

REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA HARINERA DE PESCADO EMPLEANDO BIOPOLÍMEROS

• Dulce María Arias-Lizárraga* • Evaristo Méndez-Gómez •

Instituto Tecnológico de Mazatlán, México

*Autor de correspondencia

Resumen

ARIAS-LIZÁRRAGA, D.M. & MÉNDEZ-GÓMEZ, E. Remoción de sólidos en aguas residuales de la industria harinera de pescado empleando biopolímeros. *Tecnología y Ciencias del Agua*. Vol. V, núm. 3, mayo-junio de 2014, pp. 115-123.

La industria productora de harina de pescado Maz Industrial S.A. de C.V. ubicada en Mazatlán, Sinaloa, México, vierte sus aguas residuales hacia el estero de Urías con una alta carga de materia orgánica, que contiene proteínas, grasas y aceites, lo cual, además del impacto ambiental que ocasiona, representa una pérdida económica por no recuperarla, llegando a desperdiciar hasta 11.44 t d^{-1} , que puede retornarse a la producción. A fin de evaluar la remoción de materia orgánica en la fase de pretratamiento de dichas aguas residuales, se hicieron pruebas de coagulación, floculación y sedimentación, utilizando polímeros orgánicos naturales e inocuos; quitosán como coagulante primario, y alginato de sodio y ácido tánico como ayudantes de coagulación aniónicos. Con la mezcla de 300 mg l^{-1} de quitosán con 20 mg l^{-1} de alginato de sodio se logró una remoción de 91.84% de sólidos suspendidos totales (SST) y 90.83% de sólidos suspendidos volátiles (SSV) y con la mezcla 200 mg l^{-1} de quitosán con 20 mg l^{-1} de ácido tánico se obtuvieron remociones del 97.78% de SST y 97.79% de SSV. Con las eficiencias de remoción conseguidas en esta investigación y tomando en cuenta que el precipitado sedimentado con el empleo de estos biopolímeros no es tóxico, es posible escalar la recuperación de la materia orgánica en el ámbito industrial, para retornarla hacia el tren de elaboración de harina de pescado, facilitar el tratamiento biológico convencional del remanente de materia orgánica en el agua residual pretratada y reducir el impacto ambiental que ocasiona la descarga con alta carga orgánica.

Palabras clave: remoción, industria harinera de pescado, coagulación, quitosán, ácido tánico, alginato de sodio.

Abstract

ARIAS-LIZÁRRAGA, D.M. & MÉNDEZ-GÓMEZ, E. Removal of Solids from Wastewater from the Fishmeal Industry. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*. Vol. V, No. 3, May-June, 2014, pp. 115-123.

The fishmeal company Maz Industrial S.A. de C.V., located in Mazatlán, Sinaloa, Mexico pours its wastewater into the Urías estuary. This effluent has a high organic matter load and contains proteins, fats and oils, resulting in an environmental impact and economic loss from not being reused. As much as 11.44 t d^{-1} which could be reused in production is wasted. In order to evaluate the removal of organic matter during the pre-treatment phase of these wastewaters, coagulation, flocculation and sedimentation tests were conducted using natural and innocuous organic polymers, chitosan as a primary coagulant and sodium alginate and tannic acid to assist in anionic coagulation. With 300 mg l^{-1} of chitosan and 20 mg l^{-1} of sodium alginate, 91.84% of total suspended solids (TSS) was removed and 90.83% of volatile suspended solids (VSS). With 200 mg l^{-1} of chitosan and 20 mg l^{-1} of tannic acid, 97.78% TSS was removed and 97.79% of volatile suspended solids (VSS). Given the removal efficiencies obtained in this investigation and considering that the precipitate recovered using these biopolymers is not toxic, it is possible to scale the recovery of organic matter to the industry level for reuse in the production of fishmeal, facilitate conventional biological treatment of the organic matter remaining in the pretreated wastewater and reduce the environmental impact of discharges with a high organic load.

Keywords: Removal, fishmeal industry, coagulation, chitosan, tannic acid, sodium alginate.

Introducción

La industria productora de harina de pescado en Mazatlán, Sinaloa, México, utiliza como

materia prima sardina, anchoveta, restos de atún, tilapia, berrugata, otros peces y desperdicios de camarón, insumos que una vez procesados obtienen por cada 1 000 kg de

materia prima, 212 kg de harina de pescado, 108 kg de aceite y 680 kg que son vertidos en las aguas residuales (Cabrera, 2002). Los desechos resultantes de la producción de harina de pescado son de los más cuestionadas en materia ambiental por la alta contaminación que generan (Galarza *et al.*, 2001). Durante el proceso de elaboración se obtienen diferentes efluentes de aguas residuales, como agua de bombeo usualmente salobre, sanguaza, agua de cola, condensados y agua de enfriamiento (Cabrera, 2002; Méndez, 2009), efluentes que contienen altas cantidades de proteínas, grasas y aceites, que finalmente son desechados con un pobre o nulo tratamiento, y vertidos hacia los cuerpos receptores, como en el caso de la planta productora de harina de pescado Maz Industrial, S.A. de C.V., objeto de este estudio, donde los residuos líquidos terminan en el estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa, en donde causan alteraciones tanto en la columna de agua como en el sedimento, y desequilibrios físicos, químicos, biológicos y ecológicos (Ahumada *et al.*, 2004). Entre las características del agua que afectan el cuerpo receptor destacan cambios en la salinidad, disminución del O₂ disuelto, incremento de la demanda bioquímica de O₂ (DBO₅), aumento de nutrientes, alta carga de sulfuros y amonio, y subida de la temperatura; con todo ello se generan fenómenos de eutrofificación, que llevan a la muerte de los organismos del bentos, plancton y necton (Pacheco *et al.*, 2009).

El tratamiento de las aguas residuales, incluyendo las producidas por la industria de la harina del pescado, se realiza de manera usual en tres etapas:

1. Pre-tratamiento. Etapa en la cual se remueven los sólidos sedimentables y suspendidos mediante el empleo de cribas, desarenadores, sedimentadores, trampas de grasas y aceites, flotación y, algunas veces, sedimentación auxiliada con coagulación-flocculación. Este último proceso es comúnmente utilizado para aumentar la sedimentación de partículas suspendidas.

2. Etapa de tratamiento secundario. Por lo general se aplican procesos del tipo biológico, los cuales tienen en común usar microrganismos que emplean las sustancias orgánicas contaminantes como alimento (Sumathi, 2004), aunque también se puede aprovechar la digestión química o física, pero la aplicación de estas dos últimas alternativas va acompañada de la generación de nuevos residuos contaminantes.
3. Etapa de tratamiento terciario. Se pueden aplicar diversos procesos químicos, electroquímicos, físicos o biológicos, todos ellos implementados para remover los remanentes de sustancias no tratadas en la fase secundaria e incluso recalcitrantes (Rodríguez *et al.*, 2006).

El proceso de coagulación y flocculación aplicado de forma usual en el pretratamiento consiste en la desestabilización de las partículas suspendidas, provocando colisión entre ellas, adhesión, incremento de tamaño, aglutinación, aumento de densidad y, como consecuencia, sedimentación. Una vez sedimentadas las partículas, pueden ser removidas con facilidad (Metcalf, Eddy, Inc., 2003). Existe una amplia variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas que pueden usarse como coagulantes y flocculantes en el pretratamiento de las aguas residuales, siendo el alumbre (sulfato de aluminio) y las sales de hierro (cloruro férrico) las más utilizados. En el caso de las sustancias inorgánicas, los polímeros sintéticos (usualmente poliacrilamidas) son los más empleados, debido a su fácil obtención en el mercado y bajo costo (Lafleur *et al.*, 2008); sin embargo, cuando se emplean estas sustancias, el sedimento obtenido se convierte en tóxico, como ocurre con el uso de las sales de aluminio (sulfato de aluminio) y sales de hierro (cloruro férrico), lo cual impide el aprovechamiento de la materia orgánica sedimentada, ya que al recuperarla y retornarla al proceso de elaboración de harina, y luego con su adición directa o indirecta en los alimentos, puede

provocar cáncer en los animales alimentados con harinas que contengan tales sustancias (ATSDR, 2008), acumular el metal en la cadena trófica y favorecer el desarrollo de Alzheimer en el humano (Fuentes *et al.*, 2008; Linn *et al.*, 2008). Por otra parte, si la materia orgánica no se aprovecha y es dispuesta en los cuerpos receptores, se vuelve un problema de contaminación ambiental y una pérdida económica para la industria al desperdiciarla.

Una buena alternativa de sustitución del uso de polímeros tóxicos empleados actualmente para la sedimentación de la materia orgánica contenida en este tipo de aguas puede ser sustituirlos con polímeros naturales derivados de la quitina como el quitosán (poli [B-(1,4)-2-amino-2-desoxi-D-glucopiranosa]), sustancia que se encuentra en forma abundante en los animales artrópodos, entre ellos los crustáceos y, en particular, los camarones (Mohd *et al.*, 2008). El quitosán posee características catiónicas, por lo que sus moléculas se unen a la superficie cargada negativamente a través de uniones iónicas o por puentes de hidrógeno (Mohd y Puteh, 2007), debido a esta característica ha sido ampliamente utilizada como coagulante (Mohd *et al.*, 2008), es inocuo y biodegradable; comercialmente se obtiene de la desacetilización de la quitina extraída del caparazón de los camarones. Otro polímero natural muy conocido y manejado de forma industrial es el alginato de sodio, poli electrolito aniónico extraído de algunas especies de algas pardas (Aguilar *et al.*, 2002), principalmente a partir de los géneros *Ascophyllum*, *Laminaria* (Europa), *Lessonia* (América del Sur), *Ecklonia* (Sudáfrica), *Durvillaea* (Australia y Chile) y *Macrocystis* (California y Baja California) (McHugh, 2002). El alginato de sodio se considera carente de toxicidad y con un gran número de aplicaciones tanto en la industria farmacéutica como alimentaria, además de ser eficiente en los procesos de floculación de partículas suspendidas en soluciones acuosas, por lo que se aplica con frecuencia en el pretratamiento de las aguas residuales (Kirchmer *et al.*, 1975). Otro grupo de polímeros

naturales no tóxicos que se emplean en bajas concentraciones son los taninos, sustancias del tipo polifenoles, producidas por las plantas superiores y que tienen la habilidad de formar complejos coagulantes con proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos y esteroideos (Marroquín, 2008), por lo que han recibido mucha atención para ser empleados también en el tratamiento de las aguas residuales debido a su comportamiento aniónico en solución y alta capacidad para coagular, flocular y sedimentar (Linn *et al.*, 2008).

El quitosán, los alginatos y los taninos, además de tener la característica de ser inocuos, biodegradables y contar con un gran número de aplicaciones, tienen en común sus posibles usos como coagulantes y floculantes en aguas con residuos orgánicos e inorgánicos, y por ello se han empleado de manera amplia en el pretratamiento de las descargas de aguas residuales industriales; en envasado de alimentos (Roussy *et al.*, 2005); producción de aceite de palma (Sumathi, 2004; Mohd y Puteh, 2007); como textiles (Mohd *et al.*, 2008); en elaboración de papel (Linn *et al.*, 2008); en la industria petrolera (Razali *et al.*, 2010); en procesadoras de alimentos (Bough y Landes, 1979; Markham *et al.*, 1990), y en la industria pesquera (Wibowo *et al.*, 2006; Pacheco *et al.*, 2009; Méndez, 2009), en donde los sedimentos obtenidos no agregan toxicidad.

En esta investigación se planteó evaluar la factibilidad de tratar el efluente de la industria de la harina de pescado empleando polímeros orgánicos inocuos y biodegradables como el quitosán.

La contribución posterior a este estudio radica en la factibilidad económica que brindaría el aprovechamiento integral de las cáscaras de camarón utilizadas en grandes cantidades en este tipo de empresas. A partir de éstas se puede producir el quitosán, el cual, al usarlo en bajas cantidades, permite comercializar el excedente y así adquirir el ayudante de coagulación, ya sea alginato de sodio o ácido tánico.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de remoción de sólidos

suspendidos totales y volátiles, aplicando quitosán como coagulante primario y alginato de sodio o ácido tánico como auxiliares de la coagulación en el pretratamiento de las aguas residuales de la industria de la harina de pescado.

Metodología

Se valoró la capacidad del quitosán combinado con alginato de sodio o con ácido tánico para lograr la coagulación y sedimentación de la materia orgánica contenida en las aguas residuales procedentes de la industria harinera de pescado Maz Industrial, S.A. de C.V., a las cuales se les controló el pH a 6.5 con hidróxido de sodio 5 M o ácido clorhídrico 5 M, y la temperatura a 42 °C (Mohd y Puteh, 2007).

Primero se determinó la dosis óptima de coagulante (quitosán) mediante la medición del tamaño de flóculo, ya que es un determinante en la eficiencia de sedimentación de partículas suspendidas. Si ocurre una sobredosificación tanto el coagulante como las partículas se vuelven a estabilizar, causando una floculación deficiente (Linn *et al.*, 2008).

Para evaluar el tamaño del flóculo, se ensayaron dosis de quitosán de 100, 200, 300, 400, 500 y 600 mg l⁻¹ en un aparato de prueba de jarras convencional (Phipps & Bird, Inc.) de seis plazas, utilizando muestras homogenizadas de un litro de agua residual tomadas de la empresa Maz Industrial. La muestra con el coagulante se mezcló por rotación a una velocidad de 250 rpm durante dos minutos, seguido de un mezclado lento con una rotación de 30 rpm durante tres minutos, según la técnica modificada de Roussy *et al.* (2005), Mohd y Puteh (2007), Mohd *et al.* (2008), Linn *et al.* (2008) y Méndez (2009); por último se tomó una alícuota que se colocó en un porta objetos excavado y se midió el tamaño de los flóculos con la ayuda de un microscopio compuesto binocular, utilizando el lente objetivo de 25X y lente ocular de 10X, este último provisto con micrómetro ocular de 1 000 μ (Méndez, 2009).

Al terminar este análisis, los datos se sometieron a una valoración estadística de

normalidad (Lilliefors) y homocedasticidad (Bartlett), para posteriormente realizar un análisis de varianza de una vía para determinar si se presentaron o no diferencias significativas entre los flóculos formados al aplicar las diferentes dosis de quitosán, para por último aplicar un análisis *a posteriori* de Tukey (Zar, 1984).

Después de obtener la dosis óptima de coagulante (quitosán), se valoró la eficiencia de coagulación, floculación y sedimentación de la materia orgánica, utilizando las mezclas de quitosán-alginato de sodio y quitosán-ácido tánico. Los ensayos se realizaron en un aparato de prueba de jarras de la marca Phipps & Bird, Inc., con seis plazas, donde el agua residual y la dosis seleccionada de coagulante (quitosán) se mezclaron por rotación a una velocidad de 250 rpm durante dos minutos; al terminar este periodo, se agregaron concentraciones de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 mg l⁻¹ del ayudante de coagulación (alginato de sodio o ácido tánico), seguida de un lapso de floculación, con una rotación de 30 rpm durante 30 minutos. Por último se sometieron a un tiempo de reposo sin rotación por 30 minutos, según la técnica modificada de Roussy *et al.* (2005), Mohd y Puteh (2007), Mohd *et al.* (2008), Linn *et al.* (2008) y Méndez (2009). Terminado ese tiempo de reposo se tomaron muestras para medir la cantidad del SST y SSV con la técnica gravimétrica de acuerdo con lo establecido en la norma NMX-AA-034-SCFI-2001.

Después de determinar los porcentajes de remoción de SST y SSV, a cada ensayo se le realizó una valoración estadística, tomando los porcentajes de remoción como no paramétricos al no ser datos normales, utilizando una significancia de 0.05. Despues se les aplicó un análisis de varianza de dos vías, según el método de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos, con el propósito de determinar si hay diferencias significativas entre las dosis probadas con la mezcla quitosán-alginato de sodio y quitosán-ácido tánico. Cuando presentaron diferencias significativas, se les realizó la prueba de comparaciones múltiples

Student-Newman-Keuls (SNK) para datos experimentales (Zar, 1984).

Resultados y discusión

El agua utilizada en los diferentes ensayos se caracterizó por contener un alto contenido de sólidos, que en promedio fue de $14\,040.22\text{ mg l}^{-1}$ de SST, $12\,665.03\text{ mg l}^{-1}$ de SSV, pH de 6.5 ± 0.1 y temperatura de $42 \pm 0^\circ\text{C}$.

Dosis óptima de quitosán

En la primera serie de experimentos se realizaron seis ensayos de coagulación-flocculación para evaluar el efecto del quitosán en la desestabilización de partículas y formación de flóculos, observando que en las dosis de 200 y 300 mg l^{-1} se obtuvieron los tamaños más grandes de flóculos registrados, con 1.20 y 1.10 mm de diámetro, respectivamente, mientras que al incrementar la dosis a 400, 500 y 600 mg l^{-1} , se observó una reducción en el tamaño del flóculo, llegando a 0.57 mm de diámetro (figura 1).

En los fundamentos teóricos se establece que el modelo gráfico de eficiencia de los polímeros catiónicos, como el quitosán, alcanzan su punto óptimo en un pequeño

rango de concentración (Guidas, 1998), ya que una sobredosificación del polímero causa un efecto negativo en el proceso físico-químico de coagulación-flocculación, afectando el tamaño del flóculo, hecho que coincidió con los resultados de esta investigación, ya que al aumentar la dosis de 200 a 300 mg l^{-1} , se redujo el tamaño del flóculo. A los valores de flocculación obtenidos se les realizó un análisis de varianza entre todas las dosis ensayadas, encontrándose diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$), por lo que se aplicó a la misma información la prueba de Tukey, para determinar entre cuáles dosis hay diferencias, evidenciando que las dosis que presentaron los tamaños de flóculos más grandes (200 y 300 mg l^{-1}) no tenían diferencias significativas ($P > 0.05$), pero al compararlas con las dosis de 100, 400, 500 y 600 mg l^{-1} sí mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) (cuadro 1).

Eficiencia de quitosán-alginato de sodio

Posteriormente, en los ensayos para estudiar la influencia de la variación de concentración del alginato de sodio al ser utilizado como ayudante de coagulación mezclado con 200 mg L^{-1} de quitosán, se observó que los porcentajes de remoción obtenidos con 200 mg L^{-1} de quitosán y 50 mg L^{-1} de alginato de sodio alcanzaron hasta 84.91% en la remoción de los SST y 85.65% en la remoción de los SSV.

Se observó también que tanto en la etapa de mezclado rápido como en la de mezclado lento se formaron flóculos pequeños, los cuales, después de sedimentarlos, formaron un sedimento compacto, además de presentar un incremento en la eficiencia de remoción conforme aumentaba la dosis de alginato de sodio ensayadas desde 10 hasta 50 mg l^{-1} ; sin embargo, al agregar 60 mg l^{-1} , se observó un descenso tanto en el porcentaje de remoción de los SST como en los SSV (figuras 2 y 3).

En seguida se realizó un ensayo utilizando las mismas dosis de alginato de sodio, pero ahora con una concentración de quitosán de 300 mg l^{-1} , observándose la formación de

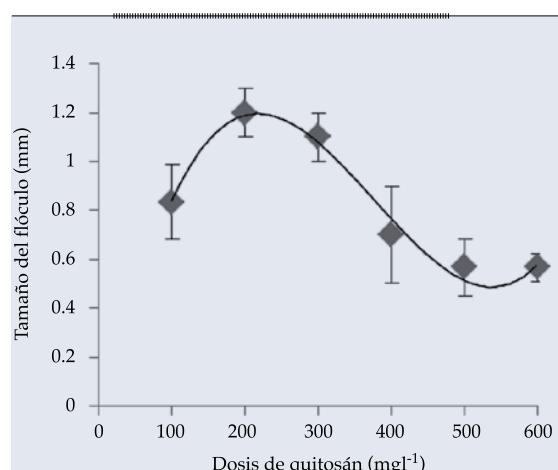


Figura 1. Tamaño del flóculo utilizando diversas dosis de quitosán.

Cuadro 1. Valores de tamaño de flóculo con promedio, desviación estándar y resultados de la prueba de Tukey obtenidos al adicionar quitosán como coagulante-floculante ($\alpha = 95\%$)*.

| Dosis de quitosán (mg l ⁻¹) | Tamaño promedio ± desviación estándar (mm) |
|---|--|
| 100 | 0.83 ± 0.15 ^{bc} |
| 200 | 1.20 ± 0.10 ^d |
| 300 | 1.10 ± 0.10 ^d |
| 400 | 0.70 ± 0.20 ^{ab} |
| 500 | 0.57 ± 0.12 ^a |
| 600 | 0.57 ± 0.06 ^a |

*Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha = 0.05$).

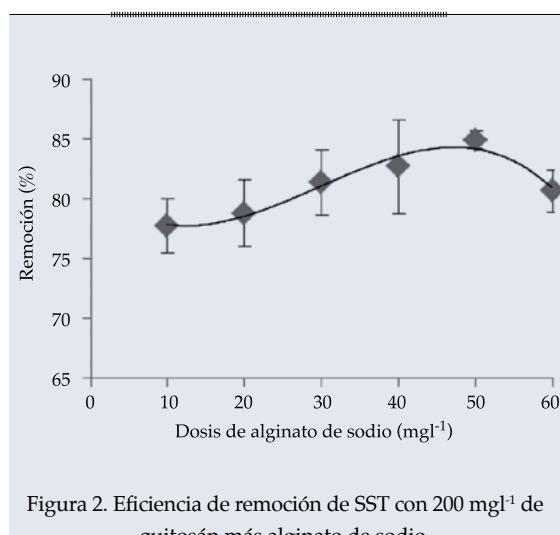


Figura 2. Eficiencia de remoción de SST con 200 mg l⁻¹ de quitosán más alginato de sodio.

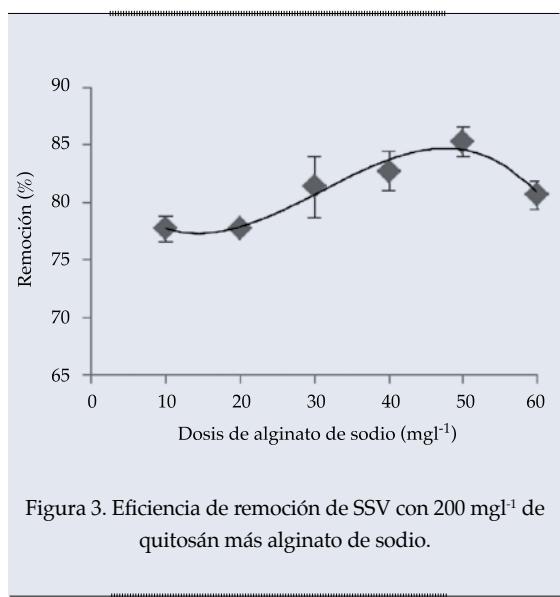


Figura 3. Eficiencia de remoción de SSV con 200 mg l⁻¹ de quitosán más alginato de sodio.

flóculos con tamaño similar a lo obtenido al emplear la dosis de 200 mg l⁻¹ y después del periodo de asentamiento se observó un sedimento compacto en las primeras dosis, teniendo como resultado una remoción del 91.57% de los SST y 90.35% de los SSV, con 300 mg l⁻¹ de quitosán y 10 mg l⁻¹ de alginato de sodio. Con 300 y 20 mg l⁻¹ de alginato, los porcentajes de remoción fueron de 91.84% en los SST y 90.83% de los SSV; sin embargo, al emplear una concentración 30 mg l⁻¹ con los 300 mg l⁻¹, se observó que al terminar el tiempo asignado para la coagulación y floculación, las partículas permanecían aglomeradas, pero sin sedimentar, obteniéndose por lo tanto 0% de remoción; es posible que este fenómeno se relacione con una sobredosificación del polímero alginato de sodio.

Los resultados obtenidos en la remoción de SST y SSV al ensayar con 200 mg l⁻¹ de quitosán y 10, 20, 30, 40, 50 y 60 mg l⁻¹ de ácido tánico registraron una remoción de hasta el 97.78% de los SST y del 97.79% de los SSV (figuras 4 y 5), observándose además la generación de un sedimento con grumos pequeños que compactaban.

Al comparar las remociones de SST y SSV obtenidas con las dos mezclas, quitosán-alginato de sodio y quitosán-ácido tánico, el análisis no-paramétrico de dos vías de Kruskal-Wallis señala que hay diferencias significativas entre las mezclas y en las dosis ($P > 0.05$), además de observarse una interacción entre cada combinación de polímeros con la dosis

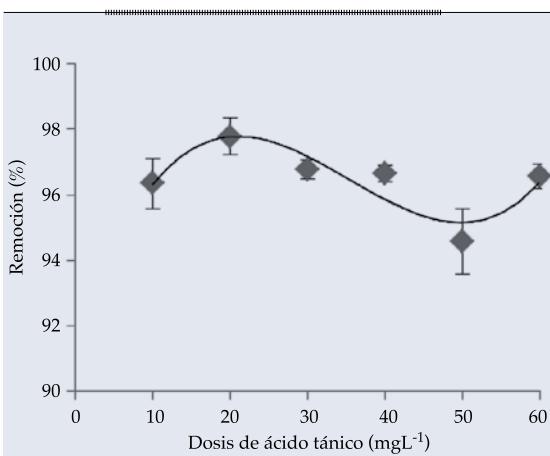


Figura 4. Eficiencia de remoción de SST con la mezcla de 200 mgL^{-1} de quitosán con varias dosis de ácido tánico.

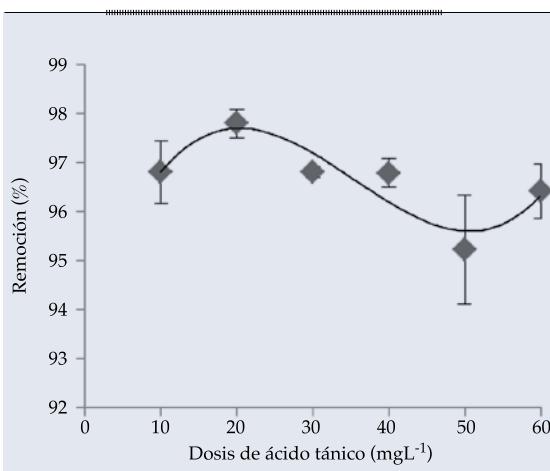


Figura 5. Eficiencia de remoción de SSV con 200 mgL^{-1} de quitosán con varias dosis de ácido tánico.

empleada, lo cual demuestra que la eficiencia en la remoción depende de la concentración de la mezcla de polímeros utilizados. De manera posterior, al hacer la comparación múltiple por medio de prueba SNK en un nivel de significancia del 95%, se obtuvo como resultado que la combinación quitosán-ácido tánico es estadísticamente superior a la mezcla quitosán-alginato ($P > 0.05$) (cuadro 2).

Al comparar de modo directo los porcentajes obtenidos en la remoción de sólidos

suspendidos totales, se observó que con la mezcla quitosán-alginato se llegó a obtener hasta el 92% en la remoción de SST; en cambio, con la mezcla quitosán-ácido tánico, se logró remover hasta un 98% de SST. En ambos casos, la remoción obtenida es superior en eficiencia a la esperada para un pre-tratamiento de coagulación y floculación convencional, para los cuales está pre-estimada una eficiencia máxima de remoción de los SST entre el 70 y 90% (Metcalf, Eddy, Inc., 1991; Fair *et al.*, 1993).

En trabajos previos donde se ha empleado quitosán, alginato o ácido tánico, como en el caso de los resultados reportados por Sumathi (2004), y Mohd y Puteh (2007), se obtuvo hasta el 99% en los sólidos suspendidos totales en la evaluación de la efectividad del quitosán como adsorbente y coagulante en el tratamiento de las aguas residuales de la industria productora de aceite de palma para remover partículas suspendidas; el estudio realizado por Markham *et al.* (1990), donde reportaron hasta el 95% de remoción de SST en las descargas de un rastro, así como lo registrado por Razali *et al.* (2010), quienes evaluaron el uso de quitosán en las aguas residuales de la industria petroquímica para la reducción de los sólidos suspendidos, logrando hasta 95%; estos resultados pueden ser comparados con los obtenidos con la mezcla quitosán-ácido tánico, ya que muestra una eficiencia mayor a la esperada, si se considera la alta carga orgánica inicial, y la alta variabilidad en las características físicas y químicas de las partículas tanto suspendidas como disueltas de los efluentes de la industria productora de harina de pescado.

Al comparar las eficiencias logradas por ambas mezclas ensayadas en esta investigación con otras investigaciones similares en las que reportan el tratamiento de las aguas residuales procedentes de industrias procesadoras de alimentos marinos, éstas señalan una eficiencia inferior, como los resultados de esta investigación con los obtenidos por Méndez (2009), quien señaló que al utilizar 250 mgL^{-1} de quitosán como floculante y 50 mgL^{-1} del coagulante inorgánico cloruro férrico (FeCl_3),

Cuadro 2. Valores promedio y desviación estándar de los porcentajes de remoción de SST y SSV obtenidos con las dos combinaciones de polímeros naturales. Letras distintas indican diferencias significativas ($\alpha = 0.05$).

| Parámetro | | Combinación | |
|-----------|--------------|----------------------------|---------------------------|
| | | Quitosán-alginato de sodio | Quitosán-ácido tánico |
| SST | Remoción (%) | 80.86 ± 2.92 _b | 96.44 ± 1.05 _a |
| SSV | | 80.88 ± 2.91 _b | 96.63 ± 0.83 _a |

como auxiliares para la sedimentación de partículas orgánicas contenidas en las aguas residuales de la industria de la harina de pescado, se registró una remoción de hasta el 57% de los sólidos suspendidos totales. En otra investigación similar, realizada por Pacheco *et al.* (2009), se aplicó quitosán y un proceso de centrifugación en los efluentes de las aguas residuales de la industria de harina de pescado en Guaymas, Sonora, y se señala haber logrado una remoción del 58.88% de los sólidos suspendidos totales; en cambio, en esta investigación se logró una eficiencia de remoción entre el 92 y 98% de los SST, al combinar el quitosán con otros polímeros inocuos y biodegradables, posibilitando además el retorno del sedimento formado a la producción de harina de pescado.

Conclusiones

Al evaluar la eficiencia de sedimentación mediante estos polímeros naturales y biodegradables utilizados se logró la remoción experimental de la materia orgánica de hasta el 91.84%, utilizando 300 mg l⁻¹ de quitosán y 20 mg l⁻¹ de alginato de sodio, y 97.78% con la mezcla de 200 mg l⁻¹ de quitosán y 20 mg l⁻¹ de ácido tánico, medido en SST, contenida en las aguas residuales de la industria de la harina de pescado.

El empleo de las sustancias naturales ensayadas en esta investigación, además de evitar los daños ambientales que ocasionan los coagulantes y floculantes inorgánicos o sintéticos, posibilita la recuperación de la materia orgánica hacia el tren de elaboración de harina de pescado, que para el caso del

agua residual de la industria estudiada, Maz Industrial, posibilita la recuperación de hasta el 98% de las 11.44 t d⁻¹ de materia orgánica descargada en el cuerpo receptor, que equivaldría a la recuperación de 283 sacos de harina de pescado de 50 kg cada uno.

Agradecimientos

A la empresa procesadora de harina de pescado Maz Industrial, S.A. de C.V. de Mazatlán, Sinaloa, por facilitar la toma de muestras y el apoyo para la realización de este proyecto.

Recibido: 25/01/13

Aceptado: 27/09/13

Referencias

- AHUMADA, R., RUDOLPH, A., and CONTRERAS, S. Evaluation of Coastal Waters Receiving Fish Processing Waste: Lota Bay as a Case Study. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 90, No. 1-3, 2004, pp. 89-99.
- AGUILAR, M.I., SAENZ, J., LLORENS, M., SOLER, A., y ORTUÑO, J.F. *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-flocculación*. Murcia, España: Universidad de Murcia, 2002, pp. 160-162.
- ATSDR. *Toxicological Profile for Aluminum*. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2008, 305 pp.
- BOUGH, W. and LANDES, D. Treatment of Food-Processing Wastes with Chitosan and Nutritional Evaluation of Coagulated by Products. In *Proceedings of the First International Conference on Chitin/Chitosan* (reprinted). Muzzarelli, R.A.A. and Pariser, E.R. (editors), 1979, pp. 218-230.
- CABRERA, C. *Estudio de la contaminación de las aguas costeras en la bahía de Chancay: propuesta de recuperación*. Tesis. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2002.
- FAIR, M., GEYER, J., and OKUN, D. *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. México, DF: Ed. Limusa-Wiley, S.A., 1993, 764.

- FUENTES, L., CONTRERAS, W., PEROZO, R., MENDOZA, I., y VILLEGAS, Z. Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda: Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano. *Multiciencias*. Vol. VIII, 2008, pp. 282-283.
- GALARZA, E., GONZÁLEZ, L., y NESTOROVIC, D. *El costo ambiental de hacer negocios en Perú, reporte final. Proyecto Andino de Competitividad*. Quito: Centro de Investigación del Pacífico, 2001.
- GUIDAS, B. *Étude de la performance du chitosane comme coagulant pour l'enlèvement du cuivre et de la turbidité des eaux usées*. Tesis. Montreal: Université de Montreal, National Library of Canada, 1998.
- KIRCHMER, C.J., ARBOLEDA, J.V. y CASTRO, M. *Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 1975.
- LAFLEUR, C., FORTIER, J., KHAROUNE L., et KHAROUNE, M. *Évaluation d'un procédé de coagulation flocculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles*. Québec: Société de Développement de l'Industrie Maricole Inc. École de Technologie Supérieure, 2008.
- LINN, H., TINT K., and MYA, O. *Treatment of Wastewater in Recycled Paper Industry using Biopolymers. International Conference on Sustainable Development: Issues and Prospects for the GMS*. Myanma: Department of Chemical Engineering, Mandalay Technological University, 2008.
- MARKHAM, W., REID, J., and COFFMAN, G. *Recovery of Fats and Proteins from Food Processing Wastewaters with Alginates*. United States Patent, Patent Number 4993087, 1990.
- MARROQUÍN, A. *Obtención del extracto tánico por maceración dinámica de la corteza de árboles jóvenes de cuatro especies forestales, a nivel laboratorio*. Tesis. Nueva Guatemala de la Asunción: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008.
- McHUGH, D.J. *Perspectivas para la producción de algas marinas en los países en desarrollo*. FAO Circular de Pesca. Núm. 968. Roma: FAO, 2002, 30 pp.
- METCALF, EDDY, INC. *Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse*. Third edition. New York: McGraw Hill, 1991, 550 pp.
- METCALF, EDDY, INC. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. Fourth edition. New York: McGraw-Hill. 2003, 479 pp.
- MÉNDEZ, O. I. *Diseño e implementación de mejoras al proceso de tratamiento aplicado a las aguas residuales provenientes de la producción de harina de pescado*. Tesis. Mazatlán, México: Instituto Tecnológico de Mazatlán, 2009, 77 pp.
- MOHD, A. and PUTEH, M. Pre-Treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME): A Comparison Study using Chitosan and Alum. *Malaysian Journal of Civil Engineering*. Vol. 19, No. 2, 2007, pp. 128-141.
- MOHD, A., LI, T., and NOOR, Z. Coagulation and Flocculation Treatment of Wastewater in Textile Industry using Chitosan. *Journal of Chemical and Natural Resources Engineering*. Vol. 4, No. 1, 2008, pp. 43-53.
- NMX-AA-034-SCFI-2001. *Norma Oficial Mexicana. Análisis de agua. Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba*. México, DF: Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Diario Oficial de la Federación, 1º de agosto de 2001.
- PACHECO, R., LEYVA, P., CARVALLO, G., GARCÍA, L., y MÁRQUEZ, V. Efecto de la concentración de quitosano y pH sobre la remoción de sólidos en agua de cola de la industria sardinería. *Interciencia*. Vol. 34, núm. 4, 2009, pp. 274-279.
- RAZALI, M., YUNUS, R.M., JEMAAT, Z., and ALIAS, S. Monoethanolamina Wastewater Treatment Via Adsorption Method: A Study on comparison of Chitosan, Activated Carbon, Alum and Zeolite. *Journal of Applied Sciences*. Vol. 10, No. 21, 2010, pp. 2544-2550.
- RODRÍGUEZ, A., LETÓN, P., ROSAL, R., DORADO, M., VILLAR, S. y SANZ, J. *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid: CEIM, 2006.
- ROUSSY, J., CHASTELLAN, P., VAN VOOREN, M., and GUIBAL, E. Treatment of Ink-Containing Wastewater by Coagulation/Flocculation using Biopolymers. *Water SA*. Vol. 31, No. 3, 2005, pp. 369-376.
- SUMATHI, S. *Removal of Residue Oil from Palm Oil Mill Effluent (POME) using Chitosan*. Thesis. Pahang, Malaysia: University Sains Malaysia, 2004.
- WIBOWO, S., VELÁZQUEZ, G., SAVANT, V., and TORRES, J. Effect of Chitosan Type on Protein and Water Recovery Efficiency from Surimi Wash Water Treated with Chitosan Alginate Complexes. *Biosource Technology*. Vol. 98, No. 3, 2006, pp. 665-671.
- ZAR, H. *Biostatistical Analysis*. Department of Biological Sciences. Second edition. New Jersey: Northern Illinois University, Prentice Hall, 1984, pp. 79-186.

Dirección institucional de los autores

Ing. Dulce María Arias-Lizárraga

Dr. Evaristo Méndez-Gómez

Instituto Tecnológico de Mazatlán

Corsario 1 núm. 203, Colonia Urías

82070 Mazatlán, Sinaloa, México

Teléfono: +52 (669) 9838 400

dulce_dem06@hotmail.com

evaristo3@hotmail.com