

Eficiencia del sulfato de aluminio durante el tratamiento de aguas residuales de una industria avícola

Yaxcelys Caldera¹, Hernando Oñate²,
Yim Rodríguez² y Edixon Gutiérrez³

¹Laboratorio de Investigaciones Ambientales, Núcleo LUZ-COL.
yaxcelysc@hotmail.com

²Facultad de Ingeniería y Tecnología, Universidad Popular del Cesar.
Valledupar, Colombia.

³Centro de Investigación del Agua, Facultad de Ingeniería,
Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

Resumen

La industria avícola es generadora de aguas residuales que representan una fuente de contaminación. Se evaluó la eficiencia del sulfato de aluminio como coagulante durante el tratamiento de aguas residuales de una industria avícola. Las pruebas de simulación de coagulación, floculación y sedimentación se realizaron a escala de laboratorio (prueba de jarras) con aguas residuales recolectadas a la entrada de un separador de aceites y grasas (A y G) de una industria avícola ubicada en el estado Zulia, Venezuela. Se trabajó con un control (sin coagulante) y se adicionaron concentraciones de sulfato de aluminio de 200, 250, 300, 350, 400 mg/L. Se comparó la eficiencia de remoción de los parámetros demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), A y G, turbidez y color, antes y después del tratamiento con el coagulante. Después del tratamiento con la mejor concentración de sulfato de aluminio (300 mg/L) las remociones de DQO, SST, A y G, turbidez y color superaron el 74%. El sulfato de aluminio representa una alternativa para mejorar la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales de una industria avícola zuliana.

Palabras clave: sulfato de aluminio, coagulante, aguas residuales, industria avícola.

The Efficiency of Aluminum Sulfate in the Treatment of Poultry Industry Wastewater

Abstract

The poultry industry generates wastewaters that represent a source of contamination. The efficiency of aluminum sulphate as coagulant during the treatment of poultry industry wastewater was evaluated. The laboratory simulation tests of coagulation, flocculation and sedimentation (jar test) were carried out using wastewaters collected at the entrance to the oil and grease (O&G) separator in a poultry processing plant in the State of Zulia, Venezuela. A control group was used (without coagulant) and other test groups had aluminum sulphate added in concentrations of 200, 250, 300, 350 and 400 mg/L. Removal efficiency was compared for the parameters chemical oxygen demand (COD), total suspended solid (TSS), volatile suspended solid (VSS), O&G, turbidity and color, before and after treatment with the coagulant. After treatment with the best concentration of aluminum sulphate (300 mg/L), the removal of COD, TSS, O&G, turbidity and color were over 74%. Aluminum sulphate represents an alternative for improving efficiency in the treatment of wastewater from a Zulian poultry processor.

Key words: aluminum sulfate, coagulant, wastewater, poultry industry.

Introducción

Las aguas residuales de matadero (ARM) contienen altas concentraciones de materia orgánica, sólidos suspendidos, grasas, nitrógeno y fósforo, representando una mezcla compleja de proteínas, compuestos orgánicos y grasas, con concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO) que varían entre 5000 y 10000 mg/L, y aceites y grasas (A y G) alrededor de 100 y 300 mg/L (Caldera y col., 2010; Padilla y col., 2011).

En el caso de los mataderos de aves, la composición y flujo de las aguas residuales generalmente varían dependiendo del proceso industrial, tamaño de las instalaciones, número de animales sacrificados, eficiencia de recolección de sangre y subproductos, consumo de agua por ave sacrificada y manejo del agua en el proceso industrial (Caldera y col., 2010).

En este sentido, las altas concentraciones de sólidos suspendidos (SS) y A y G presentes en las aguas residuales de industrias avícolas

(ARIA), ocasionan problemas en los sistemas de tratamiento biológico, como la reducción de la tasa de transferencia fase acuosa-célula (sustrato, producto y oxígeno), desarrollo y flotación de lodo con pobre actividad, olores indeseables, desarrollo de organismos filamentosos y formación de espumas, por lo que deben ser removidos eficientemente en las unidades de tratamiento primario (Cammarota y Freire, 2006; Miranda y col., 2005).

Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2002), los tratamientos primarios de las ARIA se realizan para remover sólidos sedimentables y suspendidos y recuperar materiales que puedan ser convertidos en productos con valor económico. Las unidades empleadas comúnmente durante el tratamiento primario de las ARIA son los tamices, tanques de igualación y unidades de flotación (flotación por aire disuelto, DAF), también se adicionan compuestos químicos para mejorar la eficiencia de las unidades de tratamiento.

En este sentido, los sistemas de flotación han demostrado su eficiencia para remover A y G y SS de las ARIA, debido a sus ventajas de remover partículas livianas y muy pequeñas en cortos períodos de tiempo. Además, la eficiencia de estos sistemas puede ser mejorada con la adición de compuestos químicos (coagulante y floculantes), alcanzándose remociones entre 80% y 99% de sólidos (Nardi y col., 2008). Entre los coagulantes y floculantes usados para el tratamiento de ARM se encuentran: policloruro de aluminio, polímeros orgánicos, sulfato de aluminio, cloruro férrico y sulfato férrico, entre otros (Sena y col., 2009; Amuda y Alade, 2006; Aguilar y col., 2002; Al-Mutairi y col., 2004).

El sulfato de aluminio (SA), conocido como alumbre, es uno de los coagulantes más usados en el tratamiento convencional de aguas residuales y naturales, además de su efectividad tiene otras ventajas como bajo costo, facilidad de uso y disponibilidad (Renault y col., 2009). Sin embargo, debido a la variabilidad de las ARM se requiere considerar aspectos como tipo de coagulante y floculante, variaciones del pH, lodos generados, remoción de A y G, eficiencia en general, las ventajas y desventajas técnicas, además de un análisis económico para seleccionar un proceso de coagulación como tratamiento de las aguas (López y col., 2008).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia del sulfato de aluminio durante el tratamiento de ARIA a la entrada de un separador de A y G.

Metodología

La Industria Avícola considerada en esta investigación se encuentra ubicada en la zona industrial de Maracaibo estado Zulia, Venezuela; en esta investigación se denomina industria avícola zuliana (IAZ). Esta industria beneficia un promedio de 40000 aves (pollos) diariamente. La IAZ comprende en su etapa de beneficio, la recepción de aves, matanza y desplume, línea de evisceración, escurrido y empaque.

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la IAZ está integrado por: rejillas, tanque de homogenización, tamiz rotatorio, tanque de separación de A y G, sistema de lodos activados (reactor biológico y sedimentador secundario) y cámara de cloración; el manejo de los lodos se realiza a través de un digestor de lodos aerobio, un espesador de lodos y lechos de secado.

El efluente del tamizado llega al tanque de separación de A y G donde por flotación, aprovechando su menor densidad, los aceites y grasas se separan del agua. La operación se realiza en un tanque rectangular de concreto armado de 105 m³ con dimensiones de largo, ancho y profundidad de 7 m, 5 m y 3 m, respectivamente, diseñado para recibir un caudal de 12 L/s con tiempo de residencia de 2 horas. Para evitar la sedimentación de sólidos y favorecer la recolección de A y G, este tanque contiene en su interior 16 difusores tipo tubo. El tanque tiene una cámara con 2bafles. Finalmente, se disminuye la aireación y se recolectan las grasas pasando el agua por gravedad hacia el reactor biológico.

Toma de muestras

Inicialmente se recolectaron muestras para verificar la eficiencia del separador de A y G de la IAZ, dos veces a la semana a la entrada y salida de esta unidad, durante dos meses. Las muestras de aguas residuales para las pruebas de coagulación se recolectaron manualmente a la entrada del separador de A y G, en envases de 20 L, durante dos meses con frecuencia semanal.

Preparación de los coagulantes

Se trabajó con sulfato de aluminio en solución del 50% p/v, de la cual se preparó 1 litro de una solución de 10000 mg/L, diluyendo a partir de esta las dosis de 200, 250, 300, 350 y 400 mg/L.

Proceso de coagulación

La evaluación de la coagulación se llevó a cabo utilizando un aparato de Prueba de Jarra modelo JLT6; se agregó 1 L de ARIA en cada uno de los seis vasos de precipitado, tomando uno de estos como control. Se utilizó SA como coagulante y se procedió a agregarlo al iniciar el mezclado rápido (100 rpm, 1 min); se agregaron en cinco vasos de precipitado los volúmenes correspondientes a las diferentes dosis de coagulante (20; 25; 30; 35 y 40 mL, respectivamente). Luego se realizó el mezclado lento (30 rpm, 20 min), para finalizar con la fase de sedimentación (30 min).

Se realizaron ensayos preliminares variando las concentraciones de SA para seleccionar el rango de efectividad del coagulante con diferentes muestras de ARIA. Una vez seleccionado el mejor rango de concentraciones, se hicieron cuatro ensayos, a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Parámetros analizados

Para la caracterización de las ARIA se determinó la turbidez, color, alcalinidad, pH, DQO, A y G, fósforo, nitrógeno total (Nt), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), según lo establecido en los métodos estándar (APHA, AWWA, WEF, 1998). Mientras que para las pruebas de coagulación se analizaron los parámetros DQO, A y G, SST, SSV, turbidez, color y pH antes y después del tratamiento con el coagulación para evaluar la efectividad del SA, siguiendo la misma metodología antes mencionada. Para determinar la mejor concentración, se consideró la menor concentración del coagulante que removió el mayor valor DQO.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se procesaron empleando el programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, 1999). Se compararon las concentraciones medias de los parámetros turbidez, color, A y G,

DQO, SST y SSS, 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 aguas residuales a la entrada del separador de A y G de la IAZ presentaron valores promedios para DQO, N_T, A y G, P y SST de 1581, 100, 200, 16 y 724 mg/L, respectivamente, mayores a los establecidos en la normativa legal vigente venezolana para descarga a redes cloacales (Gaceta Oficial, 1995). Las características de las ARIA, tales como altas concentraciones de SST, A y G, N, P y DQO, color rojo, olor desagradable y turbidez, son similares a las presentadas por otros investigadores (Del Nery y col., 2007; Chávez y col., 2005; Caldera y col. 2010; Márquez y Guevara, 2004; Sena y col., 2009). Sin embargo, las ARIA varían significativamente dependiendo de factores como tamaño y número de aves beneficiadas, eficiencia en la captura de sangre y manejo del agua en el proceso industrial, entre otros (Nardi y col., 2008; Del Nery y col., 2007).

Se evaluaron las unidades que comprenden el sistema de tratamiento de ARIAZ, en relación a las variaciones de parámetros como A y G, DQO y SST a medida que estas aguas avanzan en las unidades del sistema. Se observó una disminución del 4% en la concentración de la DQO entre las unidades que comprenden el tratamiento primario, lo que demuestra una baja eficiencia en la remoción de este parámetro, si se considera que las unidades primarias se diseñaron para lograr una remoción mínima de 30% de materia orgánica (Mittal, 2006). La remoción de A y G no superó el 4% y hubo nula remoción de SST por parte del tratamiento primario, confirma la necesidad de aplicar alternativas para mejorar la eficiencia de los tratamientos primarios. El uso del SA podría mejorar la eficiencia del separador y de las unidades posteriores, puesto que se ha reportado que el proceso coagulación/floculación se puede usar como tratamiento previo a un proceso biológico para mejorar la biodegradabilidad de las aguas residuales durante el tratamiento biológico (Amuda y Amoo, 2007), como es el caso de la planta de tratamiento de la IAZ.

Las pruebas de coagulación con SA como coagulante a las diferentes dosis de 200, 250, 300, 350 y 400 mg/L, permitieron la disminución del color rojo característico de las ARIAZ, a medida que se incrementó la

concentración del coagulante las remociones variaron en el rango de 88% y 98% (figura 1). La mayor remoción se obtuvo para 400 mg/L de SA.

Por otra parte, se obtuvieron valores de turbidez residual entre 33 y 119 NTU. Los valores de remoción de turbidez variaron entre 83% y 96% (figura 2), obteniéndose las menores concentraciones de turbidez para la dosis de 400 mg/L. Se observa además en la figura 2, un incremento en la remoción de turbidez a medida que se aumenta la concentración de SA, comportamiento similar al observado para la remoción de color. Por su parte, Al-Mutairi y col. (2004) agregaron SA en el rango de 100-1000 mg/L a ARM antes de un flotador y obtuvieron remoción de turbidez entre 76%-93%, menores a las encontradas en esta investigación.

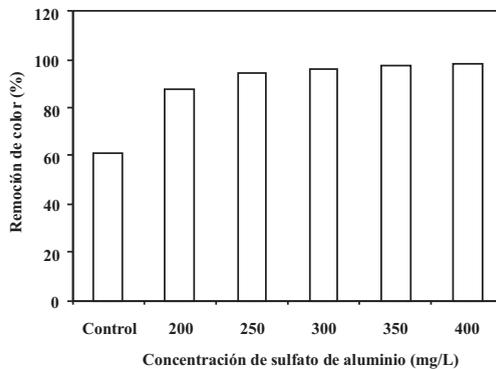


Figura 1. Comportamiento de la remoción de turbidez después del tratamiento con sulfato de aluminio.

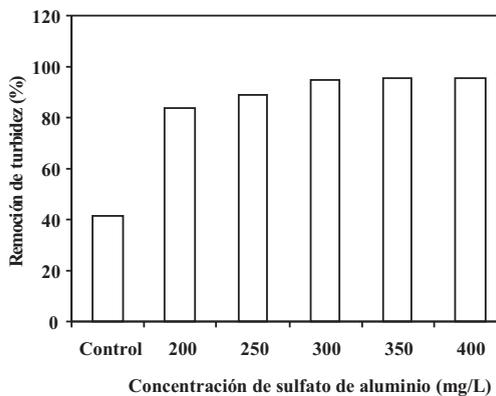


Figura 2. Comportamiento de la remoción de color después del tratamiento con sulfato de aluminio.

En cuanto a las muestras de ARIA sin coagulante (control), se observa una remoción de turbidez del 41%. Al comparar los porcentajes de remoción con los obtenidos durante el tratamiento de las ARIA con SA se evidencia la efectividad del coagulante para remover turbidez. Esta remoción en el control podría relacionarse a efectos de la agitación durante la pruebas de jarra, puesto que el ensayo para observar la sedimentación natural de las ARIA, sin adición de coagulantes, demostró una sedimentación lenta en dos horas de evaluación, con una tendencia mínima a disminuir en función del aumento del tiempo de sedimentación. Los valores de remoción de turbidez durante esta prueba no superaron el 10%.

La variación de la remoción de DQO en la prueba de simulación con SA se presenta en la figura 3, donde se observan remociones entre 80% y 87%, mientras que las concentraciones después de la sedimentación estuvieron entre 303 mg/L y 463 mg/L. La mejor concentración de SA fue de 300 mg/L, con una remoción de DQO superior al 86%. En el tratamiento de aguas residuales la dosis óptima del coagulante es el valor por encima del cual no hay incremento significativo en la eficiencia de remoción con la adición de coagulante. Además, esta dosis debe proveer eficiencias de remoción de DQO superiores al 80% (Aguilar y col., 2005).

El tratamiento control (sin coagulante) presentó una remoción del 67% (762 mg/L), que representa la capacidad de sedimentación del agua sin la ayuda de compuestos químicos, sólo agitación y sedimentación, lo

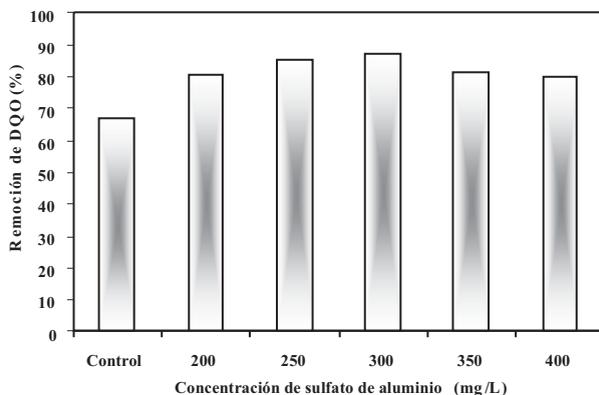


Figura 3. Comportamiento de la remoción de DQO después de tratamiento con sulfato de aluminio.

que permite resaltar entre un 13% y un 20%, la participación del coagulante en la remoción de la DQO presente en el ARIA, ya que el restante es aportado por la sedimentación. Aguilar y col. (2005) aplicaron SA como coagulante durante el tratamiento de ARM y reportan dosis óptima de 600 mg/L, mayor a la encontrada en este estudio, con remoción de DQO de 85%. Por su parte, López y col. (2008) utilizaron SA como coagulante y un polímero aniónico como auxiliar de la floculación, durante el tratamiento de ARM. Encontraron como dosis óptima del coagulante 250 mg/L. Cuando combinaron esta dosis del sulfato con un polímero (5 mg/L) obtuvieron remoción de DQO del 94,2%.

En la figura 4, se presenta el comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación de SA, con un rango entre 63% y 75%. Para la dosis de 300 mg/L la remoción fue de 75%, considerada buena remoción antes de un proceso biológico. Por su parte, Sena y col. (2008) reportaron mayores remociones de A y G (89%) que las encontradas en este estudio, cuando agregaron coagulantes y polímeros a ARM para mejorar la eficiencia de la flotación, además obtuvieron remociones de DQO entre 74,6%-79,5% y de SS de 89%.

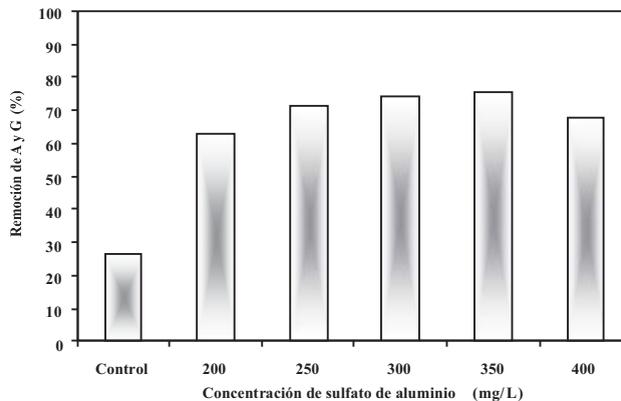


Figura 4. Comportamiento de la remoción de A y G después de tratamiento con sulfato de aluminio.

La figura 5 permite ver la capacidad que tiene el SA para remover SST y SSV, presentando la muestra concentraciones iniciales de 844 mg/L y 782 mg/L para SST y SSV, respectivamente. Las remociones variaron entre 91% y 96% para SST y entre 93% y 96% para SSV. La mayor re-

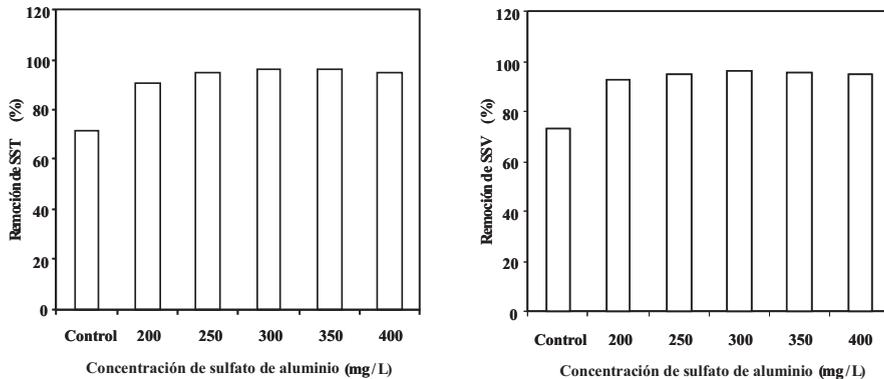


Figura 5. Comportamiento de la remoción de SST y SSV después de tratamiento con sulfato de aluminio.

moción se presentó para ambos parámetros al dosificar 300 mg/L del coagulante con remoción de 96%, confirmando esta dosis como la de mayor eficiencia.

Por su parte, Amuda y Alade (2006) aplicaron SA en ARM y encontraron remociones menores de DQO y SST de 65% y 34% respectivamente, para una dosis mayor (750 mg/L) a la aplicada en esta investigación.

En cuanto al pH, se observó una disminución a medida que se incrementó la concentración del coagulante, ya que entre mayor es la concentración de SA, mayor es el efecto que ejerce sobre el pH variando desde 6,5 hasta 5,4. Estos valores se encuentran en el rango reportado por Aguilar y col. (2005), quienes encontraron remociones mayores de DQO de 87% y 86% para valores de pH de 5,0 y 6,0, respectivamente.

Las remociones obtenidas para los parámetros evaluados con la mejor concentración de SA demuestran que este coagulante podría ser la alternativa para mejorar la eficiencia de remoción de A y G en el separador de A y G de la IAZ, que permitirá a esta industria aumentar la calidad del efluente antes de su entrada al reactor biológico (tabla 1). Las remociones de los parámetros evaluados superaron el 74%, y las concentraciones de los parámetros DQO y SST disminuyeron a valores menores a los establecidos en las normas ambientales para descarga a cuerpos de agua (Gaceta Oficial, 1995).

Al comparar todos los tratamientos se observó que el tratamiento control mostró diferencia significativa ($p < 0,05$) con respecto a todos

Tabla 1. Valores de los parámetros evaluados para la mejor concentración del SA

Parámetros	Remoción (%)	Concentración (mg/L)	Gaceta Oficial (1995)
DQO	87	303	350
Aceites y Grasas	75	42	20
SST	96	34	80
SSV	96	30	NR

NR: No regulado.

los tratamientos que recibieron SA. En cuanto a los tratamientos, no hubo diferencia significativa ($p > 0,05$) cuando se aplicaron las concentraciones de 350 mg/L y 400 mg/L.

Por otra parte, no se observó correlación altamente significativa entre los parámetros evaluados y la concentración de coagulante. Sin embargo, las concentraciones de A y G, DQO, SST y SSV, así como los valores de turbidez y color, se correlacionaron entre sí después del tratamiento con SA, mostrando un factor de correlación positivo superior a 0,86.

Conclusiones

El sulfato de aluminio (SA) como coagulante durante el tratamiento de las aguas residuales de la industria avícola removió valores de DQO, A y G, SST, SSV, color y turbidez entre 80%-87%, 63%-75%, 91%-96%, 93%-96%, 88%-98% y 83%-96%, respectivamente.

El SA representa una alternativa para mejorar la eficiencia del separador de A y G de la industria avícola zuliana.

La mejor concentración de SA fue 300 mg/L para la cual se obtuvieron remociones de A y G, DQO, SST y SSV superiores al 74%.

Agradecimiento

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES) de LUZ por el financiamiento de este proyecto.

A la Industria Avícola Zuliana por el apoyo para el desarrollo de esta investigación.

Referencias bibliográficas

- Agency Protection Environmental (EPA). (2002). Development document for the proposed effluent limitations guidelines and standards for the meat and poultry products industry point source category. (40 CFR: 432). EPA-821-B-01-007. Washington DC USA. 666 pp.
- Aguilar M., Sáez J., Lloréns M., Soler A., Ortuño J., Meseguer V. y Fuentes A. (2005). Improvement of coagulation-flocculation process using anionic polyacrylamide as coagulant aid. **Chemosphere** 58 (1), 47-56.
- Aguilar M., Sáez J., Lloréns M., Soler A., y Ortuño J. (2002). Nutrient removal and sludge production in the coagulation-flocculation process. **Water Research** 36 (11), 2910-2919.
- Al-Mutairi N., Hamoda M. y Al-Ghusain I. (2004). Coagulant selection and sludge conditioning in a slaughterhouse wastewater treatment plant. **Bioresource Technology** 95 (2), 115-119.
- Amuda O. y Alade A. (2006). Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir wastewater. **Desalination** 196 (1-3), 23-31.
- Amuda O. y Amoo I. (2007). Coagulation/flocculation process and sludge conditioning in beverage industrial wastewater treatment. **Journal of Hazardous Material** 141 (3), 778-783.
- APHA, AWWA, WEF. (1998). **Standard methods for examination of water and wastewater**. 18th Ed. Washington. DC, USA. 1207 p.
- Caldera Y., Gutiérrez E., Luengo M., Chávez J. y Ruesga L. (2010). Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de industria avícola". **Revista Científica, FCV-LUZ** XX (4) 409-416.
- Cammarota M. y Freire D. (2006). A review on hydrolytic enzymes in the treatment of wastewater with high oil and grease content. **Bioresource Technology** 97 (17), 2195-2210.
- Chávez C., Castillo L., Dendooven L. y Escamilla E. (2005). Poultry slaughter wastewater treatment with an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. **Bioresource Technology** 96 (15), 1730-1736.
- Del Nery V., Nardi I., Damianovic M., Pozzi E., Amorim A. y Zaiat M. (2007). Long-term operating performance of a poultry slaughterhouse wastewater treatment plant. **Resources Conservation & Recycling** 50 (1), 102-114.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5021. (1995). Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Extraordinaria. Lunes 18 de Diciembre. Decreto 883. Venezuela.

- López A., De La Barrera J., Vallejo R. y Barahona C. (2008). Estudio comparativo entre un proceso fisicoquímico y uno biológico para tratar aguas residual de rastro. **Inter-ciencia** 33 (7), 490-495.
- Márquez A. y Guevara E. (2004). Descripción y evaluación del funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales en una industria avícola. **Revista Ingeniería UC** 11 (2), 92-101.
- Miranda L., Henriques J. y Monteggia L. (2005). A full-scale UASB reactor for treatment of pig and cattle slaughterhouse wastewater with a high oil and grease content. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, 22 (4), 601-610.
- Mittal G. (2006). Treatment of wastewater from abattoirs before land application- a review. **Bioresource Technology** 97 (9), 1119-1135.
- Nardi I., Fuzi T. y Del Nery V. (2008). Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater. **Resources Conservation & Recycling** 52 (3), 533-544.
- Padilla E., López A. y Gallardo J. (2011). Evaluation of stability factors in the anaerobic treatment of slaughterhouse water. **Journal Bioremediation & Biodegradation** 2: 114. doi: 10.4172/2155-6199.1000114.
- Renault F., Sancey B., Bodot P. y Crini G. (2009). Chitosan for coagulation/flocculation process- An eco-friendly approach. **European Polymer Journal** 45 (5), 1337-1348.
- Sena R., Moreira R. y José H. (2008). Compariron of coagulation aids for treatment of meat processing wastewater by column flotation. **Bioresource Technology** 99 (17), 8221-8225.
- Sena R., Tombosi J., Genena A., Moreira R., Schröder H. y José H. (2009). Treatment of meat industry wastewater using dissolved air flotation and advanced oxidation processes monitored by GC-MS and LC-MS. **Chemical Engineering Journal** 152 (11), 151-157.
- SPSS. Statistical package for the social sciences, version 10.0 para windows. Chicago. USA. SPSS Inc. 1999.