

Calidad física de aguas residuales de una industria avícola en un sistema de flotación por aire disuelto con coagulantes

Yaxcelys Caldera¹, Mayra Sánchez² y Edixon Gutiérrez²

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

²Centro de Investigación del Agua. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. egutierr12@gmail.com

Recibido: 24-04-2017

Aceptado: 19-09-2017

Resumen

Se evaluó la calidad física de las aguas residuales provenientes de una industria avícola (ARIA), después del tratamiento en un sistema de flotación por aire disuelto (DAF), con la aplicación de los coagulantes sulfato de aluminio (SA), policloruro de aluminio (PAC) y quitosano (Q). Las muestras de aguas residuales se recolectaron a la entrada de la unidad de flotación que integra el sistema de tratamiento de una industria avícola ubicada en el estado Zulia, Venezuela. Se trabajó en un sistema de DAF de 4 L en la cámara de flotación, variando las condiciones de operación de presión en 30, 40 y 50 psi y de recirculación del efluente en 30% y 40%, trabajando con y sin la adición de los coagulantes. Se determinaron los parámetros turbidez, color y sólidos suspendidos totales (SST) antes y después del tratamiento. Los resultados demostraron que el sistema de DAF con coagulantes remueve entre 84,0% y 95,2% de turbidez; 82,7% y 95,5% de color y 50,7% y 85,7% de SST. La flotación por aire disuelto con la adición de coagulantes es una alternativa de tratamiento primario para mejorar la calidad física de las aguas residuales de la industria avícola.

Palabras clave: DAF, flotación, coagulantes, aguas residuales, industria avícola.

Physical quality of wastewater from a poultry industry in a system dissolved air flotation with coagulants

Abstract

The physical quality of poultry industry wastewater (PIW) was evaluated after the treatment in a dissolved air flotation system (DAF), with the application of coagulants aluminum sulphate (AS), aluminum polychloride (PAC) and chitosan (C). The wastewater samples were collected at the entrance of the flotation unit that integrates the treatment system of a poultry industry located in Zulia state, Venezuela. A DAF system of 4 L was used in the flotation chamber, varying the pressure operating conditions at 30, 40 and 50 psi and the effluent recirculation at 30% and 40%, working with and without the addition of the coagulants. The parameters turbidity, color and total suspended solids (TSS) were determined before and after treatment. The results showed that the DAF system with coagulants removes between 84.0% and 95.2% of turbidity; 82.7% and 95.5% of color and 50.7% and 85.7% of TSS. Dissolved air flotation with the addition of coagulants is an alternative primary treatment to improve the physical quality of the wastewater of the poultry industry.

Keywords: DAF, flotation, coagulant, wastewater, poultry industry.

Introducción

Las características de las aguas residuales industriales dependen del tipo de industria y de los contaminantes presentes, por esta razón cada sector produce su propia combinación de contaminantes y dependiendo de la composición física, química y biológica de las aguas residuales generadas, causarán un enorme impacto negativo al ambiente, con la capacidad de destruir muchos hábitats de animales y causar irreparables daños a diversos ecosistemas [1].

Entre las industrias consumidoras de agua y generadoras de aguas residuales se encuentran las avícolas [2]. La calidad física de las aguas residuales proveniente de la matanza de aves se ve afectada por la alta carga orgánica que presentan, constituida por sangre y otros materiales orgánicos que causan el color y la mayor parte de la turbidez, también contienen elevadas concentraciones de sólidos suspendidos [3]. Entre sus características químicas se destacan altos niveles de materia orgánica medida como demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), aceites y grasas (A y G), fósforo y nitrógeno [4, 5, 6, 7, 8]. Estas aguas son altamente contaminantes, pueden agotar el oxígeno disuelto de un cuerpo de agua receptor, causar destrucción de la fauna, producir olores desagradables y facilitar el desarrollo y la propagación de enfermedades [9].

Los procesos de tratamiento de aguas residuales están diseñados para lograr mejoras en la calidad de las aguas residuales. Tee et al. [1] refieren que el tratamiento híbrido de aguas residuales ha ganado mucha atención en los últimos años, puesto que permite la combinación de dos o más procesos unitarios biológicos y químicos y operaciones físicas de tratamiento para la eliminación más eficaz de los contaminantes de las aguas residuales, entre los cuatro sistemas híbridos disponibles se encuentra el físico-químico, de esta manera, la combinación de los métodos de flotación y coagulación representa una alternativa para mejorar la calidad de las aguas residuales provenientes de la industria avícola, ARIA [10, 11].

Entre los tipos de flotación se destaca la flotación por aire disuelto (DAF, por sus siglas en inglés), la cual ha mostrado una elevada eficiencia. Se basa en el principio de la solubilidad del aire en el agua sometida a presión, consiste fundamentalmente en someter el agua a tratar a presión durante cierto tiempo en un recipiente, introduciendo simultáneamente aire comprimido y agitando el conjunto por diversos medios, hasta lograr la dilución del aire en el agua. Posteriormente, se despresuriza el agua en condiciones adecuadas, desprendiéndose gran cantidad de micro burbujas de aire, estas se adhieren a los sólidos en cantidad suficiente para que su fuerza ascensional supere el reducido peso de los mismos, elevándolos a la superficie de donde son retirados continua o periódicamente, por distintos medios mecánicos [12].

Los sistemas de DAF se han utilizado para remover materia orgánica, A y G, sólidos, turbidez y nutrientes presentes en aguas residuales domésticas e industriales, con resultados satisfactorios. Estos sistemas han precedido sistemas biológicos con la finalidad de reducir la carga aplicada a reactores biológicos y también han ocupado el tratamiento final para mejorar la calidad de las aguas y cumplir con los valores exigidos en la normativa.

Del Nery et al. [4] presentaron la secuencia DAF-UASB (reactor de manto de lodo de flujo ascendente)-laguna facultativa aireada-DAF con coagulante, como tratamiento para eliminar materia orgánica y nutrientes de ARIA, concluyendo que la tecnología es adecuada puesto que logra disminuir los parámetros fisicoquímicos a valores menores a los exigidos en la normativa para descargar el efluente a cuerpos receptores. Mientras que Herrera et al. [13] proponen la secuencia de procesos de tratamiento coagulación-DAF-filtración para aguas residuales domésticas provenientes de una laguna de estabilización, obteniendo agua de adecuada calidad, constituyendo así una alternativa de pulimento eficaz para la reutilización del agua residual tratada como insumo en determinados procesos industriales, tales como agua de enfriamiento, agua de servicios y agua contra incendio, entre otros.

Por lo anteriormente planteado, el objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad física de las aguas residuales provenientes de una industria avícola (ARIA), después del tratamiento en un sistema de

flotación por aire disuelto (DAF), con la aplicación de los coagulantes sulfato de aluminio (SA), policloruro de aluminio (PAC) y quitosano (Q).

Metodología

Toma de muestras

Las muestras de agua residual se recolectaron quincenalmente, durante seis meses de evaluación, en la entrada de una unidad de flotación por aire disperso que integra el sistema de tratamiento de una industria avícola ubicada en el estado Zulia, Venezuela. Las unidades del sistema de tratamiento son: tamiz rotatorio, unidad de flotación de A y G, lodos activados (reactor biológico y sedimentador secundario) y cámara de cloración. Mientras que las unidades para el manejo de lodo son: digestor aerobio, espesador y lechos de secado. Además, antes de entrar al sistema de tratamiento, se separan o recuperan las plumas, sangre y vísceras de las ARIA [9].

Las aguas residuales provenientes de la industria avícola presentaron las siguientes características fisicoquímicas; DQO: $3590 \pm 524,5$ mg/L; turbidez: $1100 \pm 285,6$ UNT, color: $5870 \pm 734,7$ UC Pt-Co; A y G: $476 \pm 95,2$ mg/L; pH: $6,7 \pm 0,2$ unidades; SST: $568 \pm 112,2$ mg/L; SSV: $478 \pm 102,7$ mg/L; N: $122 \pm 35,6$ mg/L y P: $15 \pm 2,8$ mg/L.

Equipo experimental

En esta investigación se utilizó un equipo de DAF (Figura 1) que tiene una cámara de flotación (1) con capacidad para 4 L, de fondo perforado para distribuir uniformemente el reciclo y aumentar el contacto gas-líquido, una válvula que regula la entrada del agua presurizada (2), y una válvula de salida (3) para la muestra tratada. Este equipo también tiene un tanque de presurización de acero inoxidable con capacidad de 2 L (4), con un manómetro en la parte superior (5) para verificar la presión interna, un recipiente de llenado para introducir el reciclo (6) y una válvula (7) que permite la entrada del reciclo. En la parte inferior tiene dos válvulas, la primera (8) permite el paso del aire proveniente del compresor de aire (9), y la segunda (10) libera el líquido presurizado; esta misma válvula es usada para la succión del aire del tanque a través de una bomba de succión (11), tiene además conexiones flexibles con acoples de rápida instalación y desinstalación.

Coagulantes

Los coagulantes utilizados en esta investigación fueron: sulfato de aluminio (SA), policloruro de aluminio (PAC) y quitosano comercial (Q). Después de pruebas preliminares se seleccionaron las dosis óptimas de los coagulantes, resultando 280, 240 y 220 mg/L para SA, PAC, y Q, respectivamente.

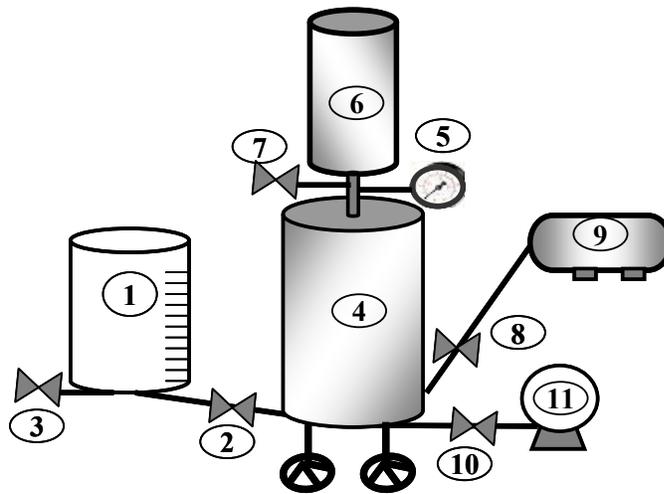


Figura 1. Equipo de flotación por aire disuelto (DAF) utilizado en esta investigación

Procedimiento

Las pruebas en el sistema de DAF se iniciaron haciendo succión en el tanque hasta obtener el vacío, luego se agregó el agua residual variando el porcentaje de recirculación del efluente en 30 % y 40 % y se sometió a la presión deseada de 207 kPa (30 psi), 276 kPa (40 psi) y 345 kPa (50 psi). Posteriormente, se conectó la cámara y se descargó la muestra ya presurizada. Se dejó en reposo por 10 minutos, para llevar a cabo el proceso de flotación. Finalmente, se tomaron las muestras requeridas para determinar los parámetros turbidez, color y SST antes y después del tratamiento en el sistema de DAF, según métodos estándar [14].

El procedimiento fue similar cuando se agregó el coagulante, se trabajó con una mezcla rápida por 1 min y luego una mezcla lenta por 10 minutos y la dosis óptima del coagulante (SA, PAC o Q).

La evaluación de las condiciones se realizó por triplicado. También se determinó la correlación a nivel de significancia entre los parámetros, empleando el programa estadístico comercial STATGRAPHICS Centurion XVI.

Resultados y discusión

En la Figura 2 se muestra la variación de los porcentajes de remoción de turbidez en el sistema de DAF, para las diferentes condiciones de evaluación (30% y 40% de recirculación y presiones de 30, 40 y 50 psi), sin coagulante (Figura 2a) y con la adición de los coagulantes SA (Figura 2b), PAC (Figura 2c) y Q (Figura 2d). Se observa en la Figura 2a que la remoción de turbidez no superó el 40% cuando se trabajó sin la adición de coagulantes, presentando las mayores remociones a la condición de 30% y 30 psi (38%).

Sin embargo, la adición de los coagulantes SA, PAC y Q favoreció la remoción de turbidez, aumentando la remoción a valores entre 84,0% y 95,2% (Tabla 1). Las mayores remociones para las condiciones de presión y recirculación evaluadas se alcanzaron con el coagulante SA (92,1% a 95,2%). No se observaron cambios importantes en la remoción de turbidez cuando se variaron las condiciones de trabajo (presión y recirculación).

La remoción del color presente en las ARIA durante su tratamiento en el sistema de DAF, se muestra en la Figura 3. El rango de remoción fue bajo y osciló entre 2,3% y 30,1% cuando se evaluaron las condiciones de operación sin la adición de coagulantes (Figura 3a). Sin embargo, la remoción de turbidez superó

el 80 % cuando se agregaron coagulantes, obteniendo remociones en un rango de 82,7% a 95,5% a las diferentes condiciones evaluadas (Tabla 1).

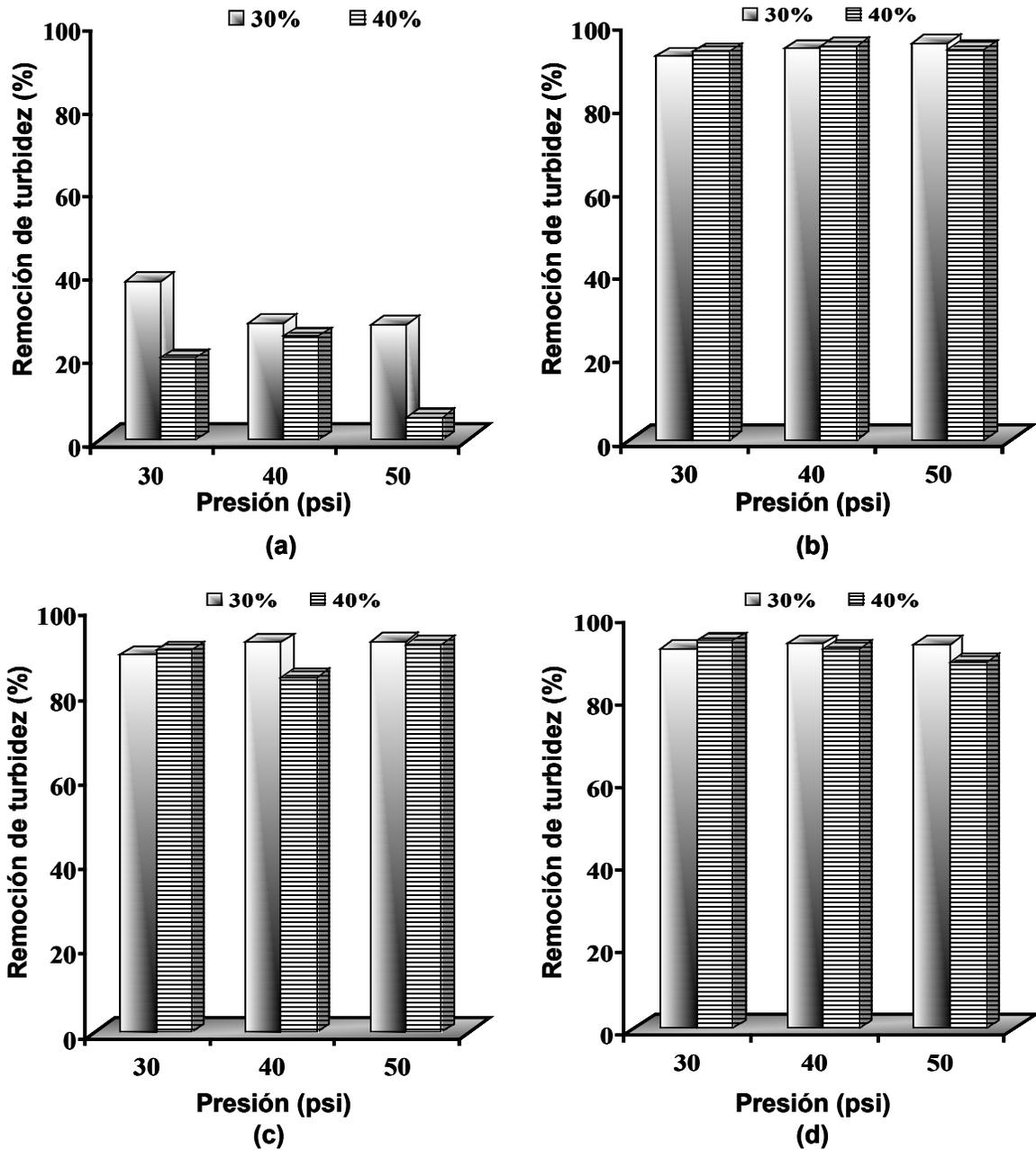


Figura 2. Remoción de turbidez en el sistema de DAF a diferentes condiciones de presión y recirculación. (a) Sin coagulante. (b) Sulfato de aluminio, SA. (c) Policloruro de aluminio, PAC. (d) Quitosano, Q

Tabla 1. Rango de remociones de turbidez, color y sólidos suspendidos totales (SST) en el sistema de DAF después del tratamiento con los coagulantes sulfato de aluminio(SA), policloruro de aluminio (PAC) y quitosano (Q), a diferentes condiciones de presión y recirculación

Coagulante	Remoción (%)		
	Turbidez	Color	SST
SA	92,1 - 95,2	91,3 - 95,5	68,5 - 85,7
PAC	84,0 - 92,5	82,7 - 91,9	50,7 - 79,3
Q	89,0 - 94,3	88,2 - 92,2	73,2 - 82,4

En el caso de los sólidos, el sistema de DAF sin coagulante removió entre 7% y 43,5% de los SST presentes en las ARIA, con porcentajes más altos para la recirculación del 30% a las diferentes presiones evaluadas (Figura 4a). Después de agregar los coagulantes se observó un incremento en la remoción, alcanzando un rango entre 50,7% y 85,7% (Tabla 1) para las diferentes condiciones de presión y recirculación (Figuras 4b, 4c y 4d). De los tres coagulantes evaluados, el PAC mostró menor eficiencia para remover SST (50,7% - 63,4%) en el sistema de DAF a 40% de recirculación.

La adición de los coagulantes SA, PAC y Q a las ARIA en el sistema de DAF incrementó la eficiencia de remoción de turbidez, color y SST. Cuando se trabajó con los diferentes coagulantes, la variación en las condiciones de presión y recirculación no causó cambios importantes en la remoción de los parámetros evaluados, observándose menor rango de remoción con el coagulante PAC. Caso contrario ocurrió en el sistema DAF sin coagulante, donde se observó mayor eficiencia en la remoción de turbidez, color y SST cuando se trabajó con la menor recirculación (30%).

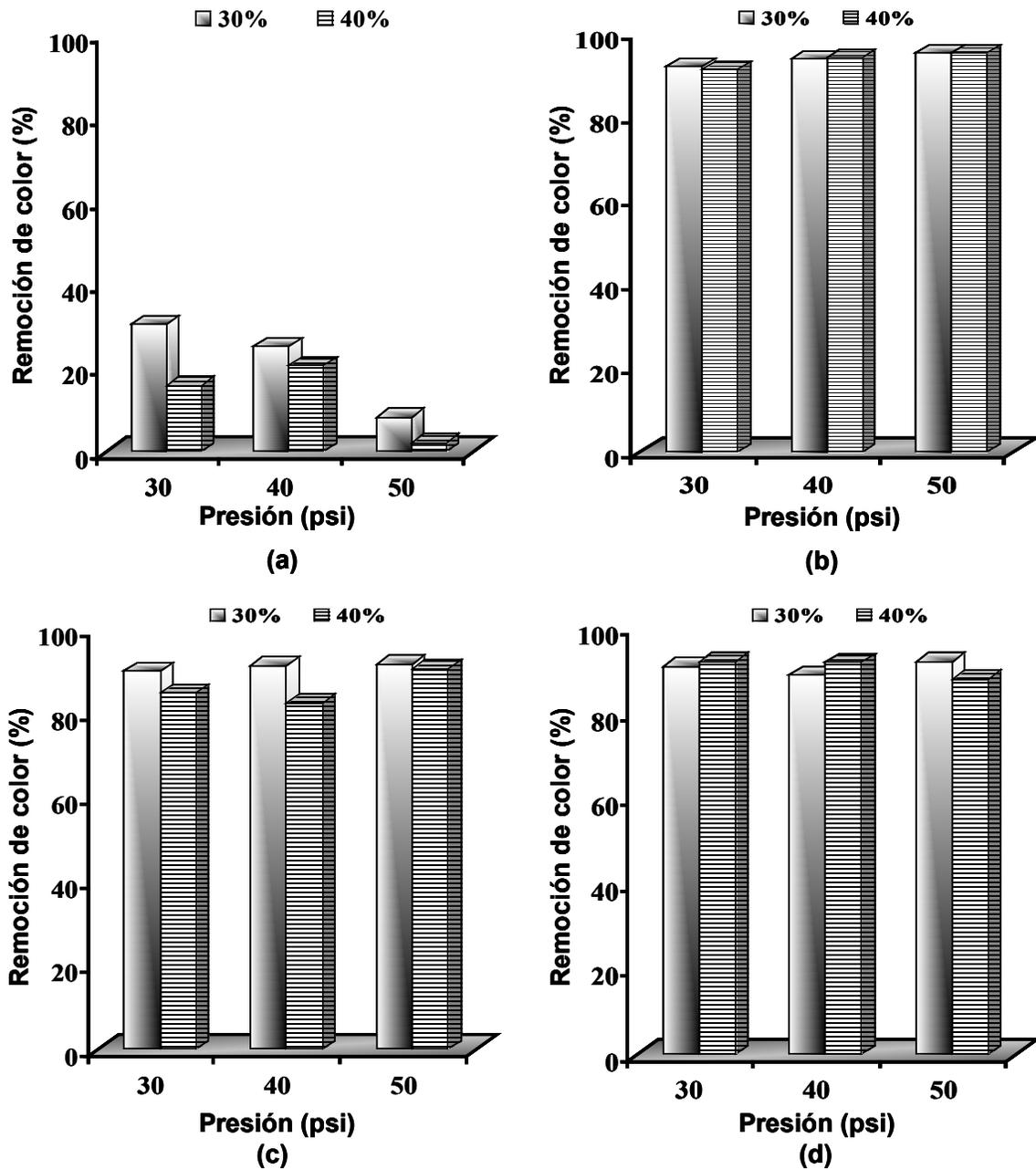


Figura 3. Remoción de color en el sistema de DAF a diferentes condiciones de presión y recirculación. (a) Sin coagulante. (b) Sulfato de aluminio, SA. (c) Policloruro de aluminio, PAC. (d) Quitosano, Q

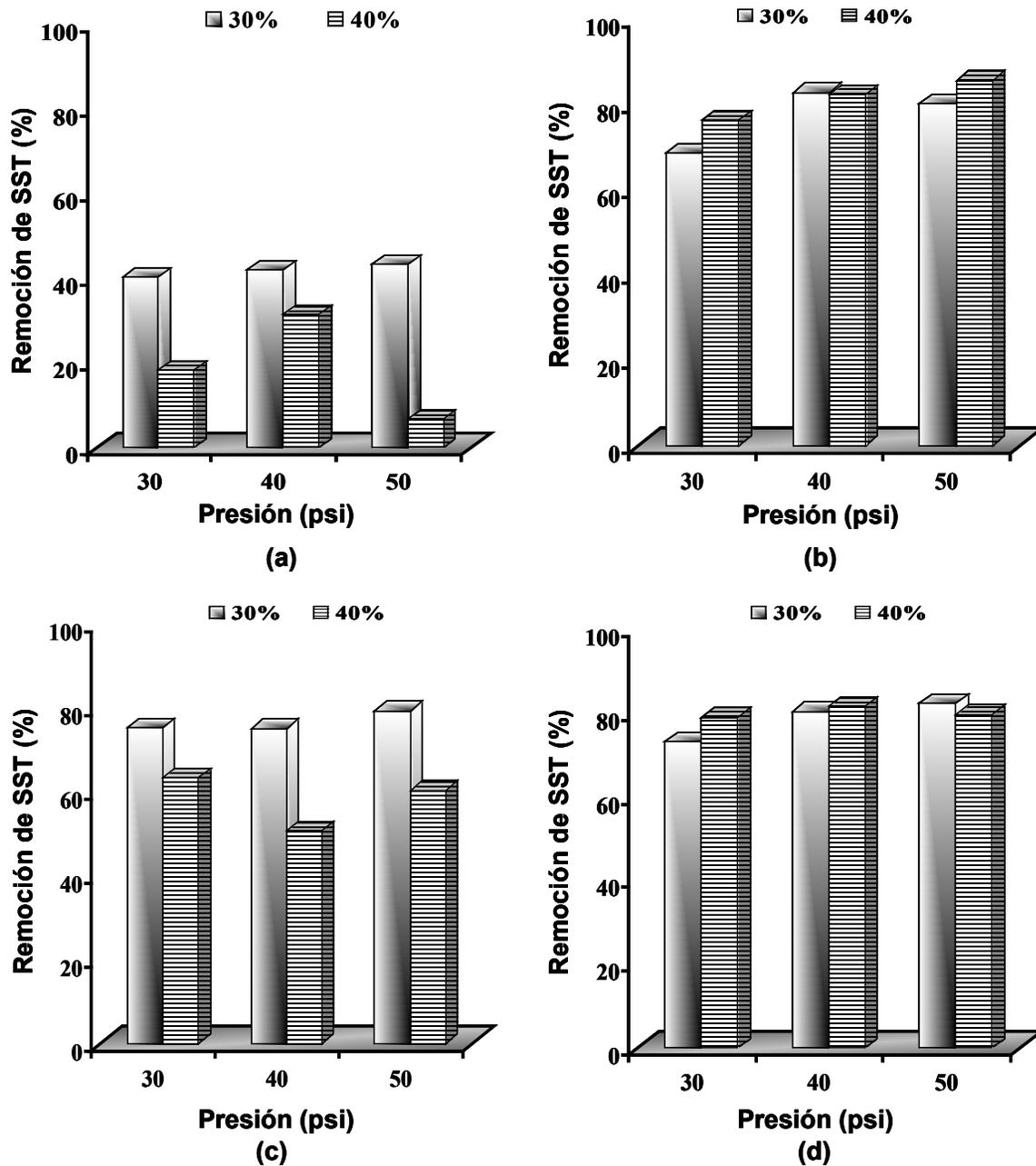


Figura 4. Remoción de sólidos suspendidos totales (SST) en el sistema de DAF a diferentes condiciones de presión y recirculación. (a) Sin coagulante. (b) Sulfato de aluminio, SA. (c) Policloruro de aluminio, PAC. (d) Quitosano, Q

En este sentido, será un análisis de costos, el que permita seleccionar las mejores condiciones de operación para el tratamiento de las ARIA, en función de las necesidades de la industria avícola del Zulia, considerando aspectos económicos, energéticos y de espacio como la disponibilidad y costo de los coagulantes, el consumo de energía y el tamaño de los equipos.

La calidad física de las ARIA mejoró después del tratamiento con los coagulantes en el sistema de DAF, presentando una disminución en los valores de los parámetros turbidez, color y SST, obteniéndose rangos para las diferentes condiciones de operación de 52,8 - 176 UNT; 264,15 - 1015,51 UC Pt-Co y 81,22

- 280 mg/L, respectivamente. Estos resultados indican que la flotación por aire disuelto con la adición de coagulantes es una alternativa de tratamiento primario para mejorar la calidad física de las aguas residuales de la industria avícola.

Otros investigadores han mostrado resultados satisfactorios durante el tratamiento de aguas residuales en sistemas de DAF. Nardi *et al.* [15] presentaron resultados similares a los obtenidos en esta investigación, durante el tratamiento de ARIA en sistema de DAF con PAC. Reportan remociones de SS de 74% a condiciones de 65,3 psi y 40% de recirculación.

Por su parte, El-Gohary *et al.* [16], quienes emplearon una dosis de SA mayor (700 mg/L) en un sistema de DAF, durante el tratamiento de aguas residuales provenientes de fabricación de productos para el cuidado personal, obtuvieron remociones mayores de SST (88,7%) a las encontradas en esta investigación, resultados que podrían relacionarse con la mayor dosis aplicada y la menor carga que presentan las aguas que evaluaron.

Nardi *et al.* [2] durante el tratamiento del tratamiento de ARIA en un sistema de DAF con coagulante (cloruro férrico y un polímero) a 65,3 psi y recirculaciones entre 10% y 50%, obtuvieron remociones del 65% de SST y 93% de turbidez. Mientras que Sena *et al.* [3], lograron remover 75,5% de los sólidos y 88,4% de la turbidez presentes en un efluente avícola durante el tratamiento en un DAF agregando sulfato férrico a condiciones de recirculación del 20% y 58 psi. En cuanto a la comparación con las investigaciones realizadas por otros autores, se evidencia que la aplicación de coagulantes a diferentes dosis y variando las condiciones de operación (presión y recirculación) en los sistemas de DAF, mejorara la calidad física de las aguas residuales.

Conclusiones

El sistema de flotación por aire disuelto (DAF) con la adición de los coagulantes sulfato de aluminio, policloruro de aluminio y quitosano resultó eficiente para mejorar la calidad física de las aguas residuales de la industria avícola, logrando remover turbidez (84,0% - 95,2%), color (82,7% - 95,5%) y SST (50,7% - 85,7%), a diferentes condiciones de presión y recirculación.

Debido a la eficiencia de los tres coagulantes para disminuir los valores de los parámetros físicos, un análisis de costos permitirá seleccionar las mejores condiciones de operación y el coagulante para el tratamiento de las ARIA, en función de las necesidades de la industria avícola del Zulia.

Referencias bibliográficas

[1] Tee P., Abdullah M., Tan I., Rashid N., Amin M., Nolasco-Hipolito C. y Bujang K. Review on hybrid energy systems for wastewater treatment and bio-energy production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 54, No. 2, (2016), 235-246.

[2] Nardi I., Del Nery V., Amorim A., Dos Santos N. y Chimenes F. Performances of SBR, chemical-DAF and UV disinfection for poultry slaughterhouse wastewater reclamation. *Desalination*, Vol. 269, (2011), 184-189.

[3] Sena R., Tambosi J., Genena A., Moreira R., Schröder H. y José H. Treatment of meat industry wastewater using dissolved air flotation and advanced oxidation processes monitored by GC-MS and LC-MS. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 152, No. 1, (2009), 151-157.

[4] Del Nery V., Damianovic M., Moura R., Pozzi E., Pires E. y Foresti E. Poultry slaughterhouse wastewater treatment plant for high quality effluent. *Water Science & Technology*, Vol. 73, No. 2, (2016), 309-316.

- [5] Barana A., Lopes D., Martins T. Pozzi E., Damianovic M., Del Nery V. y Foresti E. Nitrogen and organic matter removal in an intermittently aerated fixed-bed reactor for post-treatment of anaerobic effluent from a slaughterhouse wastewater treatment plant. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 1, (2013), 453-459.
- [6] Al-Mutairi N., Al-Sharifi F. y Al-Shammari S. Evaluation study of a slaughterhouse wastewater treatment plant including contact-assisted activated sludge and DAF. *Desalination*, Vol. 225, (2008), 167-175.
- [7] Sena R., Moreira R. y José H. Comparison of coagulants and coagulation aids for treatment of meat processing wastewater by column flotation. *Bioresource Technology*, Vol. 99, No. 17, (2008), 8221-8225.
- [8] Rahman U., Sahar A. y Khan M. Recovery and utilization of effluents from meat processing industries. *FoodResearch International*, Vol. 65, No. C, (2014), 322-328.
- [9] Caldera Y., Gutiérrez E., Luengo M., Chávez J. y Ruesga L. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de industria avícola. *Revista Científica FCV-LUZ*, Vol. XX, No. 4, (2010), 409-416.
- [10] Dassey A. y Theegala C. Evaluating coagulation pretreatment on poultry processing wastewater for dissolved air flotation. *Journal of Environmental Science and Health*, Vol. 47, No. 13, (2012), 2069-2076.
- [11] Miranda R., Nicu R., Latour I., Lupei M., Bobu E. y Blanco A. Efficiency of chitosans for the treatment of papermaking process water by dissolved air flotation. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 231, (2013), 304-313.
- [12] Edzwald J. Dissolved air flotation and me. *Water Research*, Vol. 44, (2010), 2077-2106.
- [13] Herrera L., Flores P., Mejías P., Vargas L., Cárdenas C., Araujo I., Del Villar N. y Delgado J. Tratamiento de aguas residuales domésticas para su potencial reutilización industrial. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, Vol. 48, No. 2, (2014), 101-114.
- [14] APHA, AWWA, WCF. Standard methods for examination of water and wastewater. 18th Ed. Washington DC, USA. (1998).
- [15] Nardi I., Fuzi T. y Del Nery V. Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater. [Resources, Conservation and Recycling](#), Vol. 52, No. 3, (2008), 533-544.
- [16] El-Gohary F., Tawfik A. y Mahmoud U. Comparative study between chemical coagulation/precipitation (C/P) versus coagulation/dissolved air flotation (C/DAF) for pre-treatment of personal care products (PCPs) wastewater. *Desalination*, Vol. 252, (2010), 106-112.