

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL COAGULANTE NATURAL CARDÓN GUAJIRO  
Y EL QUITOSANO EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ, PH, SST, DQO Y DBO EN LAS  
AGUAS RESIDUALES DEL SONESTA UBICADO EN VALLEDUPAR.**

**AUTORES:**

**MARLON DAVID MACEA TRIANA**

**LINDA LUCIA ROJAS SANMIGUEL**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TEGNOLÓGICAS  
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR - CESAR**

**2022**

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL COAGULANTE NATURAL CARDÓN GUAJIRO  
Y EL QUITOSANO EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ, PH, SST, DQO Y DBO EN LAS  
AGUAS RESIDUALES DEL SONESTA UBICADO EN VALLEDUPAR.



AUTORES:

MARLON DAVID MACEA TRIANA  
LINDA LUCIA ROJAS SANMIGUEL

DIRECTORA:

ING. KARINA PAOLA TORRES CERVERA

CODIRECTOR:

ING YIM JAMES RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TEGNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR – CESAR

2022

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

**Firma del Director del trabajo**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

### **DEDICATORIAS**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, porque ha sido bueno y me ha ayudado a cumplir esta meta de lograr ser un profesional. A mi abuela, por su inmenso e incondicional apoyo durante éste proceso, a mi padre, por siempre brindarme su ayuda en los momentos que más lo necesité y a mi madre por su amor y sacrificio todos estos años y que gracias a eso logré cumplir un sueño más.

**MARLON DAVID MACEA TRIANA**

A mi padre quien con sus consejos me encaminó en esta carrera, a mi madre que siempre con su cariño y comprensión me motiva a continuar formándome profesional y personalmente y a mi hijo que es la razón más grande que me impulsa a culminar esta etapa.

**LINDA LUCÍA ROJAS SANMIGUEL**

### **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por sus infinitas bendiciones que permitieron que alcanzara este gran logro, a nuestra directora de proyecto, docentes y colegas me han brindado su ayuda durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo. Agradezco a mi familia por su apoyo incondicional en todo este proceso y al Hotel Sonesta por permitirnos usar sus aguas para la realización del proyecto.

**MARLON DAVID MACEA TRIANA**

Agradezco a Dios por bendecir mi vida cada día y permitirme culminar esta meta, a los docentes quienes con sus conocimientos permitieron la realización de este proyecto y a mi compañero que siempre me animó en los momentos difíciles

**LINDA LUCÍA ROJAS SANMIGUEL**

## **RESUMEN**

Esta investigación se basó en la evaluación y comparación de dos coagulantes Naturales los cuales se obtuvieron a través del Cardón Guajiro (*Stenocereus Griseus*) y el Quitosano, para el tratamiento del agua residual domestica del hotel Sonesta ubicado en la ciudad de Valledupar. El Cardón Guajiro se extrajo a través de un proceso de secado, molienda, tamizado y extracción con metanol anhidro. Por otra parte, el Quitosano se consiguió en forma de escamas. Se realizaron pruebas de jarras para determinar los rangos y dosis óptimas y así, analizar el comportamiento de los parámetros de estudio a medida que se les iban aplicando dichos coagulantes. Con el Cardón guajiro se realizaron dos pruebas con concentraciones del 5% y 10%, mientras que con el Quitosano se realizaron dos pruebas a una concentración del 1%. Las dosis suministradas de Cardón Guajiro estuvieron entre 10 y 100 PPM en intervalos de 10, mientras que las dosis suministradas de Quitosano fueron de 50 a 500 PPM en intervalos de 50.

Se evidenció que el mejor porcentaje de rendimiento del coagulante cardón guajiro se encontró en una concentración del 5% generando excelente resultado en cada uno de los parámetros de estudio. El Quitosano mostró porcentajes de remoción mejores que los del Cardón guajiro, aunque ambos suprimieron los parámetros a los límites máximos permisibles establecidos por la ley en la resolución 0631 del 2015. Cabe resaltar, que ninguno de los dos coagulantes cumplió con la reducción de DQO establecida por la ley la cual es del 80%.

### **ABSTRACT**

This research was based on the evaluation and comparison of two Natural coagulants, which were obtained through Cardón Guajiro (*Stenocereus Griseus*), and Chitosan, for the treatment of wastewater from the Sonesta Hotel located in the city of Valledupar. The Cardón Guajiro was extracted through a process of drying, grinding, sieving and extraction with anhydrous methanol. On the other hand, Chitosan was obtained in the form of flakes. Jar tests were carried out to determine the optimal ranges and doses to analyze the behavior of the study parameters as these coagulants were applied. With the Cardón Guajiro, two tests were carried out with concentrations of 5% and 10%, while with the Chitosan, two tests were carried out at a concentration of 1%. The doses of Cardón Guajiro were between 10 and 100 PPM in intervals of 10, while the doses of Quitosano were from 50 to 500 PPM in intervals of 50.

This investigation showed the performance's best percentage of the Cardón Guajiro's coagulant was found in a concentration of 5%, giving excellent results in each of the study parameters. The Chitosan showed better removal percentages than those of the Cardón Guajiro, although both suppressed the parameters to the maximum permissible limits established by law in resolution 0631 of 2015. It should be noted that neither of the two coagulants complied with the established COD reduction by law which is 80%

## Contenido

Nota de aceptación.....	ii
Firma del jurado.....	ii
1. TITULO DEL PROYECTO .....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
3. JUSTIFICACIÓN .....	5
4. OBJETIVOS .....	8
4.1 Objetivo General.....	8
4.2 Objetivos Específicos.....	8
5. MARCO REFERENCIAL.....	9
5.1 ANTECEDENTES .....	9
5.2 MARCO TEÓRICO.....	11
5.2.1 Aguas .....	11
5.2.2 Aguas residuales .....	11
5.2.3 Aguas residuales urbanas .....	11
5.2.4 Aguas residuales domésticas.....	11
5.2.5 Aguas residuales industriales.....	12
5.2.6 Características microbiológicas de las aguas residuales .....	12
5.2.7 Tratamiento de las aguas residuales .....	12
5.2.8 Coagulación y Floculación.....	12
5.2.9 Coagulante.....	13
5.2.10 Coagulantes Químicos .....	13
5.2.11 Coagulantes Vegetales .....	13
5.2.12 Sedimentación .....	13
5.3 MARCO CONCEPTUAL .....	14
5.4 MARCO CONTEXTUAL.....	15
5.5 MARCO LEGAL.....	16
5.6 MARCO INSTITUCIONAL .....	18
6. MARCO METODOLÓGICO.....	19
6.1 LINEA Y SUBLINEA DE INVESTIGACIÓN .....	19

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

6.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	19
6.3	NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	19
6.4	POBLACIÓN.....	19
6.5	MUESTRA .....	20
6.6	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
6.7	DESARROLLO METODOLÓGICO .....	20
6.7.1.1	ACTIVIDAD 1.1: Elección de los puntos estratégicos y toma de muestras .....	20
6.7.1.2	ACTIVIDAD 1.2: Analizar las muestras en un laboratorio (Análisis Diagnostico) 21	
6.7.2	ETAPA 2: Determinación de las dosis óptimas de coagulante Cactus Cardón Guajiro,.	22
6.7.2.1	ACTIVIDAD 2.1: Extracción del Coagulante.....	22
6.7.2.2	ACTIVIDAD 2.2: Aplicación de prueba de jarras para determinar las Dosis Óptimas de Coagulante Natural Cardón Guajiro y Quitosano.....	23
6.7.2.3	ACTIVIDAD 2.3: Análisis Final del agua residual tratada mediante los Coagulantes Naturales Cardón Guajiro y Quitosano. ....	24
6.7.3	ETAPA 3: Evaluar la eficiencia de remoción de parámetros posterior a la implementación de los coagulantes naturales. ....	25
6.7.3.1	ACTIVIDAD 3.1: Análisis de la eficiencia del Coagulante Natural cactus cardón guajiro. ....	25
6.7.3.2	ACTIVIDAD 3.2: Análisis de la eficiencia del Quitosano.....	25
6.7.3.3	ACTIVIDAD 3.3: Realización de un cuadro comparativo/graficas de las metodologías utilizadas (Cardón Guajiro y el Quitosano).....	26
6.7.3.4	ACTIVIDAD 3.4: Realización de un cuadro comparativo/graficas de las metodologías utilizadas (Cardón Guajiro y el Quitosano) vs normativa vigente (Resolución 0631 del 2015).....	26
6.7.3.5	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	27
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
8.	CONCLUSIONES .....	68
9.	RECOMENDACIONES.....	70
10.	ANEXOS .....	71
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

<b>Tabla 1.</b> Normatividad Ambiental Colombiana.....	16
<b>Tabla 2.</b> Metodologías establecidas por el IDEAM.....	21
<b>Tabla 3.</b> Diseño Experimental del coagulante natural Cardón Guajiro .....	28
<b>Tabla 4.</b> Diseño experimental del coagulante Quitosano .....	28
Tabla 5. Caracterización inicial del agua residual.....	29
<b>Tabla 6.</b> Turbidez Cardón Guajiro al 5% .....	30
<b>Tabla 7.</b> Turbidez Cardón Guajiro al 5% .....	31
<b>Tabla 8.</b> Turbidez Cardón Guajiro al 10% .....	33
<b>Tabla 9.</b> Turbidez Cardón Guajiro al 10% .....	33
<b>Tabla 10.</b> PH con Cardón Guajiro al 5% .....	35
<b>Tabla 11.</b> PH con el Cardón Guajiro al 10%.....	37
<b>Tabla 12.</b> Comportamiento de los SST conl Cardón Guajiro al 5% .....	38
<b>Tabla 13.</b> Comportamiento de los SST aplicándole Cardón Guajiro al 10%.....	40
<b>Tabla 14.</b> DQO Cardón Guajiro al 5% .....	42
<b>Tabla 15.</b> Comportamiento de la DQO con Cardón Guajiro al 10%.....	44
<b>Tabla 16.</b> DBO5 con el Cardón Guajiro al 5% .....	45
<b>Tabla 17.</b> DBO5 con el Cardón Guajiro al 10%.....	47
<b>Tabla 18.</b> Caracterización inicial del agua residual (Quitosano). .....	49
<b>Tabla 19.</b> Turbidez con el Quitosano al 1%.....	50
<b>Tabla 20.</b> Turbidez con el Quitosano al 1% .....	51

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

<b>Tabla 21.</b> PH con el Quitosano al 1%.....	53
<b>Tabla 22.</b> SST con el Quitosano al 1%.....	55
<b>Tabla 23.</b> DQO con el Quitosano al 1% .....	57
<b>Tabla 24.</b> DBO5 con el Quitosano al 1% .....	59
<b>Tabla 25.</b> Comparación de eficiencia del Cardón Guajiro y el Quitosano .....	60
<b>Tabla 26.</b> Comparación de los coagulantes VS la Resolución 0631 del 2015 ..	66

**TABLA DE GRAFICAS**

<b>Grafica 1.</b> Turbidez Cardón Guajiro al 5%.....	31
<b>Grafica 2.</b> Comportamiento de la Turbidez con Cardón Guajiro al 10% .....	34
<b>Grafica 3.</b> Comportamiento del PH con Cardón Guajiro al 5% .....	36
<b>Grafica 4.</b> Comportamiento del PH con Cardón Guajiro al 10%.....	37
<b>Grafica 5.</b> Comportamiento de los SST con Cardón Guajiro al 5% .....	38
<b>Grafica 6.</b> Comportamiento de los SST con Cardón Guajiro al 10% .....	41
<b>Grafica 7.</b> Comportamiento de la DQO con Cardón Guajiro al 5% .....	43
<b>Grafica 8.</b> Comportamiento de la DQO con Cardón Guajiro al 10%.....	44
<b>Grafica 9.</b> Comportamiento de la DBO5 con el Cardón Guajiro al 5% .....	46
<b>Grafica 10.</b> Comportamiento de la DBO5 con Cardón Guajiro al 10% .....	48
<b>Grafica 11.</b> Comportamiento de la Turbidez al aplicarle el Quitosano al 1% ....	51
<b>Grafica 12.</b> Comportamiento del PH al aplicarle el coagulante Quitosano .....	54
<b>Grafica 13.</b> Comportamiento de los SST al aplicarle el Quitosano al 1%.....	55

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

<b>Grafica 14.</b> Comportamiento de la DQO al aplicarle el Quitosano al 1%.....	58
<b>Grafica 15.</b> Comportamiento de la DBO5 al aplicarle el Quitosano al 1% .....	59
<b>Grafica 16.</b> Comparación de la turbidez del Cardón 5% VS Quitosano 1% ....	61
<b>Grafica 17.</b> Comparación del PH en el Cardón Guajiro 5% VS Quitosano 1%	62
<b>Grafica 18.</b> Comparación de los SST del Cardón Guajiro 5% VS Quitosano 1% .....	63
<b>Grafica 19.</b> Comparación de la DQO del Cardón Guajiro 5% VS Quitosano 1%.. .....	64
<b>Grafica 20.</b> Comparación de la DBO5 del Cardón Guajiro 5% VS Quitosano 1% .....	65

**TABLA DE ECUACIONES**

<b>Ecuación 1.</b> % Eficiencia de remoción del Coagulante Natural Cardon Guajiro	25
<b>Ecuación 2.</b> % Eficiencia de remoción del Quitosano.....	26
 <b>Ilustración 1.</b> Localización del Hotel Sonesta ubicado en la ciudad de Valledupar, Cesar .....	15

## INTRODUCCIÓN

En todo el mundo, más del 80% de todas las aguas residuales municipales e industriales regresan al medio ambiente sin recibir tratamiento (WWAP, 2017). La necesidad de tecnologías innovadoras, soluciones adaptadas a un fin y rentables, sigue siendo pertinente para asegurar la recolección segura, el transporte, tratamiento y eliminación de desechos. (UNESCO, 2019).

Partiendo de la premisa anterior y de la necesidad que tiene el Hotel Sonesta de disminuir la contaminación de aguas que vierten al alcantarillado público para dar cumplimiento a la resolución 0631, se realizan pruebas con dos coagulantes naturales cactus cardón guajiro, y Quitosano, los cuales son de bajo costo, fácil obtención, no afectan el entorno ni la salud de los seres vivos, y han demostrado tener una alta eficiencia en la remoción de parámetros físico químicos.

Se analizan 5 parámetros los cuales son la turbidez, pH, Demanda química de oxígeno (DQO), Demanda biológica de oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos totales (SST), los cuales se determinan según lo establecido en los métodos estándar (IDEAM, 2007). La turbidez se mide en el turbidímetro digital Scientific, Inc. modelo HACH 2100 AN. El pH con lectura directa pH metro; los Sólidos Suspendidos Totales (SST) se realizan según lo establecido por la metodología estándar (SST en agua secado a 103°-105°); la Demanda Química de Oxígeno (DQO): se realiza mediante el método de reflujo cerrado (colorimétrico y titulométrico); finalmente, la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) se realiza mediante el método de dilución e incubación 5 días. (Dearmas & Ramírez, 2015).

## **1. TITULO DEL PROYECTO**

Evaluación de la eficiencia del coagulante natural Cardón Guajiro y el Quitosano en la remoción de Turbidez, PH, SST, DQO y DBO en las aguas residuales del Sonesta ubicado en Valledupar.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Según el Pílon (2020), el 80 % de los municipios del departamento del Cesar tienen actualmente vencido el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos. En el caso de Valledupar, EMDUPAR bajo la Resolución No. 495 del 04 de mayo del 2010 “Por medio de la cual se aprueba el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos – PSMV- del municipio de Valledupar – Cesar en su componente urbano”, se aprobó el PSMV por una vigencia de 10 años, contados a partir de la fecha de emisión de la resolución, es decir, hasta el 04 de mayo de 2020, lo cual indica que Valledupar también cuenta con el PSMV vencido. (Superservicios, 2017).

El vertimiento utilizado por el hotel Sonesta es de tipo restringido, el cual se caracteriza porque se limitan de acuerdo con las concentraciones de algunos contaminantes. El Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR), del sistema de alcantarillado de Valledupar, es de tipo biológico mediante lagunas de oxidación. Este STAR cuenta con deficiencias que lo han llevado a recibir sanciones como la Auto no. 304 del 2018 donde se sancionó a la empresa de servicios públicos EMDUPAR y al Municipio de Valledupar. En esta sanción se evidenció la presencia del parámetro de Demanda Biológica De Oxígeno (DBO5) en grandes cantidades, problemática que también maneja el hotel Sonesta.

Estas altas cantidades de DBO5 puede afectar el desarrollo de especies deseables de peces que sirven como fuente de alimento. Así mismo conlleva a mayor carga bacteriana (patógenos), que produce efectos adversos en la salud de la población por consumo directo del agua o indirecto a través de la ingestión de alimentos que entren en contacto con el agua contaminada. Por lo anterior y dado que a empresa EMDUPAR S.A E.S. P maneja un caudal por encima de 1000L/Seg, se puede afirmar que está generando cambios negativos a la fuente receptora en este caso el río Cesar. (Corpocesar, 2018).

Según la organización Protección Ambiental Valledupar (2020), una de las principales cargas contaminantes que recibe el río Cesar proviene de los vertimientos de aguas residuales,

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

como lo es la laguna de oxidación Salguero y la de otros municipios como La Paz, que se van arrastrando hasta la Ciénaga de Zapatosa, lo cual está afectando este espejo de agua. Por ende, el vertimiento de sustancias contaminantes al alcantarillado público de forma incontrolada y sin el cumplimiento de las normas que regulan el vertimiento provoca (en el caso de Valledupar) un impacto a corto, mediano y largo plazo sobre la fuente receptora, en este caso el río cesar, por lo que se hace estrictamente necesario hacer un pretratamiento adecuado de las aguas residuales típicas de la actividad que realiza la empresa antes de su descarga a la red de alcantarillado. (Corpocesar; 2016).

El Hotel Sonesta, ubicado al norte de la ciudad dentro del centro comercial Guatapurí Plaza, se ha consagrado como uno de los mejores hoteles desde hace 11 años. Aun así, un informe final de seguimiento y control ambiental ejercido por Corpocesar a las empresas que realizan vertimientos puntuales de aguas residuales al alcantarillado en el municipio de Valledupar-cesar, en lo concerniente a las SOCIEDAD HOTELERA DE UPAR S.A.S.- HOTEL SONESTA VALLEDUPAR, IDENTIFICADO CON EL NIT. 900277215-0, consignó lo siguiente:

“En el sistema de tratamiento de las aguas residuales de la planta de tratamiento, las concentraciones de carga de contaminante en la salida del sistema son superiores a las concentraciones de entrada, es decir, el sistema no presenta remoción de estos parámetros y el valor negativo debe interpretarse como un incremento del 168,4% para DBO<sub>5</sub> y 22,6% para SST en la salida del sistema con respecto a la entrada, lo que indica falta de mantenimiento en el sistema de tratamiento que genera acumulación de cargas, asociadas a variaciones en caudales y tiempos de retención del sistema”. (Corpocesar, 2016).

La imputación jurídica fue por el incumplimiento a lo establecido en el ARTÍCULO 2.2.3.3.9.15 transitorio, del decreto 1076 de 2015, por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, que cumplió normas de (Decreto 1594 de 1984, artículo 73)”, y a lo establecido por el artículo 2.2.3.3.4.17 del decreto 1076 del

2015, por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector Ambiente y Desarrollo Sostenible que cumplió normas del (Decreto 3930 de 2010, artículo 38). (Corpocesar, 2016).

Partiendo de la premisa anterior es de vital importancia evaluar, analizar y desarrollar tratamientos, estrategias, metodologías y tecnologías tanto económicas como efectivas para lograr la descontaminación de las aguas residuales, y así, cumplir con todos los parámetros de los límites de vertimientos máximos permisibles tanto en los cuerpos de agua superficiales como en el alcantarillado público establecidos por la ley.

## **2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

**¿QUÉ TAN EFICIENTE ES EL MÉTODO DEL COAGULANTE NATURAL CARDÓN GUAJIRO CON LA APLICACIÓN DEL QUITOSANO EN LA REMOCIÓN DE PARAMETROS DE TURBIDEZ, PH, SST, DQO Y DBO EN LAS AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DEL HOTEL SONESTA?**

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Este proyecto busca sustituir los coagulantes de origen artificial, los cuales son el tratamiento convencional que se les aplica a las aguas residuales, por tecnologías y estrategias novedosas con el fin de reducir las concentraciones de compuestos químicos vertidos en el río, minimizando lo máximo posible los impactos ambientales residuales que genera el agente químico y al mismo tiempo agregarle una valiosa utilidad a una planta de poco uso como lo es el cactus cardón guajiro y a una metodología poco aprovechada hasta el momento tal como el Quitosano.

Implementar metodologías y tecnologías eficientes como el Quitosano o el coagulante natural cactus cardón guajiro en la remoción de parámetros fisicoquímicos para el tratamiento de aguas residuales domesticas traerá consigo beneficios, ya que propone opciones novedosas y de bajo costo, en comparación al tratamiento con agente químico, para el logro de un buen tratamiento del agua. Uno de los beneficios de la implementación de ambas metodologías sería el cumplimiento de la resolución 063, por el cual se establecen los parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público, evitando sanciones por parte de la corporación autónoma del Cesar.

Es de vital importancia la realización de este proyecto, debido a que se realizará una comparación en cuanto a la eficiencia de remoción de parámetros de las metodologías usadas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas. Se evaluará la eficiencia del Quitosano y del coagulante natural cactus cardón guajiro en cuantos a los cinco parámetros establecidos y se comparará para así poder establecer cuál es la metodología más eficiente para el tratamiento de dichas aguas y cuáles son las características que debe poseer el agua para que la eficiencia de remoción sea lo más alta posible.

Otras de las razones, por la cual es importante la realización de este proyecto, además de los beneficios que traerá para el hotel Sonesta, es la información que puede dejar para las siguientes generaciones o investigaciones futuras. Esta información servirá para que empresas como el hotel evalúen su sistema de depuración de aguas residuales, implementando alguna de las metodologías utilizadas en este proyecto (la que mejor eficiencia tenga con menores costos) y así, pueda reducir costos y mejorar su sistema de depuración.

Los coagulantes naturales como éste (Cactus Cardón Guajiro) tienen ventajas adicionales por su fácil obtención, los bajos costos y su biodegradabilidad, lo cual, lo constituye una de las alternativas más eficaces, económicas y sostenibles, haciendo así el proceso de producción más eficiente reduciendo los costos y manteniendo la efectividad en la remoción de parámetros de contaminación.

Existen antecedentes recientes en cuanto a la implementación de ambas metodologías. En el caso del coagulante natural cactus Cardón Guajiro en el estudio realizado por Dearmas y Ramírez (2015), en cuanto a la remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en la planta de tratamientos de agua residual de Valledupar, Colombia; se evidenció un porcentaje de 65.36% de remoción en los sólidos suspendidos totales (SST), el pH no obtuvo variación alguna manteniéndose en 7 (UNTE). En cuanto a la Demanda Química de Oxígeno, mostraron una remoción de 80,24% y con respecto a la Demanda Química de Oxígeno se obtuvo una remoción de 62,63%.

En cuanto a su porcentaje de remoción, el Cardón Guajiro es una de las mejores opciones para tratar el agua residual, ya que tiene una efectividad de remoción mayor que otros coagulantes naturales utilizados con este fin como, por ejemplo, la Moringa Alefiera y la Tuna (Opuntia Ficus-Indica). Según el estudio de Dearmas y Ramírez (2015), se demostró que la Moringa no es efectiva en la remoción de los parámetros de DQO y DBO mostrando una remoción del 0%. Otro estudio, realizado por Arias-Hoyos (2017), la Tuna demostró un

porcentaje de remoción en los mismos parámetros de 49,4% y 55,2% respectivamente y en los SST del 41,7%, porcentajes que están por debajo de los que muestra el Cardón Guajiro.

En aguas residuales grises (efluentes residenciales), fueron tratadas con quitosano por Thirugnanasambandham et al., (2014). Los autores obtuvieron remociones de Turbiedad, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) del orden de 96%, 91% y 73% respectivamente, con dosis entre 0,3 a 0,6 g L<sup>-1</sup> a pH ácidos (entre 2,5 – 5,5 unidades). Así mismo, aguas residuales de efluentes de la industria alimenticia fueron tratadas con Quitosano. Chi & Cheng (2006), demostraron que en aguas residuales de la industria láctea tratadas con Quitosano, es posible remover entre el 95 y 99% de la Turbidez y entre el 54 y 70% de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) con dosis de 20-30 mg L<sup>-1</sup> a un pH neutro. Estos resultados demostraron una vez más la efectividad del Quitosano en el tratamiento de aguas residuales de diferentes tipos.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General**

Evaluar la eficiencia del coagulante natural Cardón Guajiro y el Quitosano en la remoción de los parámetros de Turbidez, PH, SST, DQO y DBO<sub>5</sub> en las aguas residuales domesticas procedentes del Hotel Sonesta ubicado en la ciudad de Valledupar, Cesar.

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar fisicoquímicamente (Análisis inicial) las muestras de agua residual derivadas del hotel Sonesta analizando los parámetros de Turbidez, PH, SST, DQO, DBO.
- Establecer el rango óptimo y dosis optimas de los coagulantes Cactus Cardón Guajiro y el Quitosano (aplicando la prueba de jarras)
- Determinar la eficiencia de remoción de parámetros por parte del coagulante cactus Cardón Guajiro y el Quitosano.

## **5. MARCO REFERENCIAL**

### **5.1 ANTECEDENTES**

A continuación, detallaremos un conjunto de estudios previos que tomaremos como base para la realización de este proyecto. Se tomaron como referencias dos estudios enfocados en el tratamiento de aguas residuales mediante el Cardón Guajiro y dos mediante coagulantes el Quitosano.

Rodríguez et al (2021), realizaron una investigación titulada: Quitosano aplicado en el tratamiento del agua residual de la producción de aceite de palma: Este estudio evaluó la efectividad del Quitosano como coagulante natural en el tratamiento de efluente es de producción de aceite de palma determinando los parámetros DQO, SST, SSV, TURBIDEZ y grasas y aceites. Como resultado se observó que el Quitosano permitió reducir el grado de, DQO, turbidez, SST, SSV y GYA en dosis de 100 a 400mg L-1 permitieron reducciones máximas de 92,4%, 99,7%, 99,3%, 99,5%, 91,1% respectivamente.

FERIA, et al. (2020), Realizaron una investigación titulada: Uso del Quitosano como coagulante natural en el tratamiento de aguas: una breve revisión. Se demostró que en aguas residuales la eficiencia del Quitosano en aguas industriales para metales pesados es de un 95%, establecieron que funcionan muy bien como sorbente quelato y como floculante efectivo en la separación de sólido líquido. Aguas residuales de la producción de petróleo fueron tratadas con Quitosano por Caldera et al. (2011) y demostraron altas eficiencias de remoción de Turbidez, Color, Demanda Química de oxígeno e Hidrocarburos superiores al 75% con una dosis óptima de 48 mg L-1.

Calderón y Mendieta. (2018), realizaron una investigación titulada evaluación de la eficiencia del *Stenocereus griseus* como coagulante natural, en el tratamiento de aguas residuales de la empresa lácteos del Cesar S.A (Klaren's), en la ciudad de Valledupar. Los resultados que se

obtuvieron gracias al tratamiento recibido por el agua, los SSED se redujeron a prácticamente cero, los SST se redujeron en un 99%, la demanda química de oxígeno es solo un poco más del 10% exigido por la normatividad colombiana, la demanda bioquímica se redujo un 99% y las grasas, la cual estaba en un alto porcentaje, también se removió totalmente.

Dearmas Y Ramírez. (2015), desarrollaron una investigación titulada remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia. Los resultados obtenidos fueron: La turbidez varía desde 25 NTU hasta 67 NTU durante la época de desarrollo de la investigación. Se obtuvo que el sulfato de aluminio es un coagulante que remueve más del 80% de los parámetros de DQO, DBO y algas. El policloruro de aluminio es adecuado para disminuir significativamente la turbidez y los SST en un 92 y para la disminución de fósforo total resultaron efectivos los tratamientos con coagulantes naturales moringa y Cardón, con una remoción de 90.35%. Se concluye que los coagulantes evaluados presentan un potencial de remoción de los parámetros analizados, los resultados avalan a la Moringa oleífera como una posible alternativa natural en la potabilización de las aguas, ya que garantiza éxito en el proceso de coagulación, sino también, la ausencia de residuos.

Caldera et al. (2009), llevaron a cabo una investigación del Quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de producción de petróleo. Sus resultados arrojaron que el Quitosano como coagulante durante el tratamiento de las aguas de producción de petróleo (APP) con turbidez inicial de 140 NTU es eficiente para remover la turbidez, color, DQO e hidrocarburos, presentándose como una alternativa de tratamiento para las APP, y que el Quitosano comercial fue más eficiente para la remoción de turbidez, color, DQO e hidrocarburos, presentes en las APP, obteniéndose remociones de 90,71 %, 90,66%, 50,68% Y 70,12%, respectivamente, para la concentración de 36 mg/L, mientras que el Quitosano laboratorio removió para la misma concentración 73,81%, 77,08%, 52,05% Y 67,52%, respectivamente.

## **5.2 MARCO TEÓRICO**

### **5.2.1 Aguas**

El agua es un componente químico muy abundante en la biósfera y uno de los más importantes, ya que casi toda la vida en la tierra, utiliza agua como medio fundamental para el funcionamiento del metabolismo, de ahí la importancia de éste recurso. Cerca del 97% total de agua se encuentra en los océanos y otros cuerpos de agua salina y no se puede utilizar para diversos propósitos. Del 3% restante, casi el dos se encuentra distribuida en los témpanos de hielos glaciares, en la atmósfera, por lo que no es accesible (Domínguez, 2016).

### **5.2.2 Aguas residuales**

Podemos definir las aguas residuales como aquellas que provienen de las actividades del hombre y de los animales, tanto de las precipitaciones, y que son recolectadas por los sistemas de alcantarillados o vertidas directamente al ambiente (Lazcano, 2016).

### **5.2.3 Aguas residuales urbanas**

Las aguas residuales domésticas, o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial. (Moreno, 2003)

### **5.2.4 Aguas residuales domésticas**

Las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas. (Alianza por el Agua, 2015)

### **5.2.5 Aguas residuales industriales**

Son las que proceden de cualquier taller o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de procesos y aguas de refrigeración. (Wiki, 2007)

### **5.2.6 Características microbiológicas de las aguas residuales**

Las aguas residuales poseen una microflora característica. Las residuales domesticas suelen ser ricas en bacterias putrefacción. Entre las bacterias propias del agua urbana pueden citarse *Pseudomonas (fluorescens y aeruginosa)*, *Proteus vulgaris*, *Bacillus cereus*, *aerobactercloacas* y *Zooglea ramígera*. Existen además bacterias que desdoblan azúcares, almidón, grasas, urea y celulosas. (Marín, 2014)

### **5.2.7 Tratamiento de las aguas residuales**

El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o lodo (también llamado bio-sólido) convenientes para su disposición o reúso. Las aguas residuales son provenientes de tocadores, baños, regaderas o duchas, cocinas, etc.; que son desechados a las alcantarillas o cloacas. En muchas áreas, las aguas residuales también incluyen algunas aguas contaminadas provenientes de industrias y comercios (Romero, 2005).

### **5.2.8 Coagulación y Floculación**

La coagulación y la floculación son métodos que se emplean para remover de las aguas residuales la materia coloidal y la suspendida (tamaño de 1.0 nm a 0.1 nm). Durante el proceso de coagulación se desestabilizan los coloides, debido a que disminuye la potencial zeta de las partículas mediante la adición de un coagulante. La floculación hace que se formen conglomerados de partículas coloidales de mayor tamaño cuando se establecen puentes químicos entre ellos. (Delgadillo, 1999).

### **5.2.9 Coagulante**

Los coagulantes se pueden clasificar como polielitricos o ayudantes de coagulación y coagulantes metálicos. (Arboleda, 2000).

### **5.2.10 Coagulantes Químicos**

La coagulación química puede definirse como un proceso unitario utilizado para causar la coalescencia o agregación de material suspendido no sedimentable y partículas coloidales del agua y de aguas residuales; es el proceso por el cual se reducen las fuerzas repelentes existentes entre partículas coloidales para formar partículas mayores de buena sedimentación. (Murillo, 2011).

### **5.2.11 Coagulantes Vegetales**

Estos coagulantes de origen vegetal presentan proteínas solubles que actúan en el proceso como un polielectrolito catiónico natural, capacidad que es incrementada cuando se emplean sales inorgánicas como pre-tratamiento. Algunos coagulantes naturales como la moringa oleífera, cactus leferia, almidón de yuca y algas marinas, resultan ser económicas, biodegradables y seguros para con el ambiente. (Molina et al, 2016).

### **5.2.12 Sedimentación**

Consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua (Metcalf & Eddy, 1998). Es un proceso físico en el cual se remueven arenas, sólidos suspendidos, lodos provenientes de los procesos biológicos y materia orgánica que trae el agua residual. De acuerdo con la interacción que tengan las partículas, la sedimentación puede ser discreta (usada para remover arenas), floculante (en algunos casos se pueden adicionar coagulantes de origen químico o natural, con el fin de incrementar la eficiencia en la remoción de los contaminantes). (Fuquene et al, 2019)

### **5.3 MARCO CONCEPTUAL**

**AGUA RESIDUAL:** Pueden definir como aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos. (Espigares & Pérez, 1985).

**COLOIDE:** Son sustancias de alto peso molecular que permanecen en el espacio intravascular produciendo una expansión de volumen más efectiva que los cristaloides isotónicos. (Lozada, 2005)

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO):** Es una medida de la cantidad de oxígeno requerido para degradar la materia orgánica de una muestra de agua, por medio de una población microbiana heterogénea. La información obtenida en la prueba corresponde a la materia orgánica biodegradable. (León, 2009)

**DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO):** Puede considerarse como una medida aproximada de la demanda teórica de oxígeno. La DQO se define como la cantidad de oxígeno que es equivalente a la cantidad de dicromato de potasio, el cual es consumido por las materias disueltas y en suspensión. (Aguilera, 2009).

**PH:** El pH es una medida que indica la acidez o la alcalinidad del agua. Se define como la concentración de iones de hidrógeno en el agua. (González, 2011)

**TURBIDEZ:** Es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. (APHA,1992).

**SST:** Hace referencian a aquello que permanecen como residuo después de la evaporación y secado de la muestra a 130 °C. (Menéndez & Pérez, 2007).

## 5.4 MARCO CONTEXTUAL

Valledupar está ubicada al norte del Valle del Cesar, entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá, al margen de los ríos Cesar y Guatapurí, en la Costa Caribe colombiana. Su territorio es llano y basculado hacia el sureste. La ciudad se encuentra a una altitud que oscila entre los 220 m al norte y 150 m a sur, siendo la altitud media de 168 m. Además de las enormes estructuras montañosas que la rodean (Pico Bolívar 5.775 m).

La ciudad es un importante centro para la producción agrícola, agroindustrial y ganadera en la región comprendida entre el norte del departamento del Cesar y el sur del departamento de La Guajira. También es uno de los principales epicentros musicales, culturales y folclóricos de Colombia por ser la cuna del vallenato. El Hotel Sonesta ubicado al norte de la Ciudad se ha consagrado como uno de los mejores hoteles desde hace 11 años, ofreciendo impresionantes vistas de la Sierra Nevada de Santa Marta, encontrándose dentro del Centro Comercial Guatapurí plaza, a 5 minutos del Río Guatapurí y 15 minutos del centro de la ciudad, cuenta con un servicio exclusivo de hospedaje con 108 habitaciones, restaurante Mamankana, Lobby bar Nabusimake, organización de eventos y piscina.

*Ilustración 1. Localización del Hotel Sonesta ubicado en la ciudad de Valledupar, Cesar*



**Fuente:** Google Earth, 2022.

## 5.5 MARCO LEGAL

El objetivo de esta normatividad es determinar, establecer y evaluar los principales parámetros químicos, físicos y biológicos establecidos por la ley ambiental colombiana y sus principales entes y organismos de control, de igual manera nos proporcionan información en cuanto a los datos y procesos requeridos para la operación, manejo y control de calidad de los sistemas y plantas de tratamiento de aguas residuales en el país. (Camacho & Rodríguez, 2019).

**Tabla 1.**  
**Normatividad Ambiental Colombiana**

<b>NORMATIVIDAD</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>APLICABILIDAD</b>
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	Protección del medio ambiente, recursos naturales y garantiza una vida sana.
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.	Protección de los recursos naturales y el medio ambiente
<b>LEYES</b>		
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones	Define las organizaciones o entidades públicas encargadas de la protección del medio ambiente y los recursos naturales.
<b>DECRETOS</b>		
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.	Reglamenta los diversos usos de los recursos se dan según consideraciones de orden ecológico, económico y social de cada región.
Decreto 3100 de 2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.	Propende la organización, planificación y manejo de los recursos hídricos

Decreto 3930 de 2010	Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.	aplica a las autoridades ambientales competentes, a los generadores de vertimientos y a los prestadores del servicio público domiciliario de alcantarillado
Decreto 1594 de 1984	Esta norma declara las condiciones y los compuestos permitidos del vertimiento de líquidos. Cuando quiera que el presente Decreto se refiera a recurso, se entenderá por tallas aguas superficiales, subterráneas y marinas, incluidas las aguas servidas. La sigla EMAR utilizada en el presente Decreto, corresponde a la entidad encargada del manejo y administración del recurso.	Protección del recurso hídrico, flora y fauna presente en el ecosistema íctico.
<b>RESOLUCIONES</b>		
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 en materia social del país relacionada con la 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.	Señala los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias
Resolución 0631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Reglamenta el artículo 28 del Decreto 3930 de 2010. Establece los parámetros y límites máximos de vertimientos medidos en concentración, para Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales No domésticas (ARND), clasificadas en 73 actividades industriales, comerciales y del sector servicios.	Permite reducir y controlar las sustancias contaminantes que llegan a los ríos, embalses, lagunas, cuerpos de agua naturales o artificiales de agua dulce, y al sistema de alcantarillado público
<b>CONPES</b>		
CONPES 3177 de 2002.	Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales. Este documento somete a consideración del CONPES las acciones prioritarias y los lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales (PMAR) con el fin de promover el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico de la Nación.	

## **5.6 MARCO INSTITUCIONAL**

### **MISIÓN**

La alta concepción que sentimos del noble ejercicio de la hospitalidad nos compromete a buscar la excelencia en el servicio, brindando las más apropiadas soluciones (alojamiento, alimentos, comunicación, recreación y otras soluciones) a las necesidades de nuestros huéspedes.

### **VISIÓN**

Seguir siendo el mejor hotel, con un equipo humano comprometido, dispuesto a generar siempre las mejores experiencias.

### **OBJETIVO**

Generar, controlar y ejecutar programas que garanticen la optimización de los recursos renovables y no renovables y demás aspectos de sostenibilidad; crear una actitud positiva hacia la seguridad integral para minimizar los riesgos propios de la organización; proveer y mantener niveles de bienestar físico y social de los colaboradores, contratistas y subcontratistas, mediante la identificación, evaluación y valoración de peligros aplicando sus respectivos controles.

### **POLÍTICAS AMBIENTALES**

- Identificar los aspectos e impactos ambientales que asociados a la actividad de la organización incidan en el Medio Ambiente.
- Conservar y proteger el Medio Ambiente, mejorando o manteniendo los impactos positivos que genera la Organización.
- Minimizar o eliminar cada vez que sea posible, los impactos negativos que genera la operación de la Organización.

## **6. MARCO METODOLÓGICO**

### **6.1 LINEA Y SUBLINEA DE INVESTIGACIÓN**

La línea de investigación del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria es Sostenibilidad y gestión ambiental, la cual enmarca 9 sublíneas de investigación. Esta investigación se basará en la sublínea de Gestión integral del Recurso Hídrico (GIRH).

### **6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación que se va a realizar es de tipo aplicada correlacional, ya que se desean implementar dos tipos distintos de coagulante natural para modificar las propiedades físico - químicas del agua residual doméstica derivada del hotel Sonesta de la ciudad de Valledupar, Cesar. Es también de tipo exploratoria, debido a que la implementación de dicha metodología es una práctica poco implementada para el tratamiento de aguas residuales.

### **6.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

El nivel de investigación de este proyecto es de tipo longitudinal porque se le adicionan dos variables al agua. Se le adicionaran ambas sustancias (Cardón Guajiro y Quitosano), las cuales son orgánicas, para así, describir y analizar los fenómenos que ocurren. Es de tipo longitudinal porque se analizan los cambios a través del tiempo de las determinadas variables, en este caso el agua tratada por los coagulantes naturales.

### **6.4 POBLACIÓN**

La población de estudio para esta investigación serán las aguas residuales provenientes de la empresa S.A.S.- HOTEL SONESTA ubicada en la Diagonal 10 # 6N-15 Valledupar, Cesar.

## **6.5 MUESTRA**

La muestra con la que realizaremos el estudio será recolectada en recipientes plásticos (Canecas) de 25 litros con cierre hermético cada una, donde se almacenará el agua residual derivada de la empresa S.A.S.- HOTEL SONESTA.

## **6.6 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El diseño de la investigación se basa en el tipo experimental porque consiste en el manejo de introducir las variables (*Stenocereus Griseus*) y el quitosano, en condiciones correctamente tratadas, con el fin de describir los efectos que genera en las aguas residuales provenientes de la empresa S.A.S.- HOTEL SONESTA en la ciudad de Valledupar.

## **6.7 DESARROLLO METODOLÓGICO**

### **6.7.1 ETAPA 1: Caracterizar fisicoquímicamente los parámetros de Turbidez, PH, SST, DQO y DBO5**

#### **6.7.1.1 ACTIVIDAD 1.1: Elección de los puntos estratégicos y toma de muestras**

**DESCRIPCIÓN:** Se escogieron los puntos estratégicos (dentro de la muestra poblacional) en donde se realizó el procedimiento para la toma de muestras. Se tomaron 2 muestras simples en canecas herméticas de plástico debidamente aseadas para evitar cualquier tipo de contaminación de las muestras de agua residual domestica producidas por el hotel Sonesta. Las muestras serán trasportadas al laboratorio de la Universidad popular del cesar donde se le realizarán los respectivos análisis.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

**6.7.1.2 ACTIVIDAD 1.2: Analizar las muestras en un laboratorio (Análisis Diagnóstico)**

**DESCRIPCIÓN:** Se procedió a llevar las muestras, previamente tomadas en el proceso de muestreo, a un laboratorio certificado como lo es el de la Universidad para realizarle las pruebas correspondientes (Turbidez, PH, SST, DQO, DBO5), y así evaluar las condiciones iniciales del agua...

**Tabla 2.**  
**Metodologías establecidas por el IDEAM**

PARAMETRO	MÉTODO	
Turbidez	SM 2130B	Nefelométrico
pH (potencial de hidrógeno)	SM 4550-H+B	Electrométrico
SST (sólidos suspendidos totales)	SM 2540D	Gravimétrico
DQO (demanda química de oxígeno)	SM 5220C – Reflujo cerrado	Volumétrico
DBO (demanda biológica de oxígeno)	SM 5210B / EPA 360.3	Incubación 5 días

## **6.7.2 ETAPA 2: Determinación de las dosis óptimas de coagulante Cactus Cardón Guajiro.**

### **6.7.2.1 ACTIVIDAD 2.1: Extracción del Coagulante**

**DESCRIPCIÓN:** El cactus Cardón Guajiro se obtuvo de las rancherías aledañas a la ciudad de Riohacha en el departamento de la Guajira. Luego se procedió a extraer el coagulante del cactus. La parte aprovechable del Cardón es la pulpa del tallo o sea la sección comprendida entre la corteza y la medula tubular leñosa. La pulpa es separada de las espinas, la corteza y de la medula tubular leñosa y ésta es sometida a trituración a través de un mortero, hasta obtener el producto coagulante mediante la filtración a la que fue sometido. (Dearmas & Ramírez, 2015).

La preparación del coagulante se hizo a partir del cactus Cardón Guajiro y existen dos formas de extracción del coagulante: En solución y en seco.

#### **Para la Extracción del Coagulante en solución**

Tomar el Cardón, quitar las espinas, retirar la cascará hasta llegar a la pulpa y cortarla en trozos de cuadrados de cuatro centímetros de longitud, se procede a licuarlas, después se toma un recipiente de 1 litro, al cual se verterá 10 gramos del producto licuado. Revolver durante un minuto. Luego dejar sedimentar por intervalo de dos horas y utilizar como coagulante la parte superior del volumen de agua. Luego preparar una Solución a 1000PPM para aplicar.

#### **Para la Extracción del Coagulante en Seco (en Polvo)**

Remover la Corteza del Cactus quedando solo la parte sólida y gelatinosa, las cuales son secadas independientemente a 105°C Durante 16 Horas, después de las 16 horas se pulveriza y posteriormente se tamiza hasta obtener una granulometría menor o Igual a 400 micras. Luego preparar una Solución a 1000PPM para aplicar.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

**6.7.2.2 ACTIVIDAD 2.2: Aplicación de prueba de jarras para determinar las Dosis Óptimas de Coagulante Natural Cardón Guajiro y Quitosano.**

**DESCRIPCIÓN:** Ya establecida la muestra poblacional, los sitios donde se van a tomar las muestras y realizado el proceso de toma de muestra para la caracterización física, química y biológica, se proceden a realizar la prueba de jarras para determinar las dosis óptimas de los coagulantes naturales.

En el proceso para implementar la prueba de jarras se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se aforará cada una de las jarras o vasos de precipitado con un volumen de 1 o 1,5 litro y los colocaremos en el equipo de prueba de Jarras
2. Las 5 primeras jarras se les asigna una dosis (ppm), dejando la jarra 6 como control.
3. Se enciende el equipo de prueba de jarras y se programan las paletas para girar entre 110 y 150 rpm. Preferiblemente 130 rpm.
4. Luego se adicionan los volúmenes (ml) de solución del coagulante (Cactus Cardón Guajiro y Quitosano) a las 5 primeras jarras correspondientes a las dosis (ppm) asignadas en el punto anterior y que se quieren conformar en las respectivas jarras
5. Se deja agitar por 1 minuto a las revoluciones asignadas después de la adición del coagulante (Mezcla Rápida).
6. Luego se reduzca la velocidad de agitación entre 30 y 40 rpm durante 20 min exactos (Mezcla Lenta).
7. Tome nota del tiempo que tardan en formarse los primeros flóculos visibles para cada vaso.

8. Se apagan las paletas y se retiran cuidadosamente sin generar rompimiento del floc formado y deje sedimentar por 30 min (Reposo).

9. Por último, extraiga un volumen del clarificado en cada jarra con el cuidado de no generar suspensión del sedimentado y determine analíticamente la turbiedad, tomándola como parámetro de referencia.

10. Repita el proceso hasta determinar el rango adecuado y que la mejor remoción de turbidez se de en las jarras intermedias (jarra 3).

11. Una vez se estableció el rango adecuado que presenta la mejor remoción, se extraerá un volumen del clarificado en cada jarra con el cuidado de no generar suspensión del sedimentado y se determinará analíticamente la turbiedad.

### **6.7.2.3 ACTIVIDAD 2.3: Análisis Final del agua residual tratada mediante los Coagulantes Naturales Cardón Guajiro y Quitosano.**

**DESCRIPCION:** Se procedió a analizar las muestras para realizarle las pruebas correspondientes (Turbidez, PH, SST, DQO, DBO) luego de su tratamiento mediante el coagulante natural Cactus Cardón Guajiro y el Quitosano, para así, evaluar las condiciones finales del agua.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

**6.7.3 ETAPA 3: Evaluar la eficiencia de remoción de parámetros posterior a la implementación de los coagulantes naturales.**

**6.7.3.1 ACTIVIDAD 3.1: Análisis de la eficiencia del Coagulante Natural cactus Cardón Guajiro.**

**DESCRIPCIÓN:** Analizando las pruebas realizadas a las aguas antes y después de implementar el coagulante natural cactus Cardón Guajiro se realizó una evaluación acerca de la efectividad de dicho coagulante en la remoción de los parámetros Turbidez, PH, SST, DQO y BDO en las aguas residuales domesticas provenientes del hotel Sonesta para ver si cumplió o no con el objetivo. Se realizaron uno cuadro comparativo/gráfica del antes y después de la implementación del coagulante natural cactus Cardón en las aguas residuales (Agua residual inicial vs agua residual tratada). La ecuación que se utilizara para determinar el porcentaje de remoción de los 5 parámetros establecidos es la siguiente:

$$\% \text{ Eficiencia Remocion}_{\text{Cardon Guajiro}} = \frac{(\text{Muestra}) - (\text{Agua Post}_{\text{Prueba jarras}})}{(\text{Muestra})} \times 100$$

*Ecuación 1. % Eficiencia de remoción del Coagulante Natural Cardon Guajiro*

**6.7.3.2 ACTIVIDAD 3.2: Análisis de la eficiencia del Quitosano.**

**DESCRIPCIÓN:** Analizando las pruebas realizadas a las aguas antes y después de implementar el Quitosano se realizó una evaluación acerca de la efectividad de dicho coagulante en la remoción de los parámetros Turbidez, PH, SST, DQO y BDO en las aguas residuales domesticas provenientes del hotel Sonesta para ver si cumple o no con el objetivo. Se realizaron unos cuadros comparativo/gráfica del antes y después de la implementación del Agente Natural (Agua residual inicial vs agua residual tratada).

La ecuación que se utilizara para determinar el porcentaje de remoción de los 5 parámetros establecidos es la siguiente:

$$\% \text{ Eficiencia Remocion}_{\text{Qitosano}} = \frac{(\text{Muestra}) - (\text{Agua Post}_{\text{Qitosano}})}{(\text{Muestra})} \times 100$$

*Ecuación 2. % Eficiencia de remoción del Qitosano.*

### **6.7.3.3 ACTIVIDAD 3.3: Realización de un cuadro comparativo/graficas de las metodologías utilizadas (Cardón Guajiro y el Qitosano).**

**DESCRIPCIÓN:** Se realizó un cuadro comparativo para analizar el porcentaje de remoción de los parámetros establecidos por parte de los diferentes coagulantes utilizados en esta investigación (Cardón Guajiro y el Qitosano). Cabe resaltar que este cuadro busca comparar la eficiencia de dichos agentes naturales para establecer cuál de los dos tiene mejor capacidad de remoción en estas aguas residuales.

### **6.7.3.4 ACTIVIDAD 3.4: Realización de un cuadro comparativo/graficas de las metodologías utilizadas (Cardón Guajiro y el Qitosano) vs normativa vigente (Resolución 0631 del 2015)**

**DESCRIPCIÓN:** Se realizó un cuadro comparativo del porcentaje de remoción de los parámetros en el agua residual derivado del Hotel Sonesta ubicado en la ciudad de Valledupar versus los parámetros máximos permisibles por la resolución 0631 del 2015.

### **6.7.3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL**

Para la ejecución de este proyecto se realizaron dos diseños experimentales similares en cuanto a metodología. Para la realización de las pruebas del coagulante Cardón Guajiro se elaboraron dos concentraciones distintas, una al 5% y la otra al 10% para determinar el rango óptimo y la dosis optima del coagulante. Se aplicaron dosis entre 10 PPM y 100 PPM en dos tandas o corridas. La primera tanda se realizó desde 10 PPM hasta 50 PPM en intervalos de 10 en 10 y la segunda tanda se realizó de 60 PPM hasta 100 PPM desarrollando la misma metodología. Cabe mencionar que esta metodología solo se implementó para determinar el parámetro de Turbidez, ya que este, junto al pH, fueron los parámetros dependientes por los cuales nos basábamos para realizar los análisis a las demás variables, es decir, que a la tanda que tuviera mejor rendimiento en dichos parámetros es a la que se le realizaron los análisis de DQO, DBO<sub>5</sub> y SST.

Para la realización de las pruebas con el coagulante Quitosano se realizó una sola concentración del 1% para determinar el rango óptimo y la dosis optima del coagulante. Se aplicaron dosis entre 50 PPM y 500 PPM en dos tandas o corridas. La primera tanda se realizó desde 50 PPM hasta 250 PPM en intervalos de 50 en 50 y la segunda tanda se realizó de 300 PPM hasta 500 PPM desarrollando la misma metodología. Nuevamente se tomó la turbidez y el pH como parámetros dependientes.

El diseño experimental que se implementó es aleatorio dando la misma probabilidad de inclusión de todos los niveles. Se realizó una réplica para confirmar los valores y tener precisión a la hora de obtener los resultados de los tratamientos. Se realizaron 3 tratamientos independientes con los tipos de coagulantes más un tratamiento de control y 10 valores para el factor de dosificación, para alcanzar un total de 30 ensayos; en resumen, el diseño experimental contó con dos factores, uno es el tipo de coagulante con 3 niveles, y el otro es la dosis de coagulante con 10 niveles, de la forma  $3^1 \times 10^1$ . Sumando las dos réplicas para cada uno de ellos

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

da un total de 60 ensayos. En la tabla 3 se presenta el diseño experimental anteriormente descrito.

**Tabla 3.**

Diseño Experimental del coagulante natural Cardón Guajiro

<b>DISEÑO EXPERIMENTAL DEL COAGULANTE CARDÓN GUAJIRO</b>										
<b>COAGULANTE /DOSIS (PPM)</b>	10 PPM (b1)	20 PPM (b2)	30 PPM (b3)	40 PPM (b4)	50 PPM (b5)	60 PPM (b6)	70 PPM (b7)	80 PPM (b8)	90 PPM (b9)	100 PPM (b10)
<b>CARDÓN GUAJIRO 5% (a1)</b>	a1b1	a1b2	a1b3	a1b4	a1b5	a1b6	a1b7	a1b8	a1b9	a1b10
<b>CARDÓN GUAJIRO 10% (a2)</b>	a2b1	a2b2	a2b3	a2b4	a2b5	a2b6	a2b7	a2b8	a2b9	a2b10

**Tabla 4.**

Diseño experimental del coagulante Quitosano

<b>DISEÑO EXPERIMENTAL DEL COAGULANTE QUITOSANO</b>										
<b>COAGULANTE /DOSIS (PPM)</b>	50 PPM (b1)	100 PPM (b2)	150 PPM (b3)	200 PPM (b4)	250 PPM (b5)	300 PPM (b6)	350 PPM (b7)	400 PPM (b8)	450 PPM (b9)	500 PPM (b10)
<b>CQUITOSANO 1% (a3)</b>	a3b1	a3b2	a3b3	a3b4	a3b5	a3b6	a3b7	a3b8	a3b9	a3b10

El resultado anbn corresponde a la mencionada respuesta de cada uno de los ensayos; con el fin de contar con el control sobre los factores evaluados, en una de las jarras se coloca una muestra testigo, para conocer cualquier tipo de interferencia o efectos en el tiempo. (Calderón y Mendieta, 2017).

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas físicas, químicas y biológicas realizadas de cada uno de los parámetros en estudio y los rangos óptimos establecidos para el coagulante natural a partir del cactus Cardón Guajiro (*Stenocereus griseusa*), en concentraciones distintas. La primera prueba se realizó con una concentración del 5% y la segunda con una concentración del 10%.

### **ETAPA 1: Caracterizar fisicoquímicamente los parámetros de Turbidez, PH, SST, DQO y DBO<sub>5</sub>.**

Se procedió a realizar los análisis de los parámetros establecidos, los cuales dieron como resultados los presentados en la tabla 5. En esta tabla se muestran los valores iniciales que tenía el agua procedente del hotel Sonesta tanto en las pruebas que se realizaron con el coagulante Cardón Guajiro a una concentración del 5% como en la caracterización inicial del agua con la que se realizaron las pruebas al 10%.

**Tabla 5.**  
Caracterización inicial del agua residual

PARAMETRO	CARACTERIZACIÓN INICIAL (5%)	CARACTERIZACIÓN INICIAL (10%)	VALORES PERMISIBLES (RESOLUCIÓN 0631)
PH	5,35	5,40	6,00-9,00
TURBIDEZ	271 NTU	213 NTU	Análisis y Reporte
SST	273,33 mg/L	593,33 mg/L	100,00
DQO	176 mg O <sub>2</sub> /L	104 mg O <sub>2</sub> /L	180,00
DBO <sub>5</sub>	116 mg O <sub>2</sub> /L	90 mg O <sub>2</sub> /L	90,00

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

En la tabla 5 se pueden observar los resultados de la caracterización inicial, los cuales muestran que la Demanda Química de Oxígeno en ambas muestras está dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la ley en la resolución 0631 del 2015. Por otro lado, el pH, la Turbidez, los Sólidos Suspendidos Totales se encuentran por encima de los límites establecidos por la ley tanto para la muestra del Cardón al 5% como para la del 10%. La Demanda Biológica de Oxígeno solo incumple la normativa en la muestra de Cardón al 5%.

Debido a estos resultados se requiere la evaluación de nuevas metodologías que sean eficientes y amigables con el medio ambiente para la mejorar la calidad del efluente del Hotel Sonesta para su disposición final al alcantarillado público y cuerpos de aguas naturales.

**ETAPA 2: Determinación de las dosis optimas de coagulante cactus Cardón Guajiro**

**Comportamiento de la Turbidez al 5%**

Los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras con el coagulante Cardón Guajiro en una concentración del 5% en relación con la turbidez están descritos en las tablas 6 y 7. En estas se muestran los valores iniciales y finales de dicho parámetro en cada una de las dosis y los porcentajes de remoción que alcanzaron cada una, tanto en el tratamiento como en la repetición.

**Tabla 6.**  
Turbidez Cardón Guajiro al 5%

<b>TANDA 1 PARAMETRO: TURBIDEZ AL 5%</b>							
<b>Tratamiento 1</b>	<b>DOSIS (PPM)</b>	10	20	30	40	50	Control
<b>Turbidez Inicial de 271 NTU</b>	<b>NTU FINAL</b>	67,3	64,4	57,8	57,1	55	140
	<b>%REMOCIÓN</b>	75,17%	76,24%	78,67%	78,93%	79,70%	48,34%
<b>Repetición Turbidez Inicial de 232 NTU</b>	<b>NTU FINAL</b>	63	62,6	61,6	61	58,7	97,5
	<b>%REMOCIÓN</b>	74,90%	75,18%	75,46%	75,70%	76,61%	61,16%

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

**Tabla 7.**

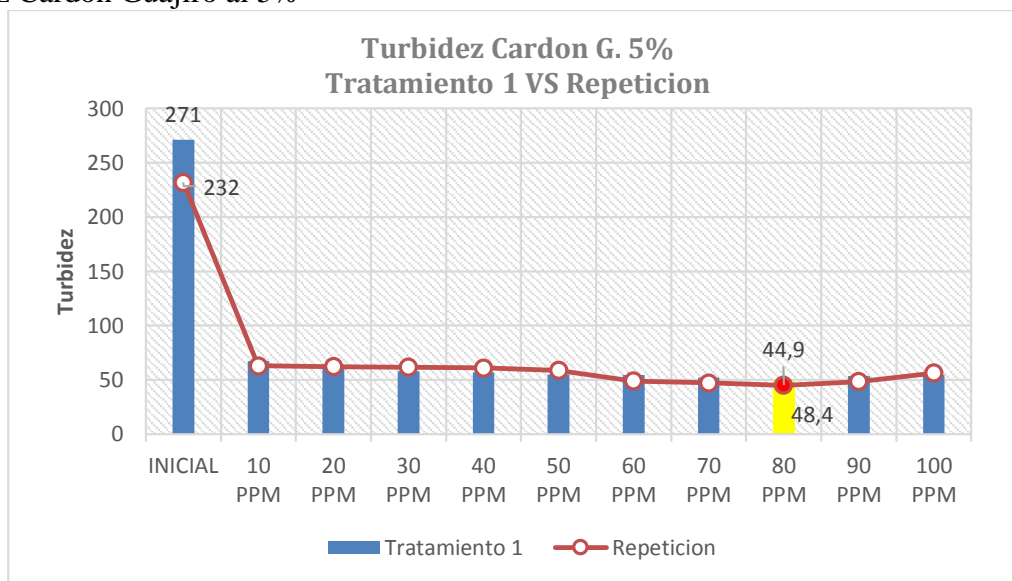
Turbidez Cardón Guajiro al 5%

<b>TANDA 2 PARAMETRO: TURBIDEZ AL 5% (DOSIS OPTIMA)</b>							
<b>Tratamiento 1</b>	<b>DOSIS (PPM)</b>	60	70	80	90	100	Control
<b>Turbidez Inicial de 271 NTU</b>	<b>FINAL</b>	54,4	52	48,8	53,4	54,5	142
	<b>%REMOCIÓN</b>	79,93%	80,81%	82,14%	80,30%	79,89%	47,6%
<b>Repetición Turbidez Inicial de 232 NTU</b>	<b>FINAL</b>	49	47,2	44,9	48,4	56,3	90
	<b>%REMOCIÓN</b>	80,48%	81,20%	82,11%	80,72%	77,57%	64,14%

En las tablas 6 y 7 se observa el comportamiento de la turbidez a medida que se le aplicaban las diferentes dosis del coagulante Cardón Guajiro en la concentración del 5% en el tratamiento 1 y su respectiva repetición. El rango óptimo de rendimiento se dio entre 60 PPM y 100 PPM, obteniéndose el punto máximo de remoción en la jarra 3 con una dosis óptima de 80 PPM.

**Grafica 1.**

Turbidez Cardón Guajiro al 5%



El comportamiento del rendimiento del coagulante Cardón Guajiro al 5% es claramente apreciable tanto en el tratamiento como en su respectiva repetición, pues se puede evidenciar que desde la dosis 10 PPM hasta la dosis 80PPM la turbidez va disminuyendo levemente de manera progresiva mostrando una línea recta descendente indicando que a medida que se le va aumentando la dosis de coagulante al agua residual el rendimiento en cuanto a la supresión del parámetro crecerá. En contraste, se puede apreciar que después de sobrepasar los 80 mg/L de coagulante la eficiencia del mismo comienza a disminuir progresivamente aumentando así la turbidez y mostrando una línea recta ascendente indicando que el punto máximo de rendimiento se da a los 80 mg/L de coagulante natural Cardón Guajiro a una concentración del 5%. Por ende, a una mayor concentración de 80 PPM la eficiencia del Cardón Guajiro disminuirá, debido a que al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizar las partículas, las altas concentraciones del coagulante saturan el proceso de formación y agrupado de floculos evitando que estos sólidos puedan ser sedimentados y por ende la turbidez no disminuya.

Por otro lado, se puede evidenciar claramente tanto en las tablas como en la gráfica que en la tanda 2 (50 a 100 PPM) los porcentajes de remoción de turbidez son muy cercanos, lo que indica que en el rango óptimo de dosis el coagulante Cardón Guajiro tiene un comportamiento similar de remoción de turbidez. Entre la jarra óptima (jarra 3) de la segunda tanda que tuvo una turbidez de 48,8 NTU y la jarra que menos disminuyo, que fue la jarra 1 de la primera tanda la cual tuvo una turbidez de 67,3 NTU existe una diferencia de 18,5 NTU lo cual corrobora la afirmación anterior.

### **COMPORTAMIENTO DE LA TURBIDEZ AL 10%**

Los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras con el coagulante Cardón Guajiro en una concentración del 10% en relación con la turbidez están descritos en las tablas 8 y 9. En estas se muestran los valores iniciales y finales de dicho parámetro de cada una de las dosis y los porcentajes de remoción que alcanzaron cada una, tanto en el tratamiento como en la repetición

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

**Tabla 8.**  
Turbidez Cardón Guajiro al 10%

<b>TANDA 1 PARAMETRO: TURBIDEZ AL 10%</b>							
<b>Tratamiento 2</b>	<b>PPM</b>	10	20	30	40	50	Control
<b>Turbiedad inicial 213</b>	<b>FINAL</b>	63,1	63,4	63,9	62,9	67,3	90,3
<b>NTU</b>	<b>DIFERENCIA</b>	149,9	149,6	149,1	150,1	145,7	122,7
	<b>%REMOCIÓN</b>	70,61%	70,72%	70,42%	70,80%	70,38%	57,41%
<b>Repetición</b>	<b>FINAL</b>	77,3	70	81,5	68,4	80	112
<b>Turbiedad inicial 263</b>	<b>DIFERENCIA</b>	185,7	186	185,2	182,2	185,1	151
<b>NTU</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	70,61%	73,38%	69,01%	73,99%	69,58%	57,61%

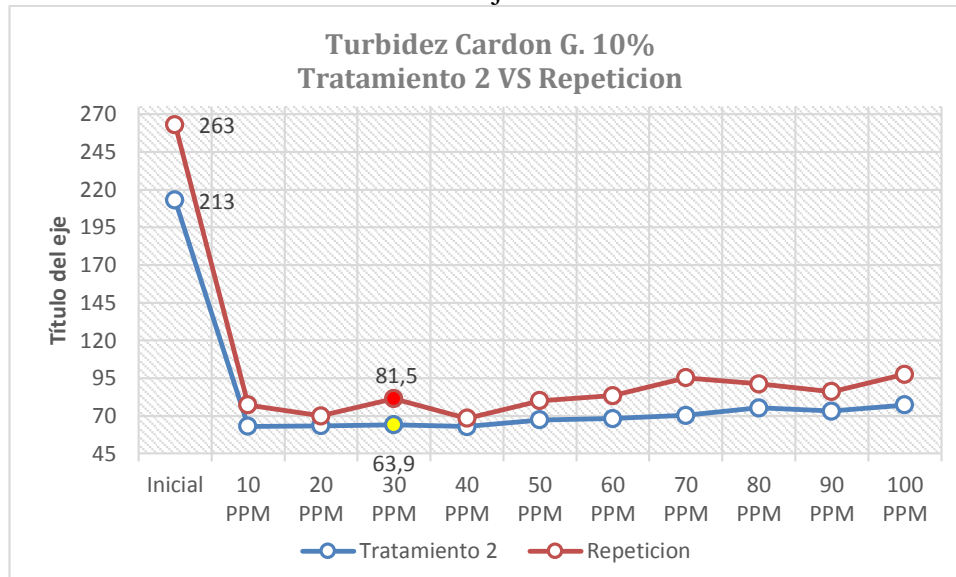
**Tabla 9.**  
Turbidez Cardón Guajiro al 10%

<b>TANDA 2 PARAMETRO: TURBIDEZ AL 10%</b>							
<b>Tratamiento 2</b>	<b>PPM</b>	60	70	80	90	100	Control
<b>Turbiedad inicial 213</b>	<b>FINAL</b>	68,3	70,4	75,3	73,1	77,2	84,4
<b>NTU</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	67,93%	66,95%	64,65%	65,68%	63,76%	60,30%
<b>Repetición</b>	<b>FINAL</b>	83,5	95,3	91,2	86,1	97,5	107
<b>Turbiedad inicial 263</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	68,25%	63,76%	65,32%	67,26%	62,93%	59,32%
<b>NTU</b>							

Como tal, Implementando el diseño experimental en esta concentración (10%) no se pudo encontrar una curva de máximo rendimiento (dosis Óptima), pero si un rango óptimo, por lo cual, se utilizó este último como punto de referencia para realizar el análisis de las demás variables de estudio.

**Grafica 2.**

Comportamiento de la Turbidez con Cardón Guajiro al 10%



En contraste con los resultados obtenidos con el coagulante a una concentración del 5%, se puede evidenciar claramente en la gráfica 2 que, aunque el comportamiento de la turbidez en el tratamiento muestra que la constante sea una línea recta ascendente indicando una disminución progresiva del rendimiento del coagulante, existen varios puntos de inflexión en los cuales el porcentaje de remoción de turbidez aumenta.

Los resultados conseguidos en las tandas realizadas con el coagulante Cardón Guajiro en una concentración del 10% evidencian una disminución de la eficiencia del coagulante para remover la turbidez, lo cual corroboran que a mayor concentración el proceso de formación de los floculos no se lleva a cabo de manera eficiente trayendo consigo una reducción progresiva en cuanto a la remoción de la turbidez.

**POTENCIAL HIDROGENADO (PH) AL 5%**

Tomando como referencia que en una concentración del 5% del coagulante Cardón Guajiro la tanda que dio el rango óptimo fue la 2 se procedió a realizarle el análisis del pH cuyos resultados están descritos en la tabla 10. En esta se muestran los valores iniciales y finales de dicho parámetro de cada una de las jarras y la diferencia que alcanzaron tanto el tratamiento como su respectiva repetición.

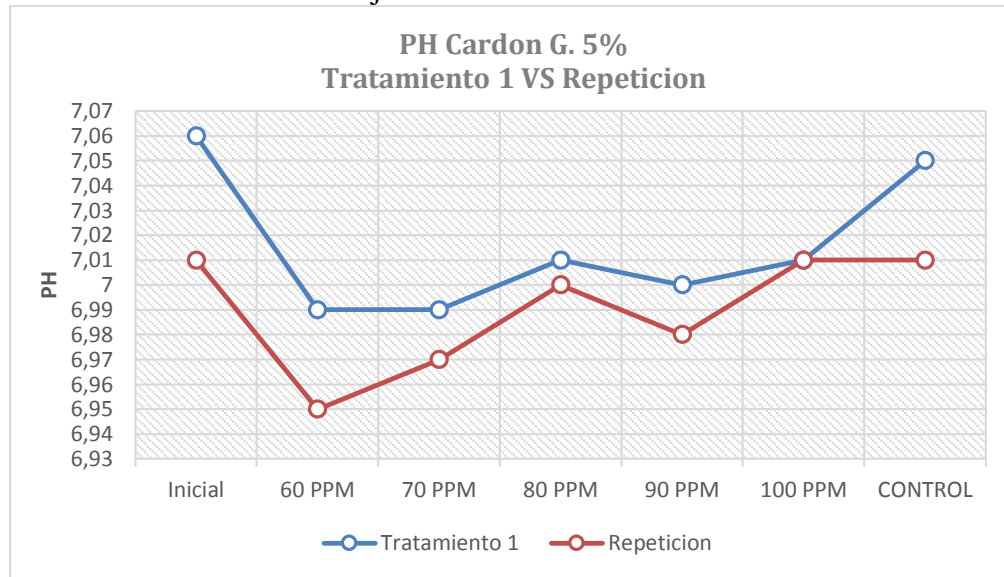
**Tabla 10.**  
PH con Cardón Guajiro al 5%

<b>PARAMETRO: POTENCIAL HODRIGENADO PH AL 5% (DOSIS ÓPTIMA)</b>							
	<b>PPM</b>	60	70	80	90	100	Control
<b>Tratamiento 1</b>	<b>PH FINAL</b>	6,99	6,99	7,01	7,00	7,01	7,05
	<b>PH inicial 7,06</b>	<b>DIFERENCIA</b>	-0,07	-0,07	-0,05	-0,06	-0,05
<b>Repetición</b>	<b>PH FINAL</b>	6,95	6,97	7	6,98	7,01	7,01
	<b>PH inicial 7,01</b>	<b>DIFERENCIA</b>	-0,06	-0,04	-0,01	-0,02	0,00

El agua procedente del hotel Sonesta manejo un pH inicial ácido, manejándolo alrededor de 5 Unidades de pH, por lo cual, se le tuvo que adicionar Hidróxido de sodio al 0,02N para neutralizarlo, debido a que según estudios y pruebas realizadas el coagulante Cardón Guajiro no es muy eficiente en pH ácidos, por el contrario, da los mejores resultados con pH entre 6 y 7.

**Grafica 3.**

Comportamiento del PH con Cardón Guajiro al 5%



Luego de que se neutralizara el pH se le realizó el tratamiento aplicando las dosis de coagulante natural Cardón Guajiro para establecer el comportamiento de este (Línea Azul). Como se observa en la gráfica 3, el pH se mantuvo neutro con resultados bastante cercanos a la inicial tanto en el tratamiento como en su respectiva repetición (Línea Roja). Este comportamiento del pH es consecuente con los resultados obtenidos por (Calderon & Mendieta, 2017); los cuales se mantuvieron cercano a la neutralidad, así como se encontraba el agua residual al inicio.

**POTENCIAL HIDROGENADO (PH) AL 10%**

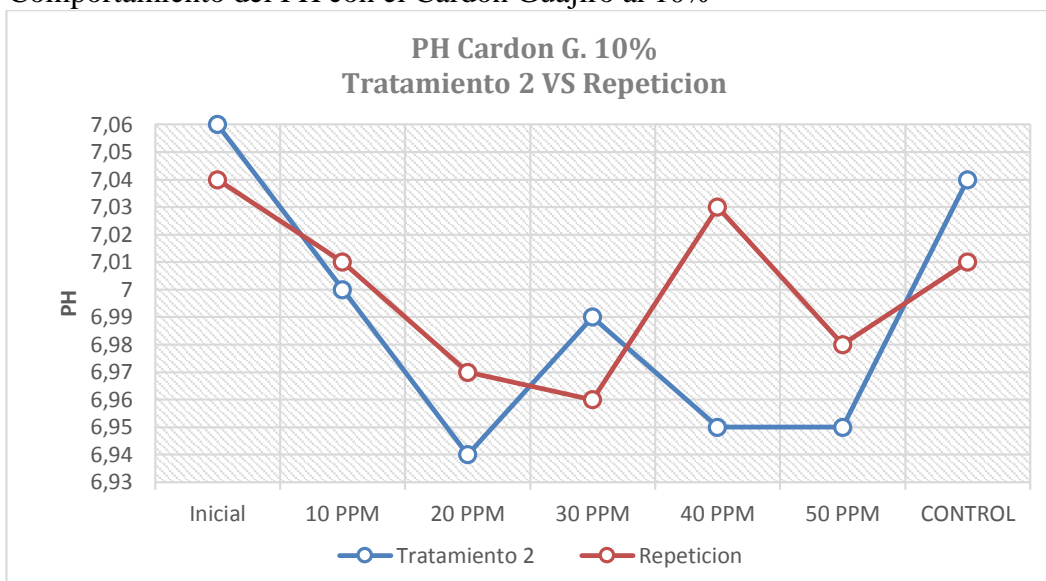
Tomando como referencia que en una concentración del 10% del coagulante Cardón Guajiro la tanda que dio el rango óptimo fue la 1, se procedió a realizarle el análisis del pH cuyos resultados están descritos en la tabla 11. En esta se muestran los valores iniciales y finales del pH de cada una de las jarras y la diferencia que alcanzaron el tratamiento y la repetición.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

**Tabla 11.**  
PH con el Cardón Guajiro al 10%

PARAMETRO: POTENCIAL HODRIGENADO PH AL 10%							
	PPM	10	20	30	40	50	Control
<b>Tratamiento 1</b> <b>PH inicial 7,06</b>	<b>PH FINAL</b>	7,0	6,94	7,01	6,99	6,95	7,04
	<b>DIFERENCIA</b>	-0,05	-0,12	-0,04	-0,06	-0,10	-0,01
<b>Repetición</b> <b>PH inicial 7,04</b>	<b>PH FINAL</b>	7,01	6,97	6,96	7,03	6,98	7,01
	<b>DIFERENCIA</b>	-0,03	-0,07	-0,08	-0,01	-0,06	-0,02

**Grafica 4.**  
Comportamiento del PH con el Cardón Guajiro al 10%



El comportamiento del Coagulante natural Cardón Guajiro en una concentración del 10% fue similar al descrito en una concentración del 5% dando a entender que, por lo menos, hasta las concentraciones usadas y las dosis aplicadas la variación del pH no va a ser significativa. Cabe resaltar que el comportamiento del tratamiento (Línea Azul) varía considerablemente respecto a la repetición (línea Roja), ocurriendo esto solamente en las pruebas realizadas con el coagulante Cardón Guajiro en una concentración de 10%.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) AL 5%**

Tomando como referencia que en una concentración del 5% del coagulante Cardón Guajiro la tanda que dio el rango óptimo y la dosis óptima fue la 2 se procedió a realizarle las pruebas de SST cuyos resultados están descritos en la tabla 12. En esta se muestran los valores iniciales y finales de dicho parámetro de cada una de las dosis y los porcentajes de remoción que alcanzaron el tratamiento y su respectiva repetición.

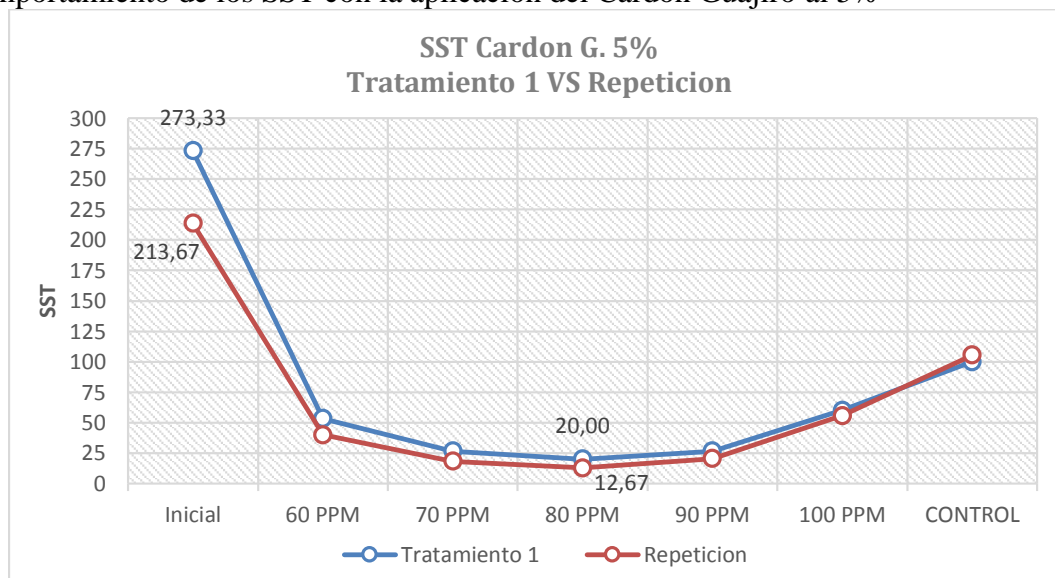
**Tabla 12.**

Comportamiento de los SST con la aplicación del Cardón Guajiro al 5%

<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) AL 5% (DOSIS OPTIMA)</b>							
Tratamiento	PPM	60	70	80	90	100	Control
<b>1</b>	<b>SST FINAL</b>	53,33	26,67	20,00	26,67	60,00	100
	<b>%REMOCIÓN</b>	80,49%	90,24%	92,68%	90,24%	78,05%	63,41%
<b>Repetición</b>	<b>SST FINAL</b>	40	18,33	12,67	20,33	55,67	105
	<b>%REMOCIÓN</b>	81,28%	91,42%	94,07%	90,49%	73,95%	50,86%

**Grafica 5.**

Comportamiento de los SST con la aplicación del Cardón Guajiro al 5%



Como se puede observar en la tabla 12 y la gráfica 5 el rango óptimo de eficiencia máxima se encontró entre 70 PPM y 90 PPM cuyos porcentajes de remoción fueron del 90.24%, 92.68 y 90.24% respectivamente siendo el mejor la dosis optima (80 PPM), ocurriendo este mismo comportamiento en la Turbidez.

Una de las características principales que posee las aguas residuales procedentes del hotel Sonesta es que contiene una gran cantidad de sólidos suspendidos lo cual genera el aumento de la turbiedad evidenciados en las pruebas realizadas tanto al Cardón Guajiro como al Quitosano. Los sólidos Suspendidos se clasifican en sedimentables, los cuales tienen la capacidad de decantar cuando se les aplica un tiempo de reposo al agua, y en coloidales los cuales no poseen la capacidad de los sedimentables y deben ser eliminados mediante el proceso de coagulación y floculación.

Partiendo de la información anterior, se puede explicar el comportamiento de la turbidez debido a que la gran mayoría de los sólidos suspendidos que contenía el agua residual del hotel Sonesta eran de tipo sedimentable, lo que facilitó la remoción tanto de sólidos suspendidos como la supresión de turbidez. Por ende, se puede correlacionar el comportamiento de ambos parámetros indicando que la turbidez se comportó directamente proporcional a los sólidos suspendidos totales como queda demostrado en las tablas 7-12 y también en las gráficas 1-5, mostrando que entre más alta sea la remoción de sólidos suspendidos mejor será el porcentaje de remoción de la turbidez.

Cabe resaltar que no es posible afirmar que exista una relación entre la turbiedad y la concentración de sólidos en suspensión de aguas que no han sido tratadas. No obstante, si están razonablemente ligados la turbiedad y los Sólidos suspendidos en el caso de efluentes procedentes de decantación secundaria en el proceso de fangos activados. (Amaro A., 2015)

Otro punto a destacar es que la jarra control también cumple con los parámetros establecidos por la ley al estar en 100 mg/L teniendo una remoción alrededor del 63%.

Analizando este resultado se puede llegar a la conclusión de que esto se debe a que, como se mencionó anteriormente, el agua procedente del hotel Sonesta posee una gran cantidad de sólidos sedimentables, lo que conlleva a que, con el simple hecho de agitación rápida y lenta más un tiempo adecuado de sedimentado la turbidez se reduzca exponencialmente sin necesidad de aplicar un coagulante.

### **SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) AL 10%**

Tomando como referencia que en una concentración del 10% del coagulante Cardón Guajiro la tanda que dio el rango óptimo fue la 1 se procedió a realizarle las pruebas de SST cuyos resultados están descritos en la tabla 13. En esta se muestran los valores iniciales y finales de dicho parámetro de cada una de las jarras y los porcentajes de remoción que alcanzaron el tratamiento y su respectiva repetición.

**Tabla 13.**

Comportamiento de los SST aplicándole Cardón Guajiro al 10%

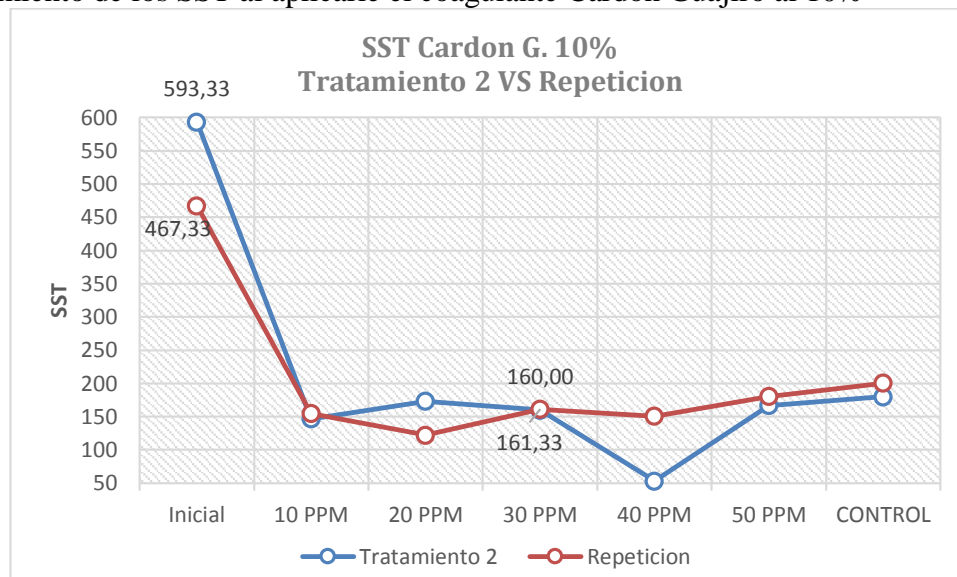
<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) AL 10%</b>							
<b>Tratamiento</b>	<b>PPM</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>Control</b>
<b>2</b>	<b>SST FINAL</b>	146,67	173,33	160,00	53,33	166,67	226,67
<b>SSST Inicial 593,33 mg/L</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	75,28%	70,795%	73,03%	91,01%	71,91%	61,80%
<b>Repetición</b>	<b>SST FINAL</b>	154,67	122,33	161,33	150,67	140,00	180,33
<b>SSST Inicial 467,33 mg/L</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	69,90%	73,82%	65,48%	87,87%	61,41%	57,06%

En la Tablas 7-12 y Graficas 1-5 muestran el comportamiento de la turbidez y SST en su rango optimo al 5% y se puede apreciar que ambas manejan el mismo comportamiento teniendo los mejores porcentajes de remoción en las mismas jarras, trayendo consigo una curva similar entre ambas. Partiendo de la premisa anterior, podemos evidenciar que en la concentración del 10% del coagulante Cardón Guajiro el comportamiento de los sólidos suspendidos totales se

diferencia diametralmente con el comportamiento de tiene la turbiedad. Esto corrobora que no es posible afirmar que exista una relación entre la turbiedad y la concentración de sólidos en suspensión de aguas que no han sido tratadas

**Grafica 6.**

Comportamiento de los SST al aplicarle el coagulante Cardón Guajiro al 10%



Como se puede apreciar en la gráfica 6, los valores iniciales de los sólidos suspendidos totales que poseía el agua procedente del hotel Sonesta en las muestras con que se realizaron el tratamiento 2 y su respectiva repetición se encontraba por encima de los límites máximos permisibles establecidos por la ley. La dosis que mejor rendimiento de remoción mostro el coagulante al 10% fue la de 40PPM, la cual obtuvo un porcentaje de supresión por encima del 90%, reduciendo los SST de 593,33 mg/L a 53,3 mg/L cumpliendo así los límites establecidos por la ley. Por otro lado, el comportamiento de remoción de los sólidos es algo inusual, de la dosis 10 PPM a 40 PPM no existe una curva definida de ascenso o descenso.

Otro patrón que continúa sucediendo es que la jarra de control tiene un porcentaje de remoción alrededor del 60%, lo que confirma que el agua posee una gran cantidad de sólidos sedimentables y que con el simple hecho de agitación rápida y lenta más un tiempo adecuado de sedimentado la turbidez se reduzca exponencialmente sin necesidad de aplicar un coagulante.

### **DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) AL 5%**

Los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras con el coagulante Cardón Guajiro en una concentración del 5% en relación a la DQO están descritos en la tabla 14. En esta se muestran los valores iniciales y finales de DQO de cada una de las jarras y los porcentajes de remoción que alcanzaron cada una.

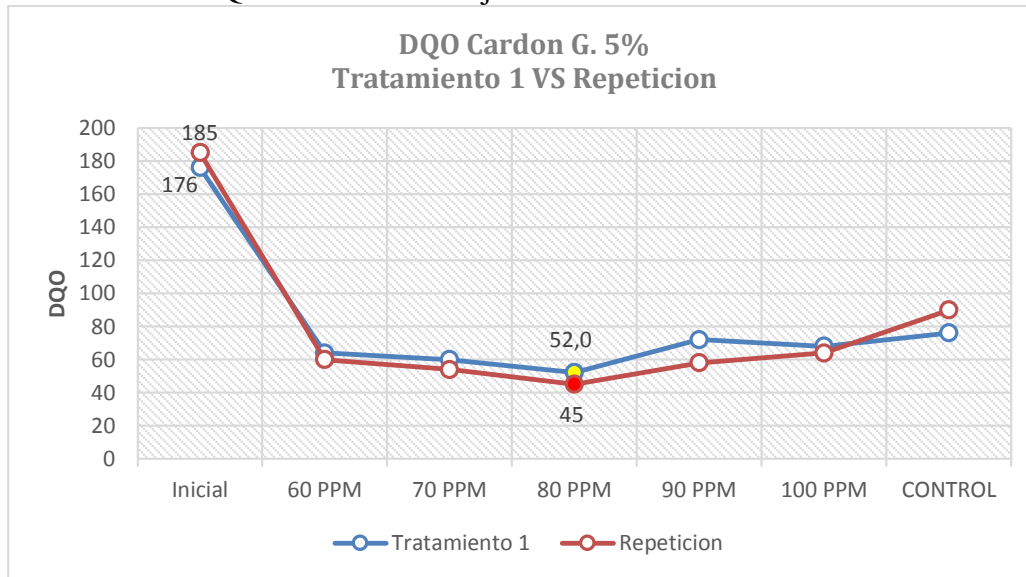
**Tabla 14.**  
DQO Cardón Guajiro al 5%

<b>DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) AL 5% (DOSIS ÓPTIMA)</b>							
<b>Tratamiento 1</b>	<b>PPM</b>	60	70	80	90	100	Control
<b>DQO Inicial</b>	<b>DQO FINAL</b>	64	60	52	72	68	76
<b>176 mg/L</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	63,64%	65,91%	70,45%	59,09%	61,36%	56,82%
<b>Repetición</b>	<b>DQO FINAL</b>	60	54	45	58	64	90
<b>DQO Inicial</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	67,57%	70,81%	75,68%	68,65%	65,41%	51,35%
<b>185 mg/L</b>							

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica e inorgánica presente en un agua residual. Es por tanto una medida representativa de la contaminación de un efluente siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y que nos da una idea muy real de la carga contaminante del vertido (Andaluz, J., 2016).

**Grafica 7.**

Comportamiento de la DQO con Cardón Guajiro al 5%



El comportamiento de la DQO es la típica curva de dosis óptima con excepción de la dosis de 100 PPM que disminuyo en lugar de subir en el caso del tratamiento. La dosis óptima se obtuvo en la dosis de 80PPM removiendo un 70,45% en el tratamiento 2 y 75,69% en su respectiva repetición. Cabe resaltar que, para no ser un agua tratada el agua del efluente del hotel Sonesta se encuentra con una DQO baja indicando que no se necesitan grandes cantidades de Oxígeno para oxidar o descontaminar el agua. La Demanda Química de oxígeno que posee inicialmente el agua residual procedente del hotel Sonesta está dentro del rango permitido por la ley.

**DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) AL 10%**

Los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras con el coagulante Cardón Guajiro en una concentración del 10% en relación a la DQO están descritos en la tabla 15. En esta se muestran los valores iniciales y finales de DQO de cada una de las dosis y los porcentajes de remoción que alcanzaron en el tratamiento y su respectiva repetición.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

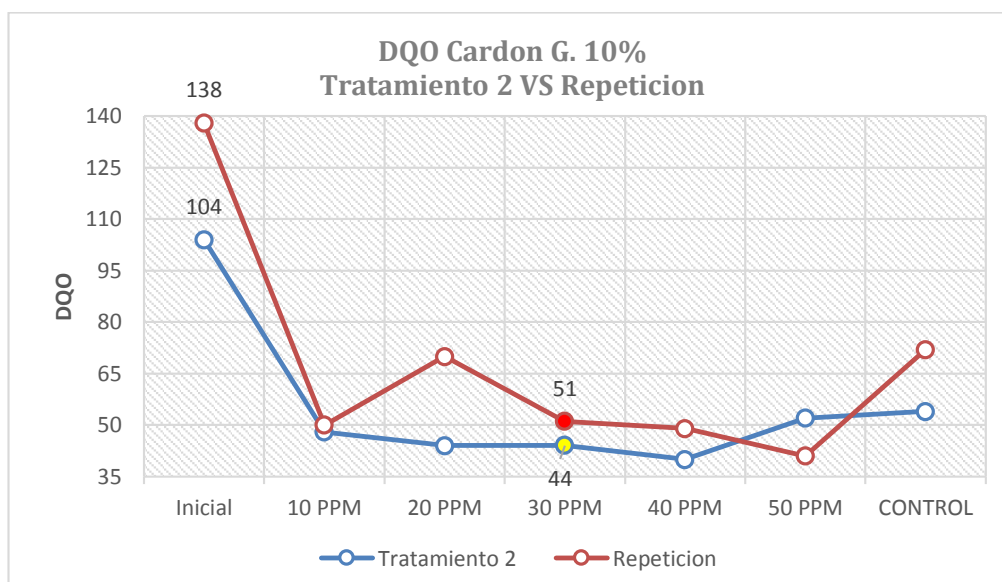
**Tabla 15.**

Comportamiento de la DQO con Cardón Guajiro al 10%

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) AL 10%							
<b>Tratamiento 2</b>	<b>PPM</b>	10	20	30	40	50	Control
<b>DQO Inicial</b>	<b>DQO FINAL</b>	42	44	44	40	52	54
<b>104 mg/L</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	53,85%	57,69%	57,69%	61,54%	50,00%	46,15%
<b>Repetición</b>	<b>DQO FINAL</b>	50	70	51	49	41	72
<b>DQO Inicial</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	63,77%	49,28%	63,04%	64,49%	70,29%	47,83%
<b>138 mg/L</b>							

**Grafica 8.**

Comportamiento de la DQO con Cardón Guajiro al 10%



La Demanda Química de Oxígeno de las pruebas realizadas al agua procedente del hotel Sonesta tanto en el tratamiento 2 como en su repetición dieron relativamente bajas cumpliendo el umbral del límite máximo permisible establecidos por la ley. EL mejor porcentaje de remoción de DQO se dio en la repetición en la dosis de 50 PPM con un rendimiento del 70,29%. Al igual que los demás parámetros a los que se les adiciono el Cardón Guajiro en una concentración del 10% no se mostró un patrón entre el tratamiento y su respectiva repetición.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

**DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>) AL 5%**

Los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras con el coagulante Cardón Guajiro en una concentración del 5% en relación a la DBO<sub>5</sub> están descritos en la tabla 16. En esta se muestran los valores iniciales y finales de DBO<sub>5</sub> de cada una de las jarras y los porcentajes de remoción que alcanzaron en el tratamiento y su respectiva repetición.

**Tabla 16.**  
DBO<sub>5</sub> con el Cardón Guajiro al 5%

		<b>DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>) AL 5%</b>					
<b>Tratamiento 1</b>	<b>PPM</b>	60	70	80	90	100	Control
<b>DBO<sub>5</sub> Inicial</b>	<b>DBO<sub>5</sub> FINAL</b>	49	48	42	45	49	80
<b>150 mg/L</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	67,33%	68%	72%	70%	67,33%	46,67%
<b>Repetición</b>	<b>DBO<sub>5</sub> FINAL</b>	35	40	28	33	38	50
<b>DBO<sub>5</sub> Inicial</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	69,83%	65,52%	75,86%	71,55%	67,24%	56,90%
<b>116 mg/L</b>							

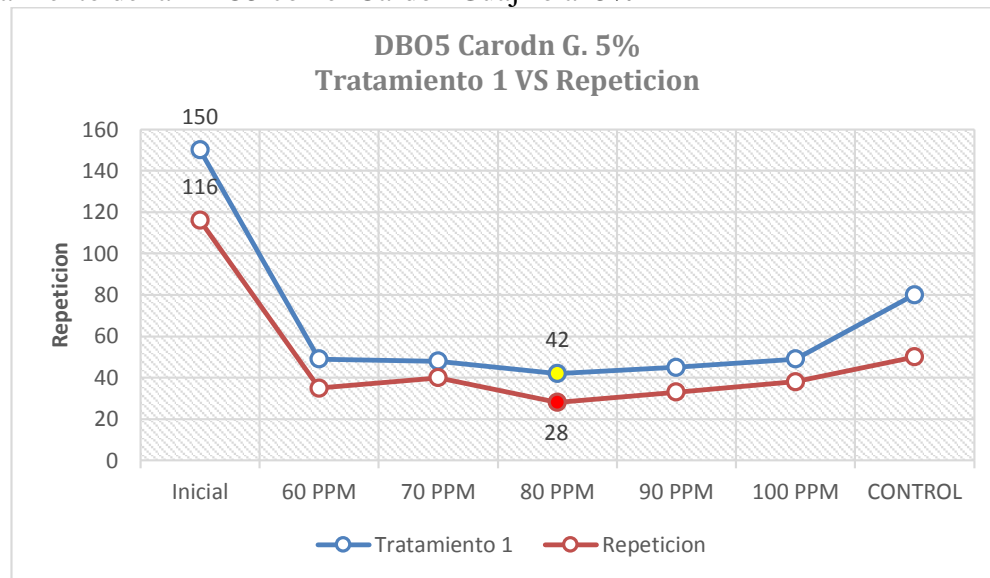
Tanto la DQO como la DBO se emplean para determinar la calidad del agua o la carga contaminante de un vertido, para diseñar las unidades de tratamiento biológico y para evaluar y/o controlar la eficiencia de los tratamientos” (Lozano-Rivas, 2012). La DQO es generalmente mayor que la DBO, pero la relación DQO y la DBO<sub>5</sub> varía de las condiciones del agua. La relación normal de DBO<sub>5</sub>: DQO para las aguas residuales crudas es de 0.5:1.0. (Carmona, 2017).

Partiendo de la premisa anterior, los resultados obtenidos dieron conforme a lo que se tenía previsto, ya que era de esperarse que la demanda química de oxígeno (DQO) fuera mayor que la demanda biológica de oxígeno (DBO), debido a que en las aguas residuales domesticas es muy común que existan muchas sustancias orgánicas, pero pocos son las que se puedan degradar biológicamente. Sin embargo, los valores de Ambos parámetros son relativamente bajos, ya que

la DQO está dentro de los límites máximos permisibles y la DBO<sub>5</sub> esta levemente por encima del umbral, indicando que el agua no cuenta con una alta carga contaminante.

**Grafica 9.**

Comportamiento de la DBO<sub>5</sub> con el Cardón Guajiro al 5%



El comportamiento de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), es similar al de los demás parámetros, manejando una curva de óptimo rendimiento en la jarra 3 (80 PPM) con un porcentaje de remoción del 72% en el tratamiento y 75,86% en la repetición. Otro dato a destacar es que todas las jarras a las cuales se les adiciona una dosis de coagulante Cardón Guajiro cumplieron con los límites máximos permisibles para el vertimiento de aguas residuales al alcantarillado público y cuerpos de agua establecidos por la ley.

El agua residual procedente del Hotel Sonesta presento una relación DBO<sub>5</sub> / DQO > 0,5, exactamente un valor de 0,85 en el tratamiento y de 0.63 en la repetición, indicando que el agua es tratable biológicamente (agua biodegradable), por lo cual se recomienda el uso de tratamientos biológicos.

Un comportamiento característico de estas aguas es que la jarra control obtenga porcentajes de remoción relativamente altos, siendo así, que la DBO<sub>5</sub> se redujo alrededor del 50% con el simple hecho de someter el agua a agitación rápida y lenta más un leve periodo de decantación.

### DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>) AL 10%

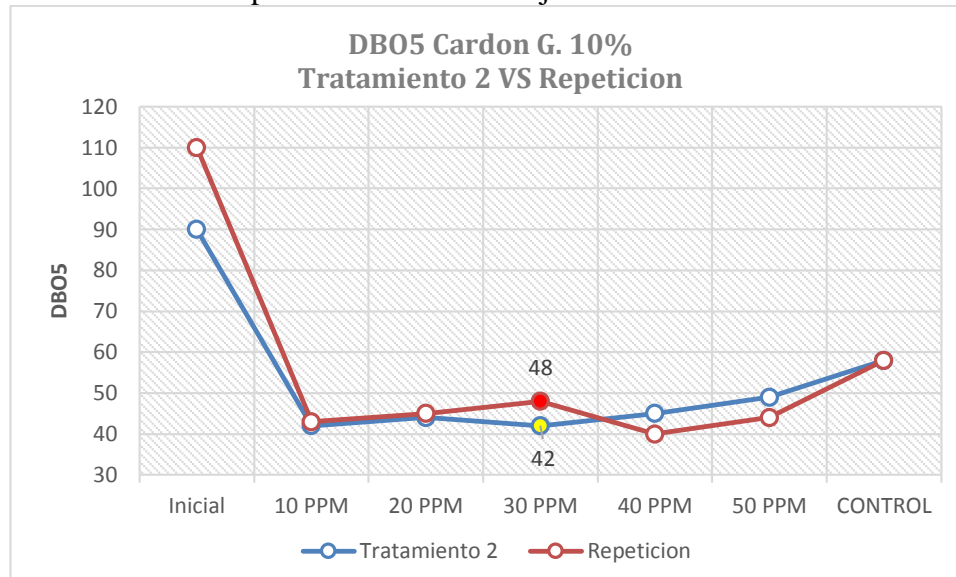
Los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras con el coagulante Cardón Guajiro en una concentración del 10% en relación a la DBO<sub>5</sub> están descritos en la tabla 17. En esta se muestran los valores iniciales y finales de DBO<sub>5</sub> de cada una de las jarras y los porcentajes de remoción que alcanzaron el tratamiento y su respectiva repetición.

**Tabla 17.**  
DBO<sub>5</sub> con el Cardón Guajiro al 10%

<b>DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>) AL 10%</b>							
<b>Tratamiento</b>	<b>PPM</b>	10	20	30	40	50	Control
<b>2</b>	<b>DBO<sub>5</sub> FINAL</b>	42	44	42	45	49	58
<b>DBO<sub>5</sub> Inicial</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	53,33%	51,1%	53,33%	50,00%	45,56%	35,56%
<b>90 mg/L</b>							
<b>Repetición</b>	<b>DBO<sub>5</sub> FINAL</b>	43	45	48	40	44	58
<b>DBO<sub>5</sub> Inicial</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	60,91%	59,09%	56,36%	63,64%	60,00%	47,27%
<b>110 mg/L</b>							

**Grafica 10.**

Comportamiento de la DBO<sub>5</sub> al aplicarle el Cardón Guajiro al 10%



La muestra con que se realizaron el tratamiento 2 mostro una Demanda Biológica de Oxigeno (DBO<sub>5</sub>) dentro del umbral establecido por la ley mientras que la muestra con que se realizó la respectiva repetición está ligeramente por fuera de los límites permisibles. Este patrón se registró a lo largo de todas las pruebas mostrándose como una particularidad inherente que posee el agua residual.

A diferencia de los demás parámetros a los que se les aplicó el coagulante Cardón Guajiro en una concentración del 10%, la Demanda Biológica de Oxigeno (DBO<sub>5</sub>) mostró un patrón de comportamiento similar entre el tratamiento y su respectiva repetición. La dosis que mejor rendimiento de remoción obtuvo fue 30 PPM en el tratamiento removiendo un 53,33% y de 40 PPM en la repetición removiendo un 63,64 %.

**ACTIVIDAD 2: DETERMINACIÓN DEL RANGO Y DOSIS ÓPTIMA DEL  
COAGULANTE NATURAL QUITOSANO**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas físicas, químicas y biológicas realizadas de cada uno de los parámetros en estudio, el rango óptimo establecido para el coagulante a partir del coagulante Quitosano en una concentración del 1%.

**ETAPA 3: Caracterizar fisicoquímicamente los parámetros de Turbidez, PH, SST, DQO y DBO<sub>5</sub>.**

Aplicando las metodologías previamente planteadas se procedió a realizar los análisis de los parámetros establecidos, los cuales dieron como resultado lo presentado en la tabla 16.

**Tabla 18.**  
Caracterización inicial del agua residual (Quitosano).

<b>PARAMETRO</b>	<b>CARACTERIZACION INICIAL</b>	<b>VALORES PERMISIBLES (RESOLUCION 0631)</b>
PH	5,08	6,00-9,00
TURBIDEZ	4112 NTU	Análisis y Reporte
SST	31533,33 mg O <sub>2</sub> /L	100,00 mg O <sub>2</sub> /L
DQO	144 mg O <sub>2</sub> /L	180,00 mg O <sub>2</sub> /L
DBO <sub>5</sub>	100 mg O <sub>2</sub> /L	90,00 mg O <sub>2</sub> /L

En la tabla 18 se pueden observar los resultados de la caracterización inicial donde podemos ver que el pH esta nuevamente alrededor de 5 indicando que es distintivo que el agua del hotel Sonesta es acida.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Por otro lado, la Turbidez y los Sólidos Suspendidos Totales si variaron considerablemente, incrementando alrededor de 15 y 5 veces más, respectivamente, de los valores iniciales dados en las pruebas realizadas con el Cardón.

Siguiendo el mismo patrón de las aguas utilizadas en las pruebas realizadas con el coagulante Cardón Guajiro la DQO inicial es relativamente baja, tanto así que está dentro del umbral permitido por la ley, lo cual es interesante debido a que los sólidos suspendidos totales y la turbidez son extremadamente altos.

**ACTIVIDAD 3: Determinación de las dosis optimas de coagulante Quitosano**

**Comportamiento de la Turbidez al 1%**

Los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras con el coagulante Quitosano en una concentración del 1% en relación con la turbidez están descritos en la tabla 19 Y 20. En esta se muestran los valores iniciales y finales de dicho parámetro de cada una de las dosis y los porcentajes de remoción que alcanzaron el tratamiento y su respectiva repetición.

**Tabla 19.**

Turbidez con el Quitosano al 1%

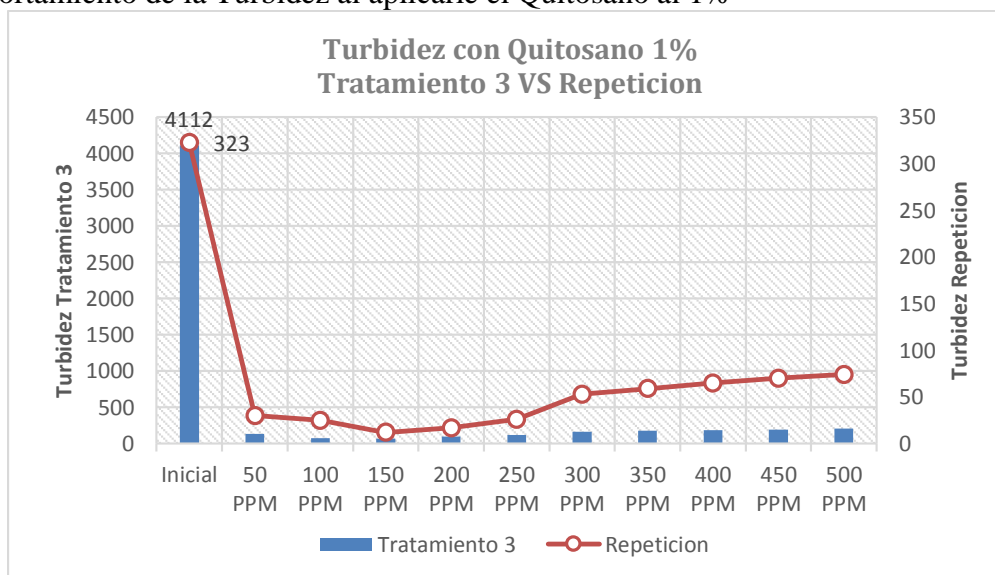
<b>TANDA 1 PARAMETRO: TURBIDEZ AL 1% (DOSIS ÓPTIMA)</b>							
<b>Tratamiento</b>	<b>PPM</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>Control</b>
<b>3</b>	<b>NTU FINAL</b>	136	75,4	66	100	117	463
<b>Turbidez Inicial 4112 NTU</b>	<b>DIFERENCIA</b>	3976	4036,6	4046	4012	3995	3649
	<b>%REMOCIÓN</b>	96,69%	98,17%	98,39%	97,57%	97,15%	88,74%
<b>Repetición</b>	<b>NTU FINAL</b>	30	25	12	17	26	115
<b>Turbidez Inicial 323 NTU</b>	<b>DIFERENCIA</b>	293	298	311	306	297	208
	<b>%REMOCIÓN</b>	90,71%	92,26%	96,28%	94,74%	91,95%	64,40%

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

**Tabla 20.**  
Turbidez con el Quitosano al 1%

<b>TANDA 2 PARAMETRO: TURBIDEZ AL 1%</b>							
<b>Tratamiento 3</b>	<b>PPM</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>400</b>	<b>450</b>	<b>500</b>	<b>Control</b>
<b>Turbidez Inicial 4112 NTU</b>	<b>NTU FINAL</b>	161	181	183	190	210	320
	<b>DIFERENCIA</b>	3951	3931	3929	3922	3902	3792
	<b>%REMOCIÓN</b>	96,08%	95,60%	95,55%	95,38%	94,89%	92,14%
<b>Repetición</b>	<b>NTU FINAL</b>	53	59	65	70	74	122
<b>Turbidez Inicial 323 NTU</b>	<b>DIFERENCIA</b>	270	264	258	253	249	201
	<b>%REMOCIÓN</b>	83,59%	81,73%	79,88%	78,33%	77,09%	62,23%

**Grafica 11.**  
Comportamiento de la Turbidez al aplicarle el Quitosano al 1%



El comportamiento de la Turbidez en cuanto a las pruebas realizadas con el coagulante Quitosano superó las expectativas esperadas mostrando, en el rango óptimo, porcentajes de remoción por encima del 95% en el tratamiento y de 90% en la repetición. Como se puede apreciar en la gráfica 11, la dosis que obtuvo una mejor eficiencia de eliminación de turbidez es de 150 PPM presentando una supresión del 98,39% en el tratamiento y 96,28% en la repetición.

Como se presentó en cada una de las pruebas realizadas a las muestras de agua del Hotel Sonesta, la remoción de la jarra control fue muy alta, mostrando en esta prueba que obtuvo alrededor de un 88% de supresión de turbidez. Como ya se ha mencionado anteriormente, esto se debe a una característica particular del agua residual del hotel Sonesta que nos muestra que con el simple hecho de aplicar al agua un proceso de agitación rápida seguida de agitación lenta y un breve tiempo de sedimentación, el agua disminuye considerablemente la turbidez y los sólidos suspendidos totales. Esta característica se da en gran parte porque el agua contiene una gran cantidad de sólidos suspendidos de tipo sedimentable a los cuales no se les debe aplicar ningún tipo de coagulante para su eliminación.

Analizando la relación que hay entre la jarra de mayor remoción (óptima) de la prueba del tratamiento y la de menor porcentaje de eliminación de turbidez (Jarra Control) existe una diferencia de 397 NTU. Aplicando la ecuación de remoción de turbidez para averiguar cuanto es el porcentaje de supresión de dicho parámetro, tomando como referencia (punto de partida) el resultado de la jarra de control (463 NTU), y como resultado final a la jarra óptima (Jarra 3) con una turbidez de 66 NTU, podremos ver que existe una reducción del 85,75% de Turbidez entre la jarra óptima y la jarra control, a la cual no se le aplicó ninguna dosis de coagulante, comprobando que el coagulante natural Quitosano tiene una eficiencia en cuanto a la eliminación de turbidez por encima del 80%.

### **POTENCIAL HIDROGENADO (PH) QUITOSANO AL 1%**

Los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras con el coagulante Quitosano en una concentración del 1% en relación con el pH están descritos en la tabla 21. En esta se muestran los valores iniciales y finales de dicho parámetro de cada una de las dosis y diferencia que alcanzaron el tratamiento y su respectiva repetición.

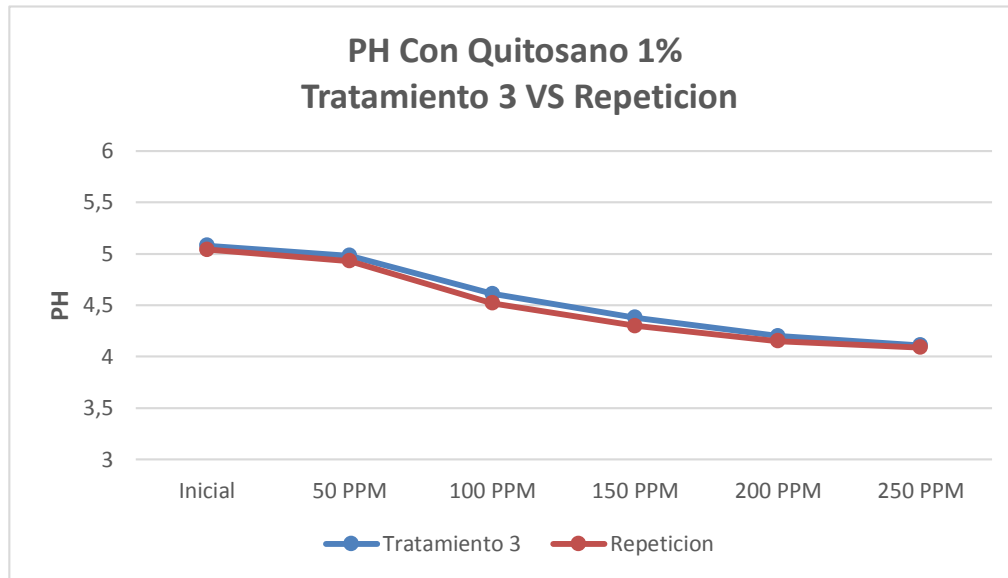
**Tabla 21.**  
PH con el Quitosano al 1%

<b>PARAMETRO: PH QUITOSANO AL 1%</b>							
<b>Tratamiento</b>	<b>PPM</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>Control</b>
<b>3</b>	<b>PH FINAL</b>	4,98	4,61	4,38	4,20	4,11	5,01
<b>PH Inicial 5,08</b>	<b>DIFERENCIA</b>	-0,10	-0,47	-0,70	-0,93	-0,97	-0,07
<b>Repetición</b>	<b>PH FINAL</b>	4,93	4,52	4,30	4,15	4,09	5,02
<b>PH Inicial 5,04</b>	<b>DIFERENCIA</b>	-0,09	-0,52	-0,74	-0,89	-0,95	-0,02

Cuanto menor es el pH del agua que se utiliza para diluir el ácido acético, su capacidad será más limitada para elevar el pH de dicho ácido. La dilución adicional de ácido acético sería para elevar su pH alrededor de 2.4, sin embargo, puesto que el agua no es una base, incluso el ácido acético muy diluido seguiría siendo un ácido. Partiendo del argumento anterior, es más sencillo explicar por qué se dieron los resultados expuestos en la tabla 21, ya que en la preparación del coagulante Quitosano al 1% el polvillo de dicho coagulante se diluyo en un porcentaje de ácido acético más agua del grifo, debido a que el laboratorio no contaba con agua destilada.

Es importante recordar que el agua del hotel Sonesta con la que se realizó la prueba tenía un pH ácido de 5 y al realizarle la medición del pH al coagulante obtuvimos un resultado de 2,93. Todos estos Factores influyeron para que el coagulante Quitosano disminuyera progresivamente el pH puesto que el agua destila aumenta el pH del coagulante acercándolo más a una posición neutral.

**Grafica 12.**  
Comportamiento del PH al aplicarle el coagulante Quitosano



A continuación, podremos observar el comportamiento que tuvo el pH a través de las pruebas realizadas y es evidente que al agregarle las dosis al agua residual este parámetro fue disminuyendo progresivamente a medida que la concentración de la dosis aumentara siendo así, inversamente proporcional la dosis de coagulante con el pH.

En contraste en lo ocurrido con las jarras a las que se les adicionó una concentración de coagulante, se puede apreciar que la jarra control se mantuvo cercano al pH inicial continuando el patrón de comportamiento del agua residual del hotel Sonesta cuando no se le agrega un coagulante, sino que se le hace solamente el proceso de mezclado rápido y lento más decantación. Esto demuestra que la disminución del pH en las jarras fue ocasionada por las dosis de coagulante y los factores que anteriormente mencionamos.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

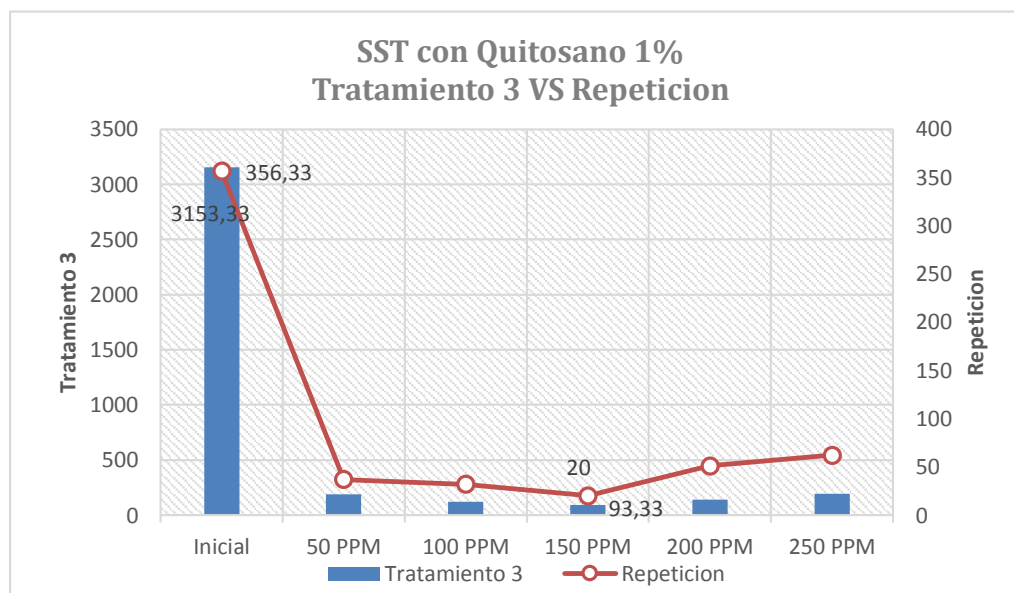
**SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) QUITOSANO AL 1%**

Los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras con el coagulante Quitosano en una concentración del 1% en relación con la turbidez están descritos en la tabla 22. En esta se muestran los valores iniciales y finales de dicho parámetro de cada una de las jarras y los porcentajes de remoción que alcanzaron el tratamiento y su respectiva repetición.

**Tabla 22.**  
SST con el Quitosano al 1%

<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) QUITOSANO AL 1%</b>							
<b>Tratamiento</b>	<b>PPM</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>Control</b>
<b>3</b>	<b>SST FINAL</b>	186,67	120,00	93,33	140,00	193,33	600,00
<b>SST Inicial</b> <b>3153,33 mg/L</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	94,08%	96,19%	97,04%	95,56%	93,87%	80,97%
<b>Repetición.</b>	<b>SST FINAL</b>	37,33	32,33	20	51,33	62,33	124,33
<b>SST Inicial</b> <b>356,33 mg/L</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	89,52%	90,93%	94,39%	85,50%	82,51%	65,11%

**Grafica 13.**  
Comportamiento de los SST al aplicarle el Quitosano al 1%



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Como se puede apreciar en la Tabla 22 y gráfica 13, el contenido de sólidos suspendidos totales del agua residual con la que se realizó esta prueba, están extremadamente alto, tanto así, que son 5 veces el valor inicial del agua residual con la que se realizaron las pruebas al coagulante Cardón Guajiro.

Aunque las condiciones iniciales del agua eran particularmente altas eso no evito que el coagulante Quitosano hiciera su trabajo de forma eficiente teniendo como promedio de remoción un 95,35% teniendo su máxima eficiencia de supresión de sólidos suspendidos totales en la jarra 3 con un porcentaje de remoción del 97%. La muestra con la cual se realizó la repetición tenía unas condiciones iniciales diferentes a las del tratamiento mostrando 356,33 mg/L de SST y obteniendo un porcentaje de rendimiento del 89% dando su máxima eficiencia de remoción en la dosis de 150 PPM y un porcentaje de remoción del 94,39% con dicha dosis.

Cabe resaltar, que al igual que como se dio en las pruebas realizadas al agua residual con el coagulante Cardón Guajiro, la jarra control evidencio que sin necesidad de aplicarle ningún tipo de coagulante al agua y simplemente aplicarle el proceso de mezclado rápido y lento más un breve tiempo de decantación se suprime un gran porcentaje de los sólidos suspendidos totales, en este caso el 81% de estos.

Tomando en consideración lo anteriormente mencionado, haciendo una relación directa entre la jarra de la dosis que tuvo la máxima eficiencia de remoción (jarra Optima) y la jarra control, se podrá obtener el porcentaje real de remoción de SST que logro tener el coagulante Quitosano. Para ello, se utilizó la ecuación de remoción tomando como punto de partida (SST iniciales) los resultados arrojados en la jarra de control los cuales fueron de 600 mg/L y como resultado final el descrito por la jarra óptima (93,33 mg/L). Realizando los cálculos correspondientes se demostró que el porcentaje neto de remoción de sólidos suspendidos totales del coagulante Quitosano es del 84,45%.

Esta relación entre la dosis óptima y la jarra control para constatar el verdadero porcentaje de supresión solo se les realiza a los parámetros de turbidez y Sólidos suspendidos totales debido a que las características del agua residual han demostrado que con el hecho de dejar sedimentar el agua es suficiente para disminuir drásticamente dichos parámetros. Por ende, a partir de la remoción que se genera en la jarra control es que se comienza a medir la verdadera eliminación de dichos parámetros por el Coagulante Quitosano.

### **DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) QUITOSANO AL 1%**

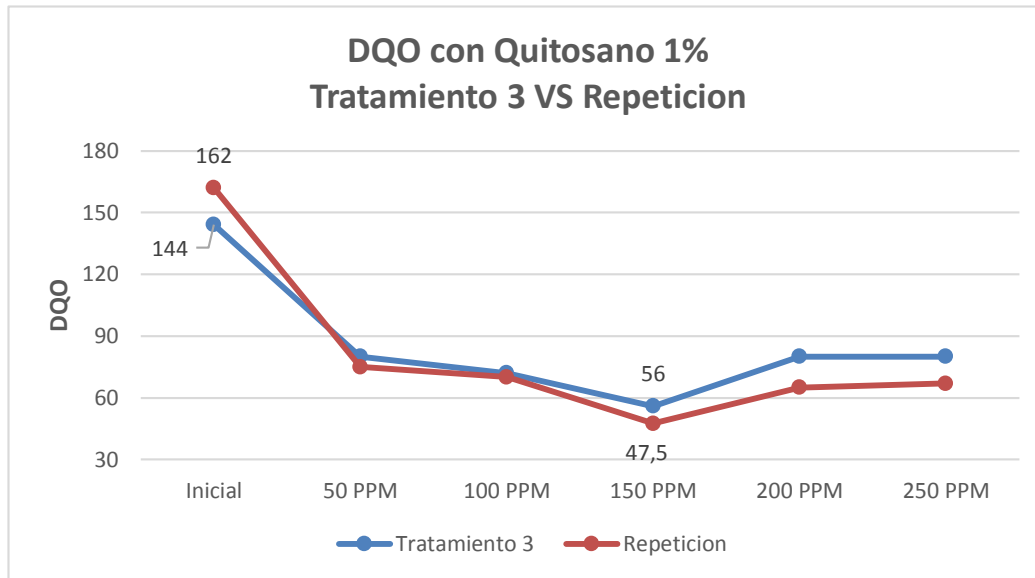
Los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras con el coagulante Quitosano en una concentración del 1% en relación a la DQO están descritos en la tabla 21. En esta se muestran los valores iniciales y finales de DQO de cada una de las jarras y los porcentajes de remoción que alcanzaron el tratamiento y su respectiva repetición.

**Tabla 23.**  
DQO con el Quitosano al 1%

		<b>DQO QUITOSANO AL 1%</b>					
<b>Tratamiento</b>	<b>PPM</b>	50	100	150	200	250	Control
<b>3</b>	<b>FINAL</b>	80	72	56	80	80	88
<b>DQO Inicial 144 mg/L</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	44,44%	50,00%	61,11%	44,44%	44,44%	38,89%
<b>Repetición</b>	<b>FINAL</b>	75	70	47,5	65	67	91
<b>DQO Inicial 162 mg/L</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	53,70%	56,79%	70,68%	59,88%	58,64%	43,83%

**Grafica 14.**

Comportamiento de la DQO al aplicarle el Quitosano al 1%



Continuando el patrón mostrado en las pruebas realizadas con anterioridad, las aguas residuales procedentes del hotel Sonesta contaron con una DQO relativamente baja, tanto así que está dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la ley, sin dejar a un lado que los sólidos suspendidos totales y la turbidez están por los cielos y que aparentemente no influyó en los resultados de la DQO.

Como era de esperarse el porcentaje máximo de eliminación de DQO se dio en la jarra 3 donde dio la curva de máximo rendimiento bajando el parámetro de 144 mg/L de DQO a 56 mg/L de DQO mostrando un porcentaje del 61,11% de eliminación de DQO. La demás concentraciones de coagulantes que fueron adicionadas a la prueba mostraron resultados del 50% hacia abajo lo cual no representa una buena eficiencia en cuanto a la eliminación de dicho parámetro.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

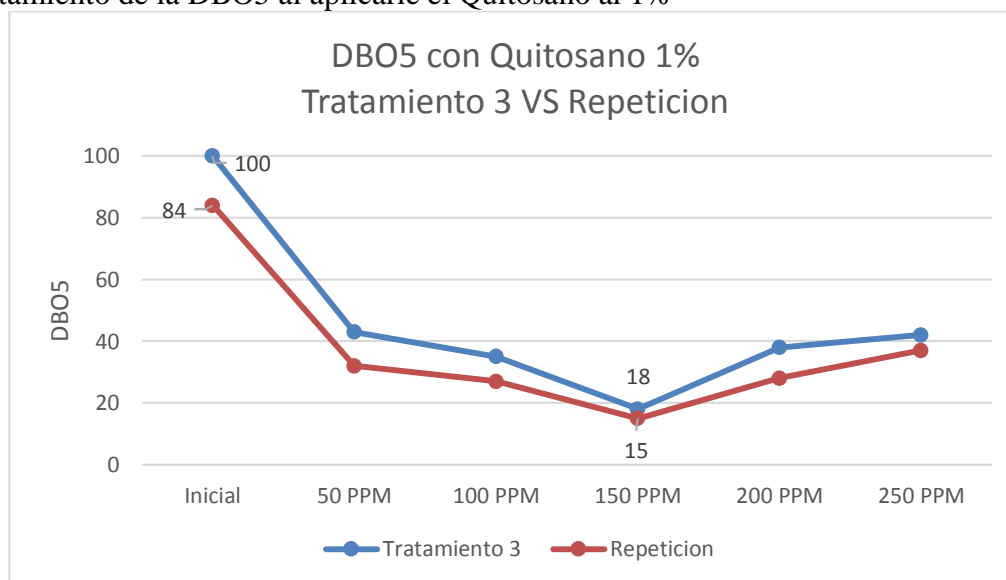
**DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>) AL 1%**

Los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras con el coagulante Quitosano en una concentración del 1% en relación a la DBO<sub>5</sub> están descritos en la tabla 22. En esta se muestran los valores iniciales y finales de DBO<sub>5</sub> de cada una de las jarras y los porcentajes de remoción que alcanzaron.

**Tabla 24.**  
DBO<sub>5</sub> con el Quitosano al 1%

<b>DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>) QUITOSANO AL 1%</b>							
<b>Tratamiento</b>	<b>PPM</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>Control</b>
<b>3</b>	<b>DBO<sub>5</sub> FINAL</b>	43	35	18	38	42	58
<b>DBO<sub>5</sub> Inicial 100 mg/L</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	57%	65%	82%	62%	58%	42%
<b>Repetición</b>	<b>DBO<sub>5</sub> FINAL</b>	32	27	15	28	37	48
<b>DBO<sub>5</sub> Inicial 84 mg/L</b>	<b>%REMOCIÓN</b>	61,90%	67,86%	82,14%	66,67%	55,95%	42,86%

**Grafica 15.**  
Comportamiento de la DBO<sub>5</sub> al aplicarle el Quitosano al 1%



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Como podemos observar en la gráfica 15, el comportamiento DBO<sub>5</sub> al aplicarle el Quitosano al 1%, tanto el tratamiento como la repetición son muy similares mostrando una curva de óptimo rendimiento en la jarra 3 (150PPM) con un porcentaje de remoción del 84%. También podemos decir que la remoción fue tan eficiente que permitió cumplir con los límites máximos permisibles para el vertimiento de aguas residuales establecidos por la ley.

**ETAPA 4: COMPARACIÓN DE LOS COAGULANTE CARDON GUAJIRO Y EL QUTOSANO.**

A partir de los resultados obtenidos por el coagulante Cardón Guajiro en su máxima eficiencia de remoción la cual se dio a una concentración del 5% y los resultados conseguidos con el coagulante Quitosano se procedió a realizar una comparación en cuanto a rendimientos para constatar cuál de los dos tiene mejor eficacia en las aguas residuales procedentes del hotel Sonesta. A continuación, se presentaran los resultados obtenidos por la dosis óptima de cada coagulante con sus respectivos porcentajes de remoción.

**Tabla 25.**

Comparación de eficiencia entre los coagulantes Cardón Guajiro y el Quitosano

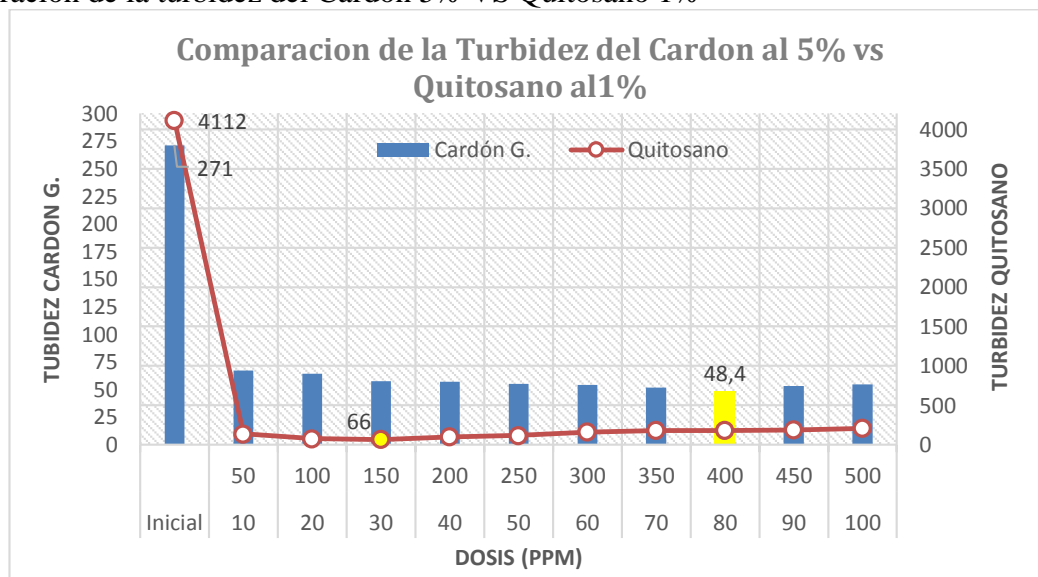
Parámetro	Inicial	Cardón G. (5%)	%Remoción	Inicial	Quitosano	%Remoción
TURBIDEZ	271 NTU	48,4 NTU	82,14%	4112 NTU	66 NTU	98,39%
PH	7,06 U. pH	6,99 U. pH	0,85%	5,08 U. pH	4,38 U. pH	13,78%
SST	273,33 mg/L	26,67 mg/L	92,68%	3153,33 mg/L	93,33 mg/L	97,04%
DQO	176 mg/L	52 mg/L	70,45%	162 mg/L	56 mg/L	70,68%
DBO <sub>5</sub>	150 mg/L	42 mg/L	72%	100 mg/L	18 mg/L	82%

Analizando individualmente cada uno de los parámetros de estudio se puede observar que los resultados alcanzados por ambos coagulantes respecto a la turbidez podemos inferir que los resultados finales del Cardón Guajiro aunque dieron más bajos, el porcentaje de remoción del Quitosano fue mejor.

Cabe señalar que la turbidez inicial del agua residual con la que se realizaron las pruebas del Cardón Guajiro fue de 271 NTU, las del Quitosano por el contrario fueron de 4112 NTU lo cual representa una diferencia considerable.

**Grafica 16.**

Comparación de la turbidez del Cardón 5% VS Quitosano 1%



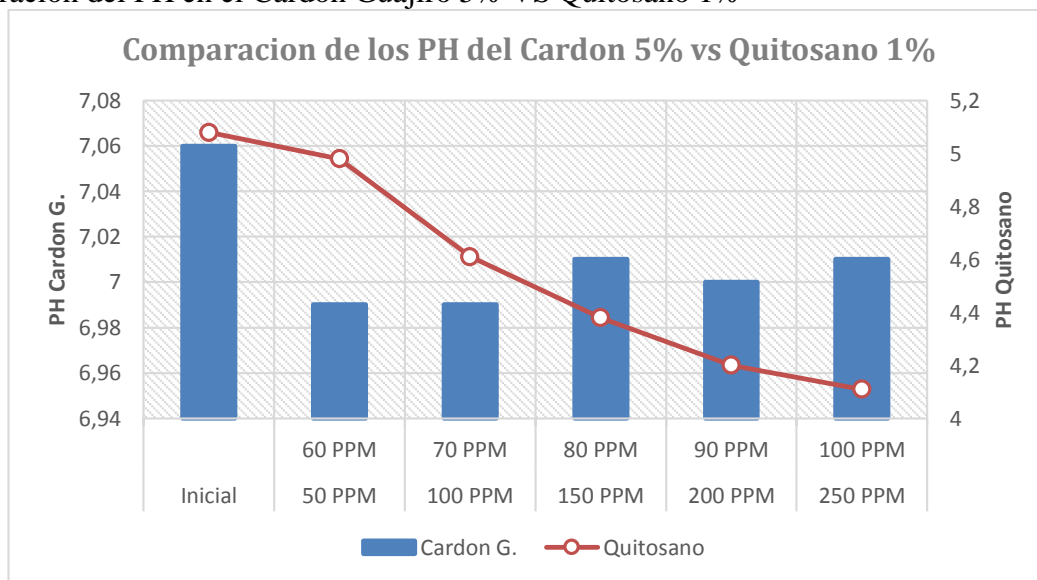
Cabe resaltar, que se realizaron pruebas con el coagulante Natural Cardón Guajiro con concentraciones del 1%, 5% y 10% en las aguas residuales procedentes del hotel Sonesta cuyo valor inicial se encontraban por encima de los 1000 NTU. Estas pruebas arrojaron como resultados que para las características particulares que posee las aguas residuales de dicho hotel el coagulante natural no era eficiente, por el contrario, aumentaban levemente el parámetro de turbidez. Por consiguiente, se puede afirmar con contundencia que en cuanto a la supresión de

Turbidez es más eficiente la aplicación del Coagulante Quitosano ya que no disminuye su rendimiento en concentraciones altas de dicho parámetro.

Con respecto al pH, las pruebas que se le realizaron al agua y que se le aplicó el Cardón Guajiro fueron previamente neutralizadas utilizando Hidróxido de sodio al 0,1 N, debido a que este coagulante tiene mejor rendimiento en cuanto a la eliminación de las variables de estudio en un pH neutro. En el caso contrario, el mejor porcentaje de eficiencia de remoción de las variables establecidas del Quitosano se encuentra entre los pH ácidos 4 y 5, por consiguiente no se le tuvo que aplicar absolutamente nada para realizar las pruebas.

**Grafica 17.**

Comparación del PH en el Cardón Guajiro 5% VS Quitosano 1%



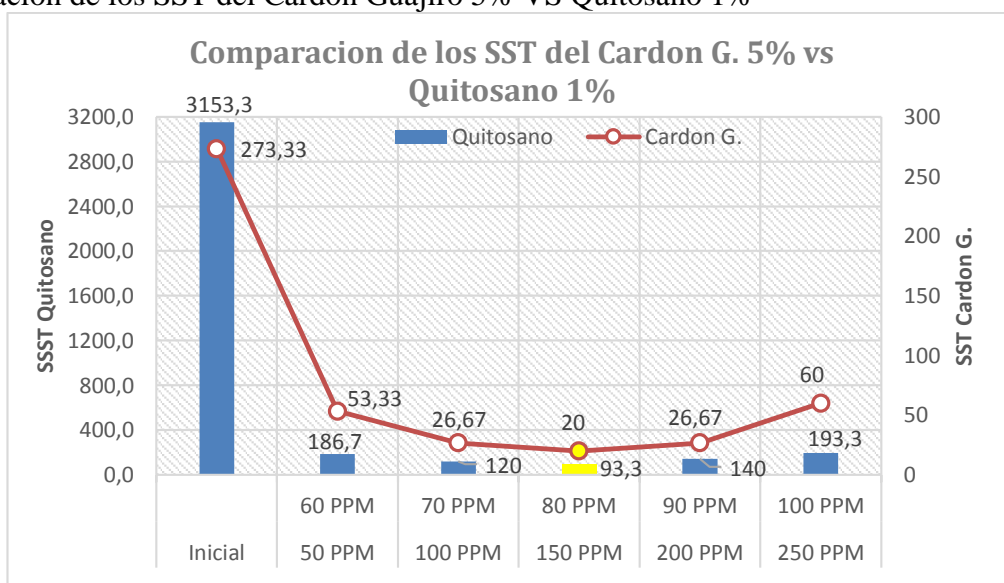
Analizando los Resultados alcanzados por ambos coagulantes respecto al pH podemos afirmar que específicamente en este tipo de agua aparentaría ser más rentable aplicar el coagulante Quitosano ya que no se le debe aplicar ningún agente químico al agua para que remueva eficientemente sino que simplemente se le aplica directamente al agua el Coagulante Quitosano. Por otro lado, se puede observar que dicho coagulante disminuye aún más el pH del

agua residual lo cual generaría un problema mayor, esto conlleva a que al final del tratamiento se le deba aplicar el hidróxido de sodio al agua para acercarla al punto neutro establecido por la ley.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, en lo que respecta al pH hay similitudes en cuanto a la utilización de los coagulantes debido a que sin importar cual se implemente en el tratamiento del agua residual del hotel Sonesta se deberá aplicar dosis de hidróxido de sodio ya sea al inicio, en el caso del Cardón Guajiro, o al final, en el caso del Qitosano. Aunque se tendría que utilizar más el agente neutralizante en el caso del Qitosano porque al disminuir más el pH del agua se tendría que adicionar más Hidróxido.

**Grafica 18.**

Comparación de los SST del Cardón Guajiro 5% VS Qitosano 1%

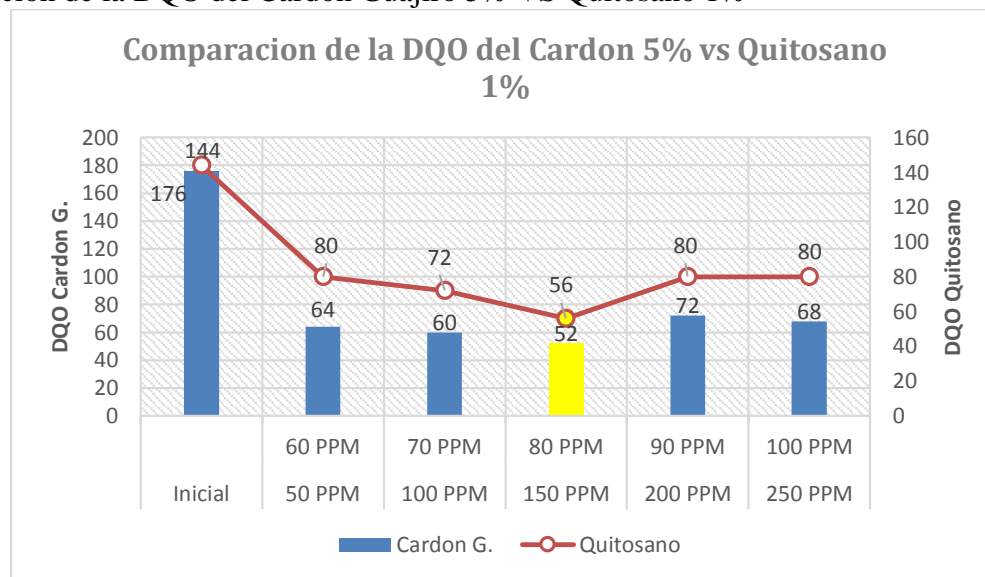


En cuanto a los sólidos suspendidos totales los porcentajes de remoción son relativamente similares entre el Cardón Guajiro y el Qitosano, estando en 92,68% y 97,04% respectivamente. Ambos coagulantes mostraron su mejor rendimiento de supresión en este parámetro demostrando que son altamente efectivos para la reducción tanto de los sólidos sedimentables como de los coloidales. Es imperativo mencionar que la cantidad de sólidos suspendidos totales que se

encontraban en el agua residual con la que se realizaron las pruebas de Qitosano eran extremadamente alto sobrepasando los 3000 mg/L, equivalente a 12 veces la cantidad de sólidos suspendidos totales que se encontraban en el agua con que se realizaron las pruebas del Cardón Guajiro al 5%.

**Grafica 19.**

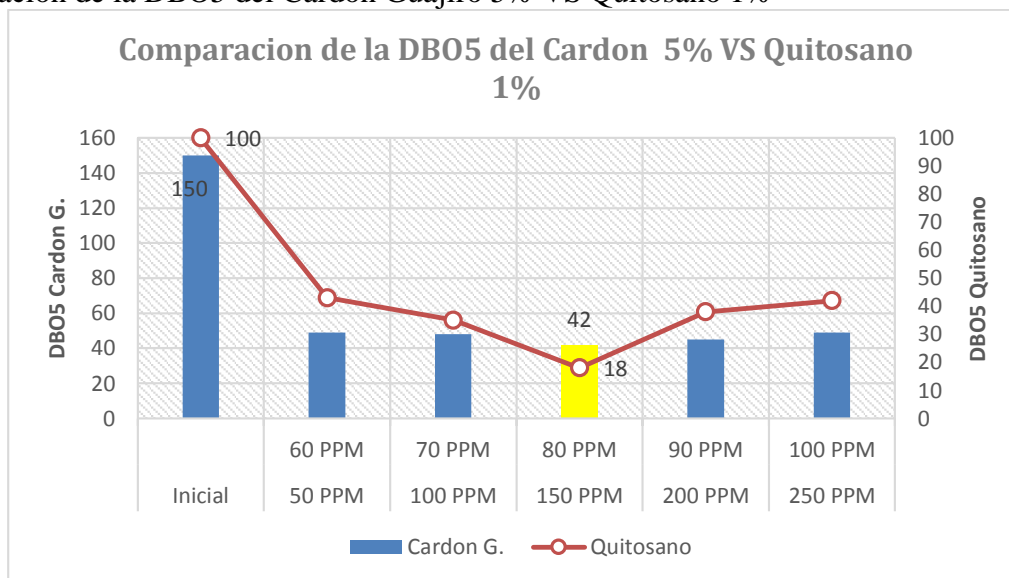
Comparación de la DQO del Cardón Guajiro 5% VS Qitosano 1%



En relación con la DQO los porcentajes de rendimiento indican que el Cardón guajiro es más eficiente obteniendo una remoción del 70,45%, 9 puntos porcentuales por encima del Qitosano que obtuvo un 61,11%. Cabe destacar que este es el único parámetro en que el Cardón Guajiro es superior al Qitosano, a pesar que los valores de DQO del agua con que se realizó las pruebas eran mayores que la iniciales con que se realizó las pruebas del Qitosano.

**Grafica 20.**

Comparación de la DBO<sub>5</sub> del Cardón Guajiro 5% VS Quitosano 1%



Por último, Ambos coagulantes tuvieron mostraron muy buenos resultados en cuanto a la supresión de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO<sub>5</sub> donde nuevamente el coagulante Quitosano mostro mejor porcentaje de rendimiento con un 82% de remoción.

**COMPARACION DE LOS COAGULANTES CARDÓN GUAJIRO Y EL QUITOSANO CON LOS LIMITES ESTABLECIDOS POR LA LEY**

A partir de los resultados obtenidos por el coagulante Cardón Guajiro en su máxima eficiencia de remoción, la cual se dio a una concentración del 5% y los resultados conseguidos con el coagulante Quitosano se procedió a realizar una comparación en cuanto a rendimientos para constatar cuál de los dos tiene mejor eficacia en las aguas residuales procedentes del hotel Sonesta. A continuación, se presentarán los resultados obtenidos por la dosis óptima de cada coagulante con sus respectivos porcentajes de remoción.

**Tabla 26.**

Comparación de los coagulantes VS la Resolución 0631 del 2015 (Agua Residual Domestica).

PARAMETRO	CARDÓN GUAJIRO 5%	QUITOSANO AL 1%	LIMITES MAXIMOS
			PERMISIBLES (RESOLUCIÓN 0631)
TURBIDEZ	48,4 NTU	66 NTU	Análisis y Reporte
PH	7,06 U. pH	4,38 U. pH	6,00-9,00 U. pH
SST	26,67 mg/L	93,33 mg/L	100,00 mg/L
DQO	52 mg/L	47,5 mg/L	180,00 mg/L
DBO <sub>5</sub>	42 mg/L	18 mg/L	90,00 mg/L

Analizando los datos expuestos en la tabla 26, se puede constatar que los resultados obtenidos por el coagulantes Natural Cardón Guajiro están dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la ley en la resolución 0631 del 2015. En el caso del Quitosano 4 de los 5 parámetros de estudio cumplieron con el umbral establecido por la ley con excepción del pH.

La turbidez como aprecia en la tabla 26, en cuanto a las aguas residuales de tipo domestico la resolución 0631 del 2015 no tiene uno límite máximo permisible establecido como tal, simplemente estipula que se realice el análisis y su respectivo reporte. Si se toma como referencia la turbidez que maneja el agua cruda del río Guatapurí que entra a la planta de tratamiento en época que lluvia la cual se encuentra alrededor de entre 70 y 100 NTU podemos inferir que los resultados de la turbidez que ambos coagulantes obtuvieron se registraron por debajo de los 70 PPM.

El pH que maneja el hotel Sonesta es ácido, por lo cual se debió neutralizar para la realización de las pruebas con el Cardón Guajiro ya que, como se ha mencionado anteriormente, este coagulante tiene los mejores rendimientos de remoción en pH neutros. Los resultados finales del pH muestran que no hubo variación significativa en el comportamiento del pH manteniéndose neutro y así, cumpliendo con los límites máximos permisibles por la ley. Por el contrario, no se necesitó neutralizar el pH del agua para realizar las pruebas con el Quitosano debido a que este maneja su máximo rendimiento de remoción en aguas acidas. El tratamiento implementado con el Quitosano no neutralizo el pH del agua, sino que lo disminuyó aún más haciendo el agua más acida, incumpliendo los límites establecidos por la ley.

## 8. CONCLUSIONES

Las Características iniciales que posee el agua residual procedente del hotel Sonesta muestran una particularidad, ya que al menos en las muestras de agua con que se realizaron las pruebas, mantiene una DQO y DBO<sub>5</sub> bajas, tanto así, que la DQO se encuentra dentro de los límites máximos permisibles y la DBO<sub>5</sub> se encuentra ligeramente fuera del umbral estipulado por la ley. Esta característica se mantuvo constante incluso en las muestras de agua en la que los SST estaban por encima de 3000 mg/L y la turbidez por encima de los 4000 mg/L.

Otra de las Características inherentes que posee el agua residual procedente del hotel Sonesta es que contiene una gran cantidad de sólidos de tipo sedimentable lo cual facilita el proceso de remoción de turbidez y Sólidos Suspendidos ya que aplicándole el proceso de agitación rápida más agitación lenta y un breve tiempo de sedimentación se logra reducir gran parte de dichos parámetros sin la necesidad de aplicarle ningún tipo de coagulante.

El rango óptimo para el coagulante natural Cardón Guajiro estuvo entre 60 mg/L y 100 mg/L teniendo la dosis óptima en 80 mg/L mientras que el rango óptimo del coagulante Quitosano estuvo entre 50 mg/l y 250 mg/L teniendo una dosis óptima de 150 mg/L.

Los porcentajes de rendimiento del Cardón Guajiro mostrando 82,14% de remoción de turbidez, 92,68% en cuanto a supresión de Sólidos suspendidos totales, 70,45% reducción en cuanto a la DQO y 72% de remoción de DBO<sub>5</sub>. Por otro lado, los porcentajes de rendimiento del Quitosano mostraron 98,39% de remoción de turbidez, 97,04% en cuanto a supresión de Sólidos suspendidos totales, 61,11% reducción en cuanto a la DQO y 82% de remoción de DBO<sub>5</sub>.

Luego de la aplicación del coagulantes Cardón Guajiro todos los parámetros de estudio cumplieron con los límites máximos permisibles establecidos por la ley en la resolución 0631 del 2015. En contraste, con lo anteriormente mencionado, luego de la aplicación del coagulante

Quitosano, 4 de los 5 parámetros de estudios cumplieron con la normativa vigente con la excepción del pH que se encontraba por debajo de los límites máximos permisibles (pH ácido).

Las pruebas realizadas al agua residual procedente del hotel Sonesta con turbiedades por encima de 1000 NTU demostraron que el Cardón Guajiro no es eficiente en la remoción de dichos parámetros ya que las pruebas mostraron que el coagulante en las concentraciones de 1%, 5% y 10% aumentaba la turbidez del agua cuando se le realizaba la prueba de jarras. Por ende, solo se puede aplicar en aguas cuya carga contaminante sea baja.

## **9. RECOMENDACIONES**

Se le recomienda al hotel Sonesta que cuando las condiciones de los parámetros de turbidez y Sólidos suspendidos totales se encuentren relativamente bajos como en las muestras con las que se realizó las pruebas con el Cardón Guajiro solo se le aplique un inhibidor para neutralizar el pH y se le realice agitación rápida y lenta sin la adición de ningún coagulante debido a que la DQO se encuentra por lo general dentro de los límites permisibles y DBO<sub>5</sub> ligeramente por fuera del umbral por lo que al realizarle dicho proceso bajo las condiciones mencionadas todos los parámetros cumplirían con la ley y el hotel reduciría los gastos de tratamiento.

Cuando las condiciones de los parámetros de estudios son extremadamente altas, como se dieron en las pruebas que se realizaron con las muestras con que se hicieron los ensayos del Quitosano se recomienda utilizar dicho coagulante, ya que según las pruebas realizadas en esas condiciones el coagulante natural no es efectivo para la remoción de los parámetros de estudio.

Después de la implementación del coagulante Quitosano se recomienda la implementación de un inhibidor de pH como el hidróxido de sodio para la neutralización del pH del agua residual.

Se recomienda al hotel Sonesta un adecuado manejo de las aguas residuales domesticas que producen ya que los análisis realizados muestran que tienen parámetros cuyos valores suelen ser alarmantes como, por ejemplo, el pH, el cual está demasiado ácido para ser un agua residual doméstica.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguilera, I. (2009). Validación de la determinación de la DQO en la unidad analítica del CEBI. Revista Cubana de Química, Vol. XV, Nº 2, 2003. Editorial Universitaria. Recuperado de <https://elibro.net/es/lc/biblioupc/titulos/9222>

Alianza por el Agua ONG. (2015). *Monográficos agua en Centroamérica 3. Manual de depuración de aguas residuales urbanas.*

Amaro, A. (2015). Instrumentación Básica de una EDARU. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/288499011.pdf>

American Public Health Association (APHA). (1992). Métodos normalizados: para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de <https://elibro.net/es/lc/biblioupc/titulos/97535>

Andaluz, J. (2016). Producción de materia orgánica e inorgánica presente en aguas residuales de agroquímicos mediante técnicas electroquímicas de oxidación avanzada. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/13263>

Arboleda Valencia, J. (2000). teoría y práctica de la purificación del agua (3.<sup>a</sup> ed., Vol. 1). McGraw-Hill Education

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Bravo, M. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/handle/1>

Caldera et al. 2009. Quitosano como coagulante durante el tratamiento de agua de producción de petróleo. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas.

Calderón y Mendieta. (2018). Evaluación de la eficiencia del *Stenocereus griseus* como coagulante natural, en el tratamiento de aguas residuales de la empresa lácteos del Cesar S.A (KLAREN´S), en la ciudad de Valledupar.

Camacho y Rodriguez. (2019). Eficacia de un electrocoagulador para remover hierro y turbidez en efluentes de drenajes ácidos producidos en una mina carbonífera de La Jagua de Ibirico, Cesar.

Carmona, (2017). Análisis de las fracciones de DQO en las aguas de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Recuperado de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/12223/98494403.pdf;jsessionid=80EED85B19D27360EF20B7E63465C35C.jvm1?sequence=1>.

Chi, F.H. & Cheng, W.P. (2006). Use of chitosan as coagulant to treat wastewater from milk processing plant. *Journal of Polymers and the Environment*, 14(4), 411-417. <https://doi.org/10.1007/s10924-006-0027-2>

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Contreras, K., Mendoza, Y., Salcedo, J., Olivero, R., Y Mendoza, G. (2015). El Nopal (*Opuntia Ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Producción + Limpia* 10(1), 40-50. Recuperado de <https://doi.org/10.22507/pml.v10n1a3>.

Corporación Autónoma Regional –corpocesar- “Por medio de la cual se formulan un pliego de cargos contra la sociedad HOTELES DE UPAR S.A.S Hotel Sonesta Valledupar, identificado con el Nit.900277215-0”. Recuperado de <https://www.corpocesar.gov.co/files/Auto-516-27-07-2016-OJ.pdf>.

Dearmas Duarte, D., & Ramírez Hernández, L. F. (2015). Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 6(2), 183 - 196. Recuperado de <https://doi.org/10.22490/21456453.1415>.

Delgadillo, Alejandro (1999). Parámetros de diseños de sistemas de tratamiento de aguas residuales: métodos experimentales. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11191/1795>

Domínguez, J., Flores J. (2016), Derecho humano al agua y al saneamiento, Jiutepec, Mor., Instituto Mexicano de Tecnología del Agua / El Colegio de México, A.C. Obtenido de: <https://doi.org/10.24201/edu.v32i3.1748>

El Pilón (24 de noviembre de 2020). El Cesar tiene desactualizados los planes de saneamiento y manejo de vertimientos. El pilón. [El Cesar tiene desactualizados los planes de](#)

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

saneamiento y manejo de vertimientos - El Pílon | Noticias de Valledupar, El Vallenato y el Caribe Colombiano (elpilon.com.co)

ESPIGARES, M. y PÉREZ, JA. (1985.). Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada. Recuperado de [https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)

Feria et al. (2020). Uso del Quitosano como coagulante natural en el tratamiento de aguas: una breve revisión. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/a20v41n32/a20v41n32p10.pdf>

Fuquene, D. M., Yate-Segura, A., Pérez Giraldo, D. A., Duque Chaves, C. M., Chiriví Salomón, J. S., Valderrama López, C. F., & Forero Ausique, V. F. (2019). Capítulo 8. Tratamiento de aguas residuales. *Libros Universidad Nacional Abierta Y a Distancia*, 146 - 171. Recuperado de <https://doi.org/10.22490/9789586516358.08>

GONZÁLEZ, C. y LOZADA, W., (2011). Manejo y control de las aguas de escorrentía para mantener la calidad del agua abril 2009, Rev. Sept. 2013. Recuperado de <https://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj917/aguamanualescorrentia.pdf>

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

IDEAM, (2007). SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 °C. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>.

IDEAM, (2007). DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO 5 días, INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA 103 – 105 °C. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>.

IDEAM, (2007). DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRIA. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

IDEAM, (2007). TURBIEDAD POR NEFELOMETRÍA (METODO B). Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%ADa..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>.

IDEAM, (2007). pH EN AGUA POR ELECTROMETRIA. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/pH+en+agua+por+Electrometr%C3%ADa.pdf/ec53b64e-91eb-44c1-befe-41fcddfff1>

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Lazcano Carreño, C. A. (2016). Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales (2a. ed.). Ecoe Ediciones. <https://elibro.net/es/lc/biblioupc/titulos/122526>.

LEON, C., (2009). Estandarización y validación de una técnica para medición de la demanda bioquímica de oxígeno por el método respirométrico y la demanda química de oxígeno por el método colorimétrico. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/71396104.pdf>

Lozada, A., (2005). Coloides. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-33472005000200007](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-33472005000200007)

Lozano, W., (2012). Fundamentos de diseños de plantas depuradoras de aguas residuales. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/298354134\\_Disen%C3%B3\\_de\\_Plantas\\_de\\_Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales](https://www.researchgate.net/publication/298354134_Disen%C3%B3_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales)

Marín Galvín, R. (2014). Microbiología de las aguas. Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de <https://elibro.net/es/lc/biblioupc/titulos/62909>.

Menéndez Gutiérrez, C. y Pérez Olmo, J. M. (2007). Procesos para el tratamiento biológico aguas residuales. Editorial Félix Varela. Recuperado de <https://elibro.net/es/lc/biblioupc/titulos/152077>

Metcalf & Eddy. (1998). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Madrid, España: Mc Graw Hill.

Molina, N., Molina Rodriguez, E. j., Y Ariza, C. P. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto de  $Al_2(SO_4)_3$  para clarificación de aguas. Produccion + Limpia, 11(2), 41-54. Recuperado de <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a4>.

Moreno Merino, L. (2003). La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno. Instituto Geológico y Minero de España. Recuperado de <https://elibro.net/es/lc/biblioupc/titulos/52548>

Murillo (2011) Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada. Universidad Tecnológica de Pereira. Escuela de Tecnologías Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/71396364.pdf>

Pérez, F. Y Urrea, M. (2011): Abastecimientos de agua. Tema 6 – Coagulación y floculación. Cartagena (España): Universidad Politécnica de Cartagena. Escuela de Ingeniería de Caminos y de Minas. Recuperado de [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/PEREZ%20DE%20LA%20C RUZ%20y%20URREA%202011.%20Coagulación%20y%20floculación.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/PEREZ%20DE%20LA%20C RUZ%20y%20URREA%202011.%20Coagulación%20y%20floculación.pdf)

Perico-Granados, N. R., Montaña, A. F., Uricoechea, M. J., Vargas, M. A., & Arévalo Algarra, H. (2021). Propuesta alternativa de coagulantes naturales. *L'esprit Ingénieux*, 10(1), 127-142. Recuperado a partir de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/2125>.

Rodríguez et al. (2021), Quitosano aplicado en el tratamiento del agua residual de la producción de aceite de palma. Obtenido de: View of Chitosan applied in the treatment of wastewater from palm oil production.pdf

Romero, J. (2005). Lagunas de Estabilización De Aguas Residuales. Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito

Thirugnanasambandham et al (2014). Chitosan based grey wastewater treatment—A statistical design approach. *Carbohydrate Polymers*, 99, 593-600. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.058>

WWDR (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre los Recursos Hídricos. 2019. No dejar a nadie atrás sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. París, UNESCO. [unesdoc.unesco.org/ images/0014/001454/145405E.pdf](https://unesdoc.unesco.org/images/0014/001454/145405E.pdf)

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

WWAP (2017). Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO. [unesdoc.unesco.org/images/0024/002471/247153e.pdf](https://unesdoc.unesco.org/images/0024/002471/247153e.pdf)

Wiki. (2007). Ingeniería de aguas residuales. Wiki. Recuperado de <https://elibro.net/es/lc/biblioupc/titulos/35813>

## 11. ANEXOS

### ANEXOS A: COAGULANTE CARDÓN GUAJIRO

- **OBTENCIÓN DEL CACTUS CARDÓN GUAJIRO**

**Foto 1: Cactus Cardón G.**



Fuente: Foto de campo, 2022

**Foto 2: Muestras seleccionadas**



Fuente: Foto de campo, 2022

- **EXTRACCIÓN DEL COAGULANTE**

**Foto 3: Pulpa del Cardón G.**



Fuente: Foto de campo, 2022

**Foto 4: Triturado del Cardón G.**



Fuente: Foto de campo, 2022

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

- **POLVILLO Y PURIFICACIÓN CON METANOL ANHIDRIDO**

**Foto 5: Peso del Polvillo**



Fuente: Foto de campo, 2022

**Foto 6: Solucion de Coagulante**



Fuente: Foto de campo, 2022

- **PRUEBA DE JARRAS CON COAGULANTE CARDÓN GUAJIRO**

**Foto 7: Test de Jarras**



Fuente: Foto de campo, 2022

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

- TURBIDEZ**

**Foto 8: Turbidez Inicial**



Fuente: Foto de campo, 2022

**Foto 9: Turbidez Final**



Fuente: Foto de campo, 2022

- SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)**

**Foto 10: SST Iniciales**



Fuente: Foto de campo, 2022

**Foto 11: SST Finales**



Fuente: Foto de campo, 2022

- DQO Y DBO5**

**Foto 12: Analisis de DQO**



Fuente: Foto de campo, 2022

**Foto 13: Analisis de DBO5**



Fuente: Foto de campo, 2022

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

**ANEXOS B: COAGULANTE QUITOSANO**

**• POLVILLO DEL COAGULAN QUITOSANO**

**Foto 14: Polvillo de Quitosano**



Fuente: Foto de campo, 2022

**Foto 15: Coagulante Quitosano 1%**



Fuente: Foto de campo, 2022

**• PH DEL QUITOSANO Y DE LA JARRA ÓPTIMA**

**Foto 16: : PH de Coagulante Quitosano Foto 17: PH de Coagulante Cardón G.**



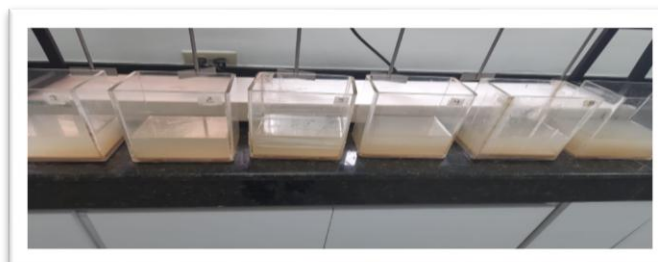
Fuente: Foto de campo, 2022



Fuente: Foto de campo, 2022

**• PRUEBA DE JARRAS CON COAGULANTE QUITOSANO**

**Foto 18: Test de jarras de Coagulante Quitosano**



Fuente: Foto de campo, 2022

- TURBIDEZ INICIAL Y ÓPTIMA QITOSANO**

**Foto 19: : Turbidez inicial**



Fuente: Foto de campo, 2022

**Foto 20: Turbidez Final**



Fuente: Foto de campo, 2022

- SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)**

**Foto 21: SST de toda la prueba**



Fuente: Foto de campo, 2022

**Foto 22: Peso de los SST Iniciales**



Fuente: Foto de campo, 2022

- DQO Y DBO5**

**Foto 23: : Analisis de DQO**



Fuente: Foto de campo, 2022

**Foto 24: Resultado Final de la DBO5.**



Fuente: Foto de campo, 2022

- **ANEXO C: AUTORIZACION DEL HOTEL SONESTA**

Valledupar, 06 de Julio de 2022

**A QUIEN INTERESE**

El Hotel Sonesta Valledupar en representación de su Gerente General Maria Fernanda Villabona Hernández identificada con cédula de ciudadanía 63.319.410 de Bucaramanga, autorizan el uso de tratamiento de su nombre (Sonesta Hotel Valledupar) en el proyecto de grado titulado: "EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL COAGULANTE NATURAL CARDON GUAJIRO Y EL QUITOSANO EN LA REMOCION DE TURBIDEZ, PH, SST, DQO Y DBO EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL SONESTA UBICADO EN VALLEDUPAR", el cual será impreso y archivado en la biblioteca de la Universidad Popular del Cesar y será utilizado solo para consultas estudiantiles.

Atentamente



Maria Fernanda Villabona Hernández  
CC. 63.319.410/ Bucaramanga  
Gerente General Sonesta Hotel Valledupar.

HOTELES DE UPAR SOCIEDAD P.O.  
ACCIONES SIMPLIFICADA  
NIT. 902.277.215-0