

Evaluación de la quitina como coagulante para la potabilización de aguas con alta turbidez

**Lorena Fuentes, Iván Mendoza, Adrián Chávez, Nait Cedeño
y Yandelieth Ortiz**

*Universidad del Zulia. Núcleo Costa Oriental del Lago. Laboratorio de
Investigaciones Ambientales. Cabimas, Zulia, Venezuela.
Instituto Zuliano de Investigaciones Tecnológicas. Sector Palmarejo,
Zulia, Venezuela.
lfuentesp89@gmail.com*

Resumen

La quitina es un polisacárido ambientalmente amigable derivado de crustáceos, el cual puede ser aprovechado para la elaboración de productos en las industrias farmacéutica, alimenticia, cosmética y como agente coagulante para el tratamiento del agua. Dado que en la región zuliana se generan toneladas de crustáceos a partir de los cuales se puede obtener este polímero, se consideró interesante evaluar la quitina como coagulante para la potabilización de aguas con alta turbidez. En este trabajo los exoesqueletos del camarón *Litopenaeus schmitti* fueron sometidos a las fases de des-proteinización, decoloración y desmineralización para obtener la quitina, la cual se mezcló con CH_3COOH 0,1 mol/L para obtener una suspensión al 2 % m/v que se aplicó a distintas dosis (12, 16, 20, 40 y 60 ppm) en aguas turbias sintéticas (200, 220, 240, 260, 280, 300 UNT). Se simuló las fases de coagulación, floculación, sedimentación y filtración; se midieron los parámetros fisicoquímicos (turbidez, color, pH y alcalinidad) antes y después de filtrar. Los resultados después del tratamiento con quitina a una dosis óptima de 40 ppm reflejan valores de turbidez (0,39 y 0,69 UNT), color (2,5 UC Pt-Co), pH (6,50-6,77 unidades) y alcalinidad (24,00-30,67 mg CaCO_3/L) que se ajustaron a la normativas de calidad de agua potable. La quitina puede ser utilizada en sustitución del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ al demostrar su inocuidad.

Palabras clave: Potabilización del agua; quitina; turbidez; color; pH y alcalinidad.

Evaluation of quitina as coagulant for the potabilization of water with high turbidity

Abstract

Chitin is an environmentally friendly polysaccharide derived from crustaceans, which can be used for the manufacture of products in the pharmaceutical, food, cosmetic and coagulant industries for the treatment of water. Since tons of crustaceans are generated the zulian region from which this polymer can be obtained, it was considered interesting to evaluate chitin as a coagulant for the purification of waters with high turbidity. In this work exoskeletons of shrimp *Litopenaeusschmitti* were subjected to deproteinization, decolorization and demineralization to obtain chitin, which was mixed with 0.1 mol/L CH_3COOH to obtain a 2% w/v suspension which was applied at different doses (12, 16, 20, 40, 60 ppm) in synthetic turbid waters (200, 220, 240, 260, 280, 300 UNT). The phases of coagulation, flocculation, sedimentation and filtration were simulated; and the physicochemical parameters (turbidity, color, pH and alkalinity) were measured before and after filtering. The results after treatment with chitin at an optimal dose of 40 ppm reflect values of turbidity (0.39 and 0.69 UNT), color (2.5 UC Pt-Co), pH (6.50-6.77 units) Andalkalinity (24.00-30.67 mg CaCO_3 /L), which conformed to drinking water quality standards. Chitin can be used to replace $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ by demonstrating its safety

Keywords: water purification; chitin; turbidity; color; pH and alkalinity.

Introducción

La quitina es un polisacárido muy abundante en la naturaleza (Parada *et al.*, 2004), el cual se encuentra fundamentalmente en crustáceos, insectos y hongos. Posee una estructura lineal de alto peso molecular constituida por unidades de N-acetil-D-glucosamina unidas por enlaces b-D (1Æ4). Su fórmula es (β -(1,4)-2-acetamido-2-desoxi-D-glucosa) y se obtiene generalmente por un tratamiento químico de exoesqueletos de crustáceos (Torres y Altamirano, 2015). Es altamente insoluble en agua y en solventes orgánicos (Argüelles, 1994), además presenta baja reactividad, mostrando una similitud química con la celulosa (Torres y Altamirano, 2015).

Este compuesto amigable con el ambiente ha despertado un gran interés en los investigadores debido a que anualmente se obtienen en el mundo grandes volúmenes (120000 toneladas) de quitina a partir de los residuos de mariscos (que tienen de un 14 % a un 35% de quitina asociada con proteínas) y además debido al problema medioambiental ocasionado por su lenta degradación. Los resultados de diversas

investigaciones han sido satisfactorios en cuanto al aprovechamiento de la quitina y el quitosanopara la elaboración de productos en las industrias farmacéutica, alimenticia y cosmética (Hernández, 2004), así como en la elaboración de películas de quitosano (Chávez *et al.*, 2012), entre otras aplicaciones. También es usada como agente coagulante para el tratamiento del agua (Sarithaet *al.*, 2012).

El tratamiento del agua involucra una serie de fases: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Las mismas forman parte del proceso de potabilización que se aplica a las aguas crudas provenientes de ríos o acuíferos subterráneos con el fin de que sean aptas para el consumo humano. Específicamente, la coagulación implica la desestabilización de las partículas en suspensión que se encuentran separadas y le confieren turbidez y color al agua. Un producto coagulante para el tratamiento del agua puede tener diversos orígenes: químico, vegetal o animal.

Entre los principales coagulantes de origen químico que se utilizan: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (Romero, 2005), $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ y $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ (Barrenechea, 2004), entre otros; pero en el estado Zulia (Venezuela) se utiliza principalmente $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$. No obstante, el concepto del aluminio como un material inocuo al hombre está cambiando debido a algunos hallazgos epidemiológicos, pues se ha relacionado con problemas de salud como el mal de Alzheimer (Rondeau *et al.*, 2000), reportándose que pacientes con esta enfermedad presentaron cifras superiores de este metal con respecto al grupo control, a pesar de que no superaron los niveles permisibles (Gutiérrez *et al.*, 2014). Además, los productos coagulantes con aluminio presentan algunas desventajas como son: producción de grandes cantidades de lodo y baja eficiencia de la coagulación en aguas frías (Stauberet *al.*, 1999).

Diversas investigaciones demuestran la efectividad de coagulantes de origen vegetal como *Moringa oleífera* (Mendoza *et al.*, 2000; Caldera *et al.* 2007), *Stenocereusgriseus* (Fuentes *et al.*, 2011; González *et al.*, 2016), *Hylocereuslemairei* (Mendoza *et al.*, 2008), *Tamarindus indica* (Hernández *et al.*, 2013), *Samaneasaman* (González *et al.*, 2006), *Cassia fistula* (Guzmán *et al.*, 2015), *Opuntia ficus indica* (González *et al.*, 2009), *Opuntia cochinellifera* (Fuentes *et al.*, 2012), *Opuntia wentiana* (Parra *et al.*, 2011; González *et al.*, 2015) y *Cereusjamacaru* (Fioriet *al.*, 2012),entre otros; y de origen animal como el quitosano (Fuentes *et al.*, 2008; Caldera *et al.*, 2015), la quitina (Saritha *et al.*, 2012) y la gelatina de huesos (Briceño *et al.*, 2014).

La aplicación de la quitina en el tratamiento de aguas ha sido escasamente reportada en la literatura científica. Específicamente, Saritha *et al.* (2012) realizaron un estudio con el propósito de investigar la eficiencia de la quitina como coagulante en aguas de consumo humano, así como también, los efectos de una mezcla de alumbre y quitina como coagulante para la eliminación de la turbidez en el agua. Al emplear la quitina obtuvieron porcentajes de remoción de turbidez entre 0 % y 57% a pH neutro, los cuales no permitirían usarla como un coagulante primario, sino como un coadyuvante en el proceso de coagulación.

La efectividad de cualquier coagulante se determina mediante la remoción de turbidez, la cual debe ser mayor o igual a 70 %. A nivel nacional y mundial también existen una serie de normativas sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas que deben tener las aguas potables, entre las que se encuentran las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998). Las principales propiedades fisicoquímicas son turbidez, color, pH y alcalinidad.

En concordancia con lo planteado y debido a que en el estado Zulia (Venezuela) la producción pesquera para el año 2001 reportó un aproximado de 550.000 T de las cuales unas 16.000 T son de camarón (Mármol *et al.*, 2004), cuyo procesamiento genera una gran cantidad de residuos que pudieran ser aprovechados mediante la producción de quitina para diversos usos; se desarrolló este estudio con el propósito de evaluar la quitina como coagulante para la potabilización de aguas con alta turbidez, contribuyendo así a la disminución del impacto ambiental.

Materiales y métodos

Obtención de quitina

La metodología fue similar a la reportada por Parada *et al.* (2004) y Fuentes *et al.* (2008), comprendió 3 fases: desproteinización (Figura 1), decoloración y desmineralización (Figura 2). El producto obtenido fue quitina, la cual se identificó mediante espectroscopia de infrarrojo en el Instituto Zuliano de Investigaciones Tecnológicas.

Caracterización de la quitina por espectroscopia de infrarrojo

Se registraron espectros de FTIR de la quitina, para identificar sus grupos funcionales característicos. Las muestras se prepararon en forma de pastillas con bromuro de potasio (KBr), realizando la compactación usando un pistón hidráulico con una presión de 8 toneladas por 60 segundos. Las muestras se pesaron dependiendo de la intensidad de la señal (50-100 mg/pastilla).

Se empleó un equipo IR Prestige 21. El grado de desacetilación se determinó con el método de Brugnerotto *et al.* (2001), quienes reportan la cuantificación del porcentaje de acetilación (DA) tomando en cuenta la banda de absorción en el espectro infrarrojo a 1320 cm^{-1} considerada como la contribución de la amida III, calculándola a partir de la relación entre A_{1320}/A_{1420} .



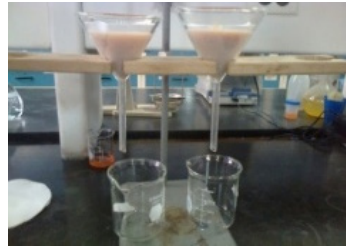
Extracción de los exoesqueletos de *Litopenaeus schmitti*



Pulverización de exoesqueletos (16,4452 g)



Exoesqueletos pulverizados de *L. schmitti* más NaOH al 0,5% m/v (1:5) agitados y calentados a 60°C



Reposo (30 min), filtración y lavado del sólido con agua destilada (por triplicado) y secado en una estufa a 32°C durante 24 horas.



Sólido (12,901 g) + 64,50 mL de NaOH al 3 % m/v (1:5)+ calentamiento (10 min) + enfriamiento a temperatura ambiente (± 25 °C) + decantación para la separación de la fase sólida.

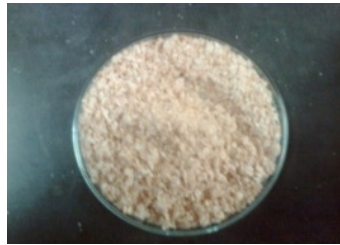
Figura 1. Desproteínización



Decoloración del residuo sólido con 60 mL de NaClO



Desmineralización del sólido con 60 mL de HCl 1,25 N



Quitina obtenida

Figura 2. Decoloración, desmineralización y producto obtenido (quitina)

Preparación de la mezcla coagulante

La quitina obtenida se mezcló con una solución de CH_3COOH 0,1 M para obtener una suspensión al 2 % m/v que se aplicó en dosis de 12, 16, 20, 40 y 60 ppm con el propósito de establecer su eficiencia como coagulante.

Preparación del agua sintética

Se preparó el agua sintética a partir de agua del grifo a la cual se agregó el sobrenadante de una mezcla de arcilla comercial al 1,0 % para obtener la turbidez inicial (T_0) requerida en este estudio (200, 220, 240, 260, 280 y 300 UNT).

Prueba de jarras y medición de parámetros fisicoquímicos

Se realizó la prueba de jarras: mezcla rápida (100 rpm/1 min), mezcla lenta (30 rpm/20 min) y sedimentación (0 rpm/30 min). Se determinaron la turbidez, el

color, el pH y la alcalinidad en las muestras de agua en estudio, previo a la adición del coagulante y posterior a ello (antes y después del proceso de filtración), según lo establece APHA-AWWA-WEF (1998).

Análisis y discusión de resultados

Identificación de la quitina por espectroscopia de infrarrojo

Los espectros de la muestra revelan presencia de los grupos hidroxilos que pertenecen a una banda ancha ubicada en 3440 cm^{-1} de acuerdo con lo reportado por Escobar *et al.* (2013). Dicha banda debe estar presente tanto en la quitina como en el quitosano. La banda 3111 cm^{-1} debe corresponder a la tensión del grupo N-H, la cual no se debe evidenciar en un espectro de quitosano dado el proceso de desacetilación, mientras que la banda en 2891 cm^{-1} corresponde a una vibración tensión del enlace C-H; dichas bandas sólo se aprecian en espectros de quitina como se muestra en la Figura 3.

Asimismo, los espectros exhibieron la banda carbonílica de la amida a 1650 cm^{-1} y amina NH_2 a 1580 cm^{-1} . Según Brugnerotto *et al.* (2001) la cuantificación del porcentaje de acetilación (DA) tomando en cuenta la banda de absorción en el espectro infrarrojo a 1320 cm^{-1} considerada como la contribución de la amida III, se calcula a partir de la relación entre A_{1320}/A_{1420} . La correlación entre el valor experimental DA (porcentaje de acetilación) y la relación mencionada es expresada en la ecuación:

$$A_{1320}/A_{1420} = 0,3822 + 0,03133 \cdot \text{DA} \quad (R^2=0,99)$$

Dónde:

A_{1320} y A_{1420} es el área de las bandas en 1320 y 1420 cm^{-1} .

$$\text{DD (porcentaje de desacetilación)} = 100 - \text{DA}$$

Debido a que estas bandas no se exhiben en la espectroscopia realizada al producto obtenido en el laboratorio y considerando que esta fórmula es útil solamente cuando la muestra presenta un rango de desacetilación de 60-100 DD; con rangos menores se dice que la muestra es quitina.

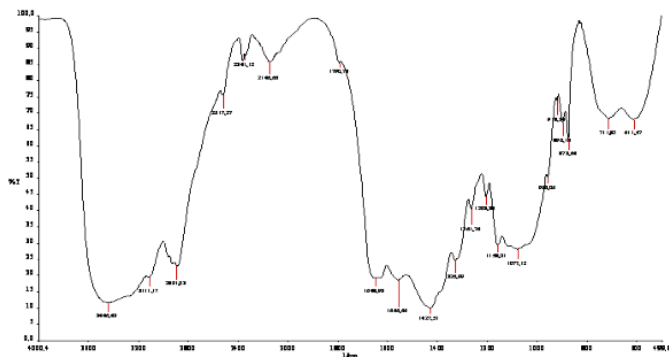


Figura 3. Espectro de quitina sintetizada en el laboratorio.

Caracterización del agua del grifo

Las muestras de agua provenientes del grifo del Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago (LIANCOL) se caracterizaron fisicoquímicamente obteniéndose los valores representados en la Tabla 1. En ésta se puede apreciar que en varios casos no se cumplió con lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998) arrojando turbiedades entre 1,40 UNT y 9,30 UNT, color entre 7,50 UC Pt-Co y 15,00 UC Pt-Co y pH entre 5,92 y 6,58 unidades.

La normativa venezolana no establece un límite para la alcalinidad, sin embargo tomando como referencia las normas del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2007) que establece como máximo 200 mgCaCO₃/L para la calidad del agua de consumo humano, todos los valores de alcalinidad se ajustaron a lo establecido.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos del agua del grifo

Turbidez (UNT)	Color (UC Pt-Co)	pH	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)
4,70	15,0	6,58	32,0
1,40	7,50	5,92	24,0
1,40	7,50	5,92	24,0
4,60	10,0	6,51	32,0
9,10	30,0	6,42	38,0
9,30	30,0	6,61	28,0

Caracterización del agua sintética

El agua ajustada a los valores de turbidez requeridos para el estudio (200, 220, 240, 260, 280 y 300 UNT), se caracterizó fisicoquímicamente, como se refleja en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos del agua sintética antes del proceso de coagulación-floculación

Turbidez (UNT)	Color (UC Pt-Co)	pH	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)
200	206	6,50	18,0
220	200	6,72	26,0
240	215	6,66	26,0
260	340	6,61	32,0
280	380	6,65	30,0
300	410	6,69	26,0

Evaluación del parámetro turbidez

Para una turbidez inicial de 200 UNT la eficiencia de la quitina se presenta en la Figura 4, donde se pueden apreciar valores de turbidez decantada entre 5,85 UNT y 13,90 UNT con porcentajes de remoción que se ubicaron entre 93,05 % y 97,16%. Después de filtrar se obtuvieron valores de turbidez hasta un máximo de 1,00 UNT y porcentajes de remoción superiores a 99,50 %, pudiéndose apreciar que los valores de turbidez están dentro del rango exigido por la Gaceta Oficial de la República de Venezuela (1998), comprobando así la eficiencia de la quitina en este nivel de turbidez inicial.

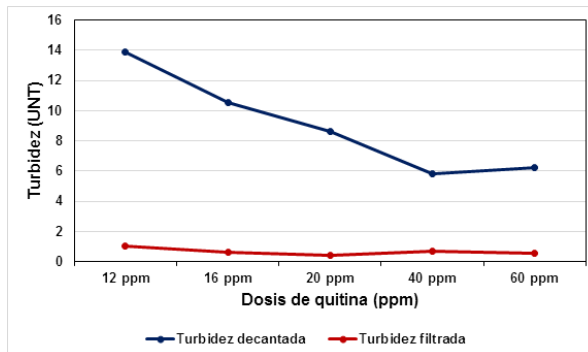


Figura 4. Valores de turbidez decantada y filtrada en aguas con turbidez inicial de 200 UNT después del tratamiento con quitina.

Al comparar los valores de turbidez obtenidos con el estudio realizado por Parra *et al.* (2011) sobre el uso del mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) (Cactaceae) a un intervalo de turbidez entre 100 y 200 UNT y cuyos resultados revelaron porcentajes de remoción entre 85,25% y 94,84% antes de la simulación de la filtración y entre 91,82% y 98,34% luego de ello; se puede decir que la quitina obtenida en el laboratorio supera la eficiencia de este coagulante para una turbidez de 200 UNT.

En la Figura 5, se visualizan los valores de turbidez resultantes para una turbidez inicial de 220 UNT. Se alcanzaron % de remoción superiores a 93,47% obteniéndose turbiedades entre 7,68 UNT y 14,37 UNT antes de filtrar y luego de filtrar entre 0,46 UNT y 1,63 UNT con porcentajes de remoción entre 99,26% y 99,78 %. Aunque antes de filtrar no se cumple con lo exigido por la Gaceta Oficial de la República de Venezuela (1998), después del proceso de filtrado se cumple con la normativa establecida y se comprueba la efectividad de la quitina en la remoción de turbidez.

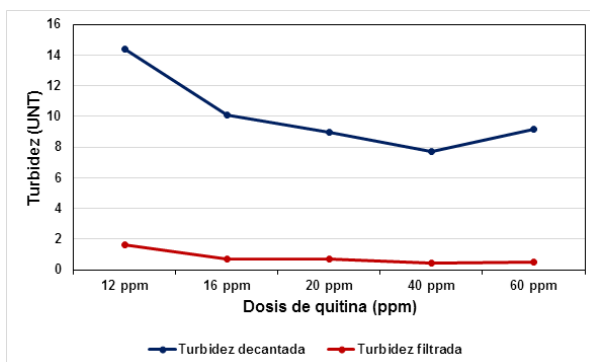


Figura 5. Valores de turbidez decantada y filtrada en aguas con turbidez inicial de 200 UNT después del tratamiento con quitina.

Los resultados antes descritos son similares a los reportados por Fuentes *et al.* (2008), en su investigación realizada con el quitosano obtenido de *Litopenaeusschmitti*, quienes obtuvieron porcentajes de remoción entre 98,22% y 99,63%, y estudiaron valores de turbidez inferiores (50-90 UNT) a los evaluados en el estudio presente (200-300 UNT).

En la Figura 6 se muestran las turbiedades obtenidas para una turbidez inicial de 240 UNT, las cuales fluctuaron entre 7,05 UNT y 16,47 UNT antes de filtrar y entre 0,39 UNT y 2,61 UNT luego de ello. Los porcentajes de remoción se ubicaron entre 98,91% y 99,82% luego del proceso de filtración y se cumplió con el valor máximo permisible (5 UNT) establecido en la normativa venezolana (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998).

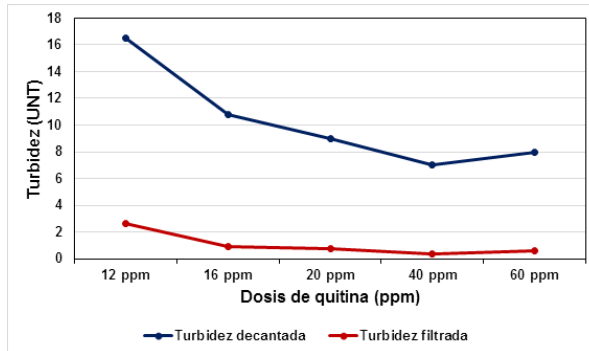


Figura 6. Valores de turbidez decantada y filtrada en aguas con turbidez inicial de 240 UNT después del tratamiento con quitina.

En este nivel de turbidez los porcentajes de remoción fueron altos en contraste con los reportados por Briceño *et al.* (2014), quienes al comprobar la eficiencia de una suspensión gelatinosa de huesos bovinos en aguas con turbiedades iniciales entre 100 UNT y 180 UNT, refieren remociones entre 72,93 % y 89,74 %. Además, fueron mucho más altas que las reportadas por Sarithaet *al.* (2012) al evaluar quitina (0 % a 57 %).

En la Figura 7 se reflejan los valores de turbidez obtenidos luego de la adición de la quitina en aguas con una turbidez inicial de 260 UNT. Los valores de turbidez se ubicaron entre 6,74 UNT y 12,87UNT antes del proceso de filtrado, lo que equivale a porcentajes de remoción superiores a 95%. Después del proceso de filtración, la turbidez osciló entre 0,57 UNT y 1,28UNT, cumpliendo con lo estipulado en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998).

Los valores de remoción de turbidez registrados son superiores a los reportados por Sarithaet *al.* (2012), quienes evaluaron la quitina como coadyuvante de coagulación en la eliminación de la turbidez del agua y cuyos porcentajes de remoción estuvieron entre 0 % y 57%.

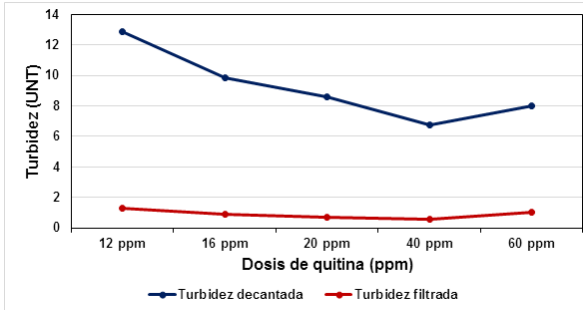


Figura 7. Valores de turbidez decantada y filtrada en aguas con turbidez inicial de 260 UNT después del tratamiento con quitina.

A una turbidez de 280 UNT, tal y como se muestra en la Figura 8, la eficiencia del coagulante es similar a las turbiedades analizadas anteriormente. Antes de filtrar, los valores variaron desde 6,99 UNT hasta 14,67UNT con remociones entre 94,76 % y 97,50 %. Después de la fase de filtración, el intervalo de turbidez se ubicó entre 0,53 UNT y 1,67 UNT con porcentajes de remoción que oscilaron entre 99,40 % y 99,81 %, demostrándose así la alta eficiencia de la quitina.

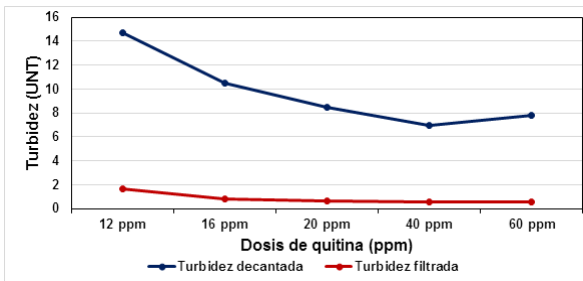


Figura 8. Valores de turbidez decantada y filtrada en aguas con turbidez inicial de 280 UNT después del tratamiento con quitina.

Al analizar el valor de turbidez más alto (300 UNT), en la Figura 9 se observa que los valores resultantes luego de adicionar la quitina estuvieron entre 6,43 UNT y 14,03 UNT antes de filtrar, arrojando porcentajes de remoción entre 95,32% y 97,85%; y después de filtrar las turbiedades variaron entre 0,39 UNT y 1,32UNT. Los porcentajes de remoción fueron superiores a 99% después del tratamiento y las muestras cumplieron con lo estipulado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela (1998) después de aplicar la quitina como coagulante.

Es importante destacar que para todos los valores de turbidez estudiados (200, 220, 240, 260, 280 y 300 UNT) se registró el mismo comportamiento: al aumentar la dosis del coagulante (quitina) ocurre una disminución de la turbidez y un aumento del

porcentaje de remoción. A diferencia del comportamiento reportado por Fuentes *et al.* (2008) al aplicar quitosano, quienes refirieron que al aumentar la dosis de quitosano se incrementa la turbidez. Por otra parte, al analizar los diferentes valores de turbidez, se puede apreciar que para la dosis de 60 ppm ocurre un ligero aumento de la turbidez con respecto a los valores restantes obtenidos para las dosis de 12, 16, 20 y 40 ppm que puede estar asociado a un exceso de coagulante en las muestras, lo cual origina una reestabilización de las partículas.

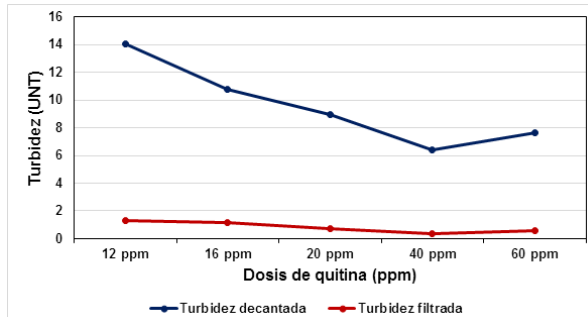


Figura 9. Valores de turbidez decantada y filtrada en aguas con turbidez inicial de 300 UNT después del tratamiento con quitina.

En la Tabla 3 se pueden apreciar las turbiedades iniciales, su dosis óptima y % de remoción respectivos para cada valor de turbidez estudiado en esta investigación. Después del tratamiento con quitina, las muestras de agua presentaron valores de turbidez muy por debajo de lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998).

Se observa que al aumentar la turbidez inicial disminuye la turbidez antes de filtrar. La dosis óptima fue de 40 ppm para todos los valores de turbidez estudiados. Esto coincide con lo reportado por Mendoza *et al.* (2000), quienes también obtuvieron una única dosis óptima (20 mg/L) al emplear *Moringa oleifera* como coagulante.

Por otra parte, Sarithaet *al.* (2012) al emplear la quitina como coadyuvante de coagulación obtuvieron un porcentaje de remoción inferior a 70 %, clasificándose como coadyuvante de la coagulación. No obstante, esto permite inferir que probablemente en el estudio presente se obtuvo mayor eficiencia del coagulante, debido a que las dosis que se emplearon fueron más altas y contribuyeron a la remoción de mayor cantidad de partículas en suspensión.

Tabla 3. Dosis óptimas y valores de turbidez antes y después de filtrar.

Turbidez Inicial (UNT)	Dosis óptima (ppm)	Turbidez antes de filtrar (UNT)	Remoción antes de filtrar (%)	Turbidez después de filtrar (UNT)	Remoción después de filtrar (%)
200	40	5,85 ± 0,06	97,16 ± 0,15	0,69 ± 0,07	99,65 ± 0,03
220	40	7,68 ± 0,47	96,51 ± 0,22	0,46 ± 0,13	99,78 ± 0,06
240	40	7,05 ± 0,06	97,06 ± 0,03	0,39 ± 0,03	99,82 ± 0,02
260	40	6,74 ± 0,22	97,40 ± 0,09	0,57 ± 0,04	99,78 ± 0,01
280	40	6,69 ± 0,39	97,50 ± 0,14	0,53 ± 0,09	99,81 ± 0,04
300	40	6,43 ± 0,20	97,85 ± 0,07	0,39 ± 0,04	99,87 ± 0,01

*Valores más desviación estándar para n=3

Evaluación del parámetro color

A continuación se muestran los valores de color obtenidos en aguas con un rango de turbidez entre 200 UNT y 300 UNT tratadas con quitina como coagulante, tanto antes como después del proceso de filtración (Figura 10). Los valores de color para la muestra patrón estuvieron entre 200 y 400 UC Pt-Co, lo que permite apreciar la disminución del color en cada valor de turbidez estudiado y demostrar la eficiencia de la quitina no solo en la remoción de turbidez sino también en la remoción de color.

Las unidades de color variaron entre 5 UC Pt-Co y 25 UC Pt-Co antes de la fase de filtración, que equivalen a porcentajes de remoción entre 88% y 97%. Con dosis de 40 y 60 ppm de quitina, todos los valores de turbidez inicial evaluados cumplieron con la normativa (0–15 UC Pt-Co) antes de filtrar. Para las dosis restantes en la mayoría de las muestras los valores de color no se ajustaron a lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998). Sin embargo, después del filtrado el color osciló entre 2,5 UC Pt-Co y 8,33 UC Pt-Co arrojando porcentajes de remoción superiores a 98 % y situándose dentro de los estándares exigidos por la normativa venezolana (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998) que establece como valor máximo 15 UC Pt-Co.

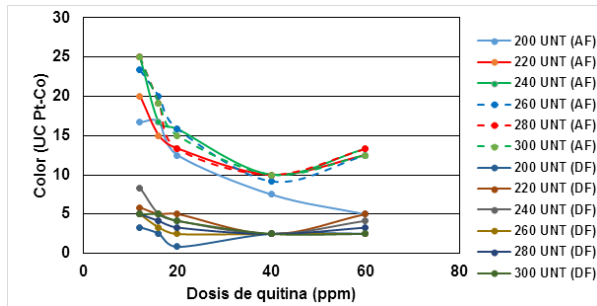


Figura 10. Valores de color (UC Pt-Co) en aguas con alta turbidez después del tratamiento con quitina.

La eficiencia que presenta la quitina en cuanto a la remoción de color, tanto antes de filtrar (0-15 UC Pt-Co) como después de esta etapa (2,5-8,33 UC Pt-Co), es superior a la referida por Fuentes *et al.* (2008) al emplear el quitosano como coagulante en aguas de baja turbidez, reportando valores de 17,5-100 UC Pt-Co previos a la filtración y de 0-15,83 UC Pt-Co, después de la misma.

Evaluación del parámetro pH

Los valores de pH resultantes después de tratar aguas de alta turbidez (200 UNT a 300 UNT) con quitina, fluctuaron entre 6,36 y 6,75 antes de la filtración y entre 6,50 y 6,77 luego de ésta. El rango establecido por las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela está comprendido entre 6,5 y 8,5 unidades de pH (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998), aunque antes del proceso de filtración algunos valores de pH no cumplieron con lo establecido, luego de filtrar las muestras estuvieron dentro del rango permisible.

Evaluación del parámetro alcalinidad

Las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial, 1998) no establecen límites para la alcalinidad, sin embargo el Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2007) establece como máximo 200 mg CaCO₃/L para la calidad del agua de consumo humano. Considerando estos límites, la alcalinidad en esta investigación fue baja presentando valores antes de filtrar entre 18,67 mg CaCO₃/L y 30,67 mg CaCO₃/L y entre 24,00mg CaCO₃/L y 30,67 mg CaCO₃/L después de filtrar. Estos resultados se pueden comparar con los reportados por varios autores citados anteriormente como Fuentes *et al.* (2008), Mendoza *et al.* (2000) y Hernández *et al.* (2012), quienes también indicaron una variación mínima en la alcalinidad.

Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que el uso de la quitina constituye una alternativa viable como coagulante primario amigable con el ambiente para la remoción de turbidez en aguas de alta turbidez, ya que a partir de turbiedades iniciales de 200, 220, 240, 260, 280 y 300 UNT y con una dosis óptima de 40 ppm se registraron valores de 0,69; 0,46; 0,39; 0,57; 0,53 y 0,39 UNT, respectivamente.

Los porcentajes de remoción de turbidez fluctuaron entre 99,65% y 99,82%. Después del tratamiento de las aguas con quitina, el color osciló entre 0,83 UC Pt-Co y 8,33 UC Pt-Co, la alcalinidad se ubicó entre 24 mg CaCO₃/L y 30,67 mg CaCO₃/L y el parámetro pH fluctuó entre 6,50 y 6,75 unidades; quedando todos los valores dentro de lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela.

En este estudio se pudo demostrar la alta eficiencia de la quitina debido a que la adición de ésta al agua no incide en el pH ni en la alcalinidad del agua tratada y por consiguiente no requiere ajuste de pH, por lo cual no se necesitaría la alcalinización para el proceso de potabilización.

Referencias bibliográficas

APHA-AWWA-WEF. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edition 20. Edited by: Clesceri L., Greenberg A. and Eaton A. USA. Disponible en: www.dochigs.net/standard/standard-methods-for-examination-of-water-and-wastewater-21-edition

Argüelles W. (1994). Estudio de tres propiedades básicas de la quitosana: formación de películas, obtención de complejos polielectrolitos y adsorción de mercurio. Tesis de doctorado en Ciencias Químicas. IFAL. Universidad de la Habana.

Briceño R., Fuentes L., Mendoza I., Bolaños Jhon y Caldera Y. (2014). Efectividad de una suspensión gelatinosa de huesos bovinos en la clarificación de aguas con alta turbidez. **REDIELUZ**, 4 (2): 46-53.

Brugnerotto J., Lizardi J., Goyoolea F., Argüelles-Monal W., Desbrieres J. & Rinaudo M. (2001). An infrared investigation in relation with chitin and chitosan characterization. **Polymer**, 42, 3569-3580.

Caldera Y., Mendoza I., Briceño L., García J. y Fuentes L. (2007). Eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua. **Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas**, 41(2): 244-254.

Caldera Y., Gutiérrez E., Fuentes L., Mendoza I., Rodríguez Y. y Sánchez M. (2015). Quitosano: un coagulante natural alternativo para el tratamiento de aguas con alta turbidez. **REDIELUZ**, 5 (1y 2): 184-188.

Chávez A., Colina M., Rincón A., Valbuena A. y López A.(2012). Obtención y caracterización de papel de quitosano. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, 13(2): 41-51.

Escobar D., Ossa C., Quitana N. y Ospina W. (2013). Optimización de un protocolo de extracción de quitina y quitosano desde caparazones de crustáceos. Grupo de Investigación en Biomateriales y Biomecánica, Universidad de Antioquia, Colombia.

Fiori R., Thomazini M. y Lenz G. (2012). Estudo da eficiência de polímero natural extraído do cacto mandacaru (*Cereusjamacaru*) como auxiliar nos processos de coagulação e floculação no tratamento de água. **Revista de Estudos Ambientais**, 14 (2): 75-83.

Fuentes L., Mendoza I., López A., Castro M. y Urdaneta C. (2011). Efectividad de un coagulante extraído de *Stenocereusgriseus* (Haw.) Buxb. En la potabilización del agua. **Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería**, 34 (1): 48-56.

Fuentes L., ContrerasW., PerozoR., Mendoza I. y Villegas Z. (2008). Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeusschmitti*(Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano. **Revista Multiciencias**, 8 (Nº Extraordinario): 281 - 287.

Fuentes L., Mendoza I., Díaz P., Fernández Y., Zambrano A. y Villegas Z. (2012). Potencial coagulante de la tuna *Opuntia cochinellifera*(L.) Mill. (Cactaceae) en aguas para consumo humano. **Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas**, 46 (2): 173-187.

Gaceta Oficial de la República de Venezuela (1998). Normas sanitarias de calidad del agua potable. N° 36.395 del 13 de febrero de 1998.

González Y., Marcano N., Mendoza I. y Fuentes L. (2009). Efectividad de una suspensión de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae) en la clarificación de aguas sintéticas con alta turbidez. **Impacto Científico**, 4(2): 361-374.

González Y., Mendoza I., Caldera Y., Osorio A. y Yoris L. (2016). Clarificación de aguas altamente turbias empleando *Stenocereusgriseus*(Haw.) Buxb. como coagulante. **Impacto Científico**,11 (1): 61-75.

González G., Chávez M., Mejías D., Mas y Rubí M., Fernández, N. y León de Pinto G. (2006). Uso del exudado gomoso producido por *Samaneasamanen* la potabilización de las aguas. **Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería**. Vol. 29(1): 14-22.

González Y., Fuentes L., Mendoza I. y Caldera Y. (2015). *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia wentiana*: estudio comparativo sobre su efectividad como coagulantes en la clarificación del agua.**Revista Tecnocientífica URU**,(9): 81-89.

Gutiérrez F., Arcila V., Quintero K., Álvarez R. y Querales M. (2014). Niveles de aluminio sérico en un grupo de pacientes con enfermedad de Alzheimer. **Toxicología**, 48 (4): 485-490.

Guzmán I., Taron A. y Núñez A. (2015). Polvo de la semilla *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. **Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial**, 13 (2):123-129.

Hernández Y. (2004) La quitina y la quitosana, polisacárido animal de gran importancia. Departamento de Bioquímica del Centro Universitario José Martí. La Habana, Cuba.

Hernández B., Mendoza I., Salamanca M., Fuentes L. y Caldera Y. (2013). Semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante en aguas con alta turbiedad. **REDIELUZ**, 1 (2): 91-96.

Mendoza I., Fernández N., Ettiene G. y Díaz A. (2000). Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de las aguas. **Ciencia**, 8 (2): 235-242.

Mendoza I., Fuentes L., Caldera Y., Perdomo F., Suárez A., Mosquera N. y Arismendi H. (2008). Eficiencia de *Hylocereuslemairei* como coagulante-floculante en aguas para consumo humano. **Impacto Científico**, 3 (1), 53-69.

Ministerio de Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2007). Resolución Número 2115. Colombia, 23 pp.

Parada L., Crespin G., Miranda R. y Katime I. (2004). Caracterización de quitosano por viscosimetría capilar y valoración potenciométrica. **Revista Iberoamericana de Polímeros** 5 (1): 1-16.

Parra Y., Cedeño M., García M., Mendoza I., González Y. y Fuentes L. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) / (Cactaceae)". **REDIELUZ**, 1 (1): 27-33.

Romero J. (2005). Calidad del agua. Segunda Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 468 pp.

Rondeau V., Commenges D., Jacqmin-Gadda H. y Dartigues J. (2000). Relation between aluminum concentrations in drinking water and Alzheimer's disease: an 8-year follow-up study. **American Journal of Epidemiology**, 152 (1): 59-66.

Saritha V., Swetha K. y Kumar H. (2012). Evaluation of chitin as natural coagulant in water treatment. **Journal of Advanced Laboratory by Research in Biology**, 3 (2): 109-114.

Stauber J., Florence T., Davies C., Adams S. y Buchanan S. (1999). Bioavailability of Al in Al treatment drinking water. **Journal of American Water Works Association**, 91 (11): 84-93.

Torres Y. y Altamirano A. (2015). Síntesis y caracterización de quitina a partir de exoesqueletos de camarón para su uso como material de refuerzo. **Ingenierías**, 18 (66): 39-44.



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

 **mpacto** *Científico*

Revista Arbitrada Venezolana
del Núcleo LUZ-Costa Oriental del Lago

Vol. 12. N°1 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada
en junio de 2017, por el **Fondo Editorial Serbiluz,**
Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
produccioncientifica.luz.edu.ve