

QUITOSANO COMO COAGULANTE DURANTE EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO

YAXCELYS CALDERA¹, NIKCELI CLAVEL¹, DOUGLAS BRICEÑO¹,
ASDRÚBAL NAVA¹, EDIXON GUTIÉRREZ² Y ZULAY MÁRMOL³

¹Laboratorio de Investigaciones Ambientales,
del Núcleo Costa Oriental del Lago (LIANCOL),
Universidad del Zulia, Cabimas, Estado Zulia, Venezuela
yaxcelysc@hotmail.com

²Centro de Investigación del Agua (CIA),
³Laboratorio Tecnología de los Alimentos,
Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia,
Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela

Resumen. El quitosano ha demostrado ser un buen coagulante durante la potabilización de las aguas. Sin embargo, son pocas las investigaciones desarrolladas sobre su efectividad en aguas residuales complejas como las aguas de producción de petróleo (APP). En esta investigación se evaluó la eficiencia del quitosano como coagulante durante el tratamiento de APP. Las muestras de APP se recolectaron en el Patio de Tanque de Ulé, Costa Oriental del Lago de Maracaibo, Venezuela. El quitosano se obtuvo por desacetilación a 100 °C de la quitina presente en las conchas del camarón blanco (*Litopenaeus schmitti*). Los coagulantes se prepararon con quitosano Comercial Sigma Chemical Co. (quitosano comercial, QC) y quitosano obtenido en laboratorio a 100 °C (quitosano laboratorio, QL), evaluándose las concentraciones de 24, 30, 36, 42 y 48 mg/L, respectivamente. El QC fue más eficiente para la remoción de turbidez, color, demanda química de oxígeno (DQO) e hidrocarburos presentes en las APP, obteniéndose remociones de 90,71%, 90,66%, 50,68% y 70,12%, respectivamente, para la concentración de 36 mg/L; mientras que el QL removió, para la misma concentración, 73,81%, 77,08%, 52,05% y 67,52%, respectivamente. El quitosano como coagulante podría ser una alternativa de tratamiento para las APP. *Recibido: 05 mayo 2009, aceptado: 26 noviembre 2009.*

Palabras clave. Quitosano, coagulante, aguas de producción de petróleo, quitina, turbidez.

CHITOSAN AS A COAGULANT DURING TREATMENT
OF WATER FROM CRUDE OIL PRODUCTION

Abstract. Chitosan is a useful coagulant for water purification. However, little is still known about its effectiveness in complex wastewaters like water from crude oil production (WCP). We evaluated the efficiency of chitosan as a coagulant for WCP treatment. The WCP samples were collected at Ulé Field, on the eastern coast of Lake Maracaibo, Venezuela. Chitosan was obtained by deacetylation (at 100 °C) of chitin in white shrimp shells (*Litopenaeus schmitti*). Coagulants were prepared with Sigma Chemical Co. commercial chitosan (commercial chitosan, CC) and chitosan obtained in laboratory at 100 °C (laboratory chitosan, LC). Concentrations of 24, 30, 36, 42 and 48 mg/L, were evaluated. The CC was more efficient at removing turbidity, color, chemical oxygen demand (COD), and oil from WCP, with removal of 90.71%, 90.66%, 50.68% and 70.12%, respectively, for the 36 mg/L concentration. For the same concentration, LC removal was 73.81%, 77.08%, 52.05%, and 67.52%, respectively. Chitosan, as a coagulant, could be an alternative for WCP treatment. *Received: 05 May 2009, accepted: 26 November 2009.*

Key words. Chitosan, coagulant, water from crude oil production, chitin, turbidity.

INTRODUCCIÓN

Las aguas de producción petróleo (APP) originadas durante la exploración y producción del crudo, presentan una serie de compuestos que varían dependiendo de localización geográfica de los yacimientos, los métodos de extracción, los tratamientos químicos y del contacto entre el crudo y la formación. Entre las características fisicoquímicas de las APP se destacan la salinidad, porcentaje de sólidos, temperatura, constituyentes orgánicos e inorgánicos incluyendo minerales, pH, oxígeno disuelto, conductividad, emulsiones o dispersiones de crudo, hidrocarburos y trazas de metales, entre otros, representado un problema cuando se intenta reutilizarlas o descargarlas, debido a los daños que pueden ocasionar (Gutiérrez *et al.* 2002, García *et al.* 2004, Faría 1999, Ma y Wang 2006, Sengupta *et al.* 2002).

Se han realizado varias investigaciones para evaluar y demostrar que los tratamientos fisicoquímicos con ozono y sistemas de flotación de aire disuelto (FAD), los humedales construidos y los procesos biológicos anaerobios, mesofílicos y termofílicos en reactores de manto de lodo de flujo ascendente (UASB) y por carga, así como los aerobios en reactores rotativos de contacto (RBC), entre otros, son una alternativa de tratamiento viable para las APP (Rincón *et al.* 2002, Gutiérrez *et al.* 2002, Behling *et al.* 2003, Gutiérrez *et al.* 2006, Rojas *et al.* 2008, Blanco *et al.* 2008). Sin embargo, debido a las

características de las APP aun se hace necesario seguir en la búsqueda de tratamientos que permitan disminuir su potencial contaminante, de manera que puedan ser descargadas al Lago de Maracaibo, cumpliendo así la normativa vigente de disposición a cuerpos de agua. Se ha demostrado que la coagulación empleando polímeros catiónicos de alto peso molecular forma flóculos que tienden a sedimentar y dan buenos resultados en la clarificación de las APP (Rojas *et al.* 2008).

En este sentido, existe un biopolímero con excelentes propiedades coagulantes y una amplia gama de aplicaciones, el quitosano. El quitosano se obtiene de la desacetilación de la quitina, presente en el exoesqueleto de artrópodos y zooplancton marino, formando parte de la pared celular de algunas familias de hongos y levaduras, además en alas de algunos insectos (Hernández 2004). La obtención requiere tratamiento de desmineralización (HCl), desproteínización (NaOH) y desacetilación (NaOH) empleando diferentes condiciones de temperatura, tiempo de reacción y concentraciones de los ácidos y bases (Gacén y Gacén 1996).

El quitosano se ha descrito como un polímero catiónico lineal, biodegradable, no tóxico, de alto peso molecular, de fácil aplicación y ambientalmente amigable (Lárez 2006, Niquette *et al.* 2004). Se ha demostrado que la presencia de los grupos amino en la estructura del quitosano confieren la capacidad para coagular sustancias coloidales, además su uso permite aumentar la acción de coagulantes inorgánicos convencionales (Gacén y Gacén 1996). Por esta razón es muy atractivo su uso como coagulante en el tratamiento de aguas industriales (Emelko y Brown 2004). Entre sus aplicaciones se destacan la biomedicina, biotecnología, medicina, tratamiento de aguas industriales alimenticias, floculación y coagulación de proteínas y aminoácidos, además tiene propiedades antifúngica y antibacterial (Hernández 2004).

En cuanto al tratamiento de las aguas, se ha empleado como coagulante primario en aguas residuales de alta turbidez y alcalinidad, como floculante para remoción de partículas coloidales sólidas y aceites, y para la captura de metales pesados y pesticidas en soluciones acuosas (Lárez 2006). Se ha demostrado su efectividad como coagulante en una variedad de aguas residuales industriales tales como las avícolas, lácteas, industrias de alimentos y cárnicas (No y Meyers 2000), así como también en aguas naturales con diferentes valores de turbidez (Divakaran y Pillai 2002). Sin embargo, son pocas las investigaciones sobre su uso en aguas complejas como las APP. En esta investigación se evalúa la eficiencia del quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de producción de petróleo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la solución coagulante: Las conchas de camarón se recolectaron en una planta procesadora de camarones ubicada en el estado Zulia, Venezuela. La obtención e identificación se realizó según la metodología descrita por Mármol *et al.* (2004). Para la preparación de las soluciones coagulantes se trabajó quitosano obtenido en el laboratorio mediante la desacetilación de la quitina a 100 °C (QL) y quitosano comercial Sigma Chemical Co. (QC). Las muestras se disolvieron en ácido acético 0,10 M, preparando soluciones al 0,6% para ambos coagulantes. Se trabajó con concentraciones de 24, 30, 36, 42 y 48 mg/L de solución de QL y QC, respectivamente.

Agua residual: Las APP se obtuvieron en el Patio de Tanques de Ulé, ubicado en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela, provenientes de la separación del agua asociada a la extracción de crudo pesado (10°API-21, 9°API), clasificación según el Instituto Americano del Petróleo (API). Se realizaron tres muestreos simples. Las muestras se almacenaron en recipientes plásticos de 20 L, se trasladaron al laboratorio y se refrigeraron a 4°C para su conservación.

Proceso de coagulación: La evaluación de la coagulación se llevó a cabo utilizando un aparato de Prueba de Jarro modelo JLT6; se agregó 1 L de APP, a cada uno de los seis vasos de precipitado de 1.000 mL, tomando uno de estos como control. Posteriormente, se procedió a agregar el coagulante, al iniciar el mezclado rápido (100 rpm, 1 min); se agregaron en cinco de los vasos de precipitado las diferentes dosis de coagulante (4, 5, 6, 7 y 8 mL) usando una pipeta, se procedió luego al mezclado lento (30 rpm, 20 min), para finalizar con la fase de sedimentación (30 min). Los ensayos se realizaron por triplicado, a una temperatura de 25 °C ± 1 °C. Los parámetros fisicoquímicos de cada una de las muestras, se midieron antes y después del tratamiento. Después del proceso de sedimentación, las muestras se filtraron (Whatmann No. 1). Para determinar la concentración óptima, se consideró la menor concentración del coagulante que removió el mayor valor de turbidez.

Parámetros analizados: Para la caracterización de las APP se determinó la turbidez, color, alcalinidad, pH, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), hidrocarburos, fósforo, nitrógeno total Kjeldahl (NTK), metales, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), fenoles y cloruros según lo establecido en los métodos estándar (APHA *et al.* 1998). Mientras que los parámetros DQO, hidrocarburos, turbidez, color y pH se analizaron antes y después del

tratamiento de coagulación para evaluar la efectividad del quitosano, siguiendo la misma metodología antes mencionada.

Análisis estadístico: Los datos obtenidos se procesaron empleando el programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). Se compararon las concentraciones medias de los parámetros turbidez, color y DQO, y las unidades de pH con respecto a cada tratamiento aplicando análisis de varianza (ANOVA) y prueba a posteriori de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características fisicoquímicas de las APP se muestran en la Tabla 1. Se observa que las mismas son aguas diluidas con valores de DQO inferiores a 350 mg/L, mientras que los valores de hidrocarburos, cloruros, fenoles, color, SST superan los valores límites permisibles establecidos en la Norma Venezolana vigente (Gaceta Oficial 1995).

El pH es uno de los factores de mayor importancia y efecto sobre el proceso de coagulación; su rango óptimo para la remoción de coloides depende de la naturaleza del agua y puede variar entre 5,0 y 8,0 unidades (Romero 2005). En el caso de las APP el pH es básico (8,41). Sin embargo, Selmer *et al.* (1996) concluyeron que el quitosano funciona efectivamente como coagulante a rangos de pH superiores a 5,25 unidades. Por su parte Rojas *et al.* (2008) reportaron valores de pH en el rango 7,6 a 7,9 para mezclas de APP provenientes de la extracción de crudo mediano y pesado; indicaron que el pH no afectó el proceso de coagulación-floculación ya que los coagulantes empleados trabajaron en el rango de 4–10 unidades.

En cuanto a los metales Cu, Cd, Pb y Zn, las concentraciones fueron bajas, menores a los límites establecidos en la Normativa Venezolana de descarga a los cuerpos de aguas. El quitosano también tiene propiedades para remover metales de las aguas (Juang y Shao 2002).

En general, las características fisicoquímicas de las APP antes del tratamiento mostraron algunas diferencias al compararlas con las reportadas por otros investigadores (Gutiérrez *et al.* 2007, Rojas *et al.* 2008). Estos resultados indicaron la variación en las APP debido quizás a cambios ocurridos en la industria petrolera en cuanto a la producción de crudo. Por lo anteriormente expuesto, la caracterización fisicoquímica debe ser considerada antes de recomendar la aplicación de un tratamiento de coagulación puesto que parámetros como pH, cloruros, turbidez e hidrocarburos podrían afectar la eficiencia del mismo.

Tabla 1. Características fisicoquímica de las aguas de producción de petróleo antes del tratamiento con quitosano.

Parámetros	APP x ± s	Norma Venezolana para descarga a cuerpos de agua (Gaceta Oficial, 1995)
pH	8,41 ± 0,01	6-9
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	803,33 ± 37,86	NR
DQO soluble (mg/L)	259,60 ± 36,80	NR
DQO total (mg/L)	339,4 ± 48,95	350
DBO ₅ (mg/L)	40,55 ± 22,78	60
Fósforo (mg/L)	3,01 ± 0,76	10
Hidrocarburos totales (mg/L)	123,21 ± 1,79	20
NTK (mg/L)	5,60 ± 0	NR
Cloruros (mg/L)	1.101,21 ± 100,11	1.000
Fenoles (mg/L)	0,83 ± 0,70	0,5
Color (UC)	718,80 ± 4,68	500
Turbidez (NTU)	140,00 ± 6,00	NR
SST (mg/L)	573,33 ± 90,19	80
SSV (mg/L)	220,00 ± 90,19	NR
DBO/DQO	0,12	NR
Cobre (mg/L)	0,18 ± 0,04	0,5
Cadmio (mg/L)	0,01 ± 0	0,1
Plomo (mg/L)	0,10 ± 0	2
Zinc (mg/L)	0,30 ± 0,16	1

APP: Aguas de producción de petróleo. x: Promedio. s: Desviación estándar. NR: No reportado. DBO: Demanda bioquímica de oxígeno. DQO: Demanda química de oxígeno. SST: Sólidos suspendidos totales. SSV: Sólidos suspendidos volátiles. NTK: Nitrógeno total Kjeldahl.

La fracción DBO/DQO es baja (0,12), indicando que los tratamientos biológicos no son la mejor opción, puesto que se ha reportado que esta relación debería ser superior a 0,5 para la fácil degradación por los microorganismos (Crites y Tchobanoglous 2000). Esto justifica la alternativa del proceso fisicoquímico para remover los contaminantes presentes en las APP.

En la Tabla 2 se muestran los valores de turbidez después del tratamiento de las APP con quitosano comercial (QC) y quitosano laboratorio (QL) para las diferentes concentraciones evaluadas (24, 30, 36, 42 y 48 mg/L). Para QC se obtuvieron valores de turbidez residual después del filtrado entre 13,00 a 24,00 NTU, mientras que para QL los valores variaron entre 36,67 y 45,33 NTU. Los valores menores de turbidez se obtuvieron para la concentración del coagulante de 36 mg/L, la cual resultó la mejor concentración en este estudio para ambos coagulantes (dosis óptima). Los valores de turbidez para esta concentración disminuyeron desde 140,00 NTU hasta 13,00 NTU y 36,67 NTU para QC y QL respectivamente, obteniéndose remociones de 90,71% y 73,81% (Fig. 1). Se observa además en la Figura 1 que la remoción de turbidez para QC disminuye al aumentar la concentración de 24 mg/L hasta 36 mg/L. Sin embargo, al continuar incrementando la concentración del coagulante (42 y 47 mg/L) la turbidez aumentó, efecto que podría estar relacionado con la reestabilización de coloides. Se ha reportado que se requieren dosis bajas de quitosano para desestabilizar los coloides y sedimentar las partículas en suspensión (Roussy *et al.* 2005), puesto que la aplicación de dosis altas de quitosano reestabilizan los coloides (Divakaran y Pillai 2002). En el caso de QL no hubo una tendencia específica en el comportamiento de la turbidez con respecto a las concentraciones, observándose aumentos y disminuciones con la variación de las mismas. Por otra parte, la turbidez presentó diferencias significativas ($P < 0,05$) para las concentraciones evaluadas (Tabla 2), resultados que indican que la concentración de quitosano tuvo efecto en la remoción de turbidez de las APP.

Los valores de remoción de turbidez antes del filtrado variaron entre 17,86% y 56,43% para QC, mientras que para QL el rango estuvo entre 9,05% y 14,52%. El proceso de filtración mejoró la remoción de turbidez, indicando estos resultados que la turbidez presente en las APP se debe a partículas que no sedimentan en el tiempo considerado en la investigación y que pueden ser removidas por filtración. Resultados similares se han reportados para otros coagulantes naturales como *Moringa oleifera*, *Hylocerus lemaire* y *Aloe vera*, durante la potabilización de las aguas (Caldera *et al.* 2007, Díaz y Díaz 2007, Mendoza *et al.* 2008).

Tabla 2. Parámetros evaluados después del tratamiento de las aguas de producción de petróleo con quitosano comercial (QC) y quitosano laboratorio (QL).

Parámetro		Concentración de Coagulante (mg/L)				
		24	30	36	42	48
Turbidez (NTU)	QC	15,00 ^a	13,00 ^b	13,00 ^b	19,00 ^c	24,00 ^d
	QL	38,00 ^a	45,33 ^b	36,67 ^{c,a}	45,00 ^b	41,00 ^{d,a}
Color (UC)	QC	83,76 ^a	69,72 ^b	67,12 ^b	77,52 ^c	92,66 ^d
	QL	199,75 ^a	233,03 ^b	163,86 ^c	224,19 ^d	212,22 ^c
pH	QC	8,17 ^a	7,99 ^{a,b}	8,00 ^b	8,17 ^b	8,17 ^b
	QL	8,04 ^a	7,86 ^b	8,16 ^c	7,94 ^d	7,95 ^c
DQO (mg/L)	QC	136,23 ^a	139,40 ^a	140,00 ^a	121,65 ^a	137,53 ^a
	QL	210,53 ^a	168,48 ^{a,b}	124,20 ^b	213,15 ^a	201,20 ^a

Los valores que presentan letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$). DQO: Demanda química de oxígeno.

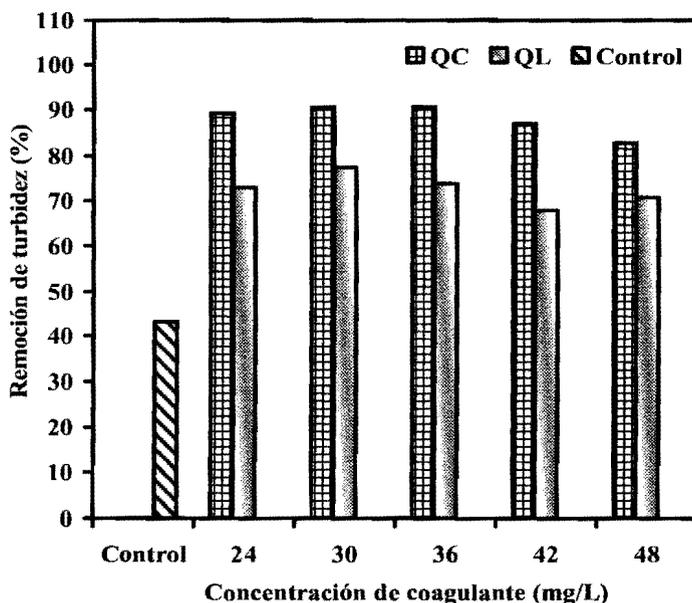


Figura 1. Remoción de turbidez después del tratamiento de las aguas de producción de petróleo (APP) con quitosano comercial (QC) y quitosano laboratorio (QL).

Por otra parte, en la Figura 1 se observa una remoción de turbidez del 43,10% en muestras APP sin coagulante (control), después del filtrado. Al comparar los porcentajes de remoción con los obtenidos durante el tratamiento de las APP con quitosano se evidencia la efectividad del mismo para remover turbidez. Esta remoción en el control podría relacionarse a efectos residuales de compuestos químicos (demulsificantes y reductores de viscosidad, entre otros) aplicados al crudo durante su tratamiento, éstos causarían algún efecto coagulante, favorecido por la agitación durante el proceso de tratamiento de las APP. Antes de someter las muestras al proceso de tratamiento se realizó un ensayo para observar la sedimentación natural de las APP sin adición de quitosano (Fig. 2), se observó que el proceso de sedimentación fue lento, con una tendencia a disminuir en función del aumento del tiempo de sedimentación, alcanzando valores de 111 NTU a las 3 horas, con una remoción de turbidez de 24%. Estos resultados indican que para obtener mejor remoción de turbidez se necesita un tiempo superior, si la tendencia a disminuir se mantiene.

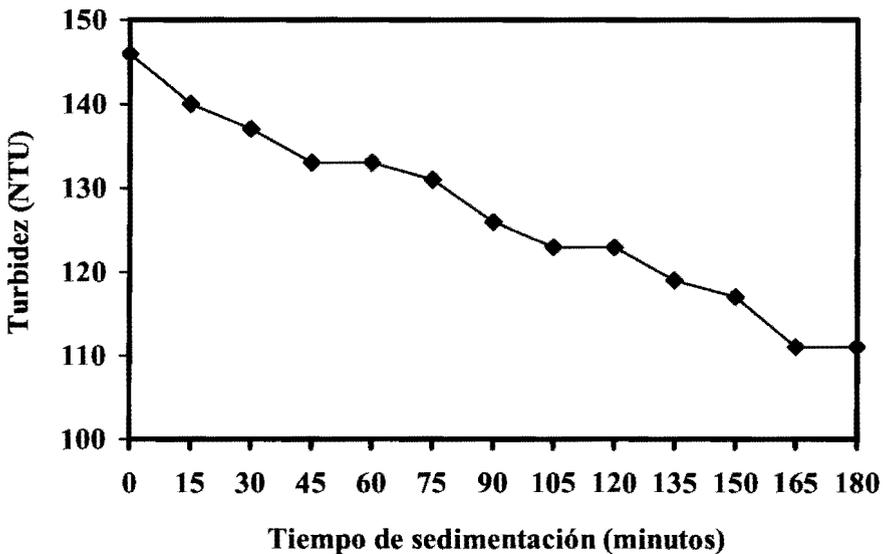


Figura 2. Sedimentación natural de las aguas de producción de petróleo (APP) sin la adición de coagulante.

La eficiencia de remoción de turbidez obtenida en esta investigación después de agregar quitosano (polímero catiónico) como coagulante a las APP, está relacionada a la desestabilización de los coloides. Rojas *et al.* (2008) señalan remociones de turbidez en APP de más del 90% durante el tratamiento

con polímeros catiónicos; mientras que Selmer *et al.* (1996), refieren 90% de remoción de la turbidez presente en aguas residuales de industrias lácteas después del tratamiento con quitosano. Es importante destacar que el parámetro turbidez no se encuentra regulado en Venezuela para aguas residuales. Por lo tanto, se considera que los porcentajes removidos por el quitosano contribuyen a la clarificación de las APP.

Las APP son aguas con color característico por el contacto con el crudo. En esta investigación las APP presentaron unidades de color (UC) inicial de 718,80; valores que fueron removidos eficientemente por el quitosano (Tabla 2). De esta manera, el color mostró un comportamiento similar a la turbidez; los menores valores se obtuvieron para la concentración óptima (36 mg/L) donde el color residual fue de 67,12 UC y 163,86 UC para el QC y QL respectivamente, representado 90,66% y 77,09% (Fig. 3). Para el control se obtuvo una remoción de color del 66,53%. Por otra parte, se observó una correlación altamente significativa entre el color y la turbidez.

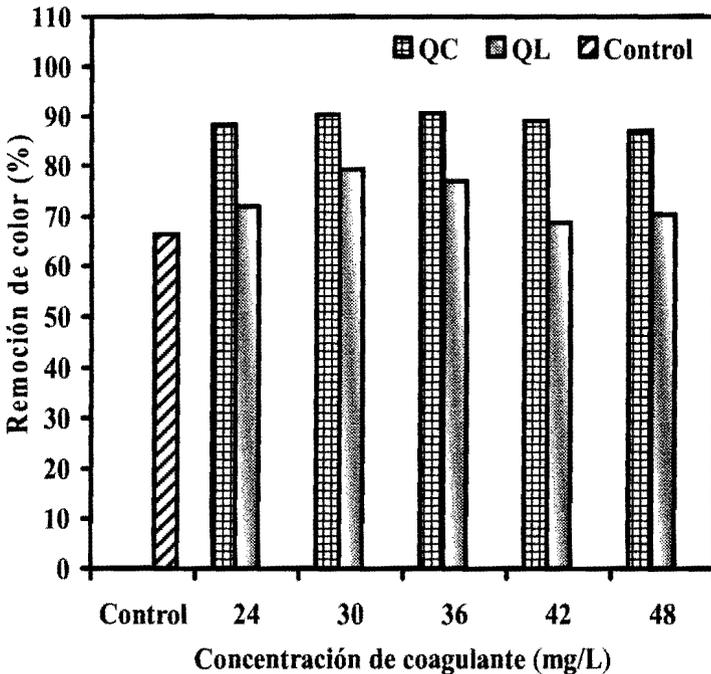


Figura 3. Remoción de color después del tratamiento de las aguas de producción de petróleo (APP) con quitosano comercial (QC) y quitosano laboratorio (QL).

El color residual de las APP después del tratamiento con los coagulantes cumple con el valor de color exigido en la Norma Venezolana para descarga a cuerpos de agua (500 UC). Se puede decir, que aunque las APP presentaron altos contenidos de unidades de color pudieron ser removidos.

Los valores de pH presentaron poca variación (Tabla 2) manteniéndose en el rango de 7,86–8,17 unidades durante el tratamiento para los coagulantes QC y QL, encontrándose en el intervalo (6–9) establecido en las Normativas Venezolanas para descargas a cuerpos de agua (Gaceta Oficial 1995). Se ha reportado que la remoción de turbidez varía en función del pH de las aguas, cuando se aplica quitosano como coagulante. Al respecto, Divakaran y Pillai (2002) obtuvieron las máximas remociones de turbidez a valores de pH 7,00, mientras que Chi y Cheng (2006) obtuvieron resultados óptimos para pH 7,00 en aguas con alto contenido de grasas desde una procesadora de leche. Estos resultados indican que regulando el pH de las APP con la adición de ácidos se podrían encontrar mejores resultados. Al respecto, Contreras y Perozo (2007) durante la potabilización de agua, concluyeron que el pH no tuvo gran variación después del tratamiento con quitosano, los valores reportados fueron menores a los encontrados en esta investigación (6,5 y 7,5 unidades de pH).

Los valores de DQO después del filtrado para el QC a las distintas concentraciones aplicadas, no presentaron diferencias significativas ($P > 0,05$) y variaron en un intervalo de 121,65 mg/L a 140,00 mg/L (Tabla 2), para remociones de 57,15% y 50,68%, respectivamente (Fig. 4). Se obtuvo una remoción superior al 50% que indica la efectividad del coagulante para remover materia orgánica en las APP.

Resultados similares a los encontrados en esta investigación presentaron Selmer *et al.* (1996) durante el tratamiento de efluentes lácteos con quitosano, señalaron remociones de DQO cercanas a 60%. Otros investigadores reportan eficiencia del quitosano para remover entre 55% y 75% de la DQO presente en aguas residuales de industrias de alimentos (No y Meyer 2000). También se ha reportado que el quitosano contribuye al incremento del carbono orgánico total presente en las soluciones, que a su vez podrían afectar el mecanismo de coagulación. Sin embargo, las dosis empleadas en el proceso de coagulación son bajas para hacer una contribución importante de DQO a las aguas (Roussy *et al.* 2005).

En el caso del QL la mayor remoción de DQO se obtuvo para la dosis óptima (36 mg/L) con una remoción del 52,05%. Para el resto de las concentraciones las remociones no superaron el 35% (Fig. 4), obteniéndose diferencias significativas ($P > 0,05$) entre los valores. Para las concentraciones

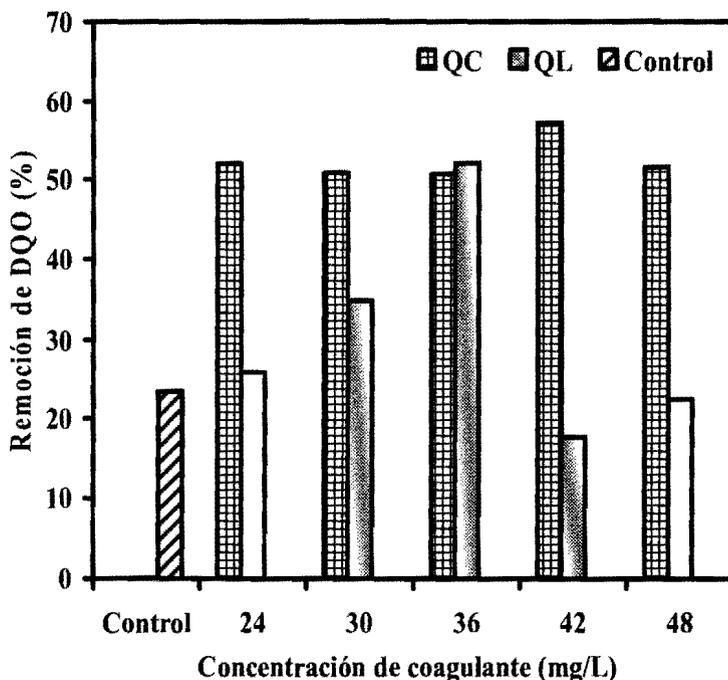


Figura 4. Remoción de demanda química de oxígeno (DQO) después del tratamiento de las aguas de producción de petróleo (APP) con quitosano comercial (QC) y quitosano laboratorio (QL).

de 42 y 48 mg/L se obtuvieron remociones menores a la encontrada en el control (23,39%).

Los porcentajes de remoción para los hidrocarburos para la dosis óptima de QC y QL fueron 70,12% y 67,52%, respectivamente, y el hidrocarburo residual presente en las APP se ubicó en 36,82 mg/L y 40,02 mg/L, respectivamente. Según la Norma Venezolana para la descargas a cuerpos de agua (Gaceta Oficial 1995), los hidrocarburos no deben exceder 20 mg/L. El quitosano es un producto que aunque no remueve el 100% de los hidrocarburos, se puede utilizar para disminuir el índice de contaminación presente en las APP. Rojas *et al.* (2008) refieren que los polímeros catiónicos remueven aceites y grasas de las APP.

Cuando se compara la efectividad de los dos coagulantes evaluados se observa que el QC supera al QL en cuanto a remoción de turbidez, color y

DQO, mostrando su comportamiento diferencias significativas entre las medias ($P > 0,05$). El pH presentó el mismo comportamiento para los dos coagulantes. Al respecto, algunos autores trabajando con quitosanos comerciales preparados a diferentes condiciones, reportando que no existen diferencias significativas entre las propiedades de los mismos (Cervera *et al.* 2004). También se ha indicado que factores como la temperatura, soluciones empleadas, grado de desacetilación, tiempo de reacción, agitación, tamaño de partícula, entre otros, influyen en las propiedades del quitosano (Mármol *et al.* 2004, Contreras y Perozo 2007, Hernández 2004). La diferencia en la preparación de los quitosanos aplicados a las APP podría ser la causa de las variaciones encontradas al comparar la efectividad de QC y QL. Sin embargo, ambos coagulantes mostraron su efectividad para clarificar las APP.

CONCLUSIONES

El quitosano como coagulante durante el tratamiento de las aguas de producción de petróleo (APP) con turbidez inicial de 140 NTU es eficiente para remover la turbidez, color, DQO e hidrocarburos, presentándose como una alternativa de tratamiento para las APP.

De las concentraciones de los coagulante evaluadas para el quitosano comercial (QC) y quitosano obtenido en laboratorio (QL) 24, 30, 36, 42 y 48 mg/L, la concentración de 36 mg/L resultó ser la óptima.

El quitosano comercial fue más eficiente para la remoción de turbidez, color, DQO e hidrocarburos, presentes en las APP, obteniéndose remociones de 90,71%, 90,66%, 50,68% y 70,12%, respectivamente, para la concentración de 36 mg/L, mientras que el quitosano laboratorio removió para la misma concentración 73,81%, 77,08%, 52,05% y 67,52%, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- APHA, AWWA, WEF. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater (20 ed.). American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environmental Federation, Washington, D. C., USA, 1207 pp.
- BEHLING, E., J. MARÍN, E. GUTIÉRREZ Y N. FERNÁNDEZ. 2003. Tratamiento aeróbico de dos efluentes industriales utilizando reactores biológicos rotativos de contacto. *Multiciencias* 3: 126–135.
- BLANCO, E., E. GUTIÉRREZ, Y. CALDERA, M. NÚÑEZ Y N. PAZ. 2008. Tratamiento de aguas de producción a través de humedales construidos de flujo subsuperficial a escala piloto. *Memorias del 31 Congr. Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS*, 12 al 15 de octubre, Santiago de Chile, Chile, pp. 1–4.

- CALDERA, Y., I. MENDOZA, L. BRICEÑO, J. GARCÍA Y L. FUENTES. 2007. Eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua. Bol. Centro Invest. Biol. 41: 244–254.
- CERVERA, M., J. HEINÄMÄKI, M. RÄSÄNEN, S. MAUNU, M. KARJALAINEN, O. NIETO, A. IRAIZOZ Y J. YLIRUUSI. 2004. Solid-state characterization of chitosans derived from lobster chitin. Carbohydrate Polymers 58: 401–408.
- CHI, F. Y W. CHENG. 2006. Use of chitosan as coagulant to treat wastewater from milk processing plant. J. Polym. Environ. 14: 411–417.
- CONTRERAS, W. Y R. PEROZO. 2007. Eficiencia del quitosano obtenido del *Litopenaeus schmitti* como coagulante en la potabilización de agua. Trabajo Especial de Grado, Programa de Ingeniería, Núcleo Costa Oriental del Lago, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela, 67 pp.
- CRITES, R. Y G. TCHOBANOGLIOUS. 2000. Tratamiento de aguas residuales a pequeñas poblaciones. McGraw-Hill, Bogotá, Colombia, 776 pp.
- DÍAZ, D. Y A. DÍAZ. 2007. Potabilización de las aguas utilizando el *Aloe vera* como coagulante natural. Trabajo Especial de Grado, Programa de Ingeniería, Núcleo Costa Oriental del Lago, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela, 55 pp.
- DIVAKARAN, R. Y S. PILLAI. 2002. Flocculation of river silt using chitosan. Water Research 36: 2412–2418.
- EMELKO, M. Y T. BROWN. 2004. Chitosan coagulation at low, cost-effective doses: Impacts on filtration of particles and pathogens. Chemical Water and Wastewater Treatment 8: 183–189.
- FARÍA, E. 1999. Caracterización de aguas de formación e inyección en la segregación Rosa Mediano de PDVSA. Trabajo Especial de Grado, Programa de Ingeniería, Núcleo Costa Oriental del Lago, Univ. del Zulia, Maracaibo, Venezuela, 150 pp.
- GACÉN, J. Y I. GACÉN. 1996. Quitina y quitosano. Nuevos materiales textiles. Boletín Intexter UPC 110: 67–71.
- GACETA OFICIAL. 1995. De las descargas a cuerpos de agua. Gaceta Oficial de la República de Venezuela, No. 5021, Sección 3, Artículo 10, 7 pp.
- GARCÍA, A., F. ARREGUÍN, S. HERNÁNDEZ Y D. LLUCH. 2004. Impacto ecológico de la industria petrolera en sonda de Campeche, México, tras tres décadas de actividad: Una revisión. Interciencia 29: 311–319.
- GUTIÉRREZ, E., N. FERNÁNDEZ, L. HERRERA, Y. SEPÚLVEDA Y Z. MÁRMOL. 2002. Efecto de la aplicación de ozono sobre la biodegradabilidad de aguas de formación. Multiciencias 2: 50–54.
- GUTIÉRREZ, E., Y. CALDERA, K. CONTRERAS, E. BLANCO Y N. PAZ. 2006. Anaerobic mesophilic and thermophilic degradation of waters from light crude oil production. Bol. Centro Invest. Biol. 40: 242–256.
- GUTIÉRREZ, E., Y. CALDERA, N. FERNÁNDEZ, E. BLANCO, N. PAZ Y Z. MÁRMOL. 2007. Biodegradabilidad anaerobia termofílica de aguas de producción de petróleo en reactores por carga. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia 30: 111–117.
- HERNÁNDEZ, I. 2004. La quitosana: un producto bioactivo de diversas aplicaciones. Revisión bibliográfica. Cultivos Tropicales 25: 97–110.

- JUANG, R. Y H. SHAO. 2002. A simplified equilibrium model for sorption of heavy metal ions from aqueous solutions on chitosan. *Water Research* 36: 2999–3008.
- LÁREZ, C. 2006. Quitina y quitosano: Materiales del pasado para el presente y el futuro. *Avances de Química* 1: 15–21.
- MA, H. Y B. WANG. 2006. Electrochemical pilot-scale plant for oil field produced wastewater by M/C/Fe electrodes for injection. *J. Hazardous Materials* 132: 237–243.
- MÁRMOL, Z., E. GUTIÉRREZ, G. PÁEZ, J. FERRER Y M. RINCÓN. 2004. Desacetilación termoalcalina de quitina de conchas de camarón. *Multiciencias* 4: 91–95.
- MENDOZA, I., L. FUENTES, Y. CALDERA, F. PERDOMO, A. SUÁREZ, N. MOSQUERA Y H. ARISMENDI. 2008. Eficiencia de *Hylocerus lemairei* como coagulante floculante en aguas para consumo humano. *Impacto Científico* 3: 55–59.
- NIQUETTE, P., F. MONETTE, A. AZZOUZ Y R. HAUSLER. 2004. Impacts of substituting aluminium-based coagulants in drinking water treatment. Review article. *Water Qual. Res. J. Canada* 39: 303–310.
- NO, H. Y S. MEYERS. 2000. Application of chitosan for treatment of wastewaters. *Rev. Environm. Contam. Toxicol.* 163: 1–28.
- RINCÓN, N., E. CHACÍN, J. MARÍN, L. MOSCOSO, L. FERNÁNDEZ, M. TORRIJOS, R. MOLETTA Y N. FERNÁNDEZ. 2002. Tiempo de retención hidráulico óptimo para el tratamiento anaerobio de aguas de producción de petróleo liviano. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia* 25: 90–99.
- ROJAS, C., N. RINCÓN, A. DÍAZ, G. COLINA, E. BEHLING, E. CHACÍN Y N. FERNÁNDEZ. 2008. Evaluación de una unidad de flotación con aire disuelto para el tratamiento de aguas aceitosas. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia* 31: 50–57.
- ROMERO, J. 2005. *Calidad del agua* (2 ed.). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, Colombia, 468 pp.
- ROUSSY, J., M. VAN, B. DEMPSEY Y E. GUIBAL. 2005. Influence of chitosan characteristics on the coagulation and flocculation of bentonite suspension. *Water Research* 39: 3247–3258.
- SELMER, E., C. RATNAWEERA Y R. PEHRSON. 1996. A novel treatment process for dairy wastewater with chitosan produced from shrimp-shell waste. *Wat. Sci. Tech.* 34: 33–40.
- SENGUPTA, P., N. SAIKIA Y P. BORTHAKUR. 2002. Bricks from petroleum effluent treatment plant sludge: properties and environmental characteristics. *J. Environmental Engineering* 128: 1090–1094.