

Arranque y operación a escala real de un sistema de tratamiento de lodos activos para aguas residuales de matadero

Starting-up and operating a full-scale activated sludge system for slaughterhouse wastewater

Sandra Liliana Pabón¹ y John Hermógenes Suárez Gélvez²

RESUMEN

La investigación se desarrolló en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Frigorífico Frigofrontera Ltda., la cual está constituida por un sistema de tratamiento primario que incluye cribado, desarenado, trampa de grasas y sedimentación, un reactor de lodo activo con recirculación para el tratamiento secundario y un filtro descendente como tratamiento terciario. El caudal tratado en promedio es de 1,38 L/s; el reactor de lodo activo tiene un volumen de 144 m³, un tiempo de retención celular de 2 días. Los niveles de oxígeno en el reactor son garantizados mediante la inyección de aire con equipos de alta eficiencia. Las concentraciones de los parámetros básicos del agua residual son: 5242,13 mg/L de DBO₅; 9039,75 mg/L de DQO y 2972,69 mg/L de SS. El arranque de la planta de tratamiento se realizó durante el mes de febrero de 2006 y a partir de esa fecha ha operado continuamente, obteniéndose una eficiencia de remoción en carga de DBO₅ de 89,73 %, 89,03 de DQO y 94,09 de SS. Los lodos generados por el proceso son tratados mediante cribado donde se separan los sólidos del agua residual. El líquido es retornado a los sedimentadores y el sólido es compostado.

Palabras clave: lodos activos, tratamiento, aguas residuales de matadero.

ABSTRACT

This research was conducted at the Frigofrontera wastewater plant which has screening, de-sanding, a grease trap and sedimentation as its primary treatment system, an activated sludge recirculation reactor for secondary treatment and a descending bed filter for tertiary treatment. Average treated flow is 1.38 L/s; the activated sludge reactor has a 144 m³ volume and 2-day cell retention time. Reactor oxygen levels are guaranteed by injecting air using high-efficiency equipment. Basic wastewater concentration parameters are: 5,242.13 mg / L BOD₅; 9,039.75 mg / L COD and 2,972.69 mg / L SS. The treatment plant was started up during February 2006 and has been in constant operation since then. It has achieved 89.73% five-day biological oxygen demand (BOD₅), 89.03% chemical oxygen demand (COD) and 94.09% soluble solid (SS) load removal efficiency. The sludge produced by the process is treated by screening where the solids are separated from wastewater. The liquid is returned to the sedimenters and solids are composted.

Keywords: activated sludge, treatment, slaughterhouse wastewater.

Recibido: septiembre 29 de 2008

Aceptado: junio 16 de 2009

Introducción

Las aguas residuales que se producen en el matadero en estudio tienen el mismo origen que el encontrado para este tipo de procesos a nivel nacional e internacional. Los efluentes son el producto de las diferentes etapas del proceso de faenado, generándose dos importantes corrientes: la primera, llamada aguasangre por su alto contenido de este último componente, proveniente de las fases de izado, lavado de la carne en canal y lavado de vísceras rojas. La segunda corresponde a las que se generan en el área de vísceras blancas donde se realiza la eliminación de contenido ruminal, lavado y cocción. En Colombia existen 1.311 mataderos, de los cuales apenas el 1% tienen tratamiento de agua residual y el 47%

vierte sus aguas residuales directamente a fuentes hídricas (Minambiente, 2002).

Los efluentes de Frigofrontera al igual que los de mataderos, se caracterizan por presentar altos caudales y concentraciones de materia orgánica compuesta principalmente por grasa, proteína y celulosa que, expresadas en DQO y DBO alcanzan altas concentraciones, las cuales varían dependiendo del número de animales sacrificadas diariamente, la dieta del animal faenado, la recolección de productos y subproductos y la racionalidad en el uso del recurso dentro del proceso (Massé, 2000; López; De la Barrera-Fraire, Vallejo, 2008).

Varios sistemas de tratamiento biológico se han diseñado para el tratamiento de aguas residuales de matadero, existiendo numerosos reportes a escala piloto y real para el uso de la tecnología a

¹ Ingeniera de producción biotecnológica, Universidad Francisco de Paula Santander. Profesora e Investigadora del grupo Ambiente y Vida, Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia. Joven Investigadora, modalidad empresarial UFPS-Frigorífico La Frontera, Colciencias. sandraliliana64@hotmail.com

² Ingeniero químico, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Especialista, en Educación y Gestión Ambiental, Universidad de Pamplona, Colombia. Especialista, en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad del Valle, Colombia. M.Sc., en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad del Valle, Colombia. Profesor y Miembro del IDEAB, Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia. Director, Grupo de Investigación en Biotecnología Ambiental (GIBA) y del Departamento de Ciencias del Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia. johnhermogenes@yahoo.com

naerobia por sus bajos costos de operación y su alta eficiencia de tratamiento (Mitta, 2006; Massé, 2000). Los sistemas de tratamiento biológico aerobios han sido poco utilizados para aguas residuales de matadero, encontrándose algunos reportes con evaluación de la remoción de contaminantes a escala de laboratorio (Li, Healy, Zhan, Rodgers, 2008) y en investigaciones sobre su operación en medianos y pequeños municipios (Benavides, 2006), sin que existan variables definidas para el arranque y operación de ES-tipo de reactores.

El proyecto se desarrolló dentro de un programa continuo de investigación que adelantan la Universidad Francisco de Paula Santander y el Frigorífico La Frontera Ltda., el cual se ha implementado en varias fases: durante la primera se efectuó un diagnóstico de la problemática asociada a la generación y disposición de residuos líquidos; en la segunda se hizo un ensayo a escala piloto en reactores de 8 m³ con el objeto de establecer las variables de diseño de un reactor de lodo activo y efectuar la evaluación de diversos inóculos; luego de realizado el diseño se construyó el sistema y se inició el proceso de asesoría para el arranque y operación. Durante la última etapa se logró la vinculación de una joven investigadora en convenio con Colciencias (Pabón y Urbina, 2005; Parada, Sánchez, 2006; Pabón, 2008).

El estudio tuvo como objetivo realizar el seguimiento al arranque y operación de un sistema de tratamiento de lodo activo construido en el Frigorífico La Frontera (Villa del Rosario, Norte de Santander), mediante la aplicación de una técnica de arranque utilizando contenido ruminal y el monitoreo periódico de parámetros físico-químicos y microbiológicos a las variadas corrientes del proceso y análisis de los parámetros de control del lodo del reactor. El presente artículo describe el sistema de tratamiento de agua residual en el cual se adelantó la investigación y la metodología utilizada para el arranque y operación del reactor de lodo activo con recirculación, y el seguimiento a los parámetros indicadores de calidad de afluentes y lodo. Posteriormente se analizan los resultados y se presentan las conclusiones.

Materiales y métodos

Sistema de tratamiento de aguas residuales. El frigorífico genera dos tipos de agua residual, una con alta concentración de contenido ruminal (agua ruminaza) y la otra con niveles elevados de sangre (aguasangre). Estos vertimientos son recolectados de manera segregada y conducidos a la planta de tratamiento, que está compuesta por las siguientes unidades de tratamiento:

Cribas. Separan el material grueso, como coágulos de sangre y contenido ruminal; esta unidad está compuesta por 5 tamices que poseen un largo de 2,25 m y velocidad de giro de 30 rpm.

Desarenador. En esta unidad se retiene el material articulado que normalmente está presente en el contenido ruminal y en menor proporción en la corriente de agua sangre. Las dimensiones de este sistema son: 3 m de largo, 1,38 m de ancho y una altura de 0,76 m.

Sedimentador primario. La línea de agua ruminaza es conducida al sedimentador primario, cuya función es retener la mayor cantidad de sólidos sedimentables, evitando así la colmatación de lodos en los posteriores sistemas, problemas operacionales y bajas eficiencias. Posee un tiempo de retención hidráulica de 3,18 horas. Su altura es de 1,32 m, tiene un largo de 13,18 m, un ancho de 2,05 m y un volumen de 43 m³.

Homogenización y mezclado. Está constituido por un tanque aireado donde se efectúa el mezclado del aguasangre proveniente del desarenador y el agua rumen proveniente del sedimentador primario. La capacidad de esta unidad es de 50 m³. El sistema de preaireación lo componen: una motobomba de 130 rpm (40 psi de descarga, 7,5 HP), una bomba jet de 2" NPTM KYNAR, dos boquillas de 2" NPTM KYNAR.

Reactor de lodo activo. Está constituido por un reactor de 144 m³ y un sedimentador secundario. Las condiciones aerobias se garantizan mediante la operación de dos aireadores de burbuja fina que conservan en promedio una concentración de oxígeno disuelto de 2,5 mg/L. Se efectúa recirculación de lodos y la purga del lodo es enviada al área de compostaje. El sistema de inyección de aire del reactor, consta de 2 bombas jet MAZZEI 4091 de 4", 4 boquillas MAZZEI modelo N45-DT de 4", 2 motobombas (250 rpm, 20 psi de descarga, 15 HP).

Filtro biológico. Su estructura posee forma trapezoidal y está compuesta por 2 capas: 1 de agua de 1,5 m y 1 de grava de 1,7 m (triturado de ¾ de pulgada).

Caracterización de las aguas residuales

Las aguas residuales generadas en el frigorífico fueron caracterizadas en su calidad y cantidad por Pabón, *et ál* (2006), en la investigación que permitió el diseño de la planta de tratamiento. Durante el desarrollo del proyecto se realizó cuantificación diaria de los caudales y 11 caracterizaciones de calidad físico-química del afluente.

Arranque del reactor

Teniendo en cuenta el tipo de sustrato, la biomasa necesaria para la degradación aerobia y las investigaciones previas realizadas para el arranque de reactores de lodo activo reportadas por Pabón, (2006), se utilizó contenido ruminal como inóculo, adaptándolo con incrementos sucesivos de los componentes del agua residual hasta que la concentración del afluente correspondiera a la real.

Operación de la planta de tratamiento

El Frigorífico La Frontera Ltda., es una asociación privada de carácter agroindustrial que interpreta el contexto binacional en que se ubica este factor determinante en el desarrollo integral mediante su interacción productiva con el entorno, el uso apropiado de nuevas tecnologías y el fomento de valores a través del trabajo continuo, investigativo y de servicio a la comunidad. La planta de beneficio se encuentra ubicada en la Carrera 7 con calles 25 y 26, Barrio Gran Colombia, Villa del Rosario, Norte de Santander.

La planta de tratamiento de aguas residuales fue operada en dos turnos de doce horas, contando con un operario por turno. Los días miércoles y domingo no funcionaba, pero este tiempo se usaba para limpieza y mantenimiento de las unidades de tratamiento.

Caracterización de la eficiencia del sistema de tratamiento

Cuantificación de las aguas residuales. Para la medición del caudal de agua residual generada en los afluentes y efluentes de la planta y de las unidades de tratamiento se utilizó el método volumétrico (volumen-tiempo). El agua residual es recolectada en un recipiente en un determinado período de tiempo y su volumen cuantificado con probetas plásticas de 1 L. Durante cada mes se escogió una semana para monitorear en el horario de faenado:

3:00 p.m. a 9:00 p.m. El caudal fue medido cada treinta minutos y se hicieron cinco mediciones por punto de trabajo. Los puntos de monitoreo fueron: antes de cribas, y efluente del filtro biológico.

Caracterización de las aguas residuales. Las muestras para los análisis físico-químicos y microbiológicos fueron tomadas en los sitios mostrados en la tabla 1. Las alícuotas se tomaron cada hora en los diversos puntos, hasta completar una muestra de 2 litros. La composición se realizó por caudal y las muestras fueron refrigeradas en cavas a 4 °C hasta su traslado al laboratorio.

Tabla 1. Sitios de monitoreo para la cuantificación de agua residual

Tipo de monitoreo	Puntos de monitoreo
DE EFICIENCIA TOTAL	Antes de cribas
	Salida del filtro
DE EFICIENCIA POR UNIDAD DE TRATAMIENTO	Antes de cribas
	Salida del Homogenizador
	Salida del trampa de grasas
	Salida del reactor
	Salida del sedimentador secundario
	Salida del filtro.

Los análisis físico-químicos y microbiológicos efectuados y las técnicas de análisis, se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros del análisis físico-químicos del agua residual

Análisis	Método
DQO	Colorimetría
DBO	Espectrofotómetro HACH
Sólidos suspendidos (SST, SSV Y SSF)	Oxitop
	Gravimetría.

Los análisis se practicaron en el laboratorio de aguas de la Corporación Autónoma Regional de Santander (Corporación), que cuenta con acreditación del Ideam, y el de la Universidad Francisco de Paula Santander (en proceso de acreditación), de acuerdo con los protocolos establecidos por el *Standard Methods* (APHA, AWWA, WEF, 1995) y los publicados por el Ideam (disponibles en la página web de este instituto).

Caracterización del lodo del reactor aerobio

La calidad del lodo fue determinada mediante el análisis del índice volumétrico (IVL), de acuerdo con el protocolo del *Standard Methods* (1995). El valor se calcula a través de la siguiente fórmula, propuesta por Romero (1998):

$$IVL = \frac{\text{volumen de lodo sedimentado}}{SSV_{\text{lodo}} \times 30 \text{ minutos}} \times 1000 \quad (1)$$

donde IVL= Índice volumétrico de lodos (ml/g) y SSV= Sólidos suspendidos volátiles del lodo (mg/L)

La velocidad de sedimentación o sedimentabilidad se calculó mediante la ecuación propuesta por Oliveira et al (2005).

$$V = 10,79 \times e^{(1,95.IVL + 0,04.IVL^{0.5}.X)} \times 10^{-3} \quad (2)$$

donde V= Velocidad de sedimentación (m/h) y IVL=Índice volumétrico de lodos (ml/g)

Resultados y discusiones

Arranque del reactor. El lodo que se utilizó para el arranque del sistema fue adaptado a partir de contenido ruminal. El agua rumi-

naza se usó como inóculo inicial, cargándose el reactor y proporcionándose aireación durante 2 días para permitir que la población predominante fueran organismos aerobios. Concluido este período se adicionaron mezclas de aguasangre y agua rumen, de acuerdo con lo mostrado en la tabla 3.

Tabla 3. Concentraciones de agua rumen y aguasangre para la activación del lodo

Día	% Agua rumen	% Agua sangre	Tiempo de aireación (días)
1	100	0	2
3	90	10	1
4	80	20	1
5	65	35	1
6	50	50	1

El seguimiento al lodo para evaluar su respuesta a la metodología de arranque se hizo mediante los análisis de IVL, SST, SSV, SSF y sedimentabilidad. Los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Caracterización del lodo de arranque.

FECHA	IVL (ml/g)	S.S.T (mg/L)	S.S.V (mg/L)	S.S.V/SSF
Marzo 6	53.08	3920	2840	0.72
Marzo 8	62.36	5833	4333	0.74
Marzo 10	80.98	3545	3000	0.85
Marzo 12	95.23	2570	2120	0.82
Marzo 14	73,19	2958	2500	0.85

De acuerdo con los criterios de clasificación del lodo propuestos por Von Sperling (2001) para valores de IVL entre 50 a 100 ml/g, para este período, se puede calificar como bueno, demostrándose la viabilidad del arranque de la forma indicada.

La proporción de materia orgánica en los lodos no sufrió cambios significativos por eventual presencia de compuestos inorgánicos, y la razón SSV/SST se mantuvo constante, alrededor de 0,72-0,85, indicando que los compuestos inorgánicos fueron separados adecuadamente a la entrada del tratamiento biológico.

Terminado el período se inició la operación de la planta de tratamiento. Los efluentes de aguasangre y agua rumen (previamente sedimentada) son mezclados en el tanque de homogeneización y luego suministrados según los caudales de diseño para el tratamiento en la trampa de grasas, reactor de lodo activo y filtro descendente.

Operación de la planta

Cuantificación del agua residual generada en el Frigorífico La Frontera Ltda. En la figura 1 se observa la variación del caudal para los días en que se realizaron los monitoreos de eficiencia de la planta. El caudal promedio del afluente es de 4.05 L/s (Agua sangre y agua rumen) y el del efluente de 1,41 L/s. El caudal mínimo reportado fue de 2,46 L/s para el afluente y 1,2 L/s para el efluente. La variabilidad que se presenta se debe al aumento o disminución de reses sacrificadas por día de trabajo.

Caracterización de la eficiencia de la planta

Análisis de la carga de DBO y SST en el afluente y efluente. La DBO₅ en el afluente presentó un valor promedio de 1.747 Kg/d, con un registro mínimo de 733,27 Kg/d y un máximo de 4.167,68 Kg/d; las variaciones de los valores en estos parámetros obedecen a los cambios en concentración de la materia orgánica proveniente del contenido ruminal y del número de animales sacrificados por día, lo que corrobora lo afirmado por Massé (2000) sobre la variación de la calidad de agua residual en mataderos dependien-

do de la eficiencia en retención de sangre, cantidad de agua utilizada, tipo y cantidad de animales sacrificados, y procesos de transformación.

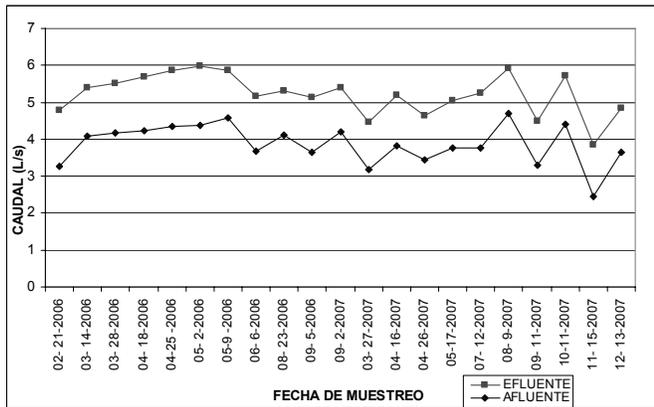


Figura 1. Variación del caudal en el afluente y efluente de la planta de tratamiento

Los valores para la DBO₅ en el efluente tienen un promedio de 151,67 Kg/d, un máximo de 243,65 Kg/d y un mínimo de 12,44 Kg/d; su variabilidad obedece a la eficiencia que presenta el sistema y está directamente relacionada con las concentraciones en el afluente (Figura 2).

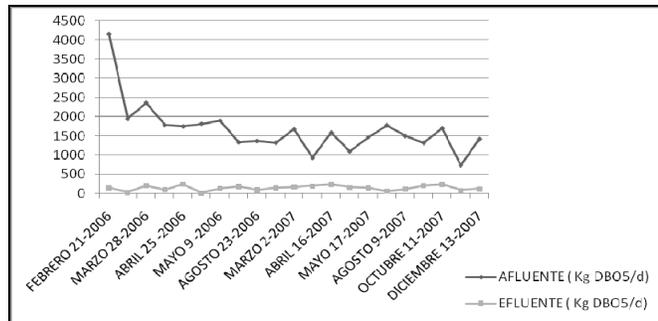


Figura 2. Variación de la DBO₅ en el afluente y efluente de la planta de tratamiento

Los sólidos suspendidos constituyen una medida aproximada e indirecta de la biomasa existente en una muestra de agua residual, y de acuerdo con la legislación colombiana es un parámetro sujeto de cobro de la tasa retributiva. Los valores para el afluente oscilaron entre un mínimo de 29,72 Kg/d y un máximo de 7.245,15 Kg/d, con un promedio de 1.081,16 Kg/d. En el efluente el promedio fue de 30,64 Kg/d, con un máximo de 59,10 Kg/d y un mínimo de 10,37 Kg/d (Figura 3).

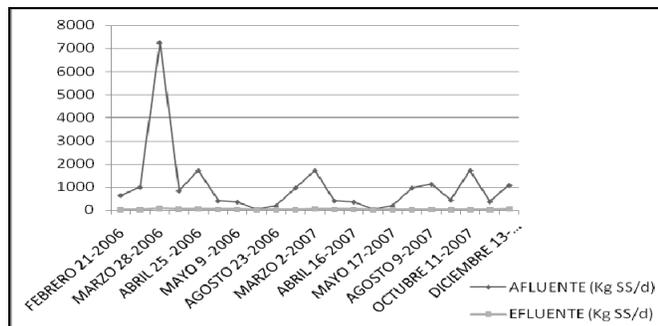


Figura 3. Variación de los SS en el afluente y efluente de la planta de tratamiento

Eficiencias en carga. La remoción en carga alcanzada por la planta de tratamiento es, en promedio para DBO₅, de 94,76% y en SS de 96,98%. Tan solo en el mes de abril/2006 se registró un descenso en las eficiencias de DBO₅ en un 4,14%, y en mayo/2006 de SS en un 3,26%. Por lo tanto, y de acuerdo con los resultados, se puede afirmar que el sistema cumple con las remociones establecidas en el Decreto 1594 de 1984 (Figura 4).

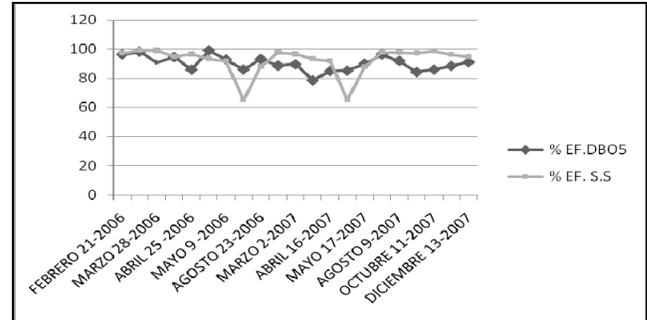


Figura 4. Variación de la eficiencia en carga de DBO₅ y SS en la planta de tratamiento

Eficiencia por unidad de tratamiento. En las figuras 5 y 6 se muestran las eficiencias que presentó cada uno de los tratamientos que componen la PTAR, el tratamiento primario (cribas, desarenador, sedimentador primario, homogeneizador y trampa de grasas); en esta se remueven coágulos de sangre que aportan proteínas, hidrato de carbono, grasas, vitaminas, y otro aportante es el contenido ruminal, rico en lignina y celulosa; estas unidades reportan una eficiencia de remoción en carga de un 68,92% DBO₅ y 80,16% SS.

En el tratamiento secundario (reactor de lodos activos y sedimentador secundario) el agua residual se mezcla con el lodo activo, una parte de la materia orgánica es mineralizada y gasificada y la otra parte es asimilada como nuevas bacterias y en el sedimentador sufre un proceso de decantación, pues el licor mezcla en el reactor está en continua agitación y lleva lodo activo que se debe recircular al reactor para mantener un equilibrio en la biología de este, reportando así una eficiencia en remoción de 46,4% DBO₅ y 40,84% SS. y de aquí pasa al tratamiento terciario (filtro biológico lento de flujo descendente), esta unidad posee un medio poroso granular que al recibir el agua residual con carga orgánica disuelta tiende a formar una película biológica alrededor de los granos del mismo, capaz de alimentar microorganismos de variado tipo de consumidores de materia orgánica biodegradable, presenta una eficiencia de 23,73% DBO₅ y 30,6 SS.

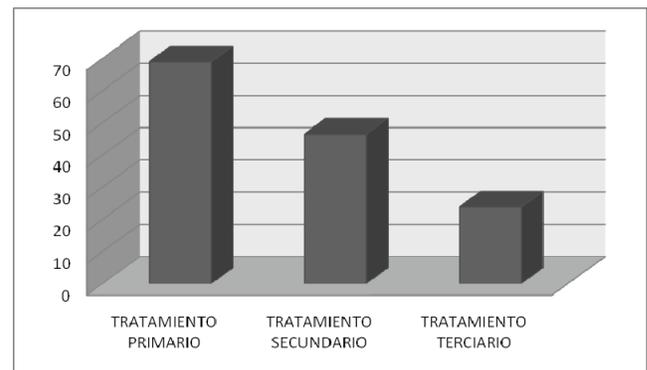


Figura 5. Comportamiento DBO₅ por unidad de tratamiento

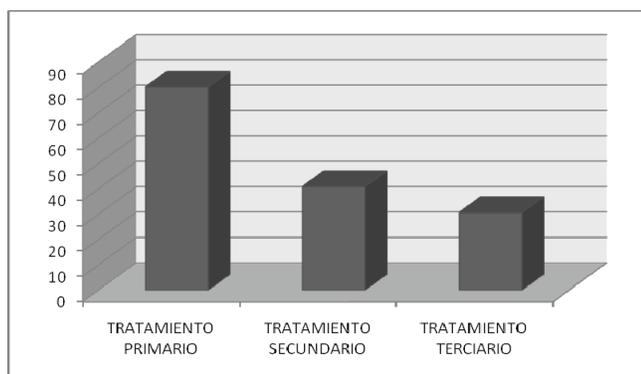


Figura 6. Comportamiento de los SS por unidad de tratamiento.

Caracterización del lodo del reactor aerobio

En la figura 7 se registran las diferentes variables asociadas a la operación del sistema de lodos activos; donde **X** son sólidos suspendidos en mg/L, **S** es DBO₅ en mg/L y **Q** es caudal.

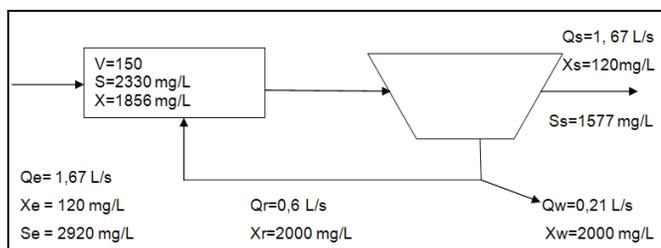


Figura 7. Variables asociadas a la operación del sistema de lodos activos.

Donde **X** son sólidos suspendidos en mg/L, **S** es DBO₅ en mg/L y **Q** es caudal.

El índice volumétrico de lodos varió entre 53,08 y 116,44 ml/g, con un promedio de 85,73 ml/g, y los valores de sedimentabilidad han tenido un promedio de 7,08 m/h. De acuerdo con la clasificación propuesta por Von sperling, el valor promedio del IVL adecuado es (50-100 ml/g) (Figura 8).

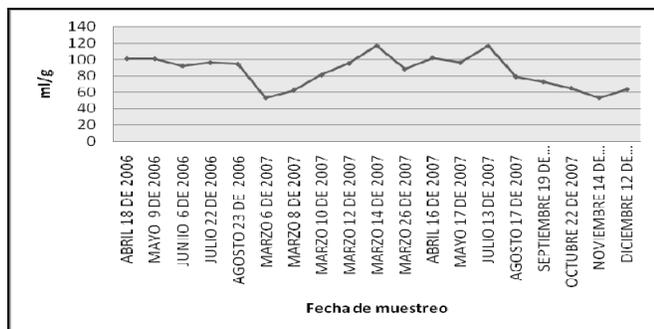


Figura 8. Variación del IVL en el reactor de lodo activo

Conclusiones

El agua residual en el Frigorífico La Frontera Ltda. presenta las siguientes características físico-químicas promedio: 4.512 mg DBO₅/L, 2.875 mg SS/L, 4.532 mg ST/L, 7,37 unidades de pH, temperatura 25,2 °C y una conductividad eléctrica de 1.533 us/cm, esto es debido a las altas concentraciones de grasa y compuestos orgánicos provenientes de la degradación del material vegetal tales como lignina, celulosa, así como también aquellos producidos por el metabolismo del animal.

Los resultados del arranque del reactor aerobio permiten concluir que es viable utilizar como inóculo contenido ruminal, adaptándolo con variaciones de carga con variadas proporciones de sustrato (agua ruminaza - aguasangre). Es necesario realizar la carga inicial del inóculo solo con contenido ruminal para garantizar la presencia suficiente de microorganismos que degraden el sustrato que se alimentará e ir aumentando proporcionalmente la mezcla con aguasangre hasta alcanzar valores de 50% de cada corriente a tratar.

El inóculo utilizado presentó valores entre 53,08 y 116,44 ml/g, que están dentro de los valores adecuados, según la literatura especializada, por lo que se hace necesario culminar investigaciones en el área de la biotecnología para el aislamiento y la identificación molecular de los microorganismos que asociados en consorcios permiten esta degradación, para que puedan ser utilizados en el tratamiento de aguas residuales complejas.

La PTAR presenta una eficiencia en carga de un 88,19% para DBO₅, 84,29 para DQO y 92,48% en SS, y se encuentra por encima de lo establecido en el Decreto 1594/84, artículo 73. El sistema de lodos activos (reactor y sedimentador) del Frigorífico La Frontera Ltda. reportó una eficiencia promedio de 46,4% en DBO₅ y un 40,84% en SS.

El tratamiento primario aporta la mayor eficiencia en promedio en remoción de los parámetros de control de eficiencia (68,92% DBO₅ y 80,16% SS) y permite que las concentraciones de sustrato a tratar sean las adecuadas para la operación del reactor, por lo que se hace necesario que todo sistema de tratamiento para aguas residuales de matadero cuente con el diseño y construcción de un eficiente sistema de cribado y sedimentación.

El reactor de lodos activos aporta una eficiencia promedio de eficiencia en remoción de DBO₅ de 46,4% y de SS de 40,84%, mostrando que es una tecnología viable técnica y ambientalmente para estabilizar la materia orgánica contaminante generada en las industrias de faenado de ganado.

Agradecimientos

La investigación fue realizada gracias al apoyo técnico y económico de la UFPS, Colciencias y Frigorífico La Frontera.

Bibliografía

- American Public Health Association (APHA)., American Water Works Association (AWWA)., Water Environment Federation (WEF), Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 20 ed., Washington D.C., APHA-WEF, 1998, pp. 1195.
- Benavides, L., Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Central de Sacrificio de Túquerres (Nariño)., Trabajo de grado presentado a la Universidad Nacional para optar al título de especialista en Ingeniería Ambiental, 2006.
- Finamore, C., Blanco, H., López, E., Constantes Cinéticas de un sistema de lodos activos a escala de laboratorio., Memorias XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitaria Ambiental, 1999
- Hincapie, S. J., Hincapie, Y. R., Mataderos municipales su administración y operación., Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1997, pp.110.
- Li, J., Healy, M. G., Zhan, X., Rodgers, M., Effect of Aeration Rate on Nutrient Removal from Slaughterhouse Wastewater in

- Intermittently Aerated Sequencing Batch Reactors Water., Air & Soil Pollution, Vol 192, No 1-4, 2008, pp.251-261.
- López, A., De la Barrera-Fraire, J., Vallejo, R., Acoplamiento de un sistema anaerobio/aerobio para el tratamiento de agua residual de rastro., Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, Vol. 4, No 2, 2008, pp.269-277.
- Massé D. I, Masse L., Characterization of wastewater from hog slaughterhouses in Eastern Canada and evaluation of their in-plant wastewater., Canadian Agricultural Engineering, Vol. 42, No. 3, 2000, pp. 139-146.
- Metcalff & Eddy., Ingeniería de aguas residuales., Tratamiento, vertido y reutilización, Vol. I y II., España, Editorial Mc Graw- Hill, 1995, pp. 235.
- Minambiente. Ministerio del Medio Ambiente., Guía ambiental para las plantas de beneficio de ganado., Bogotá, 2002.
- Mitta, G. S., Treatment of wastewater from abattoirs before land application a review., Bioresource Technology, Vol. 97, No. 9, Jun, 2006, pp. 1119-1135.
- Oliveira, R. C., Barbosa, O., Giordano, G., Proposta de um método de cálculo do tempo desedimentação no tratamento de esgotos por lodos ativados em bateladas., Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, Vol.10, No. 3, 2005, pp. 185-193
- Pedott, C., Peruzzolo, M., Di Luccio, M., Qualitative study of organic compounds in wastewaters of a swine slaughterhouse., Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 116, No. 1-3, 2006, pp.103-110.
- Parada, P. A., Sánchez, C. A., Diseño de un sistema de tratamiento para el manejo de los residuos sólidos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del Frigorífico La Frontera Ltda., Municipio Villa del Rosario (Norte de Santander)., Proyecto de Grado presentado a la Universidad Francisco de Paula Santander, para optar al título de Ingeniero de Producción Biotecnológica, 2006.
- Pabón, S. L., Urbina, N. A., Diseño e Implementación de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para el Frigorífico La Frontera Ltda., Villa del Rosario (Norte de Santander)., Proyecto de Grado presentado a la Universidad Francisco de Paula Santander, para optar al título de Ingeniero de Producción Biotecnológica, 2005.
- Pabón, L., Arranque y operación de un sistema de tratamiento de lodos activos para las aguas residuales del Frigorífico La Frontera Ltda., informe final joven investigadora COLCIENCIAS-UFPS-FRIGOFRONTERA, 2008.
- Romero, J. A., Tratamiento de Aguas Residuales., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, 1998.
- Takahashi, S., Evaluación de alternativa de tratamiento de aguas residuales utilizando la tecnología de lodos activados., Proyecto de Grado, presentado a la Universidad del Valle para optar al título de Ingeniera Ambiental, 1996.
- Urbina, N., Pabón, L., Suárez, J., Tratamiento biológico de aguas residuales de Matadero. Caso: Frigorífico La Frontera Ltda, Villa Del Rosario Norte De Santander., Revista Respuestas UFPS, Año 11, No. 2, 2006, pp. 39-50.
- Von Sperling, M., Dimensionamento de lodos ativados por batelada utilizando os principios da teoria do fluxo de sólidos., Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, Vol. 6, No. 3, 2001, pp.147-156.