

Nota: Evaluación de turbiedad con el coagulante natural Jatropha Curca en la corrida 1.
 Autores, 2023.

Tabla 9.

Determinación de dosis óptima para el coagulante Jatropha curca ensayo 2.

Jarra	Dosis (ml)	Concentración (ppm)	Ph	Turbidez (NTU)	Conductividad (μ s/cm)
1	0	0	8.8	36.5	294.3
2	2.4	120	7.86	4.33	344.4

3	2.8	140	7.5	3.37	384.5
4	3.2	160	7.32	2.89	412.2
5	3.6	180	7.04	3.19	461.8
6	4	200	6.67	4.78	517.5

Nota: Evaluación de turbiedad con el coagulante natural *Jatropha Curca* en la corrida 2.

Autores, 2023.

Tabla 10.

*Determinación de dosis óptima para el coagulante *jatropha curca* ensayo 3.*

Jarra	Dosis (ml)	Concentración (ppm)	Ph	Turbidez (NTU)	Conductividad ($\mu\text{s/cm}$)
1	0	0	8.36	34.1	297.1
2	2.4	120	8.14	4.72	352.3
3	2.8	140	7.87	3.43	375.9
4	3.2	160	7.38	2.83	406.5
5	3.6	180	7.15	3.54	458.3
6	4	200	6.8	4.45	497.7

Nota: Evaluación de turbiedad con el coagulante natural *Jatropha Curca* en la corrida 3.

Autores, 2023.

Las tablas 8,9 y 10 se muestra el comportamiento de la Jatropha Curca durante los ensayos para obtener la dosis optima, se puede observar que para las diferentes concentraciones la dosis de mejor comportamiento fue la de 3,2 ml donde se obtuvo el mejor resultado frente a la turbiedad.

Al analizar el efecto de las diferentes concentraciones aplicadas del coagulante de jatropha a cada una de las jarras, tal como se observan en las tablas 8,9 y 10, se evidencia que mientras una variable tiende a disminuir como el caso del Ph y la turbiedad, la conductividad tiende a aumentar, sin embargo, estudios indican que la conductividad eléctrica aumenta al disminuir la presencia de sólidos, dado que la materia orgánica no permite el paso de la corriente eléctrica. (Quintero Duque, 2018).

6.1.2.3.5 *Determinación de la dosis óptima para el Sulfato de Aluminio.*

Se determinó la turbidez como única variable respuesta dependiente para el coagulante sulfato de aluminio expresada en unidades nefelométricas de turbidez (NTU), teniendo como variables independientes la concentración de las dosis óptimas de cada coagulante expresadas en ppm y el propio coagulante sulfato de aluminio que luego se comparara con el coagulante jatropha curcas. Los ensayos fueron realizados por triplicado para determinar la dosis óptima para el coagulante sulfato de aluminio con las siguientes condiciones iniciales:

- ✓ PH=8.95
- ✓ Conductividad= 191.1
- ✓ Turbidez= 238 NTU
- ✓ Concentración = 5%

Se realiza la mezcla rápida a 120rpm por 4 minutos luego se pasa a la mezcla lenta a 40 rpm por 25 minutos por último se deja en sedimentación por 30 minutos.

Tabla 11.

Determinación de la dosis óptima para el coagulante sulfato de aluminio prueba 1.

Jarra	Dosis (ml)	Concentración (ppm)	Ph	Turbidez (NTU)	Conductividad (µs/cm)
1	0	0	7.24	30.9	167.6
2	0.1	5	7.38	18.4	130.1
3	0.2	10	7.59	18.2	168.4
4	0.3	15	7.42	2.05	180.3
5	0.4	20	7.32	1.31	185.9
6	0.5	25	7.40	1.67	127.6

Nota: Evaluación de turbiedad con el coagulante sulfato de aluminio en la corrida 1.

Tabla 12.

Determinación de la dosis óptima para el coagulante sulfato de aluminio prueba 2.

Jarra	Dosis (ml)	Concentración (ppm)	Ph	Turbidez (NTU)	Conductividad (µs/cm)
1	0	0	7.66	27.4	288.2
2	0.1	5	7.45	3.01	385.1
3	0.2	10	7.32	2.96	363
4	0.3	15	7.25	2.63	389.2

5	0.4	20	6.72	1.1	446.1
6	0.5	25	5.73	1.82	505.2

Nota: Evaluación de turbiedad con el coagulante sulfato de aluminio en la corrida 2.

Tabla 13.

Determinación de la dosis óptima para el coagulante sulfato de aluminio prueba 3.

Jarra	Dosis (ml)	Concentración (ppm)	Ph	Turbidez (NTU)	Conductividad ($\mu\text{s/cm}$)
1	0	0	7.36	32.3	257.6
2	0.1	5	7.48	17.2	220.1
3	0.2	10	7.9	15.2	238.4
4	0.3	15	7.48	2.16	280.3
5	0.4	20	7.21	1.03	285.9
6	0.5	25	7.49	1.87	327.6

Nota: Evaluación de turbiedad con el coagulante sulfato de aluminio en la corrida 3.

Las tablas 11,12 y 13 muestran el comportamiento del sulfato de aluminio durante los ensayos para obtener la dosis optima, se hicieron corridas con concentraciones de coagulante que van desde los 5 ppm hasta los 25 ppm aumentando la concentración de coagulante en cada jarra en 5 ppm. En esta prueba se determinó que la dosis optima se obtuvo en la jarra número 5 con una dosis de 0.4 ml de solución de coagulante, presentando un PH promedio de 7.08, con turbidez menores a lo indicado por la normatividad, con una electronegatividad de 285.9 $\mu\text{s/cm}$ y un porcentaje de remoción de 99.567%.

En las tablas anteriores se logró determinar que el sulfato de aluminio obtuvo una reducción alta del 99% en cuanto a turbidez, de igual manera se evidencia una reducción significativa del Ph, lo cual podría haberse dado por la acción acidificante del sulfato de aluminio, en cuanto a la conductividad, su comportamiento fue homogéneo, ya que a medida que aumentaba la dosis del coagulante en cada una de las jarras aumentaba la conductividad eléctrica en cada una de ellas

6.1.3 Etapa3: Comparación De La Efectividad De La Jatropha Curcas Como Coagulante Con Respecto Al Sulfato de Aluminio.

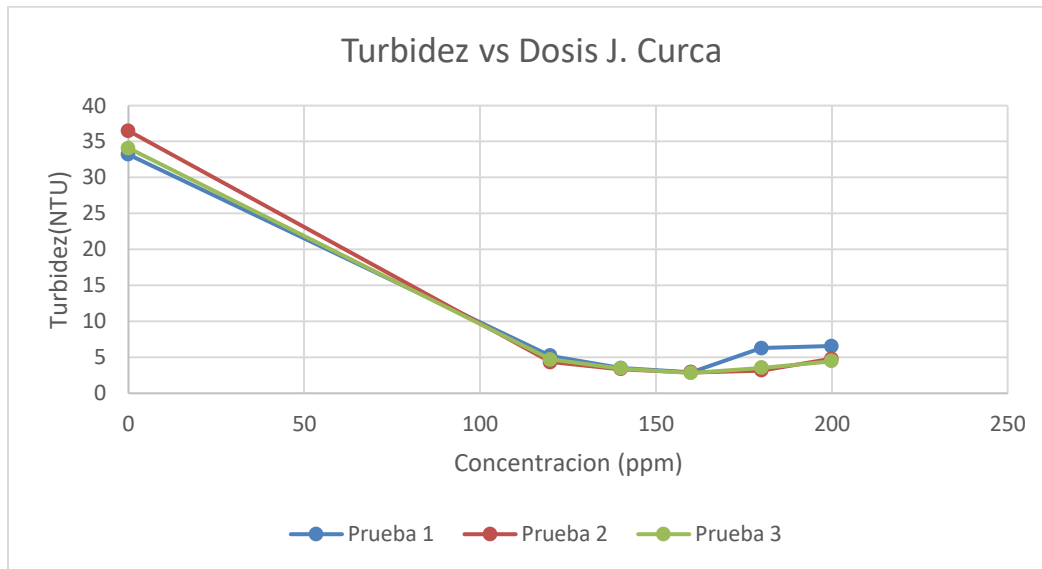
En la etapa 3 se realizó una evaluación acerca de la efectividad del coagulante jatropha curca en la remoción de turbidez en las aguas crudas del río Guatapurí antes y después del tratamiento para demostrar si cumplió con el objetivo planteado

6.1.3.1 Actividad 3.1: Comparación De Resultados.

Con los resultados ya tabulados y graficados de las pruebas anteriormente citadas se evaluó la eficiencia de la Jatropha curca con respecto al sulfato de aluminio en la remoción de turbidez, la efectividad fue determinada por los valores iniciales y finales de cada parámetro, además se compararon los resultados finales de remoción de turbidez, conductividad eléctrica y pH con los valores mínimos aceptados por la normatividad vigente de Colombia.

Grafica 1.

Turbidez vs dosis aplicada para el coagulante de Jatropha curca.

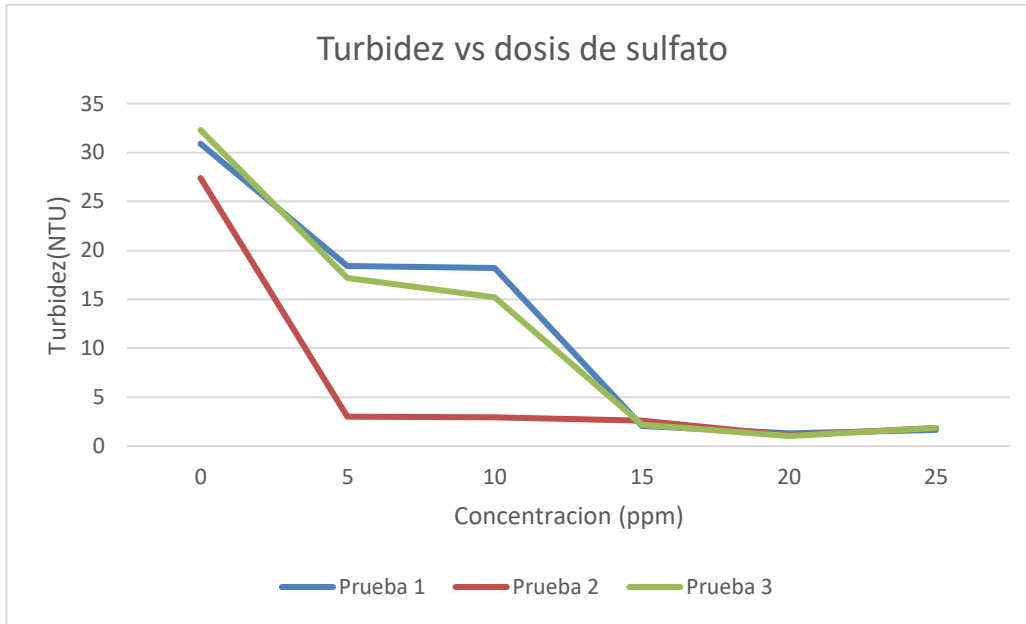


Nota: Comportamiento de las pruebas realizadas al coagulante de J. Curca.

La grafica 1 muestra el comportamiento que tuvieron cada una de las pruebas que se le realizaron al coagulante de jatropha curcas, donde vemos un comportamiento similar entre cada prueba. Las curvas son bastante similares, eso indica la turbiedad homogénea del agua, al igual que el del coagulante y se observa como coinciden las dosis optimas en 160ppm, en las dosis siguientes sube un poco y se observa un comportamiento más constante en la turbidez y en las anteriores se observa una pendiente más pronunciada entre cada dosis aplicada.

Grafica 2.

Turbidez vs dosis aplicada para el coagulante sulfato de aluminio.



Nota: Conducta de la turbidez con respecto a la dosis aplicada del Sulfato de A.

Se observa en la gráfica 2 el comportamiento que tuvieron cada una de las pruebas que se le realizaron al coagulante de sulfato de aluminio, donde notamos una conducta similar entre la prueba 1 y la prueba 3, en la prueba 2 se observa una disminución abrupta de la turbidez y luego un comportamiento constante a partir de la dosis de 5 ppm. Seguidamente se observa como coinciden las dosis optimas en 20ppm, en las dosis siguientes sube un poco entre las 20ppm y 25ppm y se observa un movimiento más constante en la turbidez.

Tabla 14.

Aplicación del diseño experimental en los porcentajes de remoción de cada prueba.

Coagulante	% Remoción 1	% Remoción 2	% Remoción 3	total	Media
Jatropha curcas	98.773	98.786	98.811	296.37	98.79
Sulfato de aluminio	99.450	99.538	99.567	298.555	99.518

Nota: Porcentaje de remoción de cada uno de los coagulantes estudiados.

En la tabla 14 se comparan los porcentajes de remoción de cada tratamiento con los dos coagulantes, además, observamos la media entre los resultados de los porcentajes de remoción, en la cual se muestra un rendimiento similar en el tratamiento en agua potable con las características trabajadas en este proyecto, donde la mayor efectividad para jatropha curcas fue de 98.811% y para el sulfato de aluminio fue de 99.567% y sus medias fueron de 98.79% y 99.518% respectivamente.



7. CONCLUSIONES.

Al llegar a la finalización de la presente tesis de grado podemos concluir que:

Al momento de caracterizar la muestra de agua se observó que la mayoría de los parámetros cumple con los valores máximos permisibles de la resolución 2115 del 2007 a excepción de la turbidez que presenta valores superiores al exigido por la normatividad vigente en Colombia.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, podemos concluir que, el coagulante natural de *Jatropha Curca* no es efectivo en la remoción de turbiedad para aguas crudas con turbidez inferiores a 40 NTU (unidades Nefelométricas de Turbidez), sino que le genero un leve aumento de turbiedad a las aguas no potabilizadas del río Guatapurí.

Para la obtención de la dosis optima del coagulante de *Jatropha Curca* se realizaron una serie de estudios donde el coagulante fue sometido a varios procesos y pruebas (test de jarras) a una concentración del 5%, dando como resultado que no hubo reducción de la turbidez para una muestra de agua con 38 NTU. De estos resultados obtenidos podemos decir que la eficiencia del coagulante está relacionada con la cantidad de turbidez presente en el agua, a mayor turbidez mayor eficiencia y a menor turbidez menor efectividad, esto se comprobó con una muestra de agua cruda proveniente de la ciénaga de Zapatosa en la cual la alícuota tenía una turbiedad promedio de 238 NTU, se le hicieron los respectivos ensayos de test de jarras y se obtuvieron remociones de turbiedad mayores al 90%, además se hizo una exhaustiva revisión de artículos científicos y se evidencio que en la tesis realizado por Carrascal & Payares (2022), obtuvieron remociones superiores al 95% en aguas con turbidez inicial de 500 y 1000 NTU utilizando la *J. Curcas* como coagulante natural.

Teniendo en cuenta las pruebas realizadas se observó un rendimiento similar en ambos coagulantes en cuanto la remoción de coloides en aguas con turbiedades medias y altas. También se observa un aumento en la conductividad mucho más presente en el coagulante de *jatropha curcas*. El comportamiento en la variación de pH es similar en ambos con una ligera disminución.

8. RECOMENDACIONES.

- ✓ Continuar con la línea de investigación de los coagulantes naturales por sus múltiples beneficios, para lo cual es necesario que se continúe explorando con la *Jatropha Curca* en el tratamiento de agua potable con turbiedades iniciales mayores a 38N TU.
- ✓ Direccionar este estudio a otros posteriores, específicamente para aguas residuales donde se manejan turbiedades mayores a 400 NTU.
- ✓ Para futuras tesis se recomienda hacer el biocoagulante con la cascara de las semillas de *Jatropha Curca* con el fin de buscar mejores resultados a los obtenidos.
- ✓ Utilizar el coagulante natural de *Jatropha Curca* en aguas residuales, debido a que en este tipo de aguas se manejan turbiedades altas.



9. REFERENCIAS

- Abidin, Z., Ahamad, I., Ismael, N., Yunus, R., & Idris, A. (2011). A preliminary study on *Jatropha Curcas* as coagulant in wastewater treatment.
- Aboulhassan, M., Souabi, S., Yaacoubi, A., & Baudu, M. (2006). Improvement of paint effluents coagulation using natural and synthetic coagulant aids, *Journal of Hazardous Materials*.
- Alfonso Bártoli, J. A. (2008). Manual para el cultivo de piñón (*Jatropha curcas*) en Honduras.
- Álvarez. (2016). *Uso de la Semilla de Tamarindo (Tamarindus Indica) como Coagulante Orgánico en Procesos de Coagulación-Floculación en el Tratamiento de Agua para Potabilización*. Guatemala.
- Barrenechea Martel, A. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. lima: CEPIS/OPS .
- De Vargas, L. (2002). MODULO DISEÑO SAP – Procesos unitarios y plantas de tratamiento. 7.
- De Vargas, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. lima: CEPIS/OPS .
- Djouina, M. (2016). Toxicological consequences of experimental exposure to aluminum in human intestinal epithelial cells. *Food and Chemical Toxicology*.
- Dorea. (2006). Use of *Moringa* spp. seeds for coagulation: a review of a sustainable option.
- Durán, R. H. (2015). *Evaluación del grado de contaminación del río Guatapurí por los vertimientos de lodos de la PTAP Emdupar s.a. e.s.p.(tesis de pregrado)*. . Valledupar.
- Emapal. (2009). Plan Estratégico. *Documento preliminar*.
- Flaton, T. (2001). Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. 96-187.

- Gabriela, E., & Jaramillo, C. (2015). Estudio de las características de los coagulantes y floculantes de polímeros orgánicos naturales extraídos de materiales de desecho alimenticio, para la potabilización del agua.
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la Turbidez del Agua Usando Coagulantes Naturales: una revisión. U.D.C.A Act. & Div. . *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científic.*
- IDROVO, C. (2009 – 2010). Optimización de la planta de tratamiento de Uchupucun. *UNIVERSIDAD DE CUENCA .*
- Linares Oñate, E., Ponton Parada, L., Cañizares Paba, J., & Duran Barón, R. (2020). *UTILIZACIÓN DE LA CENIZA DE LODO PROVENIENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE VALLEDUPAR COMO REEMPLAZO DEL AGREGADO FINO EN MEZCLAS DE CONCRETO.*
- Loza Pacheco, R. B. (2014). *Determinación de la Dosificación Óptima de Coagulantes y Floculante Aplicados a un Sistema Continuo por Flotación en el Tratamiento de Efluentes Pesqueros. Arequipa - Perú. Arequipa - Peru.*
- Lugo Arias, J. L. (2017). *Evaluación de Alternativas de Potabilización abajo Costo en Comunidades Palafíticas en el Caribe Norte Colombiano.* Barranquilla, Colombia.
- Melo Oliveira, V. (2017). Aluminium sulfate exposure: A set of effects on hydrolases from brain, muscle and digestive tract of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology.*
- Meza Leones, M., Donado, R., Katerine, Mercado Martínez, I., Olivero Verbel, R., & Jurado Eraso, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías.*

- Morejón, T. (2017). Utilización del mucílago de *Opuntia ficus-indica* (*Opuntia ficus-indica*) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir Grande, provincia del Carchi. Universidad técnica del norte. .
- Mosquera, E. (2014). Almidón extraído de la yuca (*Manihot Esculenta Cratz*) como coagulante alternativo para tratamiento del agua de la quebrada y amuesquer municipio de Potosí.
- Muthuraman, G., & Sasikala, S. (2014). Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants. *Journal of Industrial and Engineering Chemistr.*
- Olivero Verbel, R., Florez Vergara, A., Vega Fellizola, L., & Villegas de Aguas, G. (2017). Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, *Opuntia ficus* y *Moringa oleífera* en clarificación de aguas.
- OMS. (2012). *Agua, Saneamiento y Salud (ASS): Informe acerca de los progresos sobre el agua potable y saneamiento.* . Obtenido de http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2012/drinking_water_20120306/es/
- OPS, & OMS. (1984). *PROGRAMA DE PROTECCION DE LA SALUD AMBIENTAL HPE; EVALUACION DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA;*
- Pacheco, V. (2016). Control de Calidad del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. *Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental -AIDIS*, 252 - 253.
- Panadero & Posada. (2016). *Eficiencia del Coagulante natural a partir de la semilla de Jatropha Curcas para Aguas Crudas Evaluando Variables Físico- Químicas del Agua.* Girardot – Cundinamarca. GIRARDOT – CUNDINAMARCA.
- Pérez Carrión, J., & Cánepa de Vargas, L. (1992). MANUAL IV Evaluación del Tratamiento de Agua-. *OPS*.
- Poddar, S., Sharm, G., & Talukder, A. (2004). Chromosome Damage Induced by Ferric Chloride in Human Peripheral Lymphocyte. *International Journal of Human Genetics.*

- Posadas Villeda, S. W. (2011). *INDUCCIÓN DE CALLOS MERISTEMÁTICOS Y REGENERACIÓN DE PLANTAS IN VITRO EN EL CULTIVO DEL PIÑÓN (Jatropha curcas L.)*. Guatemala.
- Pritcharda, M. (2010). A comparison between Moringa oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. *Physics and Chemistry of the Earth*.
- Quintero Yepes, L. V., & Rodriguez Valencia, N. (2018). *Evaluación de coagulantes de extractos naturales de Moringa Olifera y Jatropha Curca en aguas residuales del Café*. Manizales, Colombia: Cenicafe.
- Restrepo, O. (2009). Evaluación del Proceso de Coagulación-Floculación de una planta de Tratamiento de Agua Potable.
- Rodriguez, S. G. (2002). Una solución para la clarificación de aguas para consumo humano. *Noticias Técnicas del Laboratorio*. 1, 21.
- Samboni, N., Carvajal, J., & Escobar, J. (2010). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 172 - 181.
- Sánchez J, B. J. (2011). Absorbentes naturales a partir de taninos. Una propuesta de reutilización de residuos forestales para la purificación de aguas. *Universidad de Extremadura*, 125-139.
- Severiche, C., Castillo, M., & Acevedo, R. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas*. Cartagena de Indias.
- Superintendencia, d. S. (2017). *EVALUACIÓN INTEGRAL DE PRESTADORES EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE*. Bogotá.
- Torrelavega. (1996). *Jornada Técnica sobre Responsabilidad Civil por Daños al Medio*. Madrid.

- Torres Guerra, J. (2019). Evaluación de remoción de turbiedad de agua del canal de riego mediante tratamiento químico por coagulación-floculación con dos métodos de extracción de coagulante de mucílago de *Opuntia ficus-indica* a escala laboratorio.
- UNICEF & OMS. (junio de 2012). *UNICEF para cada niño*. Obtenido de UNICEF para cada niño: <https://www.unicef.es/noticia/odm-se-cumple-la-meta-sobre-agua-potable>
- Unicef. (12 de marzo de 2014). *Unicef, para niños*. Obtenido de Unicef, para niños: http://www.unicef.org/spanish/wash/index_43106.html
- V. Rondeau, e. a. (2009.). Aluminum and silica in drinking water and the risk of Alzheimer's disease or cognitive decline: findings from 15-year follow-up of the PAQUID cohort. *American Journal Epidemiology*.
- Yin, C. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochem*.



10. ANEXOS.

Anexo A. Punto de muestreo y Toma de la muestra.



Anexo B. Medición de pH.



Anexo C. Medición de turbiedad.



Anexo D. Medición de Conductividad Eléctrica.



Anexo E. Obtención de coagulante J Curca.



Anexo F. Proceso de Coagulación-Floculación con Jatropha Curcas y Sulfato de Aluminio.

