

# Uso de quitosano como coagulante y floculante en el tratamiento de aguas residuales provenientes de plantas de pegamento y pintura

## Use of chitosan as a coagulant and flocculant in the treatment of wastewater from glue and paint plants

Diliana Capitillo-Maita<sup>1</sup>  
Jimmy Castillo-Rivas<sup>2</sup>  
José Gil-Álvarez<sup>3</sup>  
Tony Pérez-Torres<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Central de Venezuela (Venezuela). Correo electrónico: [diliana.capitillo.ucv@gmail.com](mailto:diliana.capitillo.ucv@gmail.com)  
orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9740-0507>

<sup>2</sup>Universidad Central de Venezuela (Venezuela). Correo electrónico: [castijimmy@gmail.com](mailto:castijimmy@gmail.com)  
orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6038-1074>

<sup>3</sup>Couttenye & Co. (Venezuela). Correo electrónico: [joseantoniogil@couttenye.com.ve](mailto:joseantoniogil@couttenye.com.ve)  
orcid: <https://orcid.org/0009-0006-8524-5585>

<sup>4</sup>Couttenye & Co. (Venezuela). Correo electrónico: [tperez@couttenye.com.ve](mailto:tperez@couttenye.com.ve)  
orcid: <https://orcid.org/0009-0008-6251-074X>

Recibido: 31-03-2023 Aceptado: 06-06-2023

**Cómo citar:** Capitillo-Maita, Diliana; Castillo-Rivas, Jimmy; Gil-Álvarez, José; Pérez-Torres, Tony (2023). Uso de quitosano como coagulante y floculante en el tratamiento de aguas residuales provenientes de plantas de pegamento y pintura. *Informador Técnico*, 87(2), 120-132. <https://doi.org/10.23850/22565035.5559>

## Resumen

La condición de disminuir el impacto negativo en el medio ambiente, y en especial en las fuentes de agua naturales, causado por las industrias, justifica que el tratamiento de las aguas industriales sea un proceso de vital importancia dentro de las actividades de funcionamiento de las empresas. Es por esto que se propone como objetivo en esta investigación, la utilización de quitosano como coagulante y floculante, para tratar las aguas industriales generadas en los procesos de producción de pintura y pegamento de una empresa del ramo, con el fin de proponer un proceso ambientalmente sostenible. Las evaluaciones de indicadores relacionados con el tratamiento de aguas industriales, haciendo uso del quitosano para promover el proceso de coagulación y floculación, permiten inferir que el proceso es acertado, y los valores obtenidos de pH, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales disueltos (STD) y sólidos totales suspendidos (STS) obtenidos muestran que son aptas para ser desechadas en la red cloacal interna, además de cumplir con las regulaciones establecidas en Venezuela, pues se obtienen aguas postratamiento con valores de pH entre 6,8-7,5, una reducción del DQO de alrededor del 85 %, y STD y STS de aproximadamente 90 %, que reducen considerablemente los efectos negativos de los diversos componentes involucrados en los procesos productivos de la empresa.

**Palabras clave:** coagulante natural; floculante natural; quitosano; procesos sostenibles; tratamiento de aguas industriales.

## Abstract

The condition of reducing the negative impact on the environment and especially on natural water sources, caused by industry, justifies that the treatment of industrial water is a process of vital importance within the operating activities of companies, which is why it is proposed as an objective in this research, the use of chitosan as a coagulant and flocculant, to treat industrial water generated in the production processes of paint and glue of a company in the industry, in order to propose an environmentally sustainable industrial water treatment process. The evaluations of indicators related to the treatment of industrial water using chitosan to promote the coagulation and flocculation process allow inferring that the process is successful, and the values obtained for pH, chemical oxygen demand (COD), total dissolved solids (TDS), and total suspended solids (TSS) are suitable for disposal in the internal sewage system. The post-treatment water obtained has pH values between 6.8-7.5, COD reduction of about 85 %, and STD and STS reduction of about 90 %, considerably reducing the negative effects of the various components involved in the company's production processes and making it suitable for disposal into the sewage system.

**Keywords:** industrial water treatment; chitosan; sustainable processes; natural coagulant; natural flocculant.

## 1. Introducción

El acceso al agua potable constituye un derecho fundamental del ser humano, puesto que es un recurso básico para todas las actividades del hombre, en especial en el sector industrial, puesto que se ha convertido en una materia prima vital para los procesos productivos, y es por esta razón que la mayor parte de las inversiones por parte de la industria comprenden tanto el suministro y abastecimiento de agua como su posterior saneamiento, lo que produce un beneficio económico neto. Por otro lado, el desarrollo muy marcado de normativas medioambientales en las últimas décadas ha producido un fuerte impulso para desarrollar tratamientos alternativos de aguas residuales. Los procesos de tratamiento de efluentes industriales o urbanos convencionales (que contienen sustancias tanto minerales como orgánicas) implican varias estrategias, dependiendo de la naturaleza de los contaminantes (iones metálicos, tintes, compuestos farmacéuticos, entre otros), el interés por el reciclaje (y/o la valorización de los subproductos del tratamiento) y la toxicidad de las grandes cantidades de lodo contaminados obtenidos en los procesos de precipitación que son utilizados (Saritha *et al.*, 2012; Desbrières; Guibal, 2018; Henze, 2017).

Con el fin de mejorar el acceso al agua de la población actual, se ha desarrollado una gran variedad de tecnologías para mejorar la calidad del agua. Estas tecnologías, según su metodología de tratamiento, se dividen en tres categorías principales: métodos físicos, químicos y biológicos, donde los procesos de coagulación-floculación, entre los métodos físicos, son los más utilizados. Para ellos se emplean numerosos agentes coagulantes y floculantes en la potabilización de las aguas crudas para el consumo humano o en el tratamiento de aguas residuales e industriales, que son en su mayoría de origen sintético, como, por ejemplo, el sulfato de aluminio o alumbre, el cual es el agente coagulante más usado en las plantas de tratamiento debido a su demostrada efectividad y menor costo. Sin embargo, algunos estudios han reportado que el aluminio residual podría inducir enfermedades neurológicas, además el uso de polímeros sintéticos como las poliamidas también puede causar daños al medio ambiente a largo plazo, debido a los lodos obtenidos. Por este motivo, es necesario llevar a cabo investigaciones que propongan la búsqueda de coagulantes y floculantes de origen natural, que puedan ser tan efectivos como los usados de manera convencional, pero un más seguros para la salud del ser humano, además el proceso debe ser competitivo y, en la medida de lo posible, ser consistente con los requisitos para un crecimiento sostenible (Saritha *et al.*, 2012; Desbrières; Guibal, 2018; Henze, 2017; Nimesha *et al.*, 2022; Cevallos *et al.*, 2022; Xu *et al.*, 2021; Moussian, 2019; Hossain *et al.*, 2018; Desbrières; Guibal, 2018; Abu Hassan *et al.*, 2009).

Entre estas alternativas destaca el quitosano, el cual es un amino-biopolímero que puede ser utilizado en los procesos de tratamiento del agua para la eliminación de contaminantes disueltos y en partículas. En particular, el desarrollo de esta tecnología a base de quitosano como coagulante y floculante puede convertirse en un área de crecimiento y desarrollo en el ámbito del tratamiento de aguas, tanto residuales como industriales. Sus propiedades de coagulación y floculación pueden utilizarse para eliminar partículas inorgánicas u orgánicas en suspensión, así como sustancias orgánicas disueltas (Hossain *et al.*, 2018; Desbrières; Guibal, 2018; Abu Hassan *et al.*, 2009; Renault *et al.*, 2009).

## 2. Marco teórico

En general, el acelerado crecimiento poblacional y la deficiente eliminación de residuos han causado una inminente crisis del agua, lo que hace necesario su tratamiento después de ser utilizada, a través de la remoción de contaminantes por una amplia variedad de métodos, pero uno de los enfoques más simples y de mayor versatilidad involucra la coagulación-floculación. Para ello, se utilizan diversos coagulantes de origen inorgánico y floculantes sintéticos obtenidos a partir de materias primas derivadas del petróleo, los cuales no siempre son seguros ni respetuosos con el medio ambiente. En la actualidad existe un progresivo y creciente interés por desarrollar alternativas naturales a los polielectrolitos sintéticos, que sean tan eficientes como ellos, pero más amigables con el ambiente (Bhalkaran; Wilson, 2016; Renault *et al.*, 2009; Nimesha *et al.*, 2022; Cevallos *et al.*, 2022; Xu *et al.*, 2021; Moussian, 2019; Hossain *et al.*, 2018; Desbrières; Guibal, 2018; Abu Hassan *et al.*, 2009).

En este sentido, los coagulantes naturales como el quitosano presentan diversas ventajas, como su biodegradabilidad y no toxicidad, que lo hacen una alternativa natural ideal para ser utilizado en el tratamiento de aguas residuales e industriales con excelentes resultados. Sin embargo, el uso industrial de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales es limitado. Esto se debe principalmente al costo de procesamiento y la consistencia del rendimiento de los compuestos extraídos de fuentes naturales, donde el quitosano es una promesa en el campo del tratamiento de aguas residuales e industriales. Por otro lado, también es una opción viable como posible floculante de origen natural (Vargas; Romero, 2006; Nimesha *et al.*, 2022; Daud *et al.*, 2015), evitando así el uso de floculantes sintéticos minimizando los daños ambientales y obteniendo aguas postratamientos con gran calidad.

El quitosano es un biopolímero constituido por monómeros de glucosamina y la acetilglucosamina asociados a través de los enlaces  $\beta$  (1  $\rightarrow$  4) (Figura 1). Se obtiene mediante la desacetilación de la quitina. Este amino-polisacárido presenta propiedades únicas entre los biopolímeros que son catiónicos en soluciones ácidas, debido a la presencia de las funciones de amina con un valor pKa en el rango de 6,0-6,7, dependiendo del grado de desacetilación, el cual es definido generalmente como la relación entre el número de grupos de glucosamina y el número total de grupos de N-acetilglucosamina (GlcNAc) y de glucosamina (GlcN), por lo que esta medida es el parámetro descriptivo más importante del quitosano, que es soluble en ácidos y soluciones de ácidos fuertes en baja concentración, esto se debe a que la proporción de glucosamina es mayor que la N-acetilglucosamina, aumentando así su solubilidad. Entonces, el hecho de que el quitosano se protona en medio ácido, le permite comportarse como un polielectrolito catiónico típico (Figura 2).

Esta propiedad catiónica es la base de sus interesantes propiedades de intercambio de iones y su solubilidad, y le confiere un buen rendimiento como floculante, incluyendo una eficiente neutralización de cargas y efectos puente, permitiendo el tratamiento de diversos contaminantes en el agua, ya que la mayoría de ellos tienen una carga superficial negativa, por lo que el quitosano puede actuar como coagulante, floculante, coagulante auxiliar, y como componente en compuestos floculantes para tratar eficientemente aguas residuales que contienen diferentes tipos de contaminantes inorgánicos, orgánicos y biológicos, disueltos y no disueltos, incluyendo sólidos en suspensión, metales pesados, ácido húmico, tintes, algas y bacterias.

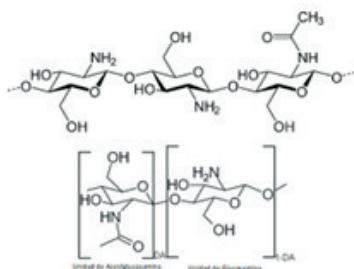


Figura 1. Estructura general del quitosano. (DA: grado de desacetilación)

Fuente: elaboración propia.

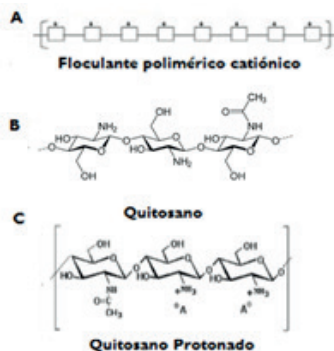


Figura 2. Comparación de las estructuras de A: floculante polimérico sintético (cada cuadro representa el monómero cargado de la cadena polimérica), B: quitosano, C: quitosano protonado

Fuente: elaboración propia.

En líneas generales, el proceso de coagulación depende principalmente de las características del agua cruda y de las partículas presentes en la misma, donde las de tipo coloidal, las sustancias húmicas y algunos microorganismos presentan una carga negativa en el agua, lo cual impide la aproximación de estas. En el tratamiento del agua será necesario alterar esta fuerza iónica mediante la adición de sustancias que promuevan el fenómeno de la coagulación, por lo que la eficiencia del proceso se verá afectada por la concentración de coloides (que puede apreciarse por el color presente en el agua), y en el caso del quitosano, este presenta la habilidad de comportarse como un coagulante capaz debido a que se convierte en un típico polielectrolito catiónico cuando sus grupos amino son protonados en un medio acuoso, lo que permite su interacción con las cargas superficiales negativas que se encuentran en la mayoría de los contaminantes, a través de los efectos de neutralización de las cargas, fomentando así la coagulación, la cual será posteriormente complementada con los procesos de floculación, sedimentación y filtrado.

Por otro lado, la biofloculación mediante quitosano es muy semejante a la floculación clásica, y esta consiste en combinar partículas insolubles y materia orgánica disuelta en agregados mayores que serán eliminados en etapas posteriores de sedimentación y filtración, en líneas generales, el proceso con quitosano parte de que las cadenas del biopolímero desestabilizan las partículas suspendidas y coloidales en las aguas residuales mediante la formación de microfloculos en la etapa de coagulación. A continuación, los microfloculos se agregan en la floculación, que requiere una agitación que provoca que las partículas se aglutinen, permitiendo así la formación del floculo que sedimenta. Pero el rendimiento y eficacia final del quitosano como floculante estará determinado por su estructura (Desbrières; Guibal, 2018; Struszczyk, 2002; Giraldo, 2015; Lichtfouse *et al.*, 2019; Yang *et al.*, 2016).

Lo anterior debido a que los grupos amino activos (-NH<sub>2</sub>) en la molécula de quitosano pueden ser protonados en el agua, convirtiéndolo en un polielectrolito catiónico, haciendo que la molécula adquiera la capacidad de atracción estática y por ende de absorción. Por otro lado, el quitosano también puede flocular, generando partículas más grandes que se depositan o sedimentan, por lo que el quitosano puede utilizarse

eficazmente para eliminar los contaminantes orgánicos (DQO) y los sólidos suspendidos (SS) en el tratamiento de aguas. En comparación con los floculantes químicos tradicionales, el quitosano tiene ventajas como una velocidad de sedimentación más rápida, y una mayor eficiencia removiendo el DQO, los SS y los iones metálicos, además los lodos generados postratamiento pueden ser más fáciles de deponer que los lodos convencionales, disminuyendo la contaminación. Sin embargo, el quitosano, como floculante para el tratamiento del agua, tendrá un costo mayor que el de los floculantes químicos tradicionales (Zeng *et al.*, 2008; Lichtfouse *et al.*, 2019).

Para el caso particular del estudio, el efluente de aguas industriales a tratar corresponde a una empresa, la cual desarrolla productos del área de pinturas y pegamentos en Venezuela. Las aguas para tratar en general son ricas en compuestos orgánicos, sales inorgánicas y orgánicas, así como en otras sustancias necesarias para el procesamiento de sus diversos productos, generando aguas residuales con valores de DQO, STS y STD extremadamente altos, que las hacen difíciles de tratar (Kleper; Steiner, 1978).

### 3. Metodología experimental

Para el tratamiento de las aguas industriales en la empresa, se sigue el procedimiento descrito en la Figura 3:



Figura 3. Metodología de tratamiento de aguas  
Fuente: elaboración propia.

#### 3.1. Prueba de jarras

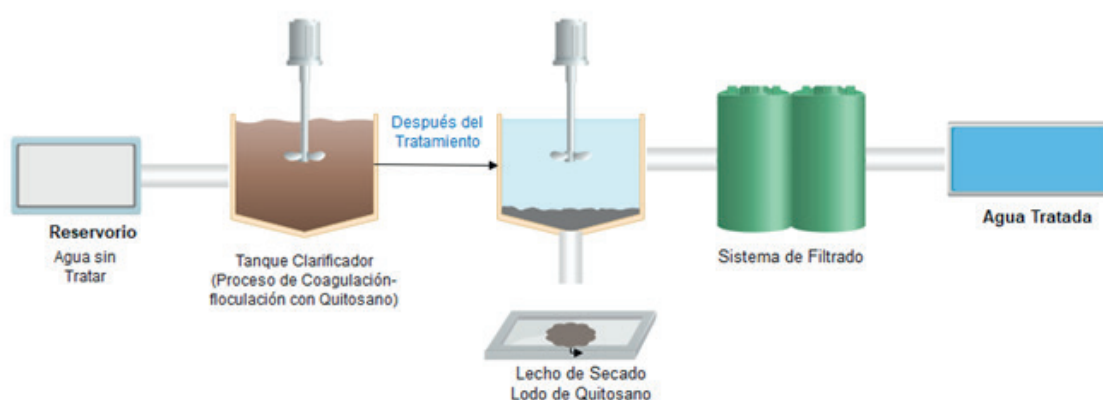
La metodología utilizada es la estandarizada para las pruebas de jarras, pero adaptada al uso de quitosano bajo condiciones predeterminadas en el desarrollo del método de trabajo, por lo que se agregan 10-12 mL de una solución de quitosano al 3 % (se trabajó con la menor concentración del coagulante que eliminó el mayor valor de sólidos totales, tanto suspendidos como disueltos), el cual actúa como coagulante al acidificar el medio a un pH de trabajo entre 4 y 5, un tiempo de agitación entre 5-10 minutos para promover la coagulación, luego se lleva el pH de trabajo a alrededor de 9 para promover la floculación, con agitación por 5 minutos. En general, las condiciones para los procesos de coagulación y floculación se indican en la Tabla 1, y el proceso general se describe en la Figura 4:

**Tabla 1.** Condiciones generales coagulación-floculación (prueba de jarras)

Proceso	Reactivo	Tiempo de agitación	Velocidad de agitación*	Observación
<b>Coagulación</b>	HCl <sub>conc</sub> hasta ajustar a pH 4-5	10 a 15 min	100 rpm	Formación de coágulos
<b>Floculación</b>	NaOH <sub>conc</sub> hasta ajustar a pH 9	5-10 min	100 rpm	Formación de flóculos

\*Se mantiene fijo el parámetro por imposibilidad de variar en la planta de tratamiento a nivel industrial.

Fuente: elaboración propia.



**Figura 4.** Proceso general de tratamiento de aguas industriales en planta con quitosano

Fuente: elaboración propia.

Se determinan las siguientes propiedades fisicoquímicas del agua (antes y después de cada prueba): pH, utilizando un pH-metro; DQO, utilizando un digestor DRB200 y un colorímetro portátil DR 900, además de los viales de digestión de COD, HR, sin mercurio, paquete de 150 código: 2565115, los cuales tienen un rango de detección de 20-1500 mg/L, así como los viales de digestión de DQO, High Range Plus, cuyo rango de detección es de 200 a 15.000 mg/L; DQO, de código 2415915 siguiendo el método de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (1980) con el método de digestión en reactor (Método 8000) del equipo, con ámbito y aplicación para aguas y aguas residuales. Los STD se determinan utilizando el Medidor de TDS, Conductividad y Salinidad HC3010, STS se mide con un colorímetro portátil DR 900, y el método 8006 (Método fotométrico) con aplicaciones para aguas y aguas residuales del equipo, con la finalidad de verificar la calidad del tratamiento y realizar los cálculos respectivos para realizar el proceso a nivel de la planta de tratamiento.

### 3.2. Planta de tratamiento

Se llena el tanque clarificador de la planta con agua de la fosa hasta 5000 L (capacidad máxima), y con los parámetros determinados en la prueba de jarras, se calcula la cantidad de quitosano, HCl<sub>conc</sub> y NaOH<sub>conc</sub> a utilizar. Se realiza el proceso de clarificación, se deja sedimentar los flóculos por 2-3 horas, y se descarga el agua a los filtros de arena y carbón. Los lodos se descargan a la piscina de secado para su desecho posterior. Para determinar la calidad del proceso, se miden los siguientes parámetros fisicoquímicos del agua antes y después del tratamiento (utilizando los métodos y equipos descritos en la prueba de jarras): pH, DQO, STD y STS a cada tratamiento realizado por mes (puesto que se realizan entre 5 y 15 tratamientos mensuales), y se registra el tratamiento de agua a nivel de la planta durante el periodo enero 2022-febrero 2023.

## 4. Resultados

### 4.1. Pruebas de jarras

Al realizar la prueba de jarras para cada tratamiento, se determinó de forma visual la aparición y formación de coágulos y flóculos, así como la apariencia del agua, además se determinó la cantidad de quitosano a utilizar en cada caso en la planta de tratamiento, y las cantidades de  $\text{HCl}_{\text{conc}}$  y  $\text{NaOH}_{\text{conc}}$  a utilizar en la planta de tratamiento de aguas industriales (Figuras 5 y 6).



Figura 5. Fotos de agua a tratar con el quitosano  
Fuente: elaboración propia.



Figura 6. Apariencia visual luego de los procesos de clarificación (coagulación-floculación) y sedimentación con el quitosano en prueba de jarras  
Fuente: elaboración propia.

Se observa la capacidad del quitosano en las condiciones utilizadas descritas en la metodología de pruebas de jarras para promover eficientemente la remoción de contaminantes a través del proceso de coagulación-floculación, permitiendo obtener un agua clarificada y con buena apariencia visual en todos los casos, lo que permitió determinar que la metodología propuesta es la adecuada para tratar el tipo de aguas provenientes de las plantas de producción de pegamentos y pinturas.

## 4.2. Planta de tratamiento

Se tomó registro de los parámetros pH promedio mensual, DQO promedio mensual, STD promedio mensual y STS promedio mensual, a la entrada y salida de la planta, con la finalidad de evaluar la calidad del tratamiento de aguas industriales durante el periodo de tiempo establecido en la metodología experimental (Tabla 2), que se compararon con los valores permitidos por la legislación venezolana en cuanto a la calidad de agua para ser desechada a la red cloacal o cuerpos de agua (Tabla 3). Además, se presenta la apariencia de los lodos obtenidos después del tratamiento del agua con el quitosano, evidenciando la habilidad de remoción del mismo, así como la formación de flóculos con un índice de Willcomb entre 8 y 10, y cuya apariencia visual puede observarse al momento de realizar el proceso en el tanque de 5000 L de la planta (Figura 7) (República Bolivariana de Venezuela, 1995; Lorenzo-Acosta, 2006).

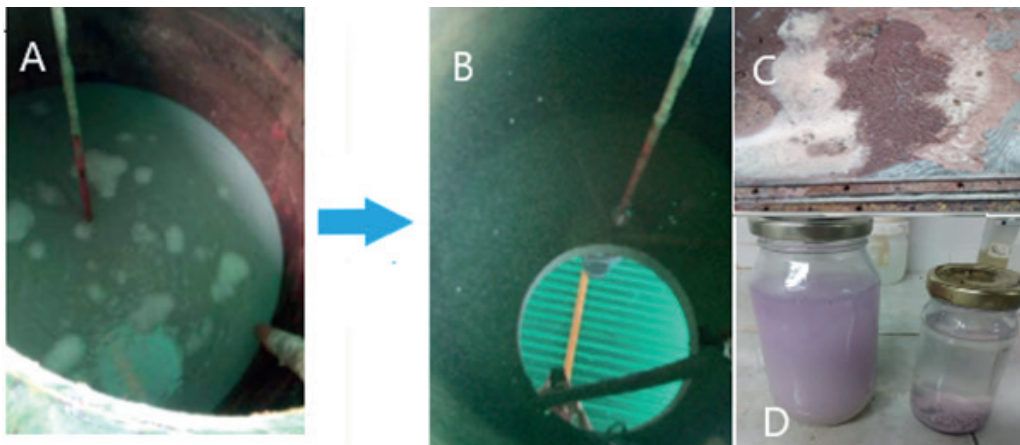


Figura 7. Proceso de tratamiento del agua en la planta de tratamiento a escala industrial. A):proceso de coagulación con el quitosano, B: clarificación, C: lodo postratamiento, D: apariencia visual del agua antes y después del tratamiento con quitosano y de los flóculos generados

Fuente: elaboración propia.



**Tabla 2.** Datos promedio de los parámetros de control de calidad de agua desde enero 2022 a febrero 2023

Mes	pH promedio mensual		DQO promedio mensual (mg/L)		STS promedio mensual (mg/L)		STD promedio mensual (ppm)	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Enero 2022	6,69	7,55	1101	357	699	26	516	436
Febrero 2022	7,13	6,85	FR	484	1620	8	1202	602
Marzo 2022	6,68	6,93	FR	386	FR	96	1281	669
Abril 2022	6,76	7,21	FR	501	FR	8	1075	783
Mayo 2022	7,20	6,95	FR	268	FR	27	1015	453
Junio 2022	6,25	7,15	FR	326	FR	35	935	485
Julio 2022	7,06	7,33	FR	381	FR	11	1302	567
Agosto 2022	6,32	7,04	FR	316	FR	6	1199	536
Septiembre 2022	6,69	7,55	FR	257	699	26	516	436
Octubre 2022	6,17	7,33	FR	254	FR	5	1396	546
Noviembre 2022	7,50	7,16	FR	374	FR	12	FR	705
Diciembre 2022	5,47	7,44	FR	259	FR	9	2124	599
Enero 2023	5,65	7,06	FR	413	FR	14	FR	540
Febrero 2023	6,39	7,46	FR	375	FR	12	FR	576

\*FR = Indica que el valor está fuera del límite máximo de detección del equipo, se utiliza los reactivos y métodos especificados por el equipo utilizado descrito en pruebas de jarras.

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 2.** Límites permitidos según Decreto 883, Sección V en el Artículo 15, publicado en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela No. 5021, de fecha 18 de diciembre de 1995

Límites máximos permitidos			
pH	DQO (mg/L)	STS (mg/L)	STD (ppm)
6,5-8,5	900	400	1600

Fuente: elaboración propia.

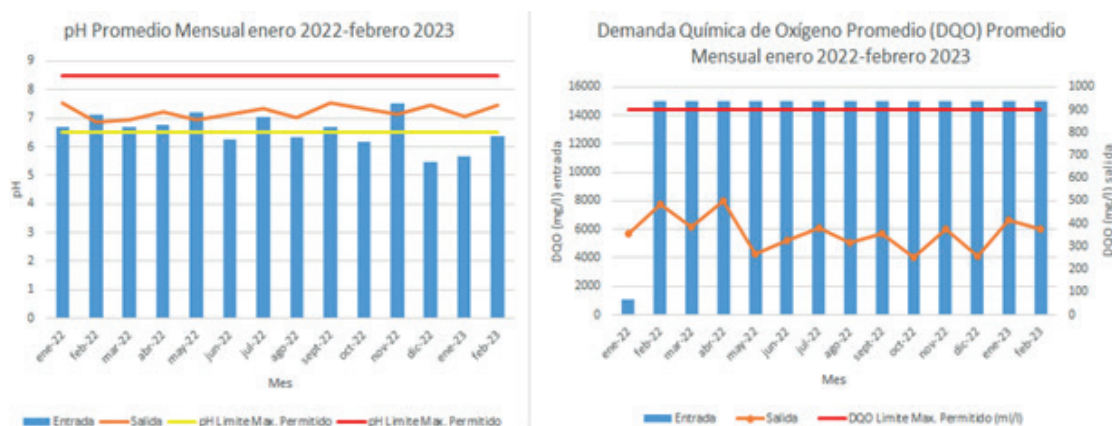


Figura 8. pH y DQO obtenido durante el período enero 2022-febrero 2023

Fuente: elaboración propia.

Como se observa, en las figuras correspondientes al pH y DQO (Figura 8) obtenidos antes y después del tratamiento de agua con quitosano, se observa que los valores se encuentran entre los límites señalados en las regulaciones ambientales venezolanas. Se puede observar que el quitosano, al ser un polímero catiónico, tiene la habilidad de funcionar tanto como coagulante como floculante, por lo que el pH es una variable importante a considerar, puesto que es uno de los factores con mayor influencia sobre el proceso de coagulación. Por lo tanto, el rango favorable para la remoción de coloides depende de la naturaleza del agua a tratar, puesto que se desea promover el proceso de coagulación y, luego al aumentar el pH, fomentar la floculación, todo esto sin afectar el pH final del agua posterior al tratamiento completo en la planta, lo cual se consigue al observar que el pH final se mantiene siempre entre los valores especificados en las regulaciones vigentes en Venezuela, según lo determinado en la figura de pH.

Por otro lado, en cuanto a la capacidad del quitosano para efectuar la eliminación de DQO de las aguas industriales, esta se ve afectada por varios factores, entre ellos el pH de trabajo y la misma estructura del quitosano que, al ser un polielectrolito catiónico típico, puede interactuar de forma favorable con los contaminantes orgánicos y sales metálicas disueltas en el agua, permitiendo así su conveniente remoción, por lo que es una posibilidad viable y real para el tratamiento de este tipo de aguas ricas en gran cantidad de contaminantes, ya que si observamos la Tabla 2, los valores de DQO se encuentran fuera del límite de detección del equipo utilizado para su determinación en el agua cruda en casi todos los meses registrados, que al compararse con los valores obtenidos postratamiento, muestran una considerable remoción, y por lo tanto disminución del valor de DQO.

El valor de pH donde ocurre el proceso de coagulación es de vital importancia. El valor óptimo para la naturaleza de aguas a tratar está entre 4 y 5, y para promover la floculación, alrededor de 8-9. Por otro lado, los grupos funcionales amina e hidroxilo que están contenidos en la estructura macromolecular del quitosano pueden interactuar con diferentes grupos funcionales como los grupos alquilo, acetilo, sulfonilo y carboxilo, presentes en las diversas materias primas utilizadas para la fabricación de los productos de pinturas y pegamentos, y a su vez es capaz de neutralizar y flocular con éxito las partículas coloidales suspendidas aniónicas, y reducir los niveles de demanda química de oxígeno, como se observa en la Figura 7 de DQO, donde los valores de obtenidos después del tratamiento han sufrido una remoción de alrededor del 85 %, lo que comprueba la habilidad del quitosano para tratar estas aguas (Sela *et al.*, 2020; Campo *et al.*, 2018)

En cuanto a los STS, tal como se observa en la Figura 9 el tratamiento con quitosano fue capaz de remover aproximadamente el 90 % de los sólidos, tanto disueltos como suspendidos, esto puede deberse a la quelación entre el quitosano y las sales disueltas en el agua, que al flocular sedimentan, para su subsecuente separación, y el agua clarificada es luego es filtrada, por lo que podemos decir que el tratamiento con el quitosano es eficiente para tratar las aguas producidas en las diferentes plantas de producción de pinturas y pegamento de la empresa. Se puede observar tanto en la Figura 8 como en la 9, que el quitosano tiene la habilidad de tratar el agua con parámetros de calidad establecidos dentro de las normas vigentes en las leyes y regulaciones venezolanas, y las hace aptas para el descargo a la red cloacal interna de la empresa.

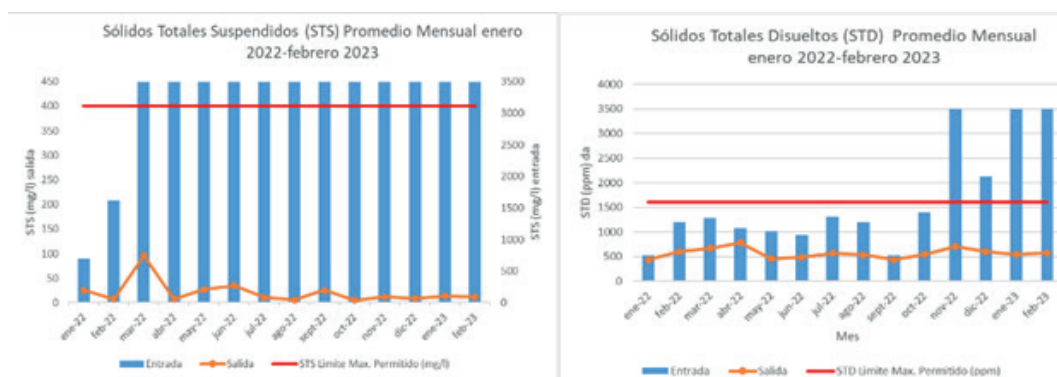


Figura 9. STS y STD obtenidas durante el período enero 2022-febrero 2023

Fuente: elaboración propia.

## 5. Conclusiones

Luego de la aplicación del quitosano para realizar los procesos de coagulación y floculación en el tratamiento de aguas industriales de la empresa, se determinó que la metodología propuesta e implementada para el tratamiento de aguas industriales es eficiente y eficaz, puesto que los controles realizados a los 4 parámetros de calidad nos permitieron comprobar la obtención de un agua postratamiento, que cumple con todos los parámetros establecidos dentro de los límites permitidos establecidos en el Decreto 883, Sección V, en el Artículo 15, publicado en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela No. 5021, de fecha 18 de diciembre de 1995 (República Bolivariana de Venezuela, 1995), lo que evidencia la habilidad del quitosano de ser un material adecuado para el saneamiento de las aguas y minimizar así los efectos negativos de la actividad industrial en las mismas, además de ser un proceso ecosostenible, amigable con el medio ambiente y compatible con los procesos en plantas de tratamientos de aguas industriales.

Por otro lado, se evidencia la capacidad del quitosano, dada su estructura molecular, de que con solo cambios en el pH del agua a tratar, puede remover diferentes tipos de contaminantes, dada su capacidad de comportarse como un polielectrolito catiónico que puede promover la coagulación y, a su vez, combinar partículas insolubles y materia orgánica disuelta en agregados mayores, lo que resulta en flóculos con un índice de Willcomb entre 8-10, que permitió obtener aguas clarificadas con los parámetros de calidad necesarios para ser desechadas en la red cloacal interna de la empresa.

## Agradecimientos

A la escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela (UCV) y a la Empresa Couttenye & CO., S. A., en especial a la gerencia de ambiente por permitir el desarrollo de esta investigación.

## Referencias

- Abu Hassan, Mohd; Pei Li, Tan; Noor, Zainura (2009). Coagulation and Flocculation Treatment of Wastewater in Textile Industry Using. *Journal of Chemical and Natural Resources Engineering*, 4(1), 43-53.
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (21 de abril de 1980). *S5220 Chemical Oxygen Demand (COD)*.  
<https://www.standardmethods.org/doi/10.2105/SMWW.2882.103>
- Bhalkaran Savi; Wilson, Lee (2016). Investigation of Self-Assembly Processes for Chitosan-Based Coagulant-Flocculant Systems: A Mini-Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(10), 1662.  
<https://www.doi.org/10.3390/ijms17101662>
- Campo, Yania; Delgado, Mónica; Roa, Yuli; Mora, Gustavo; Carreño, Javier (2018). Evaluación preliminar del efecto del quitosano y cáscara de naranja en la coagulación-floculación de aguas residuales. *U. D. C. A, Actualidad & Divulgación Científica*, 21(1), 565-572.  
<https://www.doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.990>
- Cevallos, Naomy; Burgos, Gabriel; Córdova, Alexandra (2022). Evaluación de la eficacia de coagulantes sintéticos y naturales en el tratamiento de aguas residuales generadas en la producción de harina de pescado. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, 16(2), 54-68.  
<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.6993155>

- Daud, Zawawi; Awang, Halizah; Latiff, Ab Aziz; Nasir, Nazlizan; Ridzuan, Mohd; Ahmad, Zulkfli (2015). Suspended Solid, Color, COD and Oil and Grease Removal from from Biodiesel Wastewater by Coagulation and Flocculation Processes. *Procedia, Social and Behavioral Sciences*, 195, 2407-2411.  
<https://www.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.234>
- Desbrières, Jacques; Guibal, Eric (2018). Chitosan for wastewater treatment. *Polymer International*, 67(1), 7-14.  
<https://www.doi.org/10.1002/pi.5464>
- Giraldo, Juan (2015). *Propiedades, obtención, caracterización y aplicaciones del quitosano*.  
<https://www.doi.org/10.13140/RG.2.1.3350.9287>
- Henze, Mogens (2017). Desarrollo del Tratamiento de Aguas Residuales. En Carlos, López; Germán, Buitrón; Héctor, García; Francisco, Cervantes (Eds.), *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño* (pp. 1-8). IWA Publishing.  
<https://www.doi.org/10.2166/9781780409146>
- Hossain, Akmu; Sela, Salma; Saha, Soumen; Das, Ayshi; Iqbal, Farhana; Hassan, Mohammad (2018). Treatment of textile waste water using natural catalyst (*chitosan and microorganism*). *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 4(5), 320-325.  
<https://www.doi.org/10.15406/jteft.2018.04.00159>
- Kleper, Myles; Steiner, David (1978). *Treatment of wasterwaters from adhesives and sealants manufacture by ultrafiltration*. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.
- Lichtfouse, Eric; Morin-Crini, Nadia; Fourmentin, Marc; Zemmouri, Hassiba; Nascimento, Inara; Queiroz, Luciano; Tadza, Mohd; Picos-Corrales, Lorenzo; Pei, Hiyan; Wilson, Lee; Crini, Grégorio (2019). Chitosan for direct bioflocculation of wastewater. *Environmental Chemistry Letters*, 17(4), 1603-1621.  
<https://www.doi.org/10.1007/s10311-019-00900-1>
- Lorenzo-Acosta, Yaniris (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA, Sobre los derivados de Caña de Azúcar*, 40(2), 10-17.
- Moussian, Bernard (2019). Chitin: Structure, Chemistry and Biology. En Qing, Yang; Tamo, Fukamizo (Eds.), *Targeting Chitin-containing Organisms* (pp. 5-18). Springer Singapore.  
[https://www.doi.org/10.1007/978-981-13-7318-3\\_2](https://www.doi.org/10.1007/978-981-13-7318-3_2)
- Nimesha, Sandali; Hewawasam, Choolaka; Jayasanka, Dikkumburage; Murakami, Yoshinori; Araki, Nobuo; Maharjan, Namita (2022). Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 8(1), 1-16.  
<https://www.doi.org/10.22034/gjesm.2022.01.0>
- Renault, François; Badot, Pierre; Crini, Grégorio (2009). Chitosan for coagulation/flocculation processes – An eco-friendly approach. *European Polymer Journal*, 45(5), 1337-1348.  
<https://www.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2008.12.027>
- República Bolivariana de Venezuela (18 de diciembre 1995). Decreto N.º 883. *Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos*. Gaceta Oficial, 5.021, Extraordinario.
- Saritha, Vara; Chowdhary, Swetha; Kumar, Harish (2012). Evaluation of Chitin as Natural Coagulant in Water Treatment. *Journal of Advanced Laboratory Research in Biology*, 3(2), 109-114.

- Sela, Salma; Ul-Hossain, Nayab; Hussain, Syed; Hasan, Naimul (2020). Utilization of prawn to reduce the value of BOD and COD of textile wastewater. *Cleaner Engineering and Technology*, 1, 100021.  
<https://www.doi.org/10.1016/j.clet.2020.100021>
- Struszczyk, Marcin (2002). Chitin and Chitosan Part I. Properties and production. *Polimery*, 47(5), 316-332.
- Vargas, Maricruz; Romero, Luis (2006). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 19(4), 37-41.
- Xu, Yan; Gan, Kemin; Liang, Siyi; Liu, Hitao; Wang, Qunhui (2021). Investigation and Optimization of Chitosan Performance in Flocculating Kaolin Suspensions Using a Real-Time Suspending Solid Concentration Measuring Method. *Water*, 13, 513.  
<https://www.doi.org/10.3390/w13040513>
- Yang, Ran; Li, Haijiang; Huang, Mu; Yang, Hu; Li, Aimin (2016). A review on chitosan-based flocculants and their applications in water treatment. *Water Research*, 15(95), 59-89.  
<https://www.doi.org/10.1016/j.watres.2016.02.068>
- Zeng, Defang; Wu, Juanjuan; Kennedy, John (2008). Application of a chitosan flocculant to water treatment. *Carbohydrate Polymers*, 71(1), 135-139.  
<https://www.doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.07.039>