

**EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE COAGULANTES NATURALES DE
(*Hylocereus undatus* y *Annona muricata*) PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN
DEL CESAR**

AUTORES

CAVIEDES ANGARITA WENDY JOHANA

CASTILLA CORDOBA JORGE DAVID

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGICAS
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR-CESAR**

2023

**EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE COAGULANTES NATURALES DE
(Hylocereus undatus y Annona muricata) PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN
DEL CESAR**

AUTORES

CAVIEDES ANGARITA WENDY JOHANA

CASTILLA CORDOBA JORGE DAVID

DIRECTOR / ASESOR

MSc. HERNANDO CARLOS OÑATE BARRAZA

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGICAS
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR**

2023

DEDICATORIA

Primeramente le dedico este proyecto a Dios, por haberme permitido llegar a este momento tan especial en mi vida, a mi madres, abuela y hermano por ser esas personas que me han acompañado durante mi recorrido estudiantil y de vida, a mi amigo Jorge Castilla que gracias al equipo que formamos logramos llegar hasta el final del camino y que hasta el momento continuamos con nuestra amistad.

Wendy Johana Caviedes Angarita

Quiero dedicar esta tesis a mi amada familia, quienes han sido mi motor y mi apoyo constante en esta gran aventura. En especial a mi mama aquí en la tierra y a mi padre en el cielo, quien sigue siendo mi guía y mi inspiración, quienes siempre han estado ahí para mí. Esta tesis no habría sido posible sin su amor incondicional, su comprensión, y sus palabras de aliento y motivación. Gracias por ser mi puente hacia el éxito. Los amo y siempre estarán en mi corazón.

Jorge David Castilla Córdoba

AGRADECIMIENTOS

De niña me enseñaron a ser agradecida por las cosas buenas y malas de la vida, por eso doy gracias principalmente a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a mi familia, Mi profundo agradecimiento a mi madre, abuela, hermano y a mi pareja, por su amor, trabajo y sacrificio, y por ser mi inspiración y apoyo durante todo este proceso. Finalmente quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a cada uno de las personas que estuvieron acompañándome durante todo este proceso, quienes con sus conocimientos, enseñanza y colaboración permitieron el desarrollo de este trabajo.

Wendy Johana Caviedes Angarita

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, quien ha sido mi guía y mi fortaleza en todo momento. Agradezco también a mi familia por su amor, apoyo y por ser mi mayor motivación en este camino. Asimismo, agradezco a todas las personas que han contribuido a mi formación y crecimiento, quienes me han brindado su tiempo, conocimiento y experiencia para que hoy pueda estar en donde estoy. Estoy profundamente agradecido por cada uno de ustedes y por sus aportes en mi vida y en este proyecto. Sin su colaboración, este logro no sería posible. De nuevo, muchas gracias de todo corazón.

Jorge David Castilla Córdoba

RESUMEN

El presente estudio analizó física y químicamente muestras de aguas residuales del municipio de San Juan del César, concluyendo que los parámetros DQO, DBO5 y SST no cumplen con la normativa de tratamiento. Para mejorar el tratamiento se evaluó la dosis óptima de coagulante elaborado a base de frutos de pitahaya y guanábana, encontrando que pueden remover hasta un 85,6% y 83% de turbiedad, respectivamente. Adicionalmente, se encontró que el coagulante de pitahaya mantuvo el equilibrio del pH, mientras que el sulfato de aluminio incrementó la acidez del agua tratada. *Hylocereus undatus* puede ser un coagulante efectivo para remover eficientemente parámetros en términos de DQO, DBO5, SST y turbidez, para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el municipio de San Juan del César con remociones que oscilan entre 55% y 85.9%.

Palabras claves: Coagulante, pH, DQO, DBO5, SST, Turbidez, Aguas residuales.

ABSTRACT

The present study analyzed the physical and chemical properties of wastewater samples from the municipality of San Juan del César, concluding that the parameters of DQO, DBO5, and SST do not comply with the treatment regulations. To improve the treatment, the optimal dosage of a coagulant made from pitahaya and guanábana fruits was evaluated, finding that they can remove up to 85.6% and 83% of turbidity, respectively. Additionally, it was found that the pitahaya coagulant maintained the pH balance, while aluminum sulfate increased the acidity of the treated water. *Hylocereus undatus* can be an effective coagulant for efficiently removing parameters such as DQO, DBO5, SST, and turbidity in domestic wastewater treatment in the municipality of San Juan del César, with removal rates ranging from 55% to 85.9%.

Keywords: Coagulant, pH, DQO, DBO5, SST, Turbidity, Wastewater.

Contenido

Índice de Tablas	9
Índice de Figuras	10
Índice de Ecuaciones.....	11
Introducción	12
1. Planteamiento del Problema	14
1.1. Formulación del Problema	16
1.2. Sistematización del Problema	16
1.3. Hipótesis.....	16
2. Justificación	18
3. Objetivo	20
3.1. Objetivo General	20
4. Marco Referencial	21
4.1. Antecedentes de la Investigación	21
4.2. Marco Teórico	25
4.3. Marco Conceptual	34
4.4. Marco Contextual.....	36
4.5. Marco Legal	38
5. Marco Metodológico	41
5.1. Línea y Sublínea de Investigación.....	41
5.2. Tipo de Investigación y Nivel de Investigación	41
5.3. Población.....	41
5.4. Muestra.....	41

5.5. Diseño de la Investigación	42
5.6. Desarrollo Metodológico.....	46
6. Resultados y Análisis.....	59
7. Conclusiones.....	78
8. Recomendaciones	80
9. Referencias	82

Índice de Tablas

Tabla 1 Descripción de la normatividad	38
Tabla 2 Nivel de diseño experimental.....	43
Tabla 3 Niveles del diseño factorial 2^3	45
Tabla 4 Georreferenciación de los puntos de muestreos.....	47
Tabla 5 Parámetros a analizar y procedimiento para cada parámetro.....	49
Tabla 6 Requerimiento para conservación y almacenamiento de muestras de agua	53
Tabla 7: Resultados obtenidos de los párametros en estudio.....	62
Tabla 8: Remoción de turbidez pitahaya NTU – Prueba 1	66
Tabla 9: Remoción de turbidez pitahaya NTU – Prueba 2	67
Tabla 10: Remoción de turbidez guanábana NTU – Prueba 1	68
Tabla 11: Remoción de turbidez guanábana NTU – Prueba 2	68
Tabla 12: Porcentaje de remoción de parámetros físicos y químicos del coagulante de Pitahaya	70
Tabla 13: Porcentaje de remoción de parámetros físicos y químicos del coagulante de Guanabana.....	72
Tabla 14: Comparación de porcentajes de remoción de los coagulantes	75

Índice de Figuras

Figura 1 Tratamiento de aguas residuales.....	29
Figura 2 Localización del municipio de San Juan del Cesar	37
Figura 3 Puntos de muestreo del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Juan del Cesar.	48
Figura 4 Procedimiento para generar el coagulante de <i>Hylocereus Uundatus</i> y <i>Annona muricata</i>	55
Figura 5 Esquema del sistema de tratamiento de aguas residuales de San Juan del Cesar	60

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Remoción de turbidez	43
Ecuación 2: Eficiencia de remoción de cargas contaminantes	43
Ecuación 3: Determinar Concentración de Coagulante	56
Ecuación 4: Porcentaje de Remoción de Turbidez	58

Introducción

El tratamiento adecuado de las aguas residuales es un tema cada vez más importante debido a su impacto en el medio ambiente y en la salud pública. Según Flaten (2001), el uso de coagulantes-floculantes naturales se presenta como una técnica promisoría para mejorar la calidad del agua a través de procesos sostenibles que reduzcan el uso de productos químicos sintéticos y nocivos. Además, Tchobanoglous et al. (2014) destacan la importancia de implementar procesos sostenibles para la gestión adecuada de los recursos hídricos. Esto se alinea con la idea de promover la conservación del medio ambiente y minimizar los riesgos para la salud pública que pueden surgir a raíz de la contaminación del agua. Por lo tanto, es necesario fomentar el uso de técnicas y herramientas sostenibles para el tratamiento de las aguas residuales, lo que permitirá mejorar la calidad del agua y reducir su impacto negativo en el medio ambiente.

La calidad del agua es un factor crucial para el desarrollo humano debido a su influencia en la vida de las personas. Por ello, es importante llevar a cabo investigaciones que permitan mejorar su calidad a través de procesos que sean aceptables para el medio ambiente. Una técnica efectiva para el tratamiento de aguas residuales es el uso de coagulantes-floculantes naturales, que puede generar una mejor calidad del agua y reducir el uso de productos sintéticos nocivos para el ambiente y la salud humana (Flaten, 2001). Estudios han evidenciado la efectividad de coagulante como la moringa en el tratamiento de aguas residuales (Kamal et al., 2017) y la importancia de implementar procesos sostenibles para reducir el impacto ambiental (Tchobanoglous et al., 2014).

La importancia de implementar procesos sostenibles de tratamiento de aguas residuales radica en que esto permite reducir el impacto ambiental negativo en el largo plazo y mejorar la

calidad del agua que se utiliza para consumo humano y otros usos 1. Un estudio de Tchobanoglous et al. (2014) destaca que los procesos sostenibles son indispensables para asegurar una gestión adecuada de los recursos hídricos y minimizar la contaminación. Además, Kamal et al. (2017) mencionan que el uso de coagulantes naturales, como la moringa, en los procesos de tratamiento de aguas residuales puede ser una alternativa sostenible y eficaz a largo plazo.

Los resultados obtenidos en esta investigación cumplió a cabalidad con el objetivo principal de este estudio que fue evaluar el potencial de los coagulantes extraídos de las plantas de pitahaya y guanábana, como una alternativa viable en la remoción de parámetros físicos y químicos presentes en las aguas residuales del sistema de tratamiento de San Juan del César, municipio de La Guajira. Por lo tanto el coagulante con mayor validez que remueve de manera eficiente parámetros como DQO, DBO5, SST y turbidez alcanzando porcentajes entre el 66,7%, 66,4% 55%, y 85,9% es la *Hylocereus Undatus* (pitahaya).

1. Planteamiento del Problema

Según estimaciones de la organización mundial de la salud en el año 2020, el 45% de las aguas residuales domésticas generadas en el mundo se vertieron sin aplicar un tratamiento seguro y que un 32% de la población mundial no tiene acceso a servicios adecuados de saneamiento básico, al mismo tiempo, la falta de gestión o el mal manejo de las aguas residuales urbanas, industriales o agrícolas tienen también grandes impactos para la salud y el medio ambiente. La inexistencia de servicios de agua o saneamiento pueden provocar la contaminación de las aguas y los alimentos que ingieren las poblaciones, además de estar relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, la disentería o la esquistosomiasis, generando 297 000 muertes niños menores de 5 años en el mundo que se asocian a enfermedades relacionadas con la calidad del agua, higiene y saneamiento (UNESCO, 2020).

El municipio de San Juan del Cesar cuenta un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas con dos (2) lagunas de oxidación, las cuales tienen un área de 1.2 Ha y 0.50 Ha y una profundidad promedio de 1.30 metros; lo que implica un volumen de 15600 m³ para la laguna primaria y 6500 m³ para la secundaria, las lagunas trabajan en serie. El efluente tratado en el STAR es vertido a un canal natural, como consecuencia se observan procesos erosivos y de eutrofización al descargar estas aguas con alta presencia de contaminantes produciendo no solo un alto porcentaje de enfermedades y la presencia de malos olores, también ocasiona una mala apariencia física al municipio, con relación a la salud el riesgo está presente por enfermedades virales como el dengue, y enfermedades transmitidas por el agua como hepatitis y diarrea, dada la presencia de roedores y mosquitos. (PDA, 2020).

Además el monitoreo realizado por funcionarios del laboratorio ambiental de la Corporación Autónoma Regional de La Guajira, Corpoguajira en el 2018 presentado en el informe de 2020 se ha detectado que por parte de la empresa AGUAS DEL SUR DE LA GUAJIRA S.A.S E.S.P., se incumple la Resolución 0631 de 2015 (Límites permisibles de vertimientos líquidos). Se encontró que no se está realizando el tratamiento requerido por cuanto dicho sistema genera vertimientos con concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) por encima de los límites máximos permisibles. En las lagunas no se está cumpliendo la función de tratamiento de aguas residuales. Lo cual ocasiona una producción de insumos con un bajo índice de calidad debido a la gran carga de materia orgánica que contienen estas aguas, por este motivo se ve reflejado en las incidencias negativas sobre el medio ambiente, de acuerdo con lo anterior CORPOGUAJIRA procede a iniciar el procedimiento sancionatorio, ordenando la apertura de la investigación ambiental en contra de la empresa, se conceptúa no otorgar permiso de vertimiento de aguas residuales al usuario AGUAS DE LA GUAJIRA S.A., E.S.P en la localidad de San Juan del Cesar y exige establecer un plan de cumplimiento.

Por esta razón, esta investigación busca una alternativa viable, amigable con el medio ambiente como complemento del STAR en la remoción de carga contaminante de los efluentes residuales, con la utilización del coagulante natural de pitaya (*Hylocereus undatus*) y guanábana (*Annona muricata*), dado que diversas investigaciones al respecto han demostrado el poder coagulante que tienen ciertas plantas, y su eficiencia para ser empleadas como coagulantes como demuestra el estudio de Bravo sobre los coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales, (2017). Sin embargo aún no son suficientes, las especies que se pretenden analizar han demostrado tener alto

potencial para la remoción de parámetros físico y químico. Se busca una alternativa de bajo costo, considerando que actualmente los procesos empleados en este municipio no son suficientes, ni mucho menos seguros para el medio ambiente ni para la salud de sus habitantes.

1.1. Formulación del Problema

¿Es eficiente la remoción de parámetros físico y químicos como DQO, Alcalinidad total, pH y Turbidez a través de las plantas *Hylocereus undatus* y *Annona muricata* para tratar los efluentes del STAR del municipio de San Juan Del Cesar?

1.2. Sistematización del Problema

¿Cómo obtener el componente activo de las plantas (*Hylocereus undatus*) y guanábana (*Annona muricata*) para utilizarlas en tratamiento de las aguas residuales?

¿Cómo evaluar la eficiencia de los tratamientos naturales a través de las plantas *Hylocereus undatus* y *Annona muricata* para la remoción de parámetros físico y químicos de aguas residuales y compararlos con los tratamientos actualmente utilizados?

¿Cómo implementar los extractos naturales de las plantas *Hylocereus undatus* y *Annona muricata* para la remoción de parámetros físico y químicos (DQO, alcalinidad total, pH, y turbidez) de aguas residuales en el municipio de San Juan Del Cesar?

1.3. Hipótesis

Hipótesis 1. Al menos uno de los coagulantes naturales evaluados tiene la misma eficiencia de remoción de parámetros físico y químicos que el coagulante químico (sulfato de aluminio) utilizado como testigo.

Hipótesis 2. Al menos uno de los coagulantes naturales extraídos de las plantas de *Hylocereus undatus* y *Annona muricata* evaluados reduce los parámetros físicos y químicos y carga

contaminante expresada como (DQO, ALCALINIDAD TOTAL, PH y TURBIDEZ) de los efluentes del STAR del municipio de San Juan Del Cesar en un 50%.

2. Justificación

Las investigaciones basadas en el uso de coagulantes orgánicos para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, han demostrado a través de la experimentación que se pueden obtener altas remociones de agentes contaminantes con bajas dosis de coagulante natural, como se evidencia en estudios realizados por Garnica (2019) sobre *Hylocereus undatus* y Torres et al 2013, sobre la *Annona muricata*, en los que se demostró que pueden ser efectivos para la remoción de parámetros físico-químicos, en estos estudios se alcanzó una eficiencia de remoción de más del 70% para el caso de *Hylocereus* y del 37% *Annona* que en contraste con los coagulantes químicos, los coagulantes naturales de origen vegetal son seguros, respetuosos del medio ambiente y, en general libre de tóxicos. Bravo (2017).

Este estudio permitirá dar solución a la problemática que se presenta en el municipio aportando una alternativa que será beneficiosa y amigable con el medio ambiente para el pos tratamiento de las aguas residuales, ya que el sistema de tratamiento de aguas residuales no cumple con los parámetros de vertimientos de líquidos establecidos en la resolución 0631 de 2015.

Los coagulantes naturales de pitahaya y guanábana tienen ventajas por su fácil obtención, ya que se encuentran presentes en el entorno, reduciendo de esta manera gastos, especialmente en esta zona de alto índice de pobreza en las que resulta muy difícil abastecer el STAR con costosos químicos, de este modo se pretende contribuir en procesos más eficientes generando una nueva perspectiva en la gestión de tratamiento de las aguas residuales domésticas, previniendo así la contaminación y la proliferación de enfermedades de origen hídrico y trastornos al medio ambiente, además el desarrollo de este proyecto traerá valiosos aportes y

actualización a la información sobre la eficiencia de la remoción de parámetros físico y químicos empleando coagulantes naturales obtenidos de plantas que se puedan adoptar a los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Este estudio sobre la remoción de parámetros físico, químicos, DQO, DBO5, Alcalinidad total, pH, Turbidez y SST a través de las plantas *Hylocereus undatus* y *Annona muricata* para tratar los efluentes del sistema de tratamiento de las aguas residuales, permitirá encontrar alternativas viables para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, urbanas y los residuos líquidos y la posible implementación en aquellos municipios que no cuentan con una gestión adecuadas de las aguas residuales, se tiene en cuenta que el proyecto evaluará la eficiencia de los coagulantes de *Hylocereus undatus* y *Annona muricata* en la remoción de DQO, DBO5, alcalinidad total, pH y turbidez en el sistema de tratamiento de las aguas residuales domesticas del municipio de san juan del cesar, delimitándose a determinar la influencia de la dosis sobre los parámetros de alcalinidad total y turbidez final y así encontrar la dosis de coagulantes necesarias para tratar dichas aguas, y puedan ser devueltas al cuerpo hídrico, es de gran importancia en el campo de la ingeniería ambiental y sanitaria, al encontrar sustancias en la naturaleza con la capacidad de remover parámetros físico-químicos y que se puedan emplear para el pos tratamiento de aguas residuales, motivando la investigación en el área de gestión del recurso hídrico.

Usar las plantas *Hylocereus undatus* y *Annona muricata*, traerán varios beneficios, a partir de la perspectiva medioambiental, los elementos extraídos para la preparación del coagulante son naturales y biodegradables por consiguiente produce menor peligro de toxicidad (Meza et al., 2018).

3. Objetivo

3.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia de coagulantes naturales de (*Hylocereus undatus* y *Annona muricata*) para optimizar el sistema de tratamiento de las aguas residuales del municipio de San Juan del Cesar.

3.2. Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización física y química en los parámetros de DQO, DBO5, pH, Alcalinidad total, Turbidez, SST de las aguas residuales domesticas efluentes del STAR del municipio de San Juan del Cesar.
- Determinar la concentración óptima de los coagulantes obtenidos mediante la simulación de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación por medio de la prueba del test de jarras.
- Valorar la eficiencia de la *Hylocereus undatus* y *Annona muricata*, en la remoción de DQO, DBO5, pH, Alcalinidad total, Turbidez, SST de las aguas residuales domesticas del municipio de San Juan del Cesar de acuerdo con lo establecido por la normatividad ambiental Colombiana resolución 0631 de 2015.

4. Marco Referencial

4.1. Antecedentes de la Investigación

Garnica Michelle (2019) “COMPARACIÓN DE BIOPOLÍMEROS Y SU EFICIENCIA EN LA ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA SUSPENDIDA EN AGUAS DEL ESTERO SAN CAMILO - CANTÓN DURÁN” Esta investigación se compararon la eficiencia de remoción de materia orgánica suspendida empleando dos biopolímeros, el Aloe vera y la pitahaya en aguas del Estero San Camilo, para determinar la turbiedad empleando el método. APHA, mediante el análisis test de jarra se pudo conocer la dosificación óptima de los coagulantes, obteniendo como resultados que las concentraciones de pitahaya alcanzó una eficiencia de remoción del 82.70% y en la remoción de sólidos suspendidos con 1200 mg/L. Existe un aumento en el pH a medida que va aumentando la concentración del coagulante.

Tirado Diego, Gallo Luis, Acevedo Diofanor y Mouthon Javier (2016) “BIOTRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA LÁCTEA” El objetivo de esta revisión fue consultar, analizar y concluir los principales tratamientos aplicados a las aguas residuales de la industria láctea, en esta investigación se realizaron análisis de la composición de las aguas residuales lácteas, esta investigación encontró que contenían (DBO) entre 2000 y 3000 mg/l y una DQO entre 2000 y 4000 mg/l, concentraciones que representan alto contenido orgánico y altos niveles de sólidos disueltos o suspendidos, que incluyen grasas, aceites y nutrientes como amoníaco, minerales y fosfatos. Se concluye que los coagulantes extraídos de la pitaya fue la que reportó mejor poder coagulante en comparación con el alumbre, con una dosis de 300mg/l y una turbidez de 7243 NTU la pitaya logró un porcentaje de remoción del 99,5. Se encontró que los coagulantes elaborados a partir de la pitaya tienen un porcentaje muy

alto en cuanto a su eficiencia para el biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea.

Torres Luis, Carpinteyro Sandra y Corzo Luis, (2013) “USO DE SEMILLAS DE ANNONA DIVERSIFOLIA Y A. MURICATA COMO FUENTE DE COAGULANTE NATURAL - AYUDA DE FLOCULANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”. En este estudio inicialmente se realizó descripción del procedimiento de extracción de polisacáridos, se caracterizaron por triplicado de acuerdo con la metodología reportada por A.O.A.C, aguas residuales municipales de la planta de tratamiento de San Juan Ixhuatepec (Estado de México). Se midieron los volúmenes de lodo. Finalmente se realizaron las evaluaciones de coagulación y se emplearon en soluciones con concentraciones de 50 a 150 mg / L. El cloruro férrico, empleó la prueba de jarras, La eliminación de DQO, turbidez y sales disueltas (medida como conductividad eléctrica), la mejor eliminación de DQO para una dosis de 100 mg / L fue para $FeCl_3$ (55.7%), seguido del producto en forma de A. muricata (37.1%), sin embargo el $FeCl_3$ produjo 5 veces la cantidad de lodos producidos por los polímeros de A. muricata. Cuando se evaluaron diferentes dosis de polisacáridos, En el caso de A. muricata, cuanto mayor es la dosis de polímero, mayor es la eliminación de DQO.

Juferi Idris , Ayub Som , Mohibah Musa , Ku Halim Ku Hamid, Rafidah Husen y Miradatul Najwa Muhd Rodhi (2014) “COAGULANTE A BASE DE PLANTAS DE FOLLAJE DE LA FRUTA DEL DRAGÓN (PITAYA) PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES CONCENTRADOS DE LÁTEX: COMPARACIÓN DEL TRATAMIENTO CON SULFATO FÉRRICO”. Se investigó la efectividad del follaje de la pitaya para el tratamiento del efluente concentrado de látex y se comparó con el sulfato férrico. Tres parámetros principales se tuvieron en cuenta para los investigados, estos fueron la DQO, SS y la turbidez del efluente, usando la

prueba de jarra se examinaron los efectos del pH del efluente de látex, así como la dosis de coagulante. El valor de pH y la temperatura del efluente de látex se determinaron utilizando un medidor de pH portátil. Posteriormente en la determinación de la DQO la prueba se realizó de acuerdo con el procedimiento de digestión del reactor HACH, la SS y la turbidez usando el método estándar. El experimento DBO se llevó a cabo utilizando el método espiro métrico (método HACH 10099). Finalmente se obtiene que el pH de la solución durante la coagulación afecta la química del coagulante. Los mayores porcentajes de eliminación de DQO, SS y turbidez registrados para el follaje se observaron para efluentes de pH 10 a 94.7, 88.9 y 99.7%, respectivamente.

Ramírez Lina, Suárez Jean y Ramírez Juan (2011) “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FLOCULANTES DE MALVAVISCUS ARBOREUS, HELIOCARPUS POPAYANENSIS E HYLOCEREUS UNDATUS PARA CLARIFICACIÓN DE AGUAS”. La investigación se propuso contribuir al conocimiento de las propiedades floculantes de productos no maderables, como alternativa para minimizar el impacto ambiental derivado del uso de floculantes químicos, se investigó en aguas de la quebrada La Salada en Caldas, si los efectos floculantes se modifican por varias plantas o por el tipo de material vegetal (seco o fresco), tomando trozos de 3mm de H. undatus sin cutícula y parénquima, para el método de jarras las aguas servidas contenidas en un contenido orgánico de 68.6% de oxígeno disuelto, temperatura de 19.4°C y pH 5.5, se utilizó la metodología JAR, norma ASTM No. D2035-80, Obtención de extracto acuoso, se evaluó la relación de acuerdo con la norma ASTM No. D2035-80. Posteriormente al sobrenadante de cada jarra sedimentada se le realizaron las pruebas de turbidez y color por medio de métodos de comparación con los blancos (sulfato de aluminio, $Al_2(SO_4)_3$, y agua cruda sin

tratar).Se concluyó que al correlacionar concentración y floculación se encontró que *Hylocereus undatus* se correlaciona en 39%, al aumentar la concentración de floculante y que el almacenaje no alteró los efectos de las especies sobre el proceso de floculación.

4.2. Marco Teórico

Aguas residuales

Las aguas residuales crudas son las aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso. Quintero (2017). Define a las aguas residuales como aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos. Dentro de este concepto se incluyen aguas con diversos orígenes:

- ***Aguas residuales domésticas o aguas negras.*** proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal, de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.
- ***Aguas blancas:*** Pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos.
- ***Aguas residuales industriales:*** Proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal.
- ***Aguas residuales agrícolas:*** Procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo. (Espigares y Pérez ,1987).

Parámetros del agua residual

Generalmente el nivel de contaminación de las aguas residuales no se mide a partir del conocimiento de la concentración de los distintos constituyentes de un agua residual que pueden ser considerados contaminantes, sino determinando parámetros globales como son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) entre otros. (Gutiérrez y Pérez, 2017).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Es uno de los parámetros más utilizados en la caracterización de los contaminantes orgánicos. Esta determinación brinda un estimado del oxígeno disuelto requerido por los microorganismos en la degradación de los compuestos biodegradables. El mecanismo presente durante la prueba de laboratorio de la DBO es esencialmente biológico y no depende solo del oxígeno presente y utilizado en un momento dado, sino también de la velocidad a la que este se consume, y por tanto, del tiempo. En tal sentido se requiere determinar previamente la velocidad a la cual ocurre la reacción en toda su extensión. (Gutiérrez y Pérez, 2017).

Demanda química de oxígeno DQO

La demanda química de oxígeno (DQO) indica el contenido de materia orgánica del cuerpo de agua; se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable mediante un agente químico oxidante, generalmente el dicromato de potasio es el agente oxidante por su característica de oxidar casi todos los compuestos orgánicos (con excepción de los ácidos grasos de bajo peso molecular), en un medio ácido y a alta temperatura. Es muy usado para medir la materia orgánica en las aguas residuales urbanas e industriales. (Raffo y Ruiz, 2014).

pH del agua

Otro factor importante abordado en el análisis de las aguas es el pH. Para Zeas (2018) El pH del agua Potencial Hidrógeno, es el grado de alcalinidad o acidez de una disolución. Cuando el Potencial Hidrógeno (pH) se encuentra entre 0 y 7 la disolución es ácida, y cuandoes entre 7 y 14 la disolución es básica, también es considerado como el factor de medida de la actividad del ion hidrógeno en una solución, siendo igual a $pH = -\log [H^+]$. El Potencial Hidrógeno (pH), es la variable más importante al momento de la coagulación, porque para cada agua hay un rango de pH óptimo, por lo que la coagulación tiene lugar inmediato, esto es dependiendo de la alcalinidad del agua yde la naturaleza de los iones.

Turbiedad

La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que hace que la luz sea dispersada y absorbida en lugar de transmitida sin cambios en la dirección o el nivel de flujo a través de la muestra. Cuando están presentes en concentraciones significativas, las partículas que consisten en materiales que absorben la luz, como el carbón activado, causan una interferencia negativa. (Turbidity, 2017).

Los sólidos suspendidos

Están constituidos por la materia suspendida que es retenida sobre un filtro de fibra de vidrio, cuando se ha pasado una muestra de agua residual previamente agitada. Por esto la determinación de lo sólidos suspendidos es de gran valor en el análisis de aguas contaminadas; siendo considerado como uno de los mejores parámetros usados para evaluar la contaminación de las aguas residuales domésticas y determinar la eficiencia de las plantas de tratamiento. (Giraldo, 1995).

Tratamiento de las aguas residuales

Los tratamientos biológicos se utilizan básicamente para tratar efluentes de zonas urbanas o residenciales. Los tratamientos físicos y químicos se utilizan para tratar efluentes industriales, debido a que estas se componen de contaminantes químicos que afectan en gran medida el entorno. (Ochoa, 2018).

Tratamiento Preliminar

Se conoce como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales que pueden provocar daños al funcionamiento de los equipos involucrados en los diferentes procesos y operaciones que conforman el sistema de tratamiento. El pre tratamiento incluye:

- **Cribado:** Una vez recolectada el agua residual se hace pasar a través de unas rejillas para retener residuos sólidos orgánicos e inorgánicos que posteriormente pasan a un relleno sanitario cercano.
- **Desarenador:** Consiste en eliminar todas aquellas partículas de granulometría superior a 220µm. Su fin es que evitar que se produzcan daños corrosivos en el sistema. En el desarenador el agua circula a través de un canal a velocidades controladas. De esta forma se logra la sedimentación de partículas de arena. (Farías, 2016).
- **Eliminador de grasas y aceites:** La eliminación de aceite consiste en la separación líquido-líquido. Mientras que la eliminación de grasas se basa en la separación sólido-líquido. (Ochoa, 2018).

Tratamiento Primario

Es el tratamiento donde se remueve una fracción los sólidos sedimentables y en suspensión por medios físicos y/o químicos. El Efluente del tratamiento primario suele tener una

cantidad alta de materia orgánica y una DBO alta. (Farías, 2016). En esta fase se utilizan sales inorgánicas con la finalidad de provocar floculación de partículas en suspensión y su posterior precipitación. Se pueden utilizar las siguientes: sulfato de aluminio, sulfato ferroso, cloruro férrico y sulfato férrico. Estas sales se agregan al agua previamente alcalinizada con bicarbonato de sodio o similares. (Ochoa, 2018).

Tratamiento Secundario

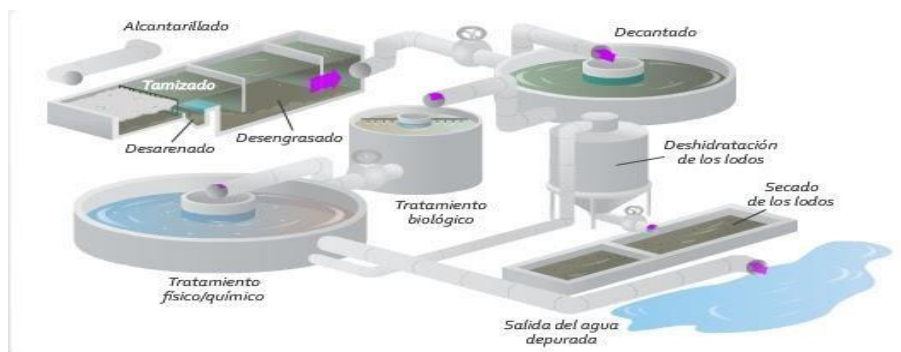
Método de tratamiento mediante los cuales consiguen la remoción de contaminantes por actividad biológica, El tratamiento secundario se aplica cuando se desea eliminar las sustancias orgánicas biodegradables disueltas o en suspensión. El tratamiento secundario también es efectivo en la remoción de nitrógeno. (Galeno y Rojas 2016).

Tratamiento Terciario o avanzado

Son tratamientos adicionales, que siguen a los tratamientos secundarios convencionales, para la eliminación de nutrientes, compuestos tóxicos y excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión. (Farías, 2016).

Figura 1

Tratamiento de aguas residuales



Nota: Esquema de la planta de tratamiento de aguas residuales. Ciencia del tratamiento de aguas residuales en Colombia 2017

La Coagulación

Según Aguilar. M, et al. (2002) Es el proceso en el cual las partículas se encuentran en estado coloidal en una solución o disolución estable son desestabilizados por superación de las fuerzas que lo mantenían estable manteniendo separados por coagulantes ya sea químicos o naturales”. La turbiedad y el color del agua son parámetros principalmente causados por partículas coloidales. Estas partículas permanecen en suspensión en el agua por un tiempo prolongado y pueden atravesar un medio filtrante muy fino. Según cadenas para eliminar estas partículas se recurre a los procesos de coagulación y floculación, la coagulación tiene por objetivo desestabilizar las partículas en suspensión es decir Facilitar su aglomeración. La Floculación tiene por objetivo favorecer con la ayuda de la mezcla lenta el contacto entre las partículas desestabilizadas. Estas partículas se agrupan para formar flósculos. La desestabilización de las partículas para conseguir que las fuerzas de atracción tipo Van der Waals que existen entre dos partículas predominen sobre las de repulsión electrostática, de manera que las partículas se unan y den lugar a la formación de sólidos de mayor tamaño. Como consecuencia del mayor tamaño, la velocidad de sedimentación de las partículas se incrementa, posibilitando el uso de la decantación como tecnología de tratamiento. (Martínez, 2017).

Coagulantes naturales

Cuando se refiere a coagulantes naturales, se está hablando de los de origen orgánicos, específicamente los que se encuentran en ciertas plantas, como, por ejemplo, la semilla de la Moringa Oleífera, y al utilizar su polielectrolito orgánico que es su ingrediente activo, se puede purificar el agua con baja turbidez, los extractos de esta semilla son efectivos en estos casos de aguas con alta turbidez. También existen floculantes orgánicos que son los almidones extraídos

de la papa y de yuca.

Los coagulantes extraídos de plantas son una alternativa con un gran potencial, que aún no se ha estudiado ni explotado lo suficiente, la coagulación es un proceso químico en el que se agregan sustancias ya sean naturales o compuestos químicos para desestabilizar las partículas suspendidas y promover la formación de flóculos en una partícula coloidal estable, es una partícula como una entidad separada en el agua, es decir, en un estado disperso. La razón por la cual las partículas coloidales tienden a permanecer dispersas es porque su superficie está cargada eléctricamente, generalmente con una carga negativa. (Sela, 2020).

La *Annona muricata* (Guanábana)

La guanábana es un arbusto, perteneciente a la familia de las Anonáceas, que alcanza entre cinco y nueve metros de altura, de madera y hojas suaves, perennes, de 6 a 20 cm de largo y de 2 a 7 cm de ancho, de forma oblonga o elíptica y de malolor. Sus flores que son pequeñas (4.5 cm de longitud) emergen en cualquier lugar del tallo o ramas. Se multiplica por semilla o por injerto. El guanábano, es un árbol de tamaño mediano de follaje compacto, Aunque no se encuentra reportado, se comporta como caducifolio en condiciones de estrés por agua, nutrición o bajas temperaturas. (Lasprilla et al, 2000). Crece bien en alturas inferiores de los 1000 msnm., en zonas de clima cálido y seco con temperaturas medias de 25 a 28°C. La cáscara es débilmente coriácea, erizada de espinas carnosas y de sabor amargo. Su pulpa es blanda, de color blanco, muy jugosa, con suave aroma, agradable sabor (agridulce) y gran contenido de semillas de forma ovoide (FAO, 2016).

En América Latina se la encuentra en los países que tienen condiciones tropicales, principalmente en explotaciones caseras o tradicionales; sin embargo, en Costa Rica, Colombia,

México y Brasil ya se trabaja con explotaciones comerciales y concierto nivel de tecnificación. (Cobos, 2009).

Usos de la *Annona muricata* (Guanábana)

Son variados los usos de esta fruta, tiene grandes propiedades para alimenticias o comercializa su pulpa e incluso en se utiliza en la medicina (FAO, 2016): La Fruta fresca se consume como fruta entera o en ensaladas de frutas. Se utiliza como materia prima para preparar jugos, helados, postres y tortas caseras. Por otrolado, la Fruta procesada se comercializa, se toma la pulpa de guanábana natural ocongelada, concentrado, mermelada, néctar, jaleas y puré. La fruta es muy apreciada para bebidas, y los países productores exportan jugo en presentaciones industriales o en latas para consumo final. En Guatemala se preparan jugoscarbonados envasados en botellas. México exporta conservas de guanábana con pepa. La pulpa de guanábana se envasa en fundas plásticas selladas, en tamboresmetálicos y envases de cartón. Esta fruta exótica se consume principalmente en jugo, además se preparan helados, batidos y una variedad de dulces y postres. Esun buen ingrediente para ensaladas de frutas y vegetales además de variados platos gourmet. Se le utiliza también para mezclas con licores. En Indonesia la frutaque no está madura se cocina como vegetal y se usa en sopas y en Brasil porcionesde guanábana con cáscara se tuestan o fríen.

También se ha estudiado su poder coagulante y su posible uso para el tratamientode aguas residuales como uso de semillas como fuente de coagulante natural ayuda de floculante para el tratamiento de aguas residuales (Torres et al 2013). En este estudio se demostró que se producen menos lodos que con coagulantes químicos.

Medicinales

Se recomienda para el estreñimiento y para aumentar la flora intestinal, reduce la hiperacidez. La pulpa de la guanábana tiene efectos digestivos y se atribuye al jugo de la fruta madura propiedades diuréticas, además de ser un remedio para la hematuria y uretritis.

La Pitaya (*Hylocereus undatus*)

La pitaya o pitahaya son palabras provenientes de las Antillas Mayores, del idioma taíno, que significan “fruta escamosa”. La pitahaya, es el fruto de una cactácea que se ha consumido en América por generaciones. Tiene una amplia demanda en el mercado internacional y se le considera una fruta exótica de sabor característico dulce y gran contenido de agua. Las pitahayas, como toda la familia botánica de las cactáceas, son originarias del continente americano. De acuerdo con su distribución actual, es en México, Centroamérica y el Caribe en donde existe mayor número de especies. Por supuesto, la pitahaya amarilla de Colombia, del género *Selenicereus*, constituye una excepción, pues es originaria precisamente de Colombia, el norte de Brasil y el sur de Venezuela. (Rodríguez, 2000).

Las pitahayas son plantas cuyos tallos o filocladios abren sus estomas sólo por las noches. Por esta característica se les ubica en el grupo al que pertenecen todas las cactáceas y muchas especies epífitas de las zonas tropicales. Su principal forma de propagación es vegetativa, a partir de los tallos o esquejes, tienen grupos de espinas de 2 a 4 mm de largo en las areolas ubicadas en los bordes. La flor es tubular, hermafrodita, con ovario en la parte inferior cubierto de espinas en el caso de *Selenicereus*. (Rodríguez, 2000) El fruto es como una baya globosa o subglobosa (dehiscente en *Hylocereus* e indehiscente en *Selenicereus*), mide de 8 a 15 cm de largo y de 6 a 10 cm de diámetro, su cáscara es de color rojo o amarillo, en variados matices, cubierta con escamas

foliáceas o brácteas distribuidas helicoidalmente; es de pulpa dulce y abundante, de color blanco, amarillo o de varias tonalidades de rojo. Las semillas son numerosas, pequeñas en *Hylocereus* y grandes en *Selenicereus*, de color caféoscuro o negro, se encuentran distribuidas en toda la pulpa y contienen aceite.

Usos de la Pitaya (*Hylocereus undatus*). Las plantas de pitahayas y las partes que la forman se destinan a diferentes usos: ornamentales, barreras protectoras, medicinales y alimenticios, que incluso pueden compatibilizarse con su función productiva. De todas las pitahayas se puede procesar la pulpa y extraer los colorantes y pectinas contenidos en la cáscara y, en algunos tipos, también en la pulpa A, (Rodríguez, 2000).

Se ha estudiado el uso de esta fruta par ser aplicada como remoción de parámetros físico químicos en aguas residuales concentradas de látex como en los estudios realizados por (Juferi Idris et al ,2014) se demostró que coagulante a base de plantas de follaje de la fruta del dragón (pitaya) es una alternativa viable para el tratamiento de efluentes concentrados de látex.

4.3. Marco Conceptual

Coagulación

El objetivo principal de la coagulación es desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para favorecer su aglomeración; en consecuencia, se eliminan las materias en suspensión estables; la coagulación no solo elimina la turbiedad sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos. (Cárdenas ,2000).

Coagulante

Sustancia que se encarga de la desestabilización o neutralización de la carga superficial de las partículas coloidales. (Ortiz, 2019).

Floculación

Proceso de aglomeración de las partículas coaguladas para formar flóculos sedimentables. (Ortiz, 2019).

La turbiedad y el color del agua

Son parámetros principalmente causados por partículas coloidales. Estas partículas permanecen en suspensión en el agua por un tiempo prolongado y pueden atravesar un medio filtrante muy fino. Para eliminar estas partículas se recurre a los procesos de coagulación y floculación. (Cárdenas 2000).

Muestreo

El muestreo de agua consiste en extraer una porción representativa de una masa de agua con el propósito de examinar diversas características. Las muestras se toman y examinan esencialmente para determinar parámetros físicos, químicos, biológicos y radiactivos, que requerirán unos criterios y técnicas de toma diferentes. (Ramírez, 2017).

Partículas coloidales

Las partículas coloidales son partículas suspendidas en el agua que no tienden a acumularse en la superficie ni en el fondo, debido a un equilibrio llamado estado coloidal. El diámetro de las partículas está en el rango de 0.0001 a 0.00001 milímetros. Las partículas coloidales se hallan cargadas eléctricamente, esta carga puede ser negativa o positiva según la sustancia de que se trate, pero siempre el mismo signo para todas las partículas, por consiguiente, se repele y no pueden aglomerarse. (Ortiz, 2019).

pH-metro

El pH metro es el único instrumento capaz de medir con exactitud la actividad del ion

hidrógeno en soluciones acuosas. A través de este instrumento se puede medir cuál es el índice de alcalinidad o de acidez de una sustancia. Esta medida, se expresa en pH. La funcionalidad del medidor de pH es justamente la de medir la diferencia de potencial eléctrico entre un electrodo de pH y un electrodo de referencia. (Malián, 2019).

Prueba de Jarras

El objetivo de la prueba de jarras es determinar las dosificaciones óptimas de coagulante y floculante en un proceso de clarificación, simulando a nivel laboratorio, las condiciones de operación de los equipos. (Ortiz, 2019).

4.4. Marco Contextual

El área de investigación se encuentra en el municipio de San Juan del Cesar está ubicado entre las estribaciones de la Serranía del Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta a lo largo de los ríos Cesar y Ranchería. Coordenadas geográficas: entre 11° 00' 53" y 10° 34' 12" de latitud Norte y entre 73° 28' 18" y 72° 44' 46" de longitud Oeste, y por ser un territorio ondulado entre llanuras y cordilleras, su altitud oscila entre los 4160 a 180 metros sobre el nivel del mar.

La superficie es de 1.415 km², que representan el 6.78% del departamento. El área urbana ocupa el 10% de la superficie y el área rural el 90%. Limita al norte con los municipios de Riohacha y Distracción, al sur con los municipios de Villanueva, El Molino y el departamento del Cesar, al este con la República de Venezuela, al oeste con Riohacha, Dibulla y el departamento del Cesar.

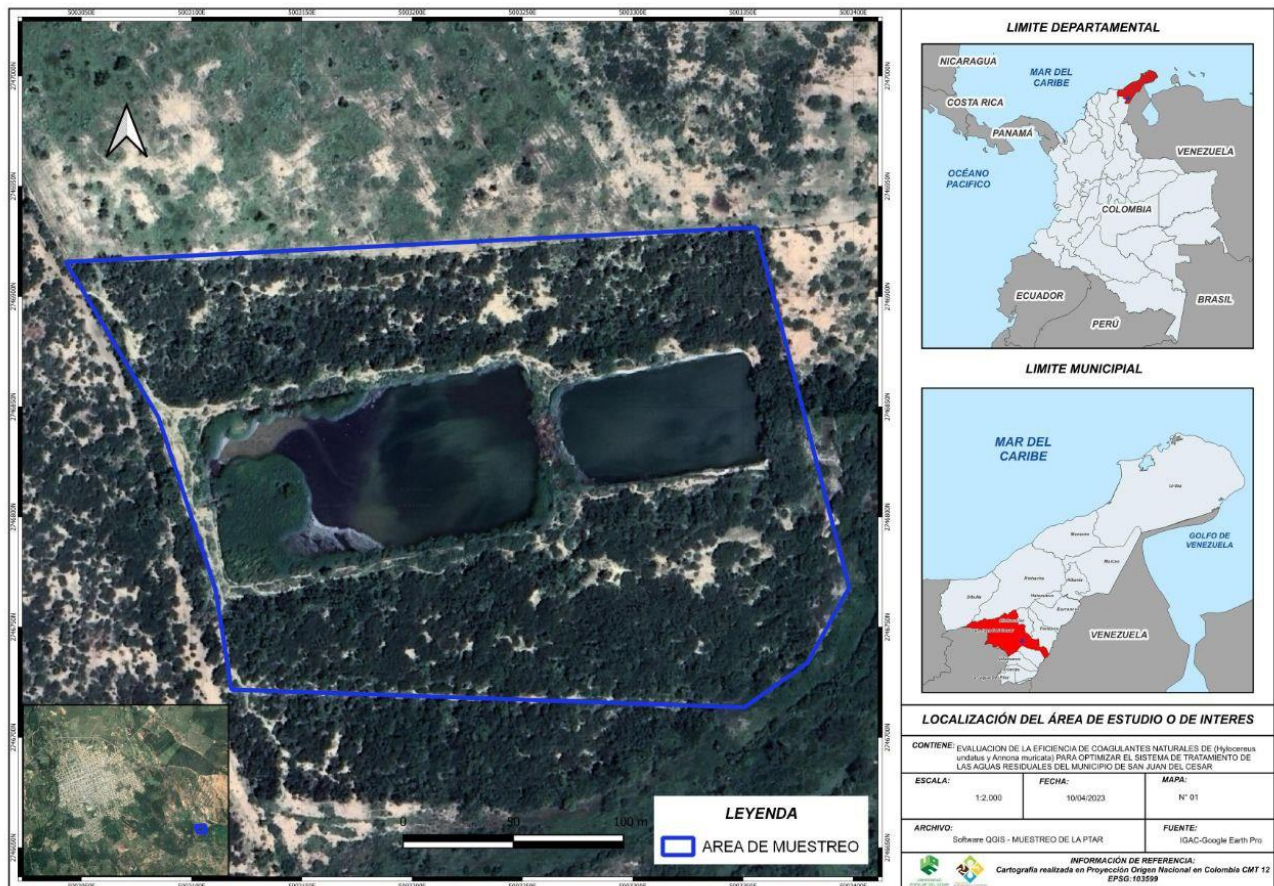
Economía

El municipio no cuenta con gran desarrollo industrial muy incipiente y no se ha fomentado la creación de industrias en este municipio, se destacan algunas empresas de acopio Lechero

lácteos, la economía es representada principalmente por la actividad comercial y pequeños negocios de economía informal en la cabecera municipal. El desarrollo comercial se caracteriza por el establecimiento de negocios de diferentes tamaños, orientados básicamente a la provisión de alimentos, prendas de vestir, calzados, muebles, electrodomésticos, materiales para la construcción, medicamentos, insumos para la ganadería y agricultura, repuestos para vehículos y maquinarias agrícolas, etc.(Alcaldía de San Juan Del Cesar, 2018).

Figura 2

Localización del municipio de San Juan Del Cesar



Nota: Localización de Sistema de tratamiento del municipio de San Juan del Cesar

4.5. Marco Legal

La constitución es un instrumento creado para mantener el orden y está integrada por un conjunto de leyes fundamentales que fija los límites, se encarga de establecer los distintos lineamientos, para el uso y la explotación que permiten asegurar la conservación de los recursos naturales, con la finalidad de garantizar el derecho de todas las personas tienen a gozar de un ambiente sano.

Tabla 1

Descripción de la normatividad

LEGISLACION PERTINENTE	DESCRIPCIÓN
Artículo 79	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
Artículo 80	El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.
Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, y su objetivo es compilar y racionalizar las normas de carácter reglamentario que

rigen el sector Ambiente.

Decreto 3930 del 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
Decreto 1594 de 1984	Ministerio de Salud, Ministerio de Agricultura, Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título II de la parte II Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
Decreto 1641 de 2010	Este decreto tiene como objetivo principal garantizar la protección y preservación de la calidad del agua en el país. Entre los objetivos de calidad que establece este decreto se encuentran la prevención y control de la contaminación del agua, la promoción del uso sostenible y eficiente del recurso hídrico, la conservación de los ecosistemas acuáticos y la promoción de la participación ciudadana en la gestión del agua.
Resolución 2115 de 2007	Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Resolución 1096 de 2000	Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico, RAS. Considera que corresponde al Ministerio de Desarrollo Económico, formular la política de gobierno materia social del país relacionada con la en competitividad, integración y desarrollo de los sectores productivos del agua potable y saneamiento básico y expedir resoluciones, circulares y demás actos administrativos de carácter general o particular necesarios para el cumplimiento de sus funciones.
Resolución 631 de 2015	Se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales acuerpos de aguas superficiales a los sistemas de alcantarillado público.
Resolución 273 de 1997 ministerio del medio ambiente	Por las cuales se fijan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos para los parámetros Demanda Bioquímica De oxígeno (DBO) y solidos suspendidos Totales (SST)
Resolución 1514 de 2012	Se adoptan los Términos de Referencia para la Elaboración del Plan de Gestión de Riesgo para el Manejode Vertimientos
Resolución 1256 de 2021	Por la cual se reglamenta el uso de las aguas residuales y se adoptan otras disposiciones, el cual tiene por objeto establecer las disposiciones relacionadas con el uso de las Aguas Residuales y aplica a las autoridades ambientales y a los usuarios de dichas aguas.

5. Marco Metodológico

5.1. Línea y Sublínea de Investigación

La línea de investigación es la referente del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria: Sostenibilidad y Gestión Ambiental. La sublínea de investigación corresponde a la gestión integrada del recurso hídrico, aguas residuales.

5.2. Tipo de Investigación y Nivel de Investigación

El tipo de investigación es experimental. Según Van Dalen y Meyer (2006), La investigación experimental consiste en la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento en particular. En esta investigación se busca conocer a través de distintas pruebas la cantidad de coagulantes más adecuada para tratar las aguas residuales en el municipio de San Juan del Cesar con relación a los parámetros estudiados: cantidad de coagulante.

5.3. Población

Este estudio se realizará en el Municipio de San Juan del César, departamento de la Guajira donde se encuentran los vertimientos de aguas residuales. Este proyecto pretende beneficiar a la población del área urbana de este municipio conformada por 40.069 habitantes, que según datos de la empresa de aguas del sur de la Guajira cuenta con una cobertura del 92.26% y corresponden a 5.008 viviendas conectadas al STAR del municipio.

5.4. Muestra

Las muestras de aguas residuales del municipio de San Juan del César se recolectarán de los

efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales manualmente, las cuales corresponden a aguas residuales domésticas. Se realizarán muestreos compuesto, Para determinar los parámetros DQO, DBO5, pH, Alcalinidad total, Turbidez, SST antes y después del tratamiento, estas muestras se almacenarán en recipientes plásticos de aproximadamente 20 litros.

5.5. Diseño de la Investigación

Para obtener la dosis óptima de pitahaya y guanábana en aguas residuales provenientes de San Juan del Cesar- La Guajira; se realizarán diferentes ensayos de simulación de coagulación - floculación y sedimentación empleando el test de jarra, utilizando distintas concentraciones de ambas plantas que permite identificar: las interacciones entre los factores variables, con mayor efecto en remoción de parámetros. Para ello, se determinará el rango óptimo y la dosis óptima de los coagulantes, en concentraciones a los valores aproximados a los que usó Torres et al 2013 para la Guanábana y de Tirado et al 2016 para la pitahaya que permitirán definir los niveles para coagulante natural. Se aplicarán dosis entre 100 y 300 mg /l en intervalos de 50 en 50, cabe mencionar que esta metodología solo se implementará para determinar el parámetro de Turbidez, ya que este, serán el parámetro dependiente por los cuales nos basáremos para realizar los análisis a las demás variables, es decir, al encontrar la dosis optima de coagulante se tratara una muestra de las aguas residuales domésticas y se estudió el comportamiento de los demás parámetros pH, DQO, DBO5, Alcalinidad total y SST.

Con los datos anteriores, se realizará un diseño factorial 2^3 teniendo en cuenta dos factores: concentración del coagulante natural tanto para la guanábana y la pitahaya y velocidad de mezcla, se medirán las siguiente variable dependiente la Turbidez

Para determinar la remoción de turbidez se empleará la siguiente ecuación:

Ecuación 1: Remoción de turbidez

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{turbidez final}}{\text{turbidez inicial}} * 100 \dots \dots \dots 1$$

En cuanto a la determinación de la remoción de los demás parámetros como son la demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, la Alcalinidad y el pH de las aguas residuales del municipio de San Juan del César, se empleará la siguiente ecuación:

Ecuación 2: Eficiencia de remoción de cargas contaminantes

$$E = \frac{S_0 - S_f - 1h}{S_0} * 100 \dots \dots \dots 2$$

En donde E representa la eficiencia de la remoción de la carga contaminante

So= carga contaminante inicial sin el tratamiento en mg (DBO5, DQO, alcalinidad, pH)

Sf-1h =Carga contaminante después del tratamiento en mg/l (DQO, DBO, alcalinidad, pH)

Con el siguiente nivel de diseño experimental.

Tabla 2

Nivel de diseño experimental

Variable	Niveles	
	Bajo	Alto
Concentración	-	+
Velocidad de mezcla rápida	-	+
Velocidad de mezcla lenta	-	+

Se considera un diseño factorial 2^3 , es decir, compuesto por 3 factores, cada uno de ellos a dos niveles: bajo y alto lo que hace un total de 8 tratamientos para cada uno de los coagulantes con ANOVA al 95%. Las variables se definen de la siguiente forma, Factores variables: pH, dosis de coagulante, velocidad de mezcla rápida y velocidad de mezcla lenta. La dosis de coagulante se refiere al porcentaje en peso de la mezcla de sulfato de aluminio con los obtenidos de la pitahaya y la guanábana, como variables de respuesta: turbiedad en UNT. Factores constantes: tipo de agua residual, tiempo de mezcla rápida, tiempo de mezcla lenta, tiempo de sedimentación. La velocidad de mezcla rápida está en el rango 75-300 rpm y la velocidad de mezcla lenta está en el rango 10-65 rpm. Así definiendo los valores 100rpm y 150rpm como valores máximos y mínimos con respecto a velocidad de mezcla rápida, y los valores 20rpm y 50rpm como valores máximos y mínimos con respecto a velocidad de mezcla lenta, se realizará con replicas por duplicado, los resultados se compararán con los obtenidos con el coagulante químico sulfato de aluminio.

En el primer tratamiento T1 se trabajará a una concentración de nivel bajo (-) y una velocidad de mezcla de nivel bajo (-), y una velocidad de mezcla de nivel bajo también, así sucesivamente como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3

Niveles del Diseño Factorial 2³

TRATAMIENTOS	FACTOR A CONCENTRACION	FACTOR B VELOCIDAD DE MEZCLA RAPIDA	FACTOR C VELOCIDAD DE MEZCLA LENTA
T1	-	-	-
T2	+	-	-
T3	-	+	-
T4	+	+	-
T5	-	-	+
T6	+	-	+
T7	-	+	+
T8	+	+	+

Nota: La tabla anterior muestra los niveles experimentales del diseño experimental.

Autores 2022.

5.6. Desarrollo Metodológico

Etapa 1. Caracterización física y química en los parámetros de DQO, DBO5, pH, Alcalinidad, Turbidez, SST de las aguas residuales domesticas de la STAR del municipio de San Juan del Cesar.

Se llevaran a cabo mediciones generales, toma de muestras y análisis de los diferentes parámetros, se establecieron los puntos de muestreo de entrada y salida del sistema. Se midió el caudal del efluente y se tomaron muestras compuestas para el análisis de parámetros como DQO, DBO5, pH, Alcalinidad total, turbidez y SST para caracterizar las aguas residuales en el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de muestra fueron transportados al laboratorio, conservados según protocolos técnicos y se realizaron análisis físico-químicos, los resultados fueron tabulados.

Actividad 1. Revisión bibliográfica

Se realizará una exhaustiva revisión bibliográfica con el objetivo de determinar las condiciones estructurales del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas del municipio de San Juan del Cesar. Esta revisión permitirá recopilar información relevante acerca de la infraestructura utilizada y procesos de tratamiento empleados en dicho sistema. Además, se buscará describir e identificar posibles mejoras o adecuaciones necesarias para optimizar su eficiencia y cumplir con las normativas ambientales vigentes. La información obtenida será de gran utilidad para realizar una evaluación completa y precisa del sistema de tratamiento existente, brindando una base sólida para la toma de decisiones y la implementación de medidas de mejora en la gestión de las aguas residuales en el municipio

Actividad 2. Punto de muestreo y toma de muestra

Se inspeccionó la zona a muestrear, al llegar al punto de muestreo se realizaron las mediciones generales para geo referenciar los puntos de muestreo en la entrada (punto 1) y en la salida del sistema (punto 2) como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Georreferenciación de los puntos de muestreos

id	Puntos	X	Y	Coordenada Este	Coordenada Norte	Zona
0	Punto 1	5003105.98	2746802.76	7221814.54 m E	1189962.11 m N	18P
1	Punto 2	5003386.11	2746854.97	722094.61m E	1190016.19 m N	18P

Nota: En la tabla se muestra la georeferencia de los puntos tomados para el muestro en el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Juan del Cesar.

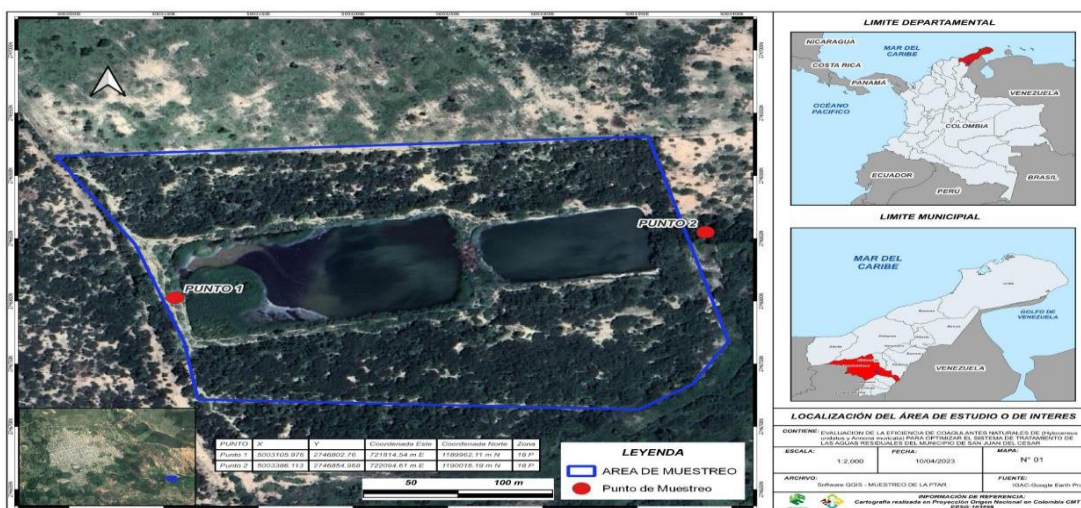
Se etiquetaron los frascos y se midió el caudal del efluente por el método volumétrico manual, empleando el cronómetro y uno de los baldes aforados, el procedimiento consiste en medir el tiempo que tarda en llenarse el balde con un volumen conocido de agua residual que fluye del STAR. Calculando la cantidad de agua que fluye por segundo, así fue posible determinar que 18 lps el caudal del STAR. La toma de muestras se realizó mediante un muestreo manual a la salida del sistema de tratamiento de las aguas residuales del municipio aplicando dos procedimientos de muestreo: El objetivo del primer procedimiento de muestreo fue para conocer las características y el comportamiento del agua residual que entran y salen del sistema, para lo cual se recolectaron muestras compuestas conformadas por 5 alícuotas de 400 ml cada una para un total de 2 litros: se diseñó un esquema de

muestreo con intervalos de tiempo variados, para la determinación de los parámetros de DQO, DBO5, pH, Alcalinidad total, Turbidez, SST. (Ver tabla 1) Las muestras fueron recolectadas en envases plásticos con capacidad de 2L.

El segundo proceso se destinó para la realización de la prueba de Jarras corresponde a la aplicación de un muestreo puntual recolectando las aguas a la salida del sistema a través de dos envases plásticos con capacidad para 20 L. Los ensayos se realizaron tan pronto como fue posible para evitar cambios en la composición de esta, las muestras resultado de estas fueron preservadas en frío a 4°C en el laboratorio para su posterior análisis y respectivas pruebas.

Figura 3.

Puntos de muestreo del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Juan del Cesar.



Nota: Se muestra la ubicación de en el mapa de los puntos de muestreo del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Juan de Cesar.

Actividad 3. Caracterización de las aguas residuales

Se realizó la investigación y experimentos correspondientes a los 40 litros de muestra, los cuales fueron almacenados en recipiente plástico y se transportaron al laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Popular Del Cesar. Se conservaron las muestras de acuerdo a lo establecido en los protocolos técnicos del IDEAM (2017). Ver tabla 2, para el posterior análisis inicial de las propiedades físicas y químicas tales como: DQO, DBO5, pH, Alcalinidad total, Turbidez, SST, luego se tabularon los resultados obtenidos.

Tabla 5

Parámetros analizados y procedimiento para cada parámetro

Parámetro a Analizar	Proceso
Turbidez	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Primero, se tomó una alícuota de 100 ml. ✓ Se calibro el tubímetro de acuerdo a las instrucciones del fabricante. ✓ Se agito la muestra suavemente hasta que las burbujas de aire desaparezcan, luego se colocó en la célula de muestra del tubímetro. ✓ Se hizo la respectiva observación de la primera lectura de turbidez que muestra el equipo. Directamente en la escala del instrumento o en la curva de calibración apropiada. ✓ Se retiró la celda, se desechó la muestra, luego enjuagamos tres (3) veces con agua destilada antes de realizar la siguiente lectura al finalizar el ensayo, lavamos la celda con agua de la llave y luego repetidas veces con agua destilada.
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se recolecto agua en un beacker de 50 ml u otro recipiente;

pH

- ✓ Se lavó el sensor del equipo con agua destilada y sumergimos la sonda del multiparámetro en el agua.
- ✓ Luego se presionó el botón específico para que inicie la lectura del pH. Y esperamos que el valor estable se reflejara en la pantalla.
- ✓ Y por consiguiente, registramos la lectura con la sonda multipárametros.

DQO

En cada tubo de digestión, se introdujo 2 ml de la solución y 35 ml de la solución de ácido sulfúrico-sulfato de plata en 100 ml de una disolución 0'25 N de K₂Cr₂O₇, 3 ml de la muestra que se analiza, siempre que su DQO no sobrepase los 900 mg O₂/l, en cuyo caso, se diluyó la muestra, y 4 ml de la solución de ácido sulfúrico-sulfato de plata. En los tubos testigo se sustituyeron los 3 ml de muestra por otros tantos de agua destilada. Se tapó fuertemente el tubo de digestión y se agitó para homogeneizar su contenido. La gradilla con los tubos de digestión se coloca en un horno a 150°C durante 2 h 30 min, pasado este tiempo se saca la gradilla y se dejan enfriar los tubos. El Cromo (VI) residual se puede valorar con sal de Mohr como en el método normalizado, en cuyo caso el contenido del tubo se vierte a un Erlenmeyer de 50 ml y se lava dos veces con agua destilada, esta agua de lavado se añade al contenido del Erlenmeyer. A continuación se añade el indicador (ferroína. Si la valoración del Cromo III) se efectúa colorimétricamente a 600 nm, el contenido del tubo se traspa a la cubeta del espectrofotómetro. En este tvahejs se utilizaron cubetas de 1 cm de paso de luz.

Para mejores resultados se secó una pequeña cantidad de los reactivos cada vez que se preparó esta solución. En un vaso de

DBO5

precipitados se colocó alrededor de 0.2 g de ácido glutámico y en otro 0.2g de glucosa y séquelo a 102 – 104 °C durante una hora en el horno binder. Se dejó enfriar dentro del desecador, hasta temperatura ambiente. En un vaso de precipitado se pesó 0,1500 gramos de ácido glutámico y en otros 0,1500 gramos de glucosa. Luego se colocó 200 ml de agua ultra pura en un balón aforado de 1litro, transfirió cuantitativamente los 0,1500 g de ácido glutámico, se enjuago varias veces el vaso que lo contiene, agitamos hasta la disolución completa. Se transfirió cuantitativamente los 0,1500 g de glucosa, se enjuago varias veces el vaso que lo contiene, agite hasta disolución completa, luego se agrega éste en el mismo balón del ácido glutámico. Completamos a volumen y homogenizamos invirtiendo en el balón varias veces.

$$\text{DBO5, mg O / L} = \frac{\text{OD consumido} - \text{OD consumo Cepa}}{V_m} * V \dots\dots 3$$

OD consumido: OD i – OD r OD consumo cepa: OD i (agua de dilución + cepa) – OD r (agua de dilución + cepa)

V = Volumen de la botella Winkler, que el valor promediado es de 293 ml.

V_m = Volumen de alícuota de la muestra afectado por el factor de dilución

Alcalinidad total

Se Toman 50 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer.
A continuación, se agregan 3 gotas del indicador anaranjado de metilo.
Si resultaba una coloración amarilla, es porque existía alcalinidad al Naranja de Metilo, y se prosigue al siguiente paso por el contrario si tiene una coloración naranja, no presenta alcalinidad

y esta es cero (0).

Se procede a Titulación de la muestra con solución de ácido sulfúrico 0.02N, hasta que vira a color naranja (correspondiente a PH=4.5). Se Toma la lectura de solución titulante en mililitros de ácido agregado para luego Reemplazar en la ecuación y calculamos la alcalinidad Total:

$$\text{Alcalinidad Total (Caco,)} = \frac{Vt * Nt * PEq - grCaCO3 * 1000}{Vm} \dots\dots 4$$

Dónde:

Vt= Volumen de ácido estándar agregado

N Normalidad del ácido estándar 0,02N

Vm= Volumen de muestra en ml

SST

Se manejó la cápsula mediante pinzas de madera; se secó la cápsula en el horno precalentado 105°C durante 1 horas, luego se llevó la cápsula a un desecador y se dejó enfriar, durante 15 minutos; las pesamos y se tomó el registro del peso de la cápsula. Agitamos la muestra invirtiendo el recipiente varias veces.

De la muestra recién agitada, tomamos rápidamente una alícuota de 30 ml medida con probeta, se transfirió cuidadosamente a la cápsula correspondiente; colocamos la cápsula para el secado en una estufa eléctrica durante el tiempo necesario de evaporación del agua, al culminar el tiempo se retiró la capsula cuando se seca totalmente el agua; Se transfirió nuevamente la cápsula al Horno a 103-105°C, durante 1 hora.

Luego se llevó la cápsula al desecador y dejamos enfriar por 15 minutos, hasta temperatura ambiente; después la pesamos y se registró el peso de la cápsula en la libreta como peso 2. Los cálculos se efectuaron por medio de la ecuación:

$$ST = (A - B)1000/V \dots\dots 5$$

Nota: La tabla muestra el procedimiento para determinar los diferentes parámetros físico químicos de las aguas residuales Adaptado de Vásquez, F., & Zuleta, P. (2020). Uso de coagulantes orgánicos extraídos de los residuos de plátano y banano *Musa paradisiaca* en el proceso de coagulación floculación en el tratamiento de agua cruda del río Guatapurí.

Tabla 6

Requerimientos para conservación y almacenamiento de muestras de agua.

Parámetro a Analizar	Método	Volumen (ml)	Conservación	Tiempo máximo de conservación
Ph	Electrónico		Analizar Inmediatamente.	
Turbidez	Tubímetro		Analizar el mismo día, guardar en oscuridad hasta 24 horas; refrigerar.	24h
Alcalinidad total	Volumétrico	1000	Refrigeración	24h
DQO	Por reflujo cerrado y volumetría	100	Analizar tan pronto sea posible, o adicionar H ₂ SO ₄ a pH < 2.0, refrigerar	7d
DBO ₅	Incubación y electrometría	100	Analizar Inmediatamente. refrigeración 4°C	7d
SST	Gravimétrico	100	Refrigerar a 4°C	7d

Nota: Se presentan los requerimientos necesarios para la conservación de las muestras de agua residual Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia 2017.

Etapla 2. Determinación la concentración óptima de los coagulantes obtenidos para realizar el tratamiento y la remoción de parámetros físico y químico de las aguas residuales del municipio de San Juan del Cesar.

En esta segunda etapa para la obtención de la materia prima, se adquirieron frutas de Pitahaya y Guanábana en mercados locales, las cuales fueron lavadas para eliminar la contaminación. En cuanto a la preparación de los coagulantes, se removió la corteza de las frutas, se extrajo la pulpa y se procedió a cortarla en trozos pequeños, los cuales fueron secados en un horno. Posteriormente, se trituraron y tamizaron las harinas resultantes para obtener un polvo fino utilizado como coagulante. En relación a la determinación de las dosis óptimas de los coagulantes, se llevaron a cabo ensayos con diferentes dosis de los extractos vegetales en las aguas residuales. Los tratamientos seleccionados fueron evaluados en una planta de agua a escala de laboratorio utilizando el equipo de prueba de jarras. Durante este proceso, se realizaron los pasos de coagulación, floculación y sedimentación para determinar la dosis óptima.

Actividad 1: Obtención de la materia prima

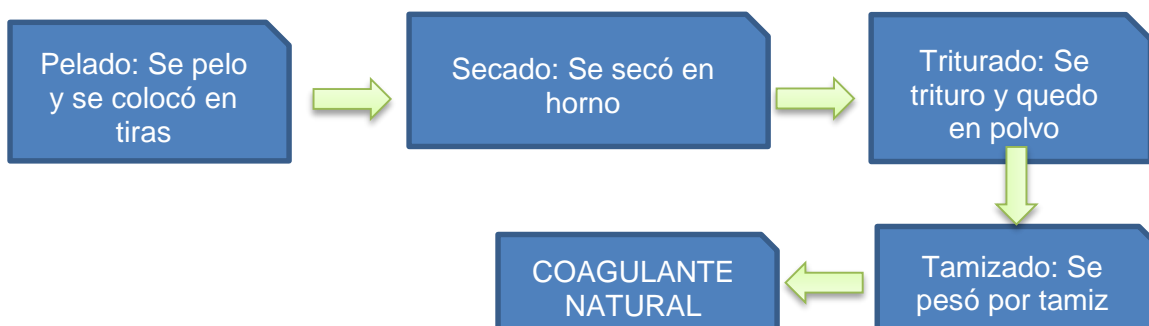
Extracción de la pulpa de la Pitahaya, primero se adquirió las frutas en los mercados locales, luego de obtenerla, se empleó el proceso utilizado por Ganica (2019) Tomando la fruta fresca se procedió a lavarla con agua del grifo y con agua destilada para eliminar el exceso de contaminación que haya obtenido durante la cosecha y transporte. Para la guanábana al igual que la pitaya. Las frutas se compraron en el mercado local para obtener los polímeros necesarios para emplearlos con el método Torres, Carpinteyro y Corzo (2013).

Actividad 2. Preparación de los coagulantes

Para la preparación del coagulante se tomó en consideración la investigación de Contreras (2018). Sobre eficacia de la pitahaya para la disminución de los sólidos totales presentes en aguas, una vez obtenida la fruta se procedió a la remoción y eliminación manual de la corteza de ambas frutas con una espátula tipo cuchara limpia y seca, se procedió a la extracción de la pulpa de la pitaya, luego se cortó en cuadros pequeños trozos de 3mm a 5cm y para conocer la cantidad de biopolímero obtenido se procedió a pesar la pulpa y del mismo modo el proceso es similar para la Guanábana. Luego se inició el proceso de secado colocando los en cápsulas de porcelana donde se depositaron en el horno de secado a una temperatura de 105°C por 5 horas para la pitaya, mientras que, para la Guanábana, horno durante 2 horas a 110 °C. Después de eso, las harinas se secaron por convección a temperatura ambiente, una vez que las muestras se secan completamente, se tritura con un mortero hasta obtener un polvo completamente fino para utilizarlo como coagulante, y por último se procedió a tamizar.

Figura 4

*Procedimiento para generar el coagulante de *Hylocereus undatus* y *Annona muricata*.*



Nota: En el anterior esquema se muestra los distintos procedimientos que se llevaran a cabo para la obtención del coagulante natural. Autores, 2021

Actividad 3: Determinar las dosis óptimas de los coagulantes

Las muestras Fueron sometidas a diferentes dosis de los extractos vegetales para determinar sus efectos sobre los efluentes de las aguas residuales en el municipio de San Juan Del Cesar. Este proceso se llevó a cabo siguiendo un modelo de ensayo y error. Posteriormente, los mejores tratamientos fueron seleccionados y evaluados por medio de la simulación de una planta de agua a escala de laboratorio, para conocer la dosis optima se hizo uso del equipo de prueba de jarras del laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria que se encuentra en la Universidad Popular del cesar, estas se trabajó con un montaje de seis jarras de un litro adicionando la dosis correspondiente de coagulante realizando los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a través de la agitación del control de las mezclas en el equipo de jarras, siendo la mezcla rápida a 200 revoluciones por minuto por un minuto, la mezcla lenta o floculación a 40 rpm por 10 minutos y la sedimentación durante 20 minutos.

Se determinó la dosis óptima de coagulante mediante las siguientes fórmulas:

Ecuación 6: *Determinar Concentración de Coagulante*

$$\text{Cocentración de Coagulante} = \frac{\text{masa (mg)}}{\text{volumen (ml)}} = \frac{\text{mg}}{\text{ml}} \dots\dots\dots 6$$

Nota: Espinosa, R. Zuluaga, S. (2018) “Evaluación de la capacidad de dos coagulantes naturales para la remoción de cargas contaminantes en el efluente final de la empresa textil Inruzz s.a.s con respecto al coagulante comercia sulfato de aluminio”.

Etapa 3. Valoración de la eficiencia de la *Hylocereus undatus* y *Annona muricata* en la remoción de DQO, DBO5, pH, Turbidez y alcalinidad total de las aguas residuales domesticas del municipio de San Juan del Cesar.

En la etapa tres de este proyecto las aguas fueron caracterizadas en parámetros físicos y químicos después del tratamiento, siguiendo la normativa vigente. Se realizaron ensayos y análisis de las muestras en el laboratorio, presentando los resultados en tablas comparativas y gráficos estadísticos. Se evaluó el comportamiento de las aguas residuales antes, durante y después de aplicar los coagulantes naturales extraídos de las plantas. Además, se comparó la interacción de estos coagulantes con el coagulante químico (sulfato de aluminio), realizando un análisis cuantitativo de la eficiencia y determinando el mejor tratamiento en base a los parámetros analizados, en comparación con muestras sin tratamiento y el sulfato de aluminio.

Actividad 1: Caracterizar las aguas en parámetros físico y químicos después del tratamiento de acuerdo con la normativa vigente.

Una vez realizados los ensayos previos en el laboratorio de la facultad y analizar las muestras en el laboratorio, se procedió a mostrar los resultados mediante el uso de tablas comparativas del parámetro de turbiedad e interpretarlos en gráficos estadísticos. Teniendo en cuenta el comportamiento de las aguas residuales antes, durante y después de someterlos a los coagulantes naturales extraídos las especies vegetales en referencia.

Actividad 2: Comparar la interacción del coagulante extraídos de las dos plantas después de la aplicación con el coagulante químico (sulfato de aluminio).

Se realizó el análisis cuantitativo de la eficiencia para verificar en ponderaciones porcentuales cuanto cambió el ante el tratamiento empleado. Se identificó el mejor tratamiento respecto a las plantas consideradas en base al análisis de los parámetros antes mencionados en referencia por cada parámetro con respecto a los blancos de agua sin tratamiento y uno del coagulante químico más empleados como coagulante el sulfato de aluminio.

La eficiencia del proceso se determina mediante el porcentaje de remoción (%R) de turbidez de acuerdo a la ecuación:

Ecuación 7: *Porcentaje de Remoción de Turbidez*

$$\%R = \frac{Turbidez_{inic} - Turbidez_{fin}}{Turbidez_{inic}} \times 100 \dots\dots\dots 7$$

6. Resultados y Análisis

6.1. REALIZAR LA CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA EN LOS PARÁMETROS DE DQO, DBO5, PH, ALCALINIDAD TOTAL, TURBIDEZ, SST DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EFLUENTES DEL STAR DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN DEL CESAR.

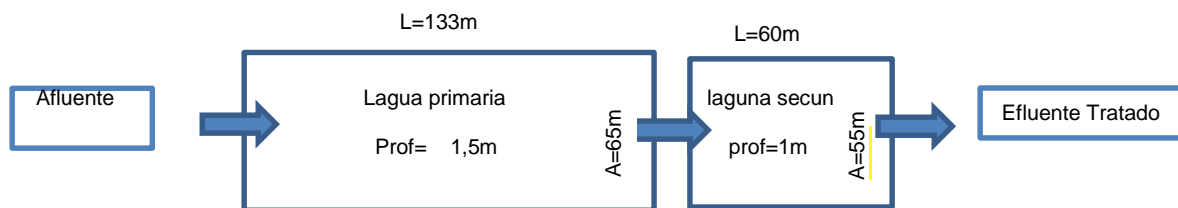
Actividad 1. Revisión bibliográfica

Antes de la toma de muestras, se llevó a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica con el objetivo de obtener una descripción detallada del sistema a evaluar. Para ello, se consultaron fuentes de información como el Plan de Agua departamental 2020 y los datos recopilados por Corpogujira . A partir de esta revisión bibliográfica, se pudo confirmar durante la visita realizada que el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas en el municipio está compuesto por dos lagunas de oxidación trabajando en serie, una primaria y otra secundaria. El efluente tratado es vertido a un canal natural. El sistema de tratamiento no cuenta con elementos de pre-tratamiento como rejillas, cámara de distribución de caudales o desarenador, y no se controlan los caudales de entrada a las lagunas, la entrada es directa a la laguna por medio de una tubería que entra en forma sumergida a la laguna facultativa; cuenta con los elementos de interconexión a lagunas y las tuberías de entrada y salida. El sistema cuenta con una laguna facultativa seguida por una laguna de maduración cada uno con un periodo de retención de 10 días, con estructuras de interconexión en concreto. Existe una laguna primaria que trabaja como sedimentador y no cumple con las dimensiones requeridas para la población servida (corpogujira, 2020). Contiguamente cuenta con una laguna de maduración para control de patógenos, se observa que los fondos no están

impermeabilizados con geomembrana, las lagunas presentan riesgo de ingreso de corrientes de agua lluvia y no cuentan con cerramiento perimetral.

Figura 5:

Esquema del sistema de tratamiento de aguas residuales de San Juan del Cesar



Nota: Esta figura muestra el esquema y dimensiones del sistema de tratamiento lagunar del municipio de San Juan del Cesar

Actividad 2. Punto de muestreo y toma de muestra

Luego se identificaron los diferentes puntos de muestreo en sistema de tratamiento de aguas residuales en el municipio de San Juan del Cesar, se midió el caudal del efluente que corresponde a en el cual se tomaron 3 muestras de agua residual, el primer punto de muestreo fueron de las aguas que llegan al sistema de tratamiento para saber las condiciones de las aguas residuales del STAR de San Juan del Cesar, luego se tomaron de la salida del sistema de tratamiento para saber si las condiciones del sistema de tratamiento están cumpliendo con el tratamiento adecuado de estas aguas de acuerdo con la norma, Las tres muestras se tomaron como se plateo anteriormente. Una vez identificados los puntos de muestreo, se procedió a tomar las muestras de agua residual.

Para el muestreo, se tomó como base la metodología la guía de muestreo propuesta por el

IDEAM, 2017. El muestreo se realizó en los puntos descritos con anterioridad.

Las muestras tomadas fueron simples. Antes de llenar el envase con la muestra, se realizó la purga del mismo; se lavó 3 veces el recipiente con el agua que va a ser recolectada cada uno, se realizó la toma con cuidado para garantizar que los resultados analíticos. Se llevó un registro con la información suficiente, que contenía nombre de quien toma la muestra, fecha, hora, localización. Por último, luego de la toma de muestras efectuada se trasladaron a el laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria de la Universidad popular del Cesar para los respectivos análisis de los parámetros correspondientes.

Actividad 3. Caracterización de las aguas residuales

Las características físico y químicas en el agua de residuales provenientes del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Juan del Cesar, donde se observa una diferencia en los parámetros estudiados. Comparando estos resultados con la normativa ambiental vigente para parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas, (ARD) y de las aguas residuales (ARD – ARND) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales. (Resolución 0631 del 2015).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas físico y químicas realizadas de cada uno de los parámetros en estudio y los rangos óptimos utilizados para los coagulantes naturales de *Hylocereus undatus* y *Annona muricata*. Al igual que los parámetros para evaluar el desempeño en la remoción de la carga contaminante del agua residual proveniente de las aguas residuales domésticas del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Juan del Cesar.

Tabla 7:

Resultados obtenidos de los parámetros en estudio

Parámetros	Unidades	Valores obtenidos		Valores limites
		Entrada	Salida	Res. 0631 de 2015
Turbidez	NTU	98,2	45	NR
PH	Unidades de pH	7,65	7,4	6,00-9,00
Alcalinidad				
total	mg/L CaCO ₃	170	165	NR
DQO	mg/L O ₂	700	300	180
DBO5	mg/L O ₂	560	125	90,00
SST	mg/L	400	200	90,00

Nota: Esta tabla muestra los resultados obtenidos en las pruebas físico y químicas de los parámetros en estudios.

La caracterización inicial realizada en el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Juan del Cesar evidenció que los parámetros de DQO (Demanda Química de Oxígeno), DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno) como afirma y SST (Sólidos Suspendidos Totales) no cumplen con los límites máximos permisibles según la legislación colombiana Resolución 0631 de 2015. Esto indica que las aguas residuales domésticas no están teniendo un tratamiento adecuado, coincidiendo con los muestreos realizados por corpoguajira (2020) el parámetro de DQO alcanza los 300 mg /L O₂ como afirma Raffo y Ruiz (2014) los niveles altos de DQO resultan en un aumento en la demanda de oxígeno durante el proceso de descomposición

por microorganismos. Esto puede llevar a una depleción significativa de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua receptores, dificultando la supervivencia de los organismos acuáticos.

En cuanto al parámetro de DBO5 el sistema de tratamiento tiene un porcentaje de remoción de esta del 78% sin embargo no alcanza a estar en niveles que se exigen en la resolución, en estudios de Gutiérrez y Pérez (2017) se demostró que los altos niveles de DBO5 en aguas residuales pueden causar cambios en el equilibrio ecológico de los ecosistemas acuáticos. La descomposición de la materia orgánica por los microorganismos consume grandes cantidades de oxígeno, lo que puede llevar a una disminución en la disponibilidad de oxígeno para otros organismos acuáticos. Así mismo Smith, J. et al. (2018) estudio los altos niveles de DBO5 afectan el equilibrio de los ecosistemas esto puede resultar en la muerte de peces y otros organismos acuáticos sensibles a la falta de oxígeno, y provocar desequilibrios en la cadena alimentaria y la biodiversidad del ecosistema. Es importante mencionar que la contaminación por altos niveles de DBO5 en aguas residuales puede tener consecuencias tanto a nivel local como a nivel regional. Los cuerpos de agua receptores pueden sufrir una reducción en su capacidad para mantener la vida acuática y, en casos extremos, pueden convertirse en zonas muertas con niveles muy bajos o nulos de oxígeno.

Además, se encontró que el pH sí cumple con los límites máximos permisibles según la misma legislación, lo que indica que no hay una acidez ni una alcalinidad excesiva en las aguas residuales.

6.2.DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE LOS COAGULANTES OBTENIDOS MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN POR MEDIO DE LA PRUEBA DEL TEST DE JARRAS.

Actividad 1: Obtención de la materia prima

Las frutas frescas se compraron en el mercado locales, un kilo de pithaya y un kilo de guanábana para obtener el coagulante, se lavó con agua del grifo y con agua destilada para eliminar el exceso de contaminación que haya obtenido durante la cosecha y transporte.

Actividad 2. Preparación de los coagulantes

En el proceso de investigación se siguió el método propuesto por Garnica (2019) para la obtención de polvo de frutas deshidratadas. Este método involucra el corte de frutas frescas en trozos de aproximadamente 1 cm, tanto para la guanábana como para la pithaya, seguido de su deshidratación al sol durante 12 horas a una temperatura entre los 25° y 36 °. Posteriormente, se llevan al horno a una temperatura de 105 °C durante 4 horas hasta que la fruta esté totalmente seca. Una vez seca, se procesa la fruta para obtener un polvo fino, el cual se tamiza para obtener un producto de mejor calidad. Para este proyecto se procesó 1 kilo de pithaya, lo que produjo un total de 112.174 gramos de polvo de fruta. Por otro lado, al procesar 1 kilo de guanábana, se lograron obtener 83.145 gramos de polvo de fruta, los cuales fueron suficientes para realizar las pruebas en el laboratorio.

Antes de comparar la interacción del coagulante extraído de las dos plantas después de la aplicación, es importante analizar los costos de cada uno, el kilo de fruta de pithaya se encuentra

a un precio de 8,000 pesos. Sin embargo, después de procesar la fruta, solo se logró obtener 112.174 gramos de coagulante a partir de un kilo de pitahaya. En el caso de la guanábana, el precio en el mercado local es de 9,900 pesos, pero solo se obtuvo 83.145 gramos de coagulante por cada kilo de fruta procesada. Por otro lado el precio promedio del kilo de sulfato de aluminio es de 19,000 pesos. Por lo tanto, se puede observar que se requiere una mayor cantidad de fruta para obtener un kilo de coagulante utilizando coagulantes naturales. Para la pitahaya, se necesitarían cerca de 9 kilos de fruta, mientras que para la guanábana se necesitarían 12 kilos de fruta para obtener un kilo de coagulante. En este sentido, el sulfato de aluminio representa una ventaja económica frente a los coagulantes naturales evaluados en esta investigación. Sin embargo existen varias opciones de coagulantes para el tratamiento de aguas residuales, tanto químicos como naturales. Aunque los coagulantes químicos pueden ser más económicos, también pueden tener un mayor impacto ambiental debido a la presencia de sustancias tóxicas en su composición. Esto se fundamenta en estudios realizados donde se demuestra como la semilla de Moringa y la quitosana, son más seguros para el medio ambiente y pueden ofrecer ventajas adicionales en términos de eliminación de contaminantes.

Un estudio realizado por Thakur et al. (2018) encontró que la semilla de Moringa puede ser tan efectiva como el sulfato de aluminio en la eliminación de turbidez y otros contaminantes del agua, pero con un menor impacto ambiental. Por su parte, un estudio realizado por Barros et al. (2019) encontró que la quitosana es efectiva para la eliminación de metales pesados como el plomo y el cadmio del agua, y también puede reducir la toxicidad de los efluentes tratados.

Estos estudios respaldan la idea de que los coagulantes naturales pueden ser una opción más segura y efectiva para el tratamiento de aguas residuales. Además, su uso puede tener

implicaciones positivas para la salud pública y el medio ambiente.

Actividad 3: Determinar las dosis óptimas de los coagulantes

En los tratamientos realizados con la prueba de jarras se obtuvieron resultados a diferentes concentraciones que permitieron determinar el rango óptimo de dosis del coagulante. Para establecer el rango de mejor comportamiento, se realizó un ensayo con una repetición y diferentes concentraciones de la solución para cada uno de los coagulantes, y se evaluó su eficacia en la remoción de turbiedad. La dosis óptima se estableció en función de la eficiencia en la remoción de turbiedad con respecto a las diferentes dosis de coagulante de pitahaya utilizadas. A continuación, se presentan las tablas con los valores de turbiedad obtenidos aplicando diferentes dosis del coagulante de pitahaya y se destacan las dosis con mayor eficiencia en la remoción de turbiedad.

Tabla 8:

Remoción de Turbidez Pitahaya NTU – Prueba 1

Prueba 1 remoción alcanzada de turbidez Pitahaya NTU					
Dosis (mg/L)	100	150	200	250	300
Inicial NTU	45	45	45	45	45
Final NTU	7,3	7,5	6,34	11,92	12,91
%Remoción	83,78	83,33	85,91	73,51	71,31

Nota: Se muestra los porcentajes de remoción de la turbidez empleado distintas dosis del coagulante de pitahaya.

Tabla 9:

Remoción de Turbidez Pitahaya NTU – Prueba 2

Prueba 2 remoción alcanzada de turbidez Pitahaya NTU					
Dosis (mg/L)	200	220	240	260	280
Inicial NTU	45	45	45	45	45
Final NTU	6,4	7,12	7,48	7,72	7,9
%Remoción	85,78	84,18	83,38	82,84	82,44

Nota: Se muestra los porcentajes de remoción de la turbidez empleado distintas dosis del coagulante de pitahaya.

El diseño experimental 2³ aplicado en esta investigación, con una de concentración de coagulante de 200 y 220 mg/l para la pitahaya, y para la guanábana se realizado con una concentración de 100 y 150 mg/l, con una velocidad rápida de 100 y 150 rpm y una velocidad lenta de 20 y 50 rpm para ambos coagulante, se determinó que el tratamiento efectivo fue el primero para el coagulante de pitahaya y el segundo para el coagulante de guanábana en el proceso de tratamiento de aguas residuales sobre la turbiedad. (Análisis estadísticos anexo al presente documento).

Para este coagulante natural de pitahaya el rango de mejor comportamiento fluctuó entre 200 y 220 mg/l. al 1% para todas las concentraciones estudiadas, sin embargo, el mejor comportamiento se obtuvo con 200 mg/L. Las aguas residuales domésticas contienen una variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos, como materia orgánica, bacterias, virus y nutrientes, que pueden ser dañinos para la salud humana y la vida acuática. En comparación, las aguas residuales de la industria láctica contienen contaminantes específicos, como grasas, proteínas y lactosa, que son difíciles de remover y pueden causar problemas como obstrucciones y malos

olores en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. En ese sentido, Tirado et al (2016) obtuvieron mejores resultados en su proceso de tratamientos de aguas lácticas al aplicar una concentración de solución al 1% del coagulante de pitahaya. La dosis óptima para la remoción de turbiedad respecto al coagulante fue de 300 mg/L.

En cuanto a la prueba realizada con el coagulante de guanábana se obtuvieron los siguientes resultados en la prueba de jarras.

Tabla 10:

Remoción de Turbidez Guanábana NTU – Prueba 1

Prueba 1 remoción alcanzada de turbidez Guanábana NTU					
Dosis (mg/L)	100	150	200	250	300
Inicial NTU	45	45	45	45	45
Final NTU	7,94	7,65	8,87	11,92	12,91
%Remoción	82,36	83,00	80,29	73,51	71,31

Nota: Se muestra los porcentajes de remoción de la turbidez empleado distintas dosis del coagulante de guanábana.

Tabla 11:

Remoción de Turbidez Guanábana NTU – Prueba 2

Prueba 2 remoción alcanzada de turbidez Guanábana NTU					
Dosis (mg/L)	100	110	120	140	150
Inicial NTU	45	45	45	45	45
Final NTU	8,22	7,96	7,99	7,81	7,7
%Remoción	81,73	82,31	82,24	82,64	82,89

Nota: Se muestra los porcentajes de remoción de la turbidez empleado distintas dosis del coagulante de guanábana.

En la investigación realizada sobre el coagulante natural de guanábana, se encontró que el rango de mejor comportamiento se situó entre 140 y 150 mg/l al 1% para todas las concentraciones estudiadas, destacando en particular una dosis óptima de 150 mg/L que presentó el mejor desempeño en la remoción de turbiedad, con un porcentaje de remoción del 83% en el parámetro de estudio. Estos resultados son similares a los obtenidos por Torres et al. (2013) en su investigación sobre el tratamiento de aguas residuales utilizando el coagulante de guanábana, quienes lograron una remoción de contaminantes con rangos de 50 a 150 mg/l al aplicar una concentración de solución del 1% del coagulante de guanábana.

6.3. VALORAR LA EFICIENCIA DE LA HYLOCEREUS UNDATUS Y ANNONA MURICATA, EN LA REMOCIÓN DE DQO, DBO5, PH, ALCALINIDAD TOTAL, TURBIDEZ, SST DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN DEL CESAR DE ACUERDO CON LO ESTABLECIDO POR LA NORMATIVIDAD AMBIENTAL COLOMBIANA RESOLUCIÓN 0631 DE 2015.

A continuación, se realiza el análisis y la discusión de los resultados de los tratamientos realizados para aguas residuales provenientes del sistema de tratamiento del municipio de San Juan del Cesar. En primer lugar, se destaca la eficiencia en el tratamiento con los coagulantes naturales *Hylocereus undatus* y *Annona muricata* y sus Eficiencias evaluadas para la reducción de parámetros DQO, DBO5, pH, Alcalinidad total, SST.

Actividad 1: Caracterizar las aguas en parámetros físico y químicos después del tratamiento de acuerdo con la normativa vigente.

Para el coagulante natural de pitahaya el rango de mejor comportamiento fluctuó entre 200 y 220 mg/l. al 1%, el mejor comportamiento se obtuvo con 200 mg/L.

Tabla 12:

Porcentaje de remoción de parámetros físico y químico del coagulante de Pitahaya

Evaluación inicial y final aplicando Pitahaya					
parámetros	Unidades	inicial	final	%remoción	Resolución 0631 de 2015 valores límites permisibles para ARD
Turbidez	NTU	45	6,34	85,91	NR
PH	Unidades de pH	7,4	6,98	5,67	Cumple
Alcalinidad total	mg/L CaCO3	165	160	3,03	NR
DQO	mg/L O2	300	100	66,7	Cumple
DBO5	mg/L O2	125	90	66,4	Cumple
SST	mg/L	200	90	55	Cumple

Nota: En la tabla se muestra el porcentaje de remoción de los parámetros de estudio al ser tratadas con el coagulante de pitahaya.

Como se puede apreciar en las tablas anteriores, el comportamiento de las variables estudiadas está directamente correlacionado con la turbiedad del agua, esto se debe a que los coagulantes naturales contienen compuestos orgánicos que tienen la capacidad de unirse a partículas suspendidas y contaminantes en el agua. Estos compuestos pueden ayudar a formar flóculos más grandes y pesados, lo que facilita su separación del agua (Silva, 2017). En este sentido, se ha observado que al aplicar la dosis óptima del coagulante de pitahaya, se logra una remoción superior al 50% en

parámetros como la DQO y SST, mientras que la remoción de DBO5 supera el 60%. Estos resultados son consistentes con el estudio realizado por Pérez (2022) sobre el uso de coagulante de cardón guajiro en el tratamiento de aguas residuales, donde se demostró que dicho coagulante es altamente eficiente en la reducción de sólidos suspendidos totales y DBO5, logrando una eficiencia superior al 50% en la remoción de estos parámetros, del mismo modo se muestra que el pH disminuyó de 7,4 a 6,98. En cuanto al parámetro de la turbiedad, se ha logrado remover más del 80%. En el estudio de Garnica Michelle (2019), se presentan antecedentes donde se evidencia que la pitahaya, otra fruta utilizada como coagulante natural, presenta un mejor desempeño en la remoción de la turbidez, alcanzando cerca del 82,7% en los parámetros de DBO5 y DQO en pH bajos, dentro de un rango de 4 a 6. De manera similar, el estudio de García (2019) y la eficiencia del coagulante de papaya en el tratamiento del agua de río contaminado demuestran que el coagulante de papaya es altamente eficiente en la remoción de la turbidez del agua, alcanzando una eficiencia de hasta el 90%. Esto significa que estos coagulantes son capaces de eliminar una gran cantidad de partículas suspendidas y sólidos en el agua, mejorando su claridad y calidad.

Por su parte, la investigación utilizando coagulante de pitahaya en la aguas residuales de industriales de latex llevada a cabo por Juferi Idris et al. (2014) mostró que para muestras con un pH superior en el rango de 10 a 9,47, se logró una remoción del parámetro de entre el 88,9% y el 99,7%, lo que sugiere que hay una correlación directa entre el pH y la remoción de los contaminantes en los procesos de tratamiento de aguas residuales. Estos hallazgos resaltan la importancia de manejar cuidadosamente el pH y la dosificación del coagulante natural para poder obtener los mejores resultados en la remoción de contaminantes.

Para el coagulante natural de guanábana el rango de mejor comportamiento fluctuó entre

100 y 150 mg/l. al 1%, el mejor comportamiento se obtuvo con 150 mg/L en relación al parámetro de turbidez.

Tabla 13:

Porcentaje de remoción de parámetros físico y químico coagulante de Guanábana

Evaluación inicial y final aplicando Guanabana						Resolución 0631 de 2015 valores límites permisibles para ARD
Parámetros	Unidades	inicial	final	%remoción		
Turbidez	NTU	45	7,65	83		NR
PH	Unidades de pH	7,4	5,78	8,37		Cumple
Alcalinidad total	mg/L CaCO3	165	156	6,06		NR
DQO	mg/L O2	300	160	46,67		Cumple
DBO5	mg/L O2	125	56	55,2		Cumple
SST	mg/L	200	100	50		No Cumple

Según la tabla presentada, se determinó que la inclusión de coagulante de guanábana mostró un impacto directamente relacionado con la turbidez en los parámetros analizados. Los resultados mostraron que la dosis óptima del coagulante permitió una remoción del 46,7% en DQO, más del 50% en DBO5 y el 50% en SST para las jarras de agua residual del sistema de tratamiento de San Juan del Cesar en el último tratamiento. Además, la adición del coagulante también disminuyó el pH de 7.4 a 5e.78 y la turbidez en más del 80%. En un estudio previo realizado por Torres et al. (2013), se logró una eliminación del parámetro de DQO del 37.1% con una dosis de 100 mg/L de coagulante. Según el estudio realizado por Álvarez et al. (2019), se encontró que el coagulante de guanábana fue efectivo en la eliminación de turbidez y sólidos suspendidos del agua, con una remoción del 50% en SST y más del 50% en DBO5. Además, se

observó una remoción del 46,7% en DQO con la dosis óptima del coagulante. Varios estudios han investigado el uso de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales y han demostrado que las dosis óptimas pueden variar dependiendo de las características de cada muestra. En un estudio realizado por Álvarez et al. (2019), se encontró que la dosis óptima de coagulante de guanábana utilizando una dosis de coagulante de guanábana de 50 mg/L.

En otro estudio realizado por Nduka et al. (2016), se encontró que la dosis óptima de semilla de Moringa varió entre 60 y 80 mg/L dependiendo de las condiciones de cada muestra. De manera similar, un estudio realizado por Al-Salim et al. (2020) encontró que la dosis óptima de coagulantes a base de aceitunas varió entre 30 y 40 mg/L dependiendo de las características de la muestra. Finalmente, un estudio realizado por Torres et al. (2013) encontró que la dosis óptima de coagulantes químicos para el tratamiento de aguas residuales varió entre 20 y 120 mg/L dependiendo de las características de cada muestra. Por tanto las características del agua son indispensables para determinar el comportamiento del coagulante.

El tratamiento con coagulante de pitahaya permite una disminución de la turbidez en un 85,93%, mientras que el coagulante de guanábana logra una disminución del 83%. Además, se demostró una remoción del 60% de DQO en el agua tratada con el coagulante de pitahaya, en comparación con una remoción del 45,63% con el coagulante de guanábana. En cuanto a la DBO₅, se obtiene la mejor remoción con dosis de pitahaya, alcanzando un 66,4%. En comparación, la dosis de guanábana logra una remoción del 55,2%, lo que también se considera adecuado. Cabe destacar que los valores de pH se mantuvieron dentro de los límites establecidos por la legislación colombiana, mientras que los niveles SST para el tratamiento con guanábana aun superan los valores máximos permisibles según la Resolución 0631 de 2015, para los vertimientos puntuales

de aguas residuales domésticas (ARD) y las aguas residuales (ARD-ARND) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales.

A partir del estudio realizado, se puede inferir que los resultados obtenidos en el laboratorio sobre la dosis óptima del coagulante de pitahaya difieren de los obtenidos por Garnica Michelle (2019). Para tratar las aguas residuales del Municipio de San Juan del Cesar, se utilizó una dosis de 200 mg/L de coagulante de pitahaya, mientras que Garnica Michelle empleó una dosis diferente de 1200 mg/L. para tratar las aguas contaminadas del estereo san camilo, En cuanto al coagulante de guanábana, los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con los obtenidos por Torres et al. (2013). En su estudio, se lograron resultados en el rango de 50 a 150 mg/L para tratar las aguas residuales con características similares a las del municipio de San Juan del Cesar, donde se obtuvieron resultados en el rango de 140 y 150 mg/L.

Actividad 2: Comparar la interacción del coagulante extraídos de las dos plantas después de la aplicación con el coagulante químico (sulfato de aluminio).

A continuación, se presenta una tabla comparativa que muestra los porcentajes de remoción de los parámetros de estudio en la muestra de agua residual cuando se utilizan los coagulantes naturales de pitahaya, guanábana y uno químico (sulfato de aluminio).

Tabla 14:

Comparación de porcentaje de remoción de los coagulantes

% de remoción del parámetro para los coagulantes naturales en comparación con el coagulante químico				
parámetros	Unidades	Coagulantes		
		Pitahaya (200ppm)	Guanábana(150 ppm)	Sulfato de aluminio (100 ppm)
Turbidez	NTU	85,91	83	88,3
PH	Unidades de pH	6,98	5,78	5,6
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	3,03	6,06	12,68
DQO	mg/L O ₂	66,7	46,67	84,71
DBO5	mg/L O ₂	66,4	55,2	69,95
SST	mg/L	55	50	84,12

Nota: la tabla muestra la comparación entre porcentaje de remoción de los coagulantes naturales y el coagulante inorgánico.

La tabla anterior permite evidenciar que el coagulante de guanábana en presencia de una turbiedad alta como lo es 45 NTU, mostró el menor porcentaje de remoción, mientras que el coagulante de pitahaya alcanzo el 85,9% de remoción del parámetro en el caso de estudio, el coagulante sulfato de Aluminio mostró el mayor porcentaje de remoción de turbidez, concuerda con la investigación de Rodríguez (2017), se encontraron diferencias significativas en la remoción de turbidez al utilizar diferentes coagulantes, siendo el sulfato de aluminio inorgánico el más efectivo con una remoción entre 83 y 93% para una turbidez inicial más alta, además tuvo mejores resultados en la remoción de los parámetros de DQO y SST superando el 80%.

Según Chen et al. (2018), los coagulantes naturales pueden contribuir a un aumento en la carga orgánica y la actividad microbiana en las aguas residuales. Sin embargo, otros estudios,

como el de Karthikeyan et al. (2019), han demostrado que ciertos coagulantes naturales, como las semillas de Moringa oleifera y los extractos de algas, pueden ser efectivos en la reducción de la DQO y la eliminación de contaminantes en el agua. En este sentido, es importante destacar que el uso de coagulantes naturales puede afectar de manera distinta a cada tipo de agua residual, dependiendo de su composición y características específicas. Por ejemplo, según una investigación de Sharma et al. (2020), el uso de coagulantes naturales en aguas residuales con alta concentración de materia orgánica puede tener un efecto limitado en la reducción de la DQO, mientras que en aguas con baja concentración de materia orgánica puede ser más efectivo. Por lo tanto, esto puede explicar por qué los coagulantes naturales y el coagulante químico, como la pitahaya y el sulfato de aluminio, dieron mejores resultados en la eliminación de turbidez, DQO, SST y DBO5 que el coagulante extraído de la guanábana, que no logró los mismos altos porcentajes de eliminación.

En el caso del pH y la alcalinidad total luego del tratamiento con los coagulantes de guanábana y sulfato de aluminio presentaron un cambio de un pH neutro a ácido, solo el coagulante de pitahaya mantuvo en promedio este parámetro. Según algunos estudios, los diferentes tipos de coagulantes naturales y químicos requieren de un rango específico de pH para maximizar su efectividad en la floculación y sedimentación de sólidos presentes en el agua. Por consiguiente, el pH es un factor crítico a considerar durante la selección y aplicación del coagulante a utilizar en el tratamiento, ya que puede afectar el proceso de coagulación y la calidad del agua tratada. En un estudio realizado por Dixit et al. (2014), se evaluó la efectividad de diferentes tipos de coagulantes y se encontró que el sulfato de aluminio funcionó mejor a un pH de 6.5-7, mientras que en otro estudio realizado por Mezyk et al. (2014) se encontró que el pH óptimo para la efectividad del coagulante a base de semillas de Moringa fue de 5-7.

Por otro lado, se han realizado varios estudios sobre los efectos negativos del sulfato de aluminio en el pH de las aguas residuales tratadas. Por ejemplo, en un estudio llevado a cabo por Martínez-Hernández et al. (2020), se encontró que el uso de coagulantes de sulfato de aluminio en las aguas residuales puede disminuir significativamente el valor de pH del agua tratada. Otro estudio realizado por Lin et al. (2018) encontró que el uso de coagulantes a base de aluminio puede aumentar el contenido de iones de aluminio en el agua tratada, lo que también puede afectar negativamente la calidad del agua y la vida acuática. Estos estudios destacan la importancia de evaluar cuidadosamente el impacto de los coagulantes en el pH y en otros aspectos de la calidad del agua tratada, y de elegir los coagulantes con el menor impacto ambiental posible. El aumento de la acidez en las aguas residuales tratadas con coagulante de sulfato de aluminio puede tener efectos negativos en el medio ambiente, ya que puede cambiar el equilibrio químico del agua y afectar el crecimiento y supervivencia de diversas especies acuáticas (Wu et al., 2019).

De acuerdo con los resultados obtenidos en el proyecto y evaluación, podemos afirmar que el *Hylocereus undatus* es un coagulante efectivo que remueve de manera eficiente parámetros es la mejor alternativa para tratar las aguas residuales domesticas del municipio de San Juan del Cesar, sin embargo, a pesar de que la pitahaya y la guanábana demostraron ser coagulantes eficientes en la remoción de parámetros estudiados en este proyecto, se encontró que en la actualidad no se ha desarrollado una forma de producción para su aprovechamiento. Por tanto, su disponibilidad es muy escasa y su costo elevado, a pesar de que estas frutas se encuentra en la región y no requieren muchos cuidados. Son muy populares en otros lugares, donde se exportan con gran éxito. Por tanto se debe tener en cuenta los costos de producción del coagulante natural.

7. Conclusiones

En las siguientes conclusiones, se presentarán los hallazgos y resultados más relevantes obtenidos en el estudio del proyecto sobre la **EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE COAGULANTES NATURALES DE (*Hylocereus undatus* y *Annona muricata*) PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN DEL CESAR.**

El sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Juan del Cesar no cumple con su función debido el sistema genera vertimientos que exceden los límites establecidos por la resolución 0631 de 2015 en cuanto a los parámetros de DQO, DBO5 y SST. En particular, el valor de DQO se encuentra en 300 mg/l, superando en un 40% los límites permitidos, al igual que el parámetro de DBO5 que alcanza los 125 mg/l, sobrepasando en un 28% y los sólidos suspendidos totales alcanzan los 200 mg/l, superando en un 55% el límite establecido. Estos resultados son consecuencia de la falta de un mantenimiento adecuado y la falta de monitoreo por parte de la entidad prestadora del servicio. Como resultado, las aguas residuales domésticas no están recibiendo un tratamiento adecuado.

La pitahaya a una concentración de 200 mg/l, con una velocidad de mezcla rápida de 150 rpm y una mezcla lenta de 20 rpm, así como la guanábana a una concentración de 150 mg/l, con una mezcla lenta de 100 rpm y una mezcla lenta de 20 rpm, removieron eficientemente los parámetros físico y químicos del agua residual doméstica de los efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de san juan del Cesar. Esto se debe a que la dosis utilizada y la

velocidad de mezcla rápida ayuda a dispersar y mezclar uniformemente el coagulante natural en la muestra de agua residual, asegurando una distribución adecuada de las propiedades coagulantes naturales tanto de la pitahaya como de la guanábana. Además, permitió que el coagulante reaccione de manera eficiente con las partículas suspendidas presentes en el agua residual doméstica, favoreciendo la formación de flóculos y la aglomeración de partículas. Esto llevo a que se diera una sedimentación efectiva y la eliminación de hasta un 85,6% de la turbidez en el caso de la pitahaya y un 83% en el caso de la guanábana.

Finalmente se concluye que entre los coagulantes naturales utilizados en este proyecto la pitahaya (*Hylocereus undatus*) es el más eficiente para remover los parámetros físico y químicos de las aguas residuales domesticas del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Juan del Cesar, ya que obtuvo una remoción del 85.6% de la turbidez, en cuanto a DQO; DBO Y SST en 66,7%, 66,4%, 55% de remoción, sin alterar significativamente el pH y manteniendo bajo rango según lo establecido por la resolución 0631 de 2015 de los límites permisibles de vertimiento de aguas residuales domésticas.

8. Recomendaciones

- Ampliar el rango de diseño experimental que permita explorar y evaluar diferentes rangos de revoluciones por minutos en el diseño que puede incluir la modificación de los parámetros de velocidad y tiempo.
- Realizar nuevos diseños experimentales que permitan ampliar el rango de los factores considerados en este proyecto e incluir nuevos factores que sean relevantes para mejorar la investigación.
- Recomienda realizar una investigación sobre la valoración de los costos de producción de coagulantes naturales extraídos de las plantas de pitahaya y guanábana para tratar las aguas residuales del municipio de San Juan del Cesar. En el que se determine la viabilidad económica de esta alternativa analizando los impactos económicos de implementar esta opción en comparación con los métodos tradicionales de tratamiento.

Recomendaciones a la Universidad Popular del Cesar

- Mejorar los laboratorios de ingeniería ambiental y velar por la buena gestión de los equipos y materiales necesarios para que las investigaciones puedan garantizar la precisión de los análisis.
- Continuar investigando los coagulantes naturales, ya que tienen muchos beneficios, especialmente en la reducción de riesgos para la salud.
- Dirigir nuevas investigaciones para extraer coagulantes no solo de la fruta de pitahaya y guanábana, sino también de otras partes de la planta como el follaje y el tallo.

Recomendaciones a las CAR

- Realizar evaluaciones técnicas y estructurales del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Juan del Cesar para identificar las deficiencias y establecer un plan de mejoras a seguir.
- Fortalecer la vigilancia y el monitoreo del sistema de tratamiento de aguas residuales en cuanto parámetros físicos y químicos para garantizar su adecuado funcionamiento y cumplimiento de las normas y regulaciones ambientales.

9. Referencias

- Abebe, LS, Chen, X. y Sobsey, MD (2016). Coagulación de quitosano para mejorar la eliminación de microbios y turbidez mediante filtración de agua de cerámica para el tratamiento de agua potable en el hogar. *Revista internacional de investigación ambiental y salud pública*, 13 (3), 269. <https://doi.org/10.3390/ijerph13030269>
- Administración temporal del sector de agua potable y saneamiento básico, Plan departamental de agua, MINVIVIENDA. (2020, Junio). Elaboración de estudios y diseños para la rehabilitación y/o optimización de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de: Barrancas, San Juan del Cesar, Villanueva, Urumita y la Jagua del pilar, departamento de la Guajira.
- Aguilar. M, Sáez, J. LLORENS, M, Soler, A y ORTUÑO, J. Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación- floculación. Universidad Murcia. Editorial Reverte. España. 2002.
- Al-Salim, N. M., Khelifi, M., & Almaamari, R. (2020). The use of olive pomace extract as a natural coagulant for wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(4), 103865.
- Álvarez, M., Tamayo, A., & León, A. (2019). Uso de coagulante natural de guanábana (*Annona muricata*) en la eliminación de turbiedad y sólidos suspendidos del agua residual. *Revista Cubana de Química*, 31(2), 196-210.
- Barros, R. A. M., do Nascimento, L. F. C., de Souza, A. K. M., de Oliveira, R. F. B., de Oliveira, M. F., & de Sousa, A. L. M. (2019). Chitosan: a potential alternative for lead and cadmium removal from wastewaters. *Environmental science and pollution research*, 26(10), 10340-10350.

- Bravo, M. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. [Monografía]. Universidad distrital francisco José de caldas.
- Cárdenas, Y 2000. Tratamiento de agua coagulación y floculación. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>
- Cobo,S. (2009). Evaluación de técnicas y sustancias inductoras sobre la retención de las estructuras florales y productivas del guanábano (*Annona muricata* L.) en una plantación de santo domingo de los colorados” <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2523/1/T-ESPE-IASA%20II-002294.pdf>.
- Contreras, N. (2018). Eficacia de la cebada y la pitahaya para la disminución de los sólidos totales presentes en aguas de Los Pantanos de Villa. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/45375#:~:text=Se%20realiz%C3%B3%20el%20m%C3%A9todo%20de,la%20cebada%20y%2047.07%25%20pitahaya>.
- Chen, Q., Huo, Y., & Zhao, Y. (2018). Characteristics and mechanisms of natural coagulants for water treatment: A review. *Science of the Total Environment*, 643, 1542-1559. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.228.
- Espigares, G y Pérez, 1985 JA. Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones Granada. https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf.

Dixit, S., & Rajoriya, A. (2014). Comparison between chemical and natural coagulants used for the removal of turbidity and color from water. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 1(1), 40-47.

FAO 2016 Productos fresco de fruta <http://www.fao.org/3/a-au173s.pdf>.

Farias, B. 2016 Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas del municipio de Vélez Santander. <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i>.

Flaten, T. P. (2001). Coagulación-floculación de aguas residuales con quitosano: un enfoque natural. *Agronomie*, 21(8), 741-750.

García. (2019). *Evaluación de la actividad coagulante de la semilla de Papaya (Carica papaya) en muestras de agua recolectadas en la cuenca alta del Río Bogotá*. Recuperado 18 de junio de 2022, de https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2102/Mrad_Garc%C3%ADa_Isabella_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Garnica Ruiz, M. G. (2019-09). Comparación de biopolímeros y su eficiencia en la eliminación de materia orgánica suspendida en aguas del estero san camilo - cantón Durán. Tesis. Recuperado a partir de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/44795>

Gutiérrez, C. y Perez, J. 2017 procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales pg 2. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial IDEAM. (2017).

Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf

[f/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428](https://doi.org/10.1155/2013/230860)

Juferi Idris , Ayub Som , Mohibah Musa , Ku Halim Ku Hamid , Rafidah Husen & Miradatul Najwa Muhd Rodhi (2014) Coagulante a base de plantas de follaje de la fruta del dragón (pitaya) para el tratamiento de efluentes concentrados de látex: comparación del tratamiento con sulfato férrico <https://doi.org/10.1155/2013/230860>.

Kamal, M. N., Sazzad, H. M., & Chowdhury, T. R. (2017). Use of Moringa oleifera seeds for domestic wastewater treatment: a sustainable low-cost approach. *Journal of Water and Health*, 15(1), 150-159.

Karthikeyan, R., Boopathy, R., & Arumugam, M. (2019). Role of natural coagulants in water and wastewater treatment: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 30, 1-14. doi: 10.1016/j.jwpe.2019.100670.

Lasprilla .D, Arce, C., Gómez,L. D Martinez, Arboney. J, Bravo.A, MIC de Guanabana 2000. [http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4046/1/2006718141849 Libro%20MIC%20de%20Guanabana.pdf](http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4046/1/2006718141849_Libro%20MIC%20de%20Guanabana.pdf)

Lin, Y., Chen, M., Yang, H., & Wu, K. (2018). Influence of coagulant on aluminum accumulation and its effect on nitrogen removal in membrane bioreactor treating high strength swine wastewater. *Environmental science and pollution research*, 25(22), 22023-22030.

Martínez, F 2017. Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/984/251%20Tratamiento%20de%20Oaguas%20residuales%20industriales.pdf>

- Martínez-Hernández, V., Romero-Rodríguez, R., & Polo-Del-Río, M. I. (2020). Viability of sulfuric acid as an in situ reagent for pH control during coagulation–flocculation of piggery wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119245.
- Mezyk, S. P., Dahmani, A., & Gizynski, K. (2014). Moringa as coagulant for defluoridation of water. *Desalination*, 285, 389-392.
- Nduka, J. K., Orisakwe, O. E., & Ezenweke, L. O. (2016). Effect of pH on the effectiveness of Moringa oleifera seed extract in coagulation of wastewater. *Environmental Systems Research*, 5(1), 20.
- Ortiz, L., 2019. Prueba de jarras.
<https://www.researchgate.net/publication/335826360> Prueba de jarras jar test
- Pérez, J. (2022). Estudio sobre la eficiencia del coagulante de cardón guajiro en la remoción de sólidos suspendidos y DBO5 en aguas residuales. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 11(3), 78-92.
- Quintero, A. (2017) Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la tebaida (quindío)
<http://bdigital.unal.edu.co/1090/1/alejandroquintero.2017.pdf>.
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno *Industrial Data*, vol. 17, núm. 1, pp. 71-80.
- Ramírez, H. (2015) Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua Facultad de ciencias básicas Volumen 11 Número 2 p.137. Recuperado de:
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/924/917>.
- Ramírez, L., Suárez, J., & Ramírez, J. (2011). Evaluación de las propiedades floculantes de

Malvaviscus arboreus, Heliocarpus popayanensis e Hylocereus undatus para clarificación de agua. Hemerotecaunad.

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/924/917>.

Ramírez F. 2017. El muestreo del agua, toma y conservación de muestras <http://www.elaguapotable.com/El%20muestreo%20de%20los%20distintos%20tipos%20de%20agua.pdf>.

Rodríguez, A, 2000. Producción y comercialización de pitahayas en México. Claridades Agropecuarias. <https://info.aserca.gob.mx/claridades/revistas/082/ca082.pdf>.

Sela, G. 2020. La coagulación en el tratamiento de aguas <https://croipaia.com/es/blog/la-coagulacion-en-el-tratamiento-de-aguas/>

Silva, M. (2017). *Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias* [Tesis]. UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS.

Smith, J. et al. (2018). Impact of high levels of BOD5 on aquatic ecosystems. Environmental Science and Pollution Research.

Solids (2017). Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales <https://www.standardmethods.org/doi/10.2105/SMWW.2882.030>.

Sharma, R., Singh, S., & Walia, S. (2020). Comparative study of the performance of natural coagulants in the coagulation of municipal wastewater. Journal of Environmental Management, 253, 109752. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109752.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2014). Wastewater engineering: treatment and resource recovery. McGraw-Hill Education.

- Thakur, S., Gupta, R., & Nimbalkar, V. (2018). A review on application of natural coagulants in water treatment. *Journal of environmental management*, 217, 629-640
- Tirado, D., Gallo, L., Acevedo, D., & Mouthon Javier, J. (2016). Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea. Researchgate. https://www.researchgate.net/publication/311502219_Biotratamientos_de_aguas_residuales_en_la_industria_lactea.
- Tirado, D. F., Jiménez, A. M., & Giraldo, G. I. (2016). Obtención y evaluación de la capacidad coagulante del endospermo de la semilla de guanábana (*Annona muricata* L.) para la eliminación de sustancias presentes en aguas residuales. *Revista Ingeniería y Competitividad*, 18(2), 63-72. <https://doi.org/10.25100/iyc.v18i2.1755>.
- Torres, L., Carpinteyro, S., y Corzo, L. (2013). Uso de semillas de *Annona diversifolia* y *A. muricata* como fuente de coagulante natural - ayuda de floculante para el tratamiento de aguas residuales. Recuperado 2020, de https://www.researchgate.net/publication/262262670_Use_of_Annona_Diversifolia_and_A_Muricata_Seeds_as_Source_of_Natural_Coagulant_Flocculant_Aids_for_the_Treatment_of_Wastewaters.
- Turbidity (2017), métodos estándar para el análisis de agua y aguas residuales <https://www.standardmethods.org/doi/10.2105/SMWW.2882.018>.
- UNESCO. (2003). Agua para todos, Agua para la vida - Resumen ejecutivo del Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. [Documento en línea] Disponible en <https://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>.

Van Dalen, D., y Meyer, W. (2006). La investigación experimental.

<https://noemagico.blogia.com/2006/092201-la-investigaci-n-experimental.php>.

Vásquez, F., & Zuleta, P. (2020). Uso de coagulantes orgánicos extraídos de los residuos de plátano y banano *Musa paradisíaca* en el proceso de coagulación floculación en el tratamiento de agua cruda del río Guatapurí. [Tesis pregrado]. Universidad popular del Cesar.

Wu, T., Li, Y., Liu, L., Liu, J., Wang, J., & Li, G. (2019). Effects of acidic water (pH 4.4) on mortality, feeding, and behavior of freshwater benthic macroinvertebrates. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(32), 32831-32839. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06586-y>

Anexos

Diseño experimental – Coagulante Pitahaya

Se tiene el diseño experimental 2^3 se llevó a cabo el experimento y se registraron cuidadosamente los resultados. Asegurando de anotar toda la información experimental necesaria para llevar a cabo el análisis estadístico.

Coagulante Pitahaya						
		A(coagulante)	B(velocidad rápida)	C(velocidad lenta)	Turbidez 1	Turbidez 2
1	1	200	100	20	6,7	7,1
2	a	220	100	20	6,9	6,9
3	b	200	150	20	6,42	6,35
4	ab	220	150	20	7,2	7,5
5	c	200	100	50	7,11	7,15
6	ac	220	100	50	6,57	6,8
7	bc	200	150	50	6,52	6,48
8	abc	220	150	50	7,36	7,38

Para calcular las tablas ANOVA, primero debemos calcular la suma de cuadrados, los grados de libertad y las medias cuadráticas para los tres efectos principales (concentración de coagulante, velocidad mezcla rápida y velocidad mezcla lenta). Luego, comparamos las sumas de cuadrados con los grados de libertad para obtener los valores F y los valores correspondientes.

Los cálculos quedarían de la siguiente manera:

Factor A	Factor B	Factor C	
		Bajo	Alto
Bajo	Bajo	6,7	7,1
		6,9	6,9
	Alto	6,42	6,35
		7,2	7,5
Alto	Bajo	7,11	7,15
		6,57	6,8
	Alto	6,52	6,48
		7,36	7,38

Calcula las tablas ANOVA. Para un diseño 2 a la 3, necesitarás calcular tres tablas ANOVA: una para el primer factor, otra para el segundo factor, y otra para la interacción entre los dos factores. Es importante que realices los cálculos con cuidado y que utilizar los valores correctos para la media.

Factor A	Factor B	Factor C		Total	\bar{X}
		Bajo	Alto		
Bajo	Bajo	13,6	14	27,6	13,8
	Alto	13,62	13,85	27,47	13,735
Alto	Bajo	13,68	13,95	27,63	13,815
	Alto	13,88	13,86	27,74	13,87
Total		54,78	55,66	110,44	55,22

En esta tabla, la fuente de variación representa el efecto principal o la interacción, y Sc representa la suma de los cuadrados. La columna df muestra los grados de libertad para cada fuente de variación, y CM representa la media cuadrática. Los valores de Fc y efectos se calculan para cada CM, excepto para el residual, podemos ver que tanto la concentración del

coagulante de pitahaya como la velocidad de mezcla tanto rápida o lenta y la interacción entre ellos tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la turbiedad, ya que los valores

Orden Estándar	Respuesta	1a	2a	3a	Efectos	SC
1	13,6	27,28	54,78	110,44	*	
a	13,68	27,5	55,66	-0,3	-0,0375	0,00563
b	13,62	27,95	-0,34	0,02	0,0025	0,00002
ab	13,88	27,71	0,04	0,24	0,03	0,00360
c	14	-0,08	-0,22	-0,88	-0,11	0,04840
ac	13,95	-0,26	0,24	-0,38	-0,0475	0,00903
bc	13,85	0,05	0,18	-0,46	-0,0575	0,01322
abc	13,86	-0,01	0,06	0,12	0,015	0,00090
TOTAL					-0,205	0,08080

ANOVA

FC = 762,3121
SCEE = 0,28580

FV	GL	SC	CM	FC	Ft 95%	
A	1	0,00563	0,005625	0,314905528	4,494	N.S
B	3	0,000025	8,3333E-06	4,6653E-04	3,239	N.S
Ab	3	0,00360	0,0012	0,067179846	3,239	N.S
C	1	0,04840	0,0484	2,709587124	4,494	S
Ac	1	0,00903	0,009025	0,505248425	4,494	N.S
Bc	3	0,01322	0,004408333	0,246792629	3,239	N.S
Abc	3	0,00090	0,0003	0,016794962	3,239	N.S
EE	16	0,28580	0,0178625			
Total	31					

El análisis de la tabla mostró que existen relaciones significativas entre la concentración del coagulante de guanábana con la velocidad de mezcla rápida y la velocidad de mezcla lenta en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Además, se encontraron varios tratamientos que presentaron una diferencia estadísticamente significativa en el resultado del proceso. Esto lleva a

rechazar la hipótesis nula y concluir que hay uno o varios tratamientos que son mejores que otros, en términos de eficacia en la eliminación de contaminantes en el agua residual.

Diseño experimental – Coagulante Guanábana

Se tiene el diseño experimental 2^3 se llevó a cabo el experimento y se registraron cuidadosamente los resultados. Asegurando de anotar toda la información experimental necesaria para llevar a cabo el análisis estadístico.

El procedimiento llevado a cabo es el mismo que se realizó con el coagulante pitahaya, obteniendo los siguientes resultados:

Coagulante Guanábana						
		A(coagulante)	B(velocidad rápida)	C(velocidad lenta)	Turbidez 1	Turbidez 2
1	1	100	100	20	8,26	7,96
2	a	150	100	20	7,6	7,64
3	b	100	150	20	7,89	7,99
4	ab	150	150	20	7,76	7,58
5	c	100	100	50	7,71	7,75
6	ac	150	100	50	7,78	7,8
7	bc	100	150	50	8,32	8,5
8	abc	150	150	50	8,1	8,1

Factor A	Factor B	Factor C	
		Bajo	Alto
Bajo	Bajo	8,26	7,96
		7,6	7,64
	Alto	7,89	7,99
		7,76	7,58
Alto	Bajo	7,71	7,75
		7,78	7,8
	Alto	8,32	8,5
		8,1	8,1

Factor A	Factor B	Factor C		Total	\bar{X}		
		Bajo	Alto				
Bajo	Bajo	15,86	1	15,6	c	31,46	15,73
	Alto	15,65	b	15,57	bc	31,22	15,61
Alto	Bajo	15,49	a	15,55	ac	31,04	15,52
	Alto	16,42	ab	16,6	abc	33,02	16,51
Total		63,42		63,32		126,74	63,37

Orden Estándar	Respuesta	1a	2a	3a	Efectos	SC
1	15,86	31,35	63,42	126,74	*	
a	15,49	32,07	63,32	-1,38	-0,1725	0,11903
b	15,65	31,15	-0,4	-1,74	-0,2175	0,18923
ab	16,42	32,17	-0,98	2,22	0,2775	0,30803
c	15,6	0,37	-0,72	0,1	0,0125	0,00063
ac	15,55	-0,77	-1,02	0,58	0,0725	0,02103
bc	15,57	0,05	1,14	0,3	0,0375	0,00563
abc	16,6	-1,03	1,08	0,06	0,0075	0,00023
				TOTAL	0,0175	0,64378

ANOVA

$$FC = 1003,93923$$

$$SCEE = 0,62628$$

FV	Gl	Sc	CM	Fc	Ft 95%	
a	1	0,11903	0,119025	6,66340098	4,494	S
b	3	0,189225	6,3075E-02	3,53E+00	3,239	S
ab	3	0,30803	0,102675	5,748075577	3,239	S
c	1	0,00063	0,000625	0,034989503	4,494	N.S
ac	1	0,02103	0,021025	1,177046886	4,494	N.S
bc	3	0,00563	0,001875	0,104968509	3,239	N.S
abc	3	0,00023	7,5E-05	0,00419874	3,239	N.S
EE	16	0,28580	0,0178625			
Total	31					

El análisis de la tabla mostró que no existen relaciones significativas entre la concentración del coagulante de pitahaya con la velocidad de mezcla rápida y la velocidad de mezcla lenta en el proceso de tratamiento de aguas residuales sobre la turbiedad. Además, se encontraron un tratamiento tratamientos que presentaron una diferencia estadísticamente significativa en el resultado del proceso. Esto lleva a rechazar la hipótesis nula y concluir que hay un tratamientos que es mejores que los otros, en términos de eficacia en la eliminación de contaminantes en el agua residual.

Registro fotográficos







