

# EFICIENCIA DEL CARDÓN GUAJIRO Y QUITOSANO EN REMOCIÓN DE PARAMETROS FISICOQUÍMICOS EN AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

Marlon David Macea Triana<sup>1</sup>, Linda Lucía Rojas Sanmiguel<sup>2</sup>, Karina Paola Torres Cervera<sup>3</sup>, Yim James Rodríguez<sup>4</sup>, Luis Alberto Romero Benjumea<sup>5</sup>, Aleana Cahuana<sup>6</sup>, Melisa Martínez Maestre<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Ambiental y Sanitario. Valledupar, Colombia. [mdmacea@unicesar.edu.co](mailto:mdmacea@unicesar.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniera Ambiental y Sanitario. Valledupar, Colombia. [lrojas@unicesar.edu.co](mailto:lrojas@unicesar.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniera Ambiental y Sanitario, Magíster en Medio ambiente y Desarrollo. Docente Universidad Popular del Cesar. Valledupar [karinaptorres@unicesar.edu.co](mailto:karinaptorres@unicesar.edu.co)

<sup>4</sup> Ingeniero del Medio Ambiente, Magister en Ingeniería Ambiental. Valledupar, Colombia. [yimrodriguez@unicesar.edu.co](mailto:yimrodriguez@unicesar.edu.co)

<sup>5</sup> Ingeniero Ambiental y Sanitario. Doctor en ciencias gerenciales. Magister en Salud Ocupacional. Valledupar, Colombia. [luisromero@unicesar.edu.co](mailto:luisromero@unicesar.edu.co)

<sup>6</sup> Ingeniera Ambiental y Sanitario, Magister en Ciencias Ambientales Valledupar, Colombia. [aleanacahuana@unicesar.edu.co](mailto:aleanacahuana@unicesar.edu.co)

<sup>7</sup> Ingeniera Ambiental y Sanitario, Magister en Pedagogía Ambiental Docente Universidad Popular del Cesar. Valledupar [mmilethmartinez@unicesar.edu.co](mailto:mmilethmartinez@unicesar.edu.co)

## RESUMEN

Se evaluó y comparó la eficiencia de dos coagulantes Naturales: Cardón Guajiro (*Stenocereus Griseus*) y Quitosano para tratamiento de agua residual doméstica. El Cardón se extrajo por un proceso de secado, molienda, tamizado y extracción con metanol anhidro. El Quitosano se consiguió en forma de escamas. Se realizaron pruebas de jarras para determinar rangos y dosis óptimas y analizar los parámetros de estudio a medida que se iban aplicando dichos coagulantes. Con el Cardón se realizaron dos pruebas con concentraciones del 5% y 10%, con el Quitosano se realizaron pruebas a una concentración del 1%. Las dosis de Cardón estuvieron entre 10 y 100 PPM en intervalos de 10, las dosis de Quitosano fueron de 50 a 500 PPM en intervalos de 50. El Cardón a concentración del 5% generó excelentes resultados en los parámetros de estudio. El Quitosano mostró porcentajes de remoción mejores que el Cardón Guajiro.

**Palabras Clave:** Cactus Cardón Guajiro, Quitosano, Coagulante natural, aguas residuales, dosis.

Recibido: 18 de julio de 2022. Aceptado: 19 de septiembre de 2022

Received: July 18, 2022. Accepted: September 19, 2022

## ABSTRACT

*The efficiency of two natural coagulants was evaluated and compared: Cardón Guajiro and Quitosano to treat the wastewater of the Sonesta Valledupar hotel. The Cardón Guajiro was extracted by a process of drying, grinding, sieving and extraction with anhydrous methanol. Chitosan in the form of scales. Jar tests were carried out to determine ranges, optimal doses and analyze the study parameters as these coagulants were applied. Two tests were carried out with concentrations of 5% and 10% for Cardón Guajiro and two for Chitosan at a concentration) of 1%. The doses of Cardón between 10 and 100 PPM in intervals of 10, the doses of Chitosan from 50 to 500 PPM in intervals of 50. The Cardón at a concentration of 5% generated excellent results in the study parameters. Chitosan showed better removal percentages than Cardón guajiro.*

**Keywords:** Cactus, cardon guajiro, natural coagulant, sewage water, dose.

Cómo citar este artículo: Macea-Triana, M., D., Rojas-Sanmiguel, L., L., Torres-Cervera, K., P., Rodríguez Y., J., Romero-Benjumea, L., A., Cahuana, A., Martínez-Maestre, M. (2022). "Eficiencia del cardón Guajiro

## 1. INTRODUCCIÓN

En todo el mundo, más del 80% de todas las aguas residuales municipales e industriales regresan al medio ambiente sin recibir tratamiento [1]. 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 [2].

Partiendo de la premisa anterior y de la necesidad que se tiene por disminuir la contaminación de aguas que vierten al alcantarillado público y así, poder 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 fisicoquímicos.

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 de acuerdo con el IDEAM. La turbidez se mide en el turbidímetro digital Scientific, Inc. modelo HACH 2100 AN [3]. El pH con lectura directa pH metro [4]; los Sólidos Suspendidos Totales (SST) se realizan según lo establecido por la metodología estándar (SST en agua secado a 103°-105°) [5]; la Demanda Química de Oxígeno (DQO): se realiza mediante el método de reflujo cerrado (colorimétrico y titulométrico) [6]; finalmente la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) se realiza mediante el método de dilución e incubación 5 días [7]. (Dearmas & Ramírez, 2015) [8].

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron 2 muestras simples de agua residual doméstica en canecas herméticas de plástico debidamente aseadas para evitar cualquier tipo de contaminación de las muestras, después se procedió a realizarle las pruebas correspondientes (Turbidez, PH, SST, DQO, DBO<sub>5</sub>), en el laboratorio de la Universidad Popular del Cesar y así evaluar las condiciones iniciales del agua.

### 2.1 Extracción Del Coagulante

El cactus Cardón Guajiro se obtuvo de las rancherías aledañas a la ciudad de Riohacha en el departamento de la Guajira. Para la Extracción del Coagulante en Seco (en Polvo) Se removió la Corteza del Cactus quedando solo las partes sólidas y gelatinosas, las cuales fueron secadas independientemente a 105°C Durante 16 Horas, después de las 16 horas, se pulverizó y posteriormente se tamizó hasta obtener una granulometría menor o igual a 400 micras. Luego se preparó una Solución a 1000PPM para aplicar. El Quitosano utilizado fue de origen comercial y solo tuvo que triturarse para ser utilizado.

### 2.2 Proceso De Coagulación

Se procedió a realizar la prueba de jarras para determinar las dosis óptimas de los coagulantes naturales. Se aforó cada una de las jarras o vasos de precipitado con un volumen de 1,5 litros. A las 5 primeras jarras se les asignó una dosis (ppm), dejando la jarra 6 como control. Se programaron las paletas para girar a 150 rpm en mezcla rápida y 30 rpm en mezcla lenta. Para el coagulante Cardón Guajiro se elaboró una concentración del 5% para determinar el rango óptimo y dosis óptima del coagulante. Se aplicaron dosis entre 10 PPM y 100 PPM en dos corridas. La primera corrida se realizó desde 10 PPM hasta 50 PPM en intervalos de 10 en 10 y la segunda corrida 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 corrida que tuviera mejor rendimiento en dichos parámetros fue 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 concentración del 1% para determinar el rango y la dosis óptimos del coagulante. Se aplicaron dosis entre 50 PPM y 500 PPM en dos corridas. La primera corrida se realizó desde 50 PPM hasta 250 PPM en intervalos de 50 en 50 y la segunda corrida se realizó de 300 PPM hasta 500 PPM desarrollando la misma metodología. Nuevamente se tomó la turbidez y el pH como parámetros dependientes.

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.

### 3. RESULTADOS

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 griseus*).

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

Se procedió a realizar los análisis de los parámetros establecidos, los cuales dieron como resultados los presentados en la Tabla 1. En esta Tabla se muestran los valores iniciales que tenía el agua residual doméstica en las pruebas que se realizaron con el coagulante Cardón Guajiro a una concentración del 5%.

**Tabla 1. Caracterización inicial del Agua Residual Domestica**

PARAMETRO	CARACTERIZACIÓN INICIAL	VALORES PERMISIBLES (RESOLUCIÓN 0631)
PH	5,35	6,00-9,00
TURBIDEZ	271 U. pH	Análisis y Reporte
SST	273,33 mg/L	100,00
DQO	176 mg O2/L	180,00
DBO5	116 mg O2/L	90,00

En la Tabla 1 se pueden observar los resultados de la caracterización inicial, los cuales muestran que la Demanda Química de Oxígeno 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 y la Demanda Biológica de Oxígeno se encuentran por encima de los límites establecidos por la ley, incumpliendo la normativa.

#### 3.2 ETAPA 2: Determinación del rango y dosis optimas del coagulante cactus cardón guajiro

##### 3.2.1 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 2 y 3. 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.

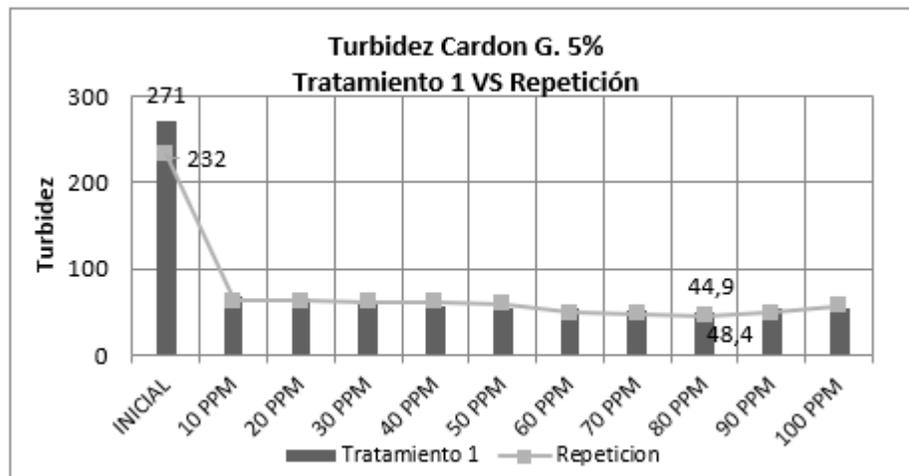
**Tabla 2. Turbidez Con Cardón Guajiro al 5%**

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

**Tabla 3. Turbidez Con Cardón Guajiro al 5%**

CORRIDA 1 PARAMETRO: TURBIDEZ (DOSIS ÓPTIMA)						
Tratamiento 1 Turbiedad inicial 271 NTU						
DOSIS (PPM)	60	70	80	90	100	Control
FINAL	54,4	52	48,8	53,4	54,5	142
%REMOCIÓN	79,93%	80,81%	82,14%	80,30%	79,89%	47,6%
Repetición Turbiedad inicial 232 NTU						
FINAL	49	47,2	44,9	48,4	56,3	90
%REMOCIÓN	80,48%	81,20%	82,11%	80,72%	77,57%	64,14%

En las Tablas 2 y 3 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.



**Gráfica 1. Turbidez Cardón Guajiro al 5%**



**Figura 1 : Turbidez Inicial obtenida en la Caracterización realizada al agua residual**



**Figura 2 : Turbidez Final de la dosis optima al realizar el tratamiento 1 (Cardon 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.

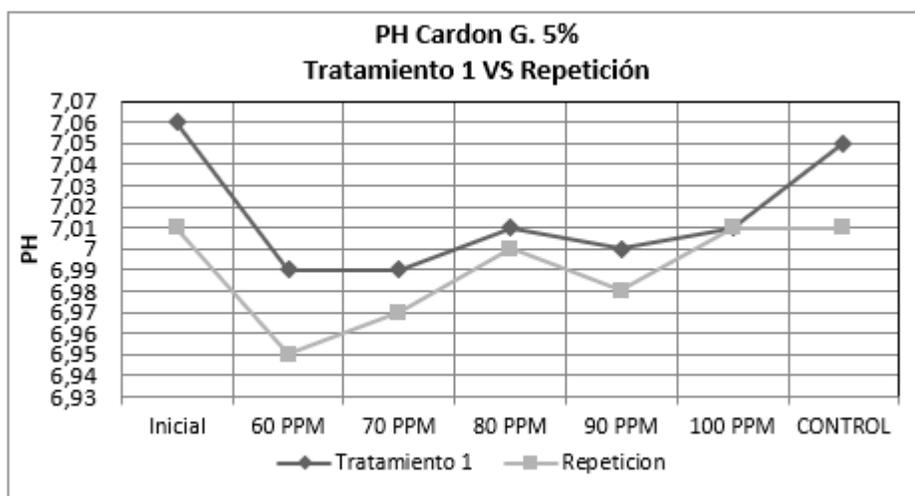
### **3.3 POTENCIAL HIDROGENADO (PH) AL 5%**

Tomando como referencia que en una concentración del 5% del coagulante Cardón Guajiro la corrida que dio el rango óptimo fue la 2 se procedió a realizarle el análisis del pH cuyos resultados están descritos en la Tabla 4. 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 4. PH Con Cardón Guajiro al 5%**

PARAMETRO: POTENCIAL HODRIGENADO (PH)						
Tratamiento 1: PH inicial 7,06 U. pH						
PPM	60	70	80	90	100	Control
PH FINAL	6,99	6,99	7,01	7,00	7,01	7,05
DIFERENCIA	-0,07	-0,07	-0,05	-0,06	-0,05	-0,01
Repetición: PH inicial 7,01 U. pH						
PH FINAL	6,95	6,97	7	6,98	7,01	7,01
DIFERENCIA	-0,06	-0,04	-0,01	-0,03	0,0	0,0

El agua residual domestica 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.



**Gráfica 2. Comportamiento del PH con Cardón Guajiro al 5%**

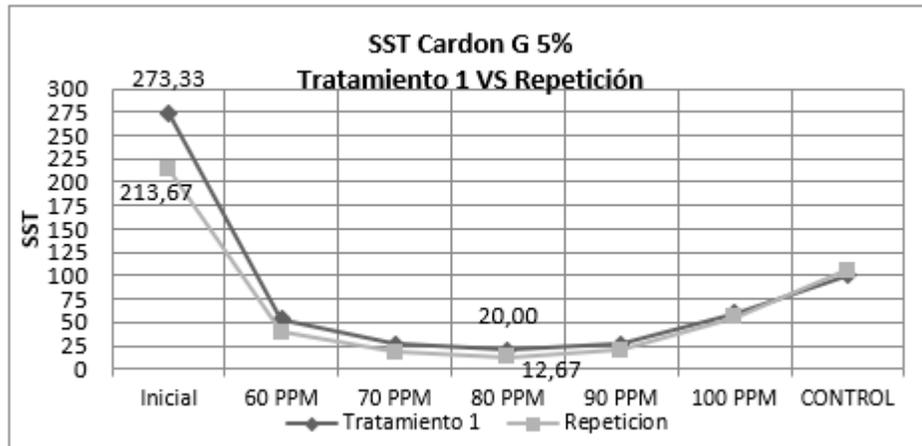
Luego de que se neutralizara el pH se le realizó el tratamiento aplicando las dosis de coagulante natural Cardón Guajiro para establecer el comportamiento de este. Como se observa en la gráfica 2, el pH se mantuvo neutro con resultados bastante cercanos a la inicial tanto en el tratamiento como en su respectiva repetición. Este comportamiento del pH es consecuente con los resultados obtenidos por [9]; los cuales se mantuvieron cercano a la neutralidad, así como se encontraba el agua residual al inicio.

### 3.4 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) AL 5%

Tomando como referencia que en una concentración del 5% del coagulante Cardón Guajiro la corrida que dio el rango y la dosis óptimos fue la 2 se procedió a realizarle las pruebas de SST cuyos resultados están descritos en la Tabla 5. 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 5. Comportamiento De Los SST Con Del Cardón Guajiro Al 5%

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)						
Tratamiento 1: SST inicial 273,33 mg/L						
PPM	60	70	80	90	100	Control
SST FINAL	53,33	26,67	20,00	26,67	60,00	100
%REMOCIÓN	80,49%	90,24%	92,68%	90,24%	78,05%	63,41%
Repetición: SST inicial 213,67 mg/L						
SST FINAL	40	18,33	12,67	20,33	55,67	105
%REMOCIÓN	81,28%	91,42%	94,07%	90,49%	73,95%	50,86%



Gráfica 3. Comportamiento de los SST con la aplicación del Cardón Guajiro al 5%



Figura 3. Peso de los SST iniciales obtenidos en la caracterización realizada al agua residual.

Como se puede observar en la Tabla 5 y la gráfica 3 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 óptima (80 PPM), ocurriendo este mismo comportamiento en la Turbidez.

Una de las características principales que posee las aguas residuales domesticas 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 domesticas eran de tipo sedimentable, lo que facilito 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 3-5 y también en las gráficas 1-3, 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 [10].

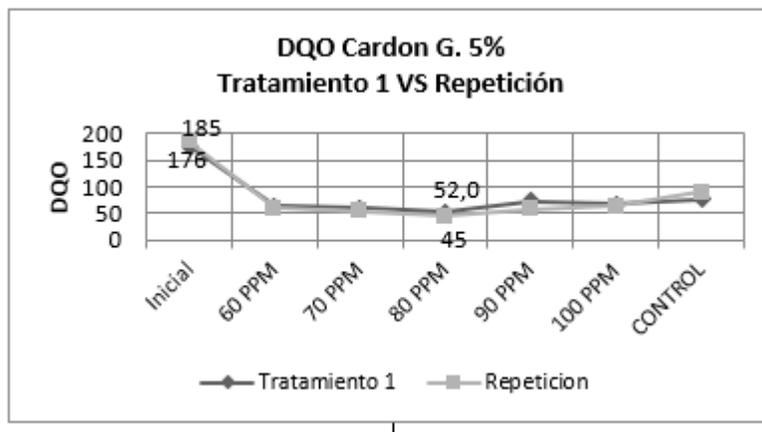
Otro punto a destacar es que la jarra control también cumple con los parámetros establecidos por la ley al estar en 100 mg/L teniendo una remoción alrededor del 63%. Analizando este resultado se puede llegar a la conclusión de que esto se debe a que, como se mencionó anteriormente, estas aguas residuales domesticas 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.

### 3.5 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 con la DQO están descritos en la Tabla 6. 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 6. DQO Con Cardón Guajiro al 5%**

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



**Gráfica 4. Comportamiento de la DQO con Cardón Guajiro al 5%**



Figura 4: Analisis de DQO realizadas a las muestras de agua tratadas con Cardon Guajiro al 5%

El comportamiento de la DQO es la típica curva de dosis óptima con excepción de la dosis de 100 PPM que disminuyó 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 1 y 75,69% en su respectiva repetición. Cabe resaltar que para no ser un agua tratada el agua del efluente 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 domestica está dentro del rango permitido por la ley.

### 3.6 DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO5) AL 5%

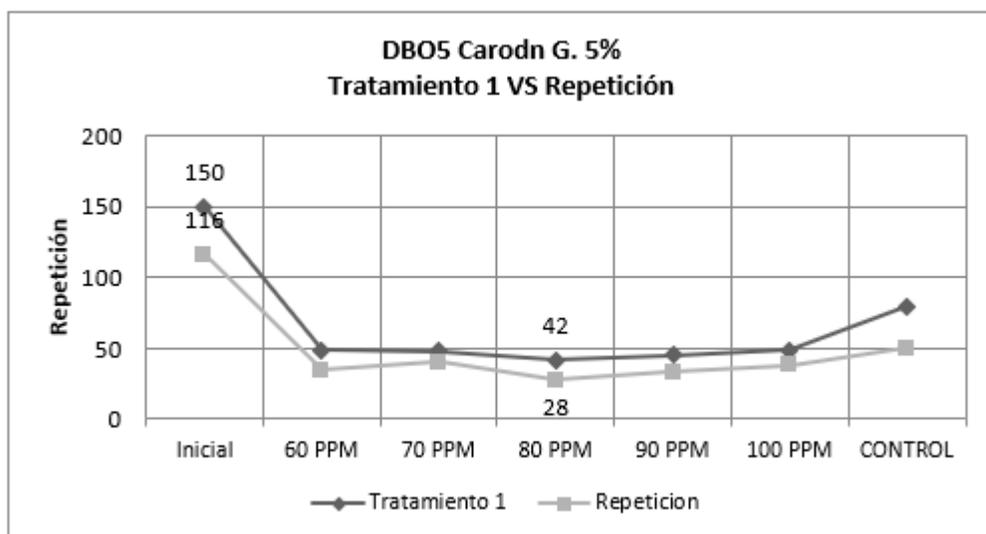
Los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras con el coagulante Cardón Guajiro en una concentración del 5% con relación a la DBO5 están descritos en la Tabla 7. En esta se muestran los valores iniciales y finales de DBO5 de cada una de las jarras y los porcentajes de remoción que alcanzaron en el tratamiento y su respectiva repetición.

Tabla 7. DBO5 Con Cardón Guajiro al 5%

DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO (DBO5)						
Tratamiento 1: DBO inicial 150 mg/L						
PPM	60	70	80	90	100	Control
DBO5 FINAL	49	48	42	45	49	80
%REMOCIÓN	67,33%	68%	72%	70%	67,33%	46,67%
Repetición: DBO inicial 116 mg/L						
DBO5 FINAL	35	40	28	33	38	50
%REMOCIÓN	69,83%	65,52%	75,86%	71,55%	67,24%	56,90%

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" [11]. La DQO es generalmente mayor que la DBO, pero la relación DQO y la DBO5 varía de las condiciones del agua. La relación normal de DBO5: DQO para las aguas residuales crudas es de 0.5:1.0. [12].

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 DBO5 esta levemente por encima del umbral, indicando que el agua no cuenta con una alta carga contaminante.



**Gráfica 5. Comportamiento de la DBO5 con el Cardón Guajiro al 5%**



**Figura 5: Análisis de DBO5 realizadas a las muestras de agua tratadas con Cardon Guajiro al 5%**

El comportamiento de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), 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 63,79%. 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 domestica presentó una relación  $DBO5 / DQO > 0,5$ , exactamente un valor de 0.66, 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 DBO5 se redujo alrededor del 50% con el simple hecho de someter el agua ha agitación rápida y lenta más un leve periodo de decantación.

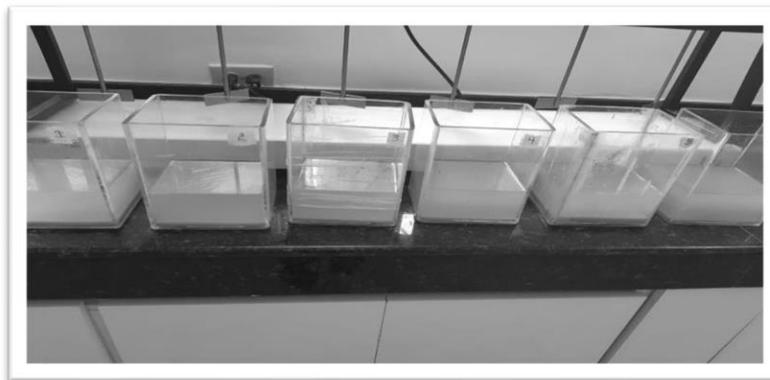
### **3.7 ETAPA 3: Caracterizar fisicoquímicamente los parámetros de Turbidez, PH, SST, DQO y DBO5.**

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 8.

**Tabla 8. Caracterización inicial del agua residual (Quitosano).**

PARAMETRO	CARACTERIZACIÓN INICIAL	VALORES PERMISIBLES (RESOLUCIÓN 0631)
PH	5,08	6,00-9,00
TURBIDEZ	4112 NTU	Análisis y Reporte
SST	31533,33 mg O2/L	100,00 mg O2/L
DQO	144 mg O2/L	180,00 mg O2/L
DBO5	100 mg O2/L	90,00 mg O2/L

En la Tabla 8 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 residual es acida. 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.



**Figura 6: Test de jarras de Coagulante Quitosano en una concentración del 1%**

### 3.7.1 Comportamiento de la Turbidez al 1%

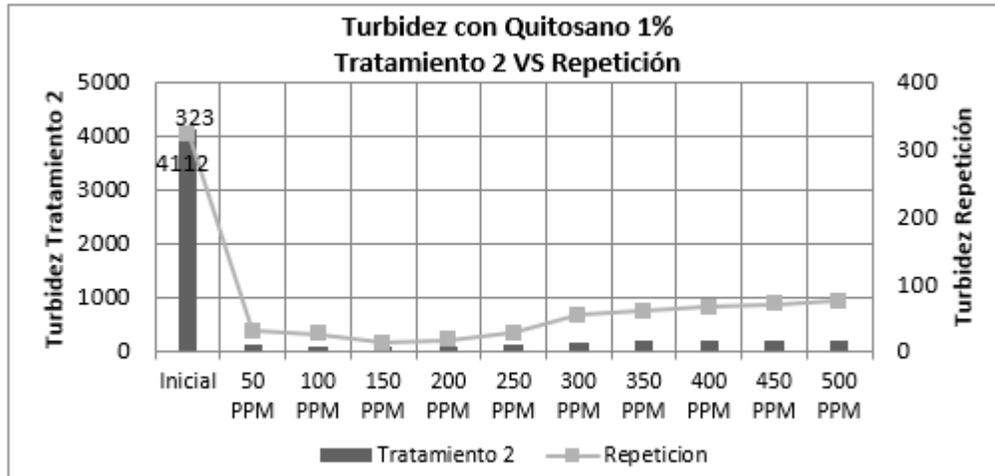
Los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras con el coagulante Quitosano en una concentración del 1% en relación con la turbidez están descritos en las Tablas 9 Y 10. En esta se muestran los valores iniciales y finales de dicho parámetro de cada una de las dosis y los porcentajes de remoción que alcanzaron el tratamiento y su respectiva repetición.

**Tabla 9. Turbidez con el Quitosano al 1%**

CORRIDA 1 PARAMETRO: TURBIDEZ						
Tratamiento 2: Turbiedad inicial 4112 NTU						
PPM	50	100	150	200	250	Control
NTU FINAL	136	75,4	66	100	117	463
%REMOCIÓN	96,69%	98,17%	98,39%	97,57%	97,15%	88,74%
Repetición Turbiedad inicial 323 NTU						
NTU FINAL	30	25	12	17	26	115
%REMOCIÓN	90,71%	92,26%	96,28%	94,74%	91,95%	64,40%

Tabla 101. Turbidez con el Quitosano al 1%

CORRIDA 2 PARAMETRO: TURBIDEZ						
Tratamiento 2: Turbiedad inicial 4112 NTU						
PPM	300	350	400	450	500	Control
NTU FINAL	161	181	183	190	210	320
%REMOCIÓN	96,08%	95,60%	95,55%	95,38%	94,89%	92,14%
Repetición Turbiedad inicial 323 NTU						
NTU FINAL	53	59	65	70	74	122
%REMOCIÓN	83,59%	81,73%	79,88%	78,33%	77,09%	62,23%



Gráfica 6. Comportamiento de la Turbidez al aplicarle el Quitosano al 1%



Figura 7: Turbidez Inicial obtenida en la Caracterización realizada al agua residual



**Figura 8: Turbidez Final de la dosis optima al realizar el tratamiento 2 (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 optimo, porcentajes de remoción por encima del 95% en el tratamiento y de 90% en la repetición. Como se puede apreciar en la gráfica 6, 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, 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 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 (optima) 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 optima (Jarra 3) con una turbidez de 66 NTU, podremos ver que existe una reducción del 85,75% de Turbidez entre la jarra optima y la jarra control, a la cual no se le aplico ninguna dosis de coagulante, comprobando que el coagulante natural Quitosano tiene una eficiencia en cuanto a la eliminación de turbidez por encima del 80%.

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

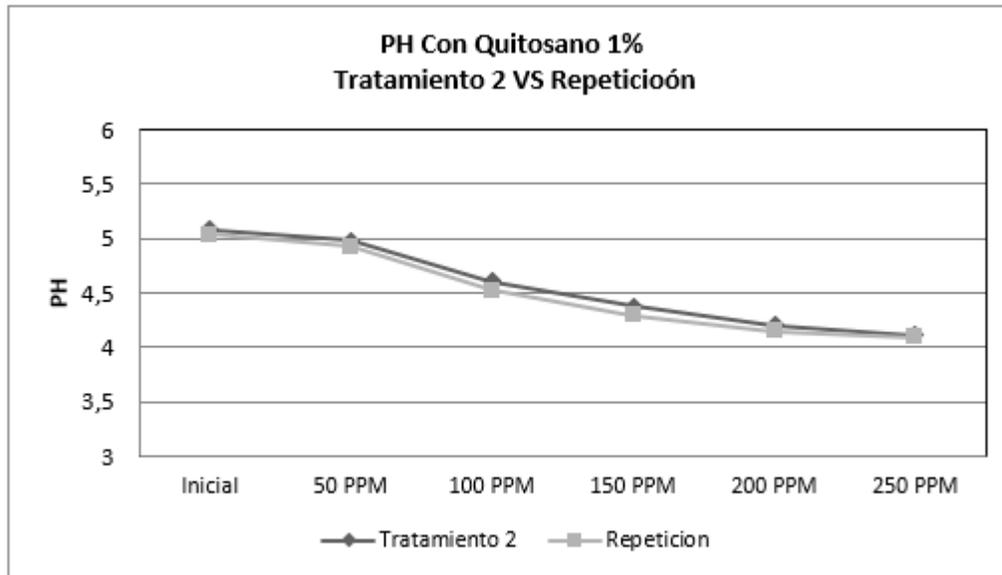
Los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras con el coagulante Quitosano en una concentración del 1% en relación con el pH están descritos en la Tabla 11. En esta se muestran los valores iniciales y finales de dicho parámetro de cada una de las dosis y diferencia que alcanzaron el tratamiento y su respectiva repetición.

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

PARAMETRO: PH QUITOSANO						
Tratamiento 2: PH inicial 5,08 U. pH						
PPM	50	100	150	200	250	Control
PH FINAL	4,98	4,61	4,38	4,20	4,11	5,01
DIFERENCIA	-0,10	-0,47	-0,70	-0,93	-0,97	-0,07
Repetición: PH inicial 5,04 U. pH						
PH FINAL	4,93	4,52	4,30	4,15	4,09	5,02
DIFERENCIA	-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 11, 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 residual 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.



**Gráfica 7. Comportamiento del PH al aplicarle el coagulante Quitosano**



**Figura 9: : PH obtenido en la caracterización realizada al 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.

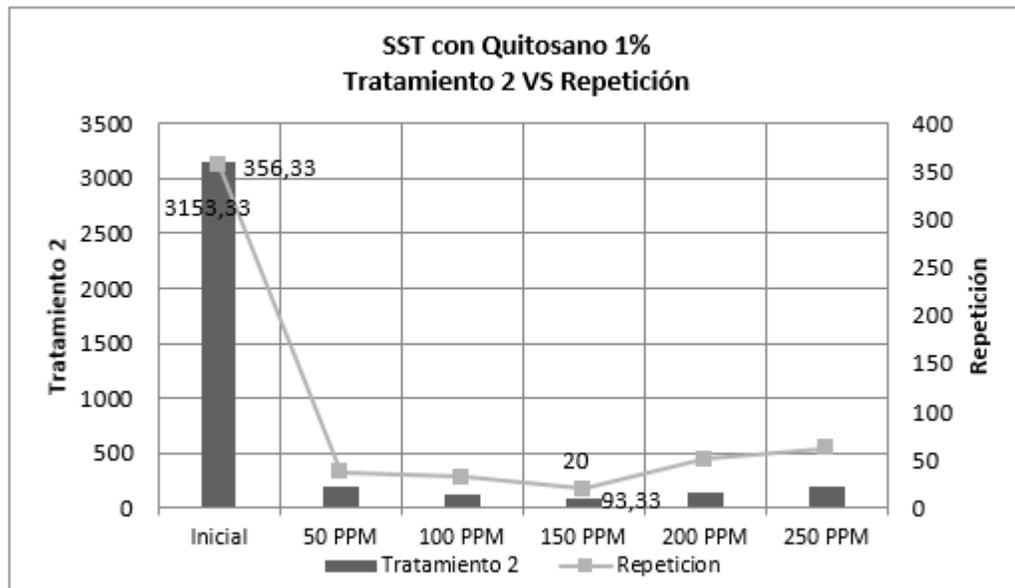
En contraste en lo ocurrido con las jarras a las que se les adicionó una concentración de coagulante, se puede apreciar que la jarra control se mantuvo cercano al pH inicial continuando el patrón de comportamiento del agua residual cuando no se le agrega un coagulante, sino que se le hace solamente el 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.

### **3.7.3 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 12. 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 123. SST con el Quitosano al 1%

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)						
Tratamiento 2: SST inicial 3153,33 mg/L						
PPM	50	100	150	200	250	Control
SST FINAL	186,67	120,00	93,33	140,00	193,33	600,00
%REMOCIÓN	94,08%	96,19%	97,04%	95,56%	93,87%	80,97%
Repetición: SST inicial 356,33 mg/L						
SST FINAL	37,33	32,33	20	51,33	62,33	124,33
%REMOCIÓN	89,52%	90,93%	94,39%	85,50%	82,51%	65,11%



Gráfica 8. Comportamiento de los SST al aplicarle el Quitosano al 1%

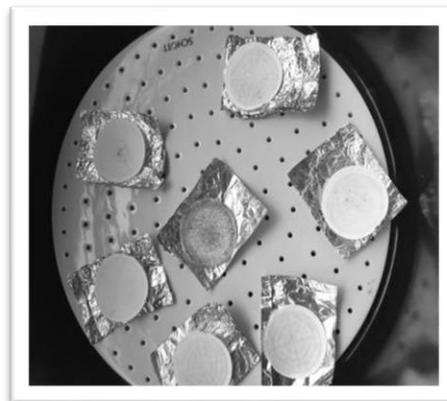


Figura 10: SST de cada una de las jarras donde se aplico el tratamiento 2 (Quitosano al 1%)

Como se puede apreciar en la Tabla 12 y gráfica 8, el contenido de sólidos suspendidos totales del agua residual con la que se realizó esta prueba está 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 evitó 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 evidenció 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 NTU y como resultado final el descrito por la jarra óptima (93,33 NTU). 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 le 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.

### 3.7.4 DEMANDA QUIMICA DE OXÍGENO (DQO) QUITOSANO AL 1%

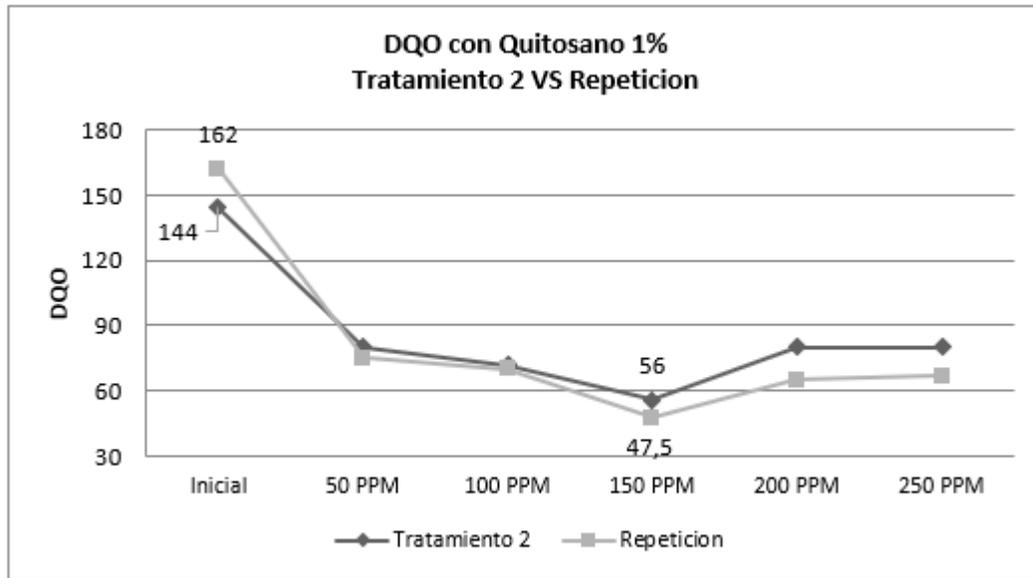
Los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras con el coagulante Quitosano en una concentración del 1% en relación con la DQO están descritos en la Tabla 13. En esta se muestran los valores iniciales y finales de DQO de cada una de las jarras y los porcentajes de remoción que alcanzaron el tratamiento y su respectiva repetición.

**Tabla 13. DQO con el Quitosano al 1%**

DQO QUITOSANO						
Tratamiento 2: DQO inicial 144 mg/L						
PPM	50	100	150	200	250	Control
DQO FINAL	80	72	56	80	80	88
%REMOCIÓN	44,44%	50,00%	61,11%	44,44%	44,44%	38,89%
Repetición: DQO inicial 162 mg/L						
FINAL	75	70	47,5	65	67	91
%REMOCIÓN	53,70%	56,79%	70,68%	59,88%	58,64%	43,83%



**Figura 11: Análisis de DQO realizado a las muestras tratadas con el Quitosano al 1%**



**Gráfica 92. Comportamiento de la DQO al aplicarle el Quitosano al 1%**

Continuando el patrón mostrado en las pruebas realizadas con anterioridad, las aguas residuales domesticas 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.

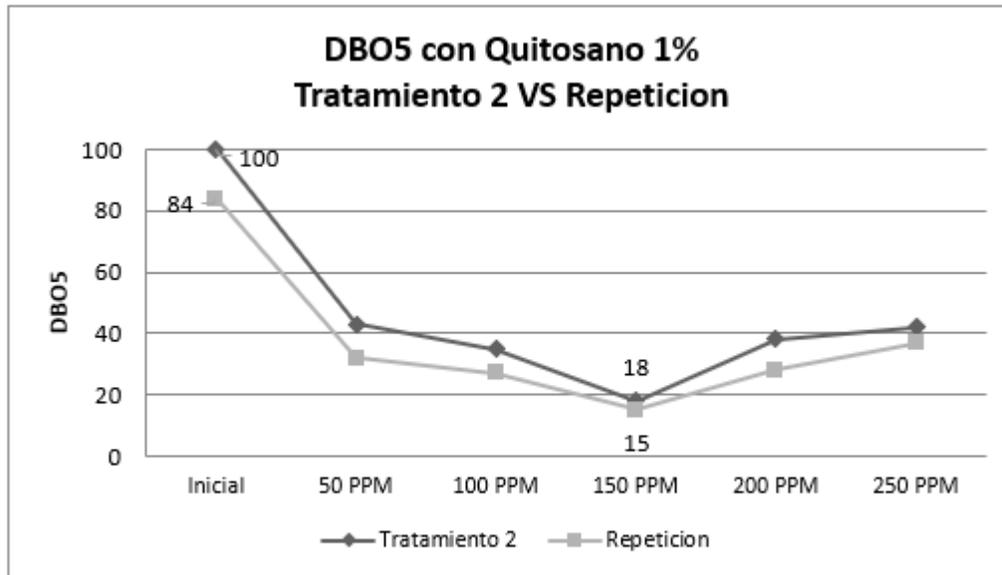
Como era de esperarse el porcentaje máximo de eliminación de DQO se dio en la jarra 3 donde dio la curva de máximo rendimiento bajando el parámetro de 144 mg/L de DQO a 56 mg/L de DQO mostrando un porcentaje del 61,11% de eliminación de DQO. Las demás concentraciones de coagulantes que fueron adicionadas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

### 3.7.5 DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO5) AL 5%

Los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras con el coagulante Quitosano en una concentración del 1% con relación a la DBO5 están descritos en la Tabla 14. En esta se muestran los valores iniciales y finales de DBO5 de cada una de las jarras y los porcentajes de remoción que alcanzaron.

**Tabla 14. DBO5 Con Quitosano al 1%**

DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO (DBO5)						
Tratamiento 2: DBO inicial 100 mg/L						
PPM	50	100	150	200	250	Control
DBO5 FINAL	43	35	18	38	42	58
%REMOCIÓN	57%	65%	82%	62%	58%	42%
Repetición: DBO inicial 84 mg/L						
DBO5 FINAL	43	35	15	38	42	58
%REMOCIÓN	57%	65%	82%	62%	58%	42%



Gráfica 10. Comportamiento de la DBO5 al aplicarle el Quitosano al 1%



Figura 12: DBO5 final de la dosis optima en el agua residual tratada con quitosano al 1%

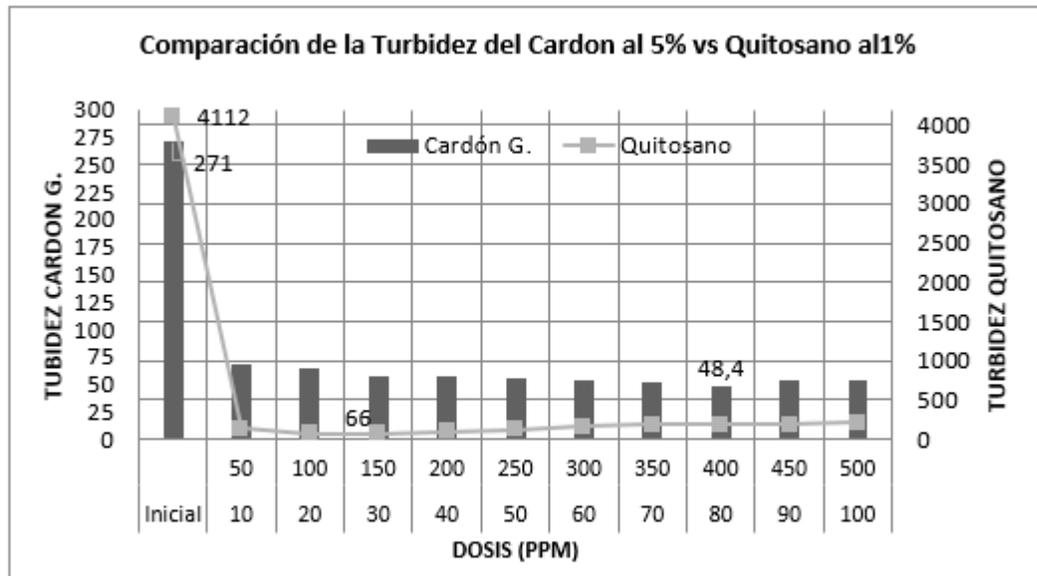
### 3.8 ETAPA 4: COMPARACIÓN DE LOS COAGULANTE CARDÓN GUAJIRO Y EL QUTOSANO.

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 domésticas. A continuación, se presentarán los resultados obtenidos por la dosis óptima de cada coagulante con sus respectivos porcentajes de remoción.

Tabla 15. Comparación de eficiencia entre los coagulantes Cardón Guajiro y el Quitosano

Parámetro	Inicial	Cardón G. (5%)	%Remoción	Inicial	Quitosano	%Remoción
TURBIDEZ (NTU)	271	48,4	82,14%	4112	66	98,39%
PH	7,06	6,99	0,85%	5,08	4,38	13,78%
SST (mg/L)	273,33	26,67	92,68%	3153,33	93,33	97,04%
DQO (mg/L)	176	52	70,45%	162	56	70,68%
DBO5 (mg/L)	150	42L	72%	100	18	82%

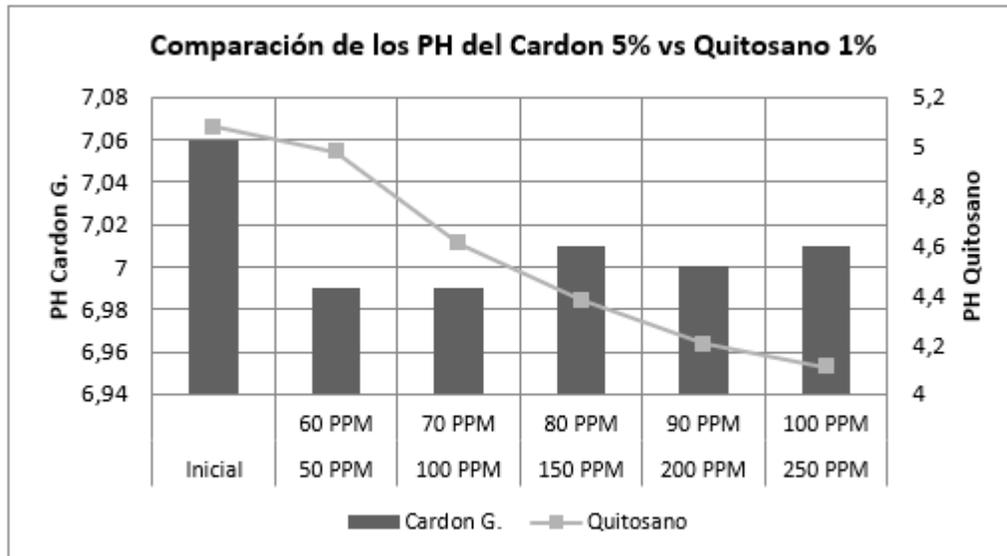
Analizando individualmente cada uno de los parámetros de estudio se puede observar que los resultados alcanzados por ambos coagulantes respecto a la turbidez, podemos inferir que los resultados finales del Cardón Guajiro, aunque dieron más bajos, el porcentaje de remoción del Quitosano fue mejor. Cabe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



Gráfica 31. 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 domesticas 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 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.

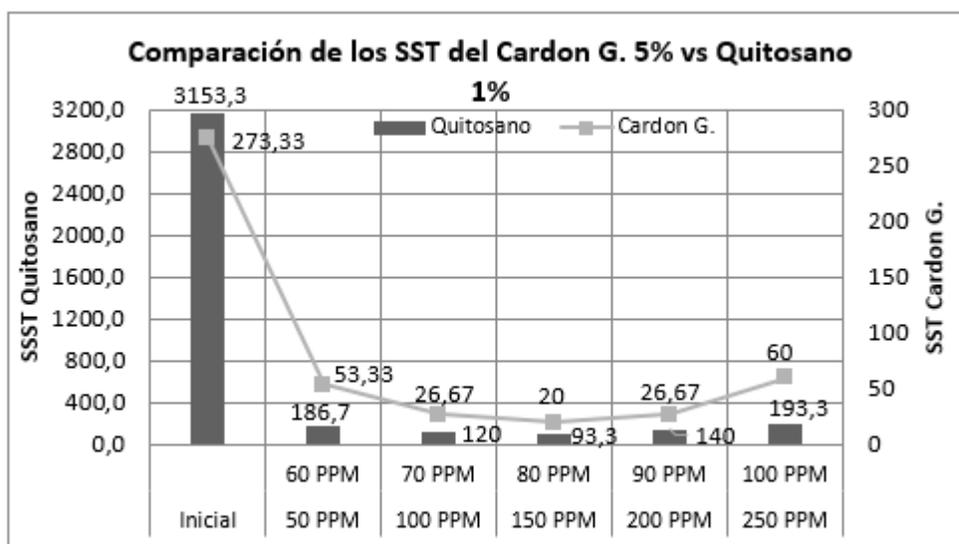
Con respecto al pH, las pruebas que se le realizaron al agua que se le aplicó el Cardón Guajiro fueron previamente neutralizadas utilizando Hidróxido de sodio al 0,1 N debido a que este coagulante tiene mejor rendimiento en cuanto a la eliminación de las variables de estudio en un pH neutro. En el caso 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.



**Gráfica 12. Comparación del PH en el Cardón Guajiro 5% VS Quitosano 1%**

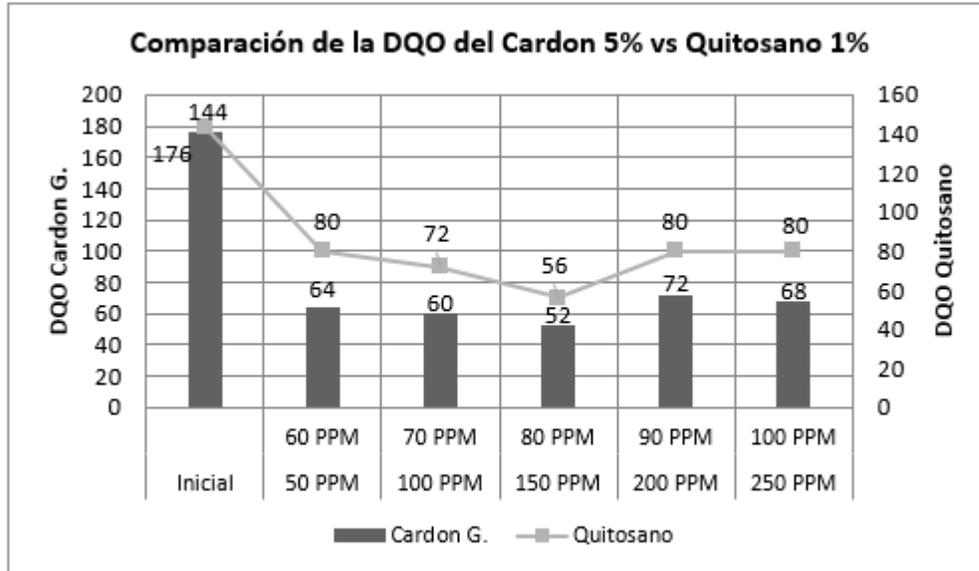
Analizando los Resultados alcanzados por ambos coagulantes respecto al pH podemos afirmar que específicamente en este tipo de agua aparentaría ser más rentable aplicar el coagulante Quitosano ya que no se le debe aplicar ningún agente químico al agua para que remueva eficientemente, sino que simplemente 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 lo cual 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 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 Quitosano. Aunque se tendría que utilizar más el agente neutralizante en el caso del Quitosano porque al disminuir más el pH del agua se tendría que adicionar más Hidróxido.



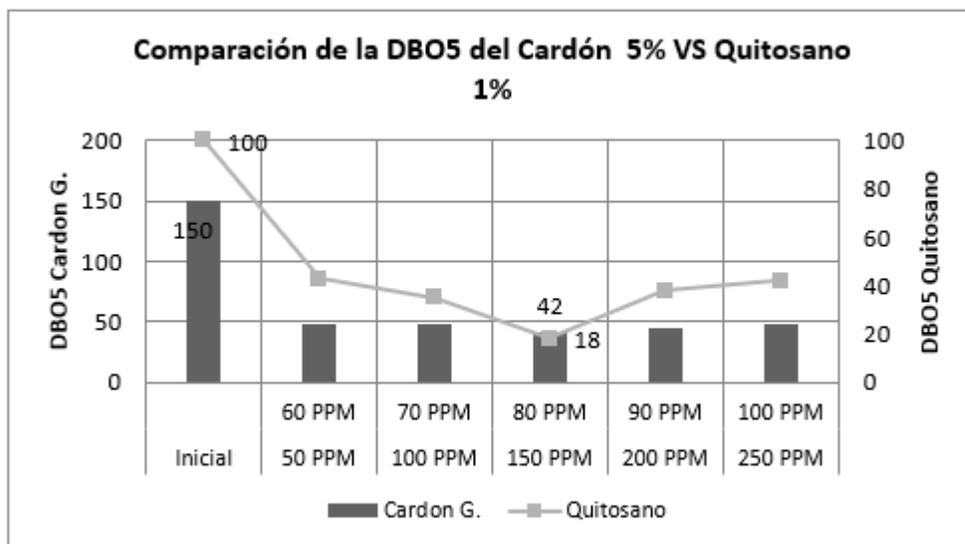
**Gráfica 13. Comparación de los SST del Cardón Guajiro 5% VS Quitosano 1%**

En cuanto a los sólidos suspendidos totales los porcentajes de remoción son relativamente similares entre el Cardón Guajiro y el Quitosano, 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 Quitosano 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%.



Gráfica 14. Comparación de la DQO del Cardón Guajiro 5% VS Quitosano 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 Quitosano que obtuvo un 61,11%. Cabe destacar que este es el único parámetro en que el Cardón Guajiro es superior al Quitosano, 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 Quitosano.



### Gráfica 15. Comparación de la DBO5 del Cardón Guajiro 5% VS Quitosano 1%

Por último, Ambos coagulantes tuvieron muy buenos resultados en cuanto a la supresión de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO5 donde nuevamente el coagulante Quitosano mostro mejor porcentaje de rendimiento con un 82% de remoción.

### 3.9 COMPARACIÓN 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 domésticas. A continuación, se presentarán los resultados obtenidos por la dosis óptima de cada coagulante con sus respectivos porcentajes de remoción.

**Tabla 16. Comparación de los coagulantes VS la Resolución 0631 del 2015 (Agua Residual Domestica).**

PARAMETRO	CARDÓN GUAJIRO 5%	QUITOSANO AL 1%	LIMITES MÁXIMOS 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
DBO5	42 mg/L	18 mg/L	90,00 mg/L

Analizando los datos expuestos en la Tabla 16, se puede constatar que los resultados obtenidos por el coagulante 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 16, 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 Guatapuri 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 Agua residual 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 disminuyo aún más haciendo el agua más acida, incumpliendo los límites establecidos por la ley.

## 4. DISCUSION

Se pudo observar que en la caracterización inicial de la muestra de agua residual domestica que la DQO se encontró dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la ley en la resolución 0631 del 2015, mientras que los demás parámetros se encontraron por encima o por debajo de estos rangos, debido a estos resultados se requirió la evaluación de nuevas metodologías que fueran

eficientes y amigables con el medio ambiente para la mejorar la calidad del efluente para su disposición final al alcantarillado público y cuerpos de aguas naturales.

Al realizar la prueba de jarras con el coagulante cardón guajiro y el Quitosano se observó una alta remoción de turbidez 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.

Con respecto al pH se pudo evidenciar que el agua residual tiene un pH ácido por lo cual se tuvo que neutralizar aplicándole Hidróxido de sodio al 0,02N y después de aplicarle el tratamiento con cardón guajiro, en cambio, para el tratamiento con Quitosano no se tuvo que neutralizar el agua ya que su mayor rendimiento se ha demostrado que es en aguas con PH ácido, para el cardón guajiro este se mantuvo en los rangos de neutralidad, Este comportamiento del pH es consecuente con los resultados obtenidos por [4], los cuales se mantuvieron cercanos a la neutralidad, así como se encontraba el agua residual al inicio. Para el Quitosano 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

Una de las características principales que posee las aguas residuales 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 eran de tipo sedimentable, lo que facilitó la remoción tanto de sólidos suspendidos como la supresión de turbidez, mostrando que entre más alta sea la remoción de sólidos suspendidos mejor será el porcentaje de remoción de la turbidez.

En lo resultados obtenidos de DQO cabe resaltar que para no ser un agua tratada el agua del efluente 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 está dentro del rango permitido por la ley.

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” [5].

La DQO es generalmente mayor que la DBO, pero la relación DQO y la DBO5 varía de las condiciones del agua. La relación normal de DBO5: DQO para las aguas residuales crudas es de 0.5:1.0. [6] 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 DBO5 esta levemente por encima del umbral, indicando que el agua no cuenta con una alta carga contaminante.

## 5. CONCLUSIONES

Las Características iniciales que posee el agua residual domestica muestran una particularidad, ya que al menos en las muestras de agua con que se realizaron las pruebas, mantiene una DQO y DBO5 bajas, tanto así, que la DQO se encuentra dentro de los límites máximos permisibles y la DBO5 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 doméstica 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 optima en 80 mg/L mientras que el rango óptimo del coagulante Quitosano estuvo entre 50 mg/l y 250 mg/L teniendo una dosis optima 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 DBO5. 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 DBO5.

Luego de la aplicación del coagulante 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 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.

## 6. AGRADECIMIENTOS

## 7. REFERENCIASBIBLIOGRAFIAS

[1] 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)

[2] 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)

[3] 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>.

[4] IDEAM, (2007). DEMANDA BIOQUÌMICA DE OXÌGENO 5 días, INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÌA 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>.

[5] IDEAM, (2007). DEMANDA QUÌMICA DE OXÌGENO 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>

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

- [7] 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>
- [8] 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>
- [9] 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
- [10] Amaro, A. (2015). Instrumentación Básica de una EDARU. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/288499011.pdf>
- [11]Lozano, W., (2012). Fundamentos de diseños de plantas depuradoras de aguas residuales. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/298354134\\_Diseño\\_de\\_Plantas\\_de\\_Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales](https://www.researchgate.net/publication/298354134_Diseño_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales)
- [12] 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>