BIODEGRADACIÓN DE ACEITE DE GIRASOL CON PRESENCIA DE SACAROSA MEDIANTE LODOS ACTIVOS A ESCALA DE LABORATORIO

Pedro Cisterna Osorio, Antonio Gutiérrez Lavin y Herminio Sastre Andres

RESUMEN

Se estudia la biodegradación de aceite de girasol en aguas residuales que además contienen sacarosa, en un sistema de lodos activos, el que posee un tanque de aireación con deflector, con el objeto de aumentar el tiempo de residencia de las grasas y aceites en el mismo. Se trabajó con valores de concentración de sólidos en suspensión en el licor de mezcla (SSLM) que van de 2500 a 4800mg·l¹ y un intervalo de carga másica de 0,5 a 1,8kgDQO/kgSSLM/día. La estimación del material biodegradado se obtuvo a partir de un balance de masas y se trabajó con un intervalo de concentración de grasas y aceites en el influente de 191,6 a 937,5mg·l⁻¹. Se lograron porcentajes de biodegra-

dación que van de 74 a 44%; la eficiencia de remoción de grasas y aceites fue de 93 a 86%, dado que al proceso de biodegradación se suma la remoción por flotación. La biodegradación de aceite de girasol disminuye con el aumento de la concentración de aceite en el influente. Se observó un crecimiento de biomasa filamentosa en el efluente y el consiguiente aumento del índice volumétrico de lodos, llegando a valores que superan los 300mg·l¹, muy por sobre lo recomendado, de 150mg·l¹. Cabe destacar que la biodegradación de DQO va de 87 a 48%, y la remoción de 95 a 90%, en ambos casos valores más altos que para las grasas y aceites, lo que se explica por la presencia de sacarosa.

Introducción

En esta investigación se estudia la biodegradación del aceite girasol en una planta de lodos activos a escala de laboratorio que posee un tanque de aireación con pantalla deflectora para retener el material flotante. El influente contiene además sacarosa y es sometido a una agitación previa de tipo mecánico, para alcanzar un adecuado nivel de mezcla y emulsificación de las partículas de aceite en agua y de área de contacto entre la fase acuosa y oleosa.

Las grasas y aceites son un importante componente tanto en aguas residuales domésticas como en algunas aguas residuales industriales. La cantidad de lípidos en aguas residuales municipales es del orden de 30 a 40% de la materia orgánica medida como demanda química de oxígeno (DQO; Dueholm *et al.*, 2001). La remoción de aceites y grasas se ha sustentado en su

menor densidad respecto al agua, entre 920-964g·l⁻¹, lo que permite su flotación (Kirk-Othmer, 2007).

En la actualidad se generan grandes volúmenes de residuos orgánicos en el sector doméstico, la agricultura y la industria. La industria alimentaria es uno de los sectores con alta incidencia en la contaminación ambiental. Las empresas lácteas, cárnicas y refinadoras de aceites vegetales son las que mayores volúmenes de aguas residuales generan, y el alto contenido oleoso de estas aguas acentúa el deterioro de los ecosistemas donde impactan (Fernández et al., 2010)

La adición continua y sin tratamiento de descargas con contenido orgánico, que incluyen grasas y aceites, afecta tanto a las formas de vida presentes en estos ecosistemas como a los ciclos bioquímicos de las diferentes especies, ya que disminuye el O2 disuelto, aumenta la

demanda bioquímica de O₂ (DBO) y ocurren procesos de acumulación (Garcia *et al.*, 2009).

Hasta ahora las grasas y aceites han sido separadas de los influentes que las contienen a través de procesos físicos. La flotación se usa en la separación de fluidos inmiscibles o sólidos de fluidos y es de creciente uso en el tratamiento de aguas residuales (Sainz, 2004). Respecto a la biodegradabilidad de grasas y aceites, se califican como sustancias lentamente biodegradables, va que las células inicialmente las almacenan en su citoplasma y después llevan a cabo la hidrólisis por vía enzimática, formándose un sustrato asimilable y factible de biodegradar (Ronzano y Dapena, 2002).

La biodegradación de materia orgánica en un sistema de lodos activos es potenciada, ya que se generan condiciones favorables para el cultivo y desarrollo de una biomasa

dispersa en forma de flóculos denominados lodos activos en un estanque alimentado continuamente por aguas residuales con materia orgánica. El estanque es agitado y aireado, para así abastecer de O₂ a las bacterias depuradoras, ya que se requiere de éste para llevar a cabo la biodegradación de la materia orgánica (Water Environment Federation, 2010).

Se denomina carga másica (Cm) a la relación entre la masa de alimentación diaria de materia orgánica que ingresa al tanque de aireación y la biomasa degradadora contenida en el mismo (Rittmann y McCarty, 2001).

 $Cm = Q \cdot DBO/(V \cdot SSLM)$ o $Cm = Q \times DQO/(V \cdot SSLM)$

donde SSLM: sólidos suspendidos en estanque de aireación (mg×l-¹), Q: caudal del fluente (m³/día), V: volumen del tanque de aireación (m³), y DBO/DQO: demanda bioquímica de oxígeno / demanda química de oxígeno (mg×l-¹).

PALABRAS CLAVE / Biodegradación / Grasas y Aceites / Lodos Activos /

Recibido: 13/08/2014. Modificado: 26/08/2015. Aceptado: 04/09/2015.

Pedro Cisterna Osorio.
Ingeniero Civil Químico y
Grado de Suficiencia Investigadora, Universidad de
Oviedo (UNIOVI), España.
Docente, Universidad del

Bío-Bío, Chile. Dirección: Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío, Chile. e-mail: pcisterna@ ubiobio.cl Antonio Gutiérrez Lavin.

Doctor Ingeniero Químico,
Profesor, UNIOVI, España.

Herminio Sastre Andres. Doctor
Ingeniero Químico, Profesor,
UNIOVI, España.

BIODEGRADATION OF SUNFLOWER OIL IN THE PRESENCE OF SACAROSE WITH ACTIVATED SLUDGE TECHNIQUE AT LABORATORY SCALE

Pedro Cisterna Osorio, Antonio Gutiérrez Lavin and Herminio Sastre Andres

SUMMARY

The biodegradation of sunflower oil in wastewater containing saccharose is studied using an activated sludge technique and an aeration tank provided with a baffle in order to increase oil and fat residence time. Concentration levels of mixed liquor suspended solids (MLSS) ranged from 0.5 to 1.8kgCOD/kgSSLM/day and intake concentration of oils and fats ranged from 191,6 to 937,5mg·l·l. An estimate of the biodegraded material was obtained by means of a mass balance. The results show degradation levels ranging from 74 to 44% with removal efficiencies of 93 to 86%. This process performance includes the removal due

to flotation. In the other hand, it is observed that the oil biodegradation levels decrease as the intake oil concentration increases. At the effluent, growth of the filamentous mass is observed and, consequently, an increase of the sludge volume index is registered, reaching figures of up to $300 \text{mg·} l^{-1}$, way over the recommended standard ($150 \text{mg·} l^{-1}$). Finally it is worth mentioning that the observed COD biodegradation ranges from 87 to 48% and the removal from 95 to 90%. These results are higher than those typically observed for oil and fat, a result that can be explained by the presence of saccharose.

BIODEGRADAÇÃO DE ÓLEO DE GIRASSOL COM PRESENÇA DE SACAROSE MEDIANTE LODOS ATIVADOS EM ESCALA DE LABORATÓRIO

Pedro Cisterna Osorio, Antonio Gutiérrez Lavin e Herminio Sastre Andres

RESUMO

Estuda-se a biodegradação de óleo de girassol em águas residuais que também contêm sacarose, em um sistema de lodos ativados, que possui um tanque de aereação com defletor, com o objetivo de aumentar o tempo de residência das gorduras e óleos no mesmo. Trabalhou-se com valores de concentração de sólidos em suspensão no licor de mistura (SSLM) que vão de 2500 a 4800mg·l·l e um intervalo de carga mássica de 0,5 a 1,8kgDQO/kgSSLM/dia. A estimação do material biodegradado foi obtido a partir de um balanço de massas e se trabalhou com um intervalo de concentração de gorduras e óleos no afluente de 191,6 a 937,5mg·l·l. Conseguiram-se porcentagens de biodegradação que

vão de 74 a 44%; a eficiência de remoção de gorduras e óleos foi de 93 a 86%, devido que ao processo de biodegradação se suma a remoção por flotação. A biodegradação de óleo de girassol diminui com o aumento da concentração de óleo no afluente. Observou-se um crescimento de biomassa filamentosa no efluente e o conseguinte aumento do índice volumétrico dos lodos, chegando a valores que superam os 300mg·l·l, muito acima do recomendado, de 150mg·l·l. Cabe destacar que a biodegradação de DQO vai de 87 a 48%, e a remoção de 95 a 90%, em ambos os casos, valores mais altos do que aqueles para as gorduras e óleos, o que se explica pela presença de sacarose.

Numerosos estudios acerca del comportamiento de los lípidos en sistemas de tratamiento biológico han evaluado su eliminación. La literatura muestra que éstos se eliminan biológicamente, pero que también inhiben el crecimiento microbiano; además, son la causa de formación de espuma, de bacterias filamentosas y flotación de flóculo (Chipasa y Medrzycka, 2006). Se establecen efectos sinérgicos entre la temperatura y la carga de lípidos; a mayor temperatura, aumenta la velocidad de hidrólisis de lípidos por parte de microorganismos filamentosos generadores de espumas y especialistas en biodegradar este tipo de sustrato. El aumento de la temperatura y la carga de lípidos provoca una aumento de esta población bacteriana, acumulándose en las superficies de los tanques de aireación y

causando la formación de espuma biológica (Frigon *et al.*, 2006).

Es destacable que en trabajos realizadas en Australia se controla la formación de espumas en plantas de tratamiento para influentes de faenadoras de cerdo, que poseen un alto contenido de grasa animal, adicionando aceite vegetal (Edgerton et al., 2000).

En el tratamiento por lodos activos de influentes aceitosos el contacto eficiente del agua y aceite es muy importante, ya que se requiere una considerable área interfacial, la que puede ser ampliada entregando energía al sistema, ya sea por agitación mecánica o por campos eléctricos, siendo a menudo implementado por agitación mecánica (Weatherley et al., 1997). La composición y el tamaño de la partícula del

sustrato también determinan la velocidad y mecanismos de hidrólisis y biodegradación en un sistema de tratamiento de aguas residuales (Morgenroth et al., 2002). Si se tiene una concentración enzimática adecuada y área interfacial óptima entre las fases acuosa y oleosa, se resuelve la transferencia de masa y se da paso a la etapa de hidrólisis (Albasi et al., 1997). Los lodos activos liberan enzimas hidrolíticas, proteasa y lipasa, y se recuperan mediante agitación y ultrasonidos, aproximadamente a razón de 4:1, lo que confirma la presencia de biomasa que degrada aceites y grasas (Nabarlatz et al., 2010).

De estudios de laboratorio realizados para suplementos comerciales, bioaumentadores del tipo multi-especies, se constató que éstos incrementan la remoción de grasas y aceites de 37 a 62% (Brooksband et al., 2007), similar al efecto de la aclimatación de lodos. Se usaron bioaumentadores para aguas residuales de panadería con alta carga de grasas y aceites, se ajustó el pH y el sistema de aireación de mezcla del reactor biológico externo, para producir e inyectar biomasa apropiada al tanque de tratamiento y filtro biológico. En esta experiencia, similar al presente trabajo, se logró reducir las grasas y aceites de 1500 a 3000mg·l⁻¹, resultado que fue observado durante 20 meses (Keenan y Sabelnikov, 2000).

Metodología

Equipamiento

Se utilizó un equipo denominado BIOCONTROL, modelo MARK 2 9 (Figura 1), el cual

consta esencialmente de las siguientes partes:

Unidad de control. Está constituida por un interruptor principal, una bombona de aire, completada con un flujometro, una bomba de alimentación de las aguas residuales que serán depuradas, complementada con sistema de regulación de flujos, un temporizador para operaciones intermitentes, interruptor ON-OFF y una bomba de reciclo de los lodos del tanque de sedimentación al tanque de aireación.

Tanque de aireación. Consiste en un cilindro transparente de plexiglás con altura de 38cm y diámetro de 20cm, el cual posee salidas a varias alturas que están asociados a distintos volúmenes que son 7, 8, 9 y 10 litros. Se tienen dos entradas separadas, por una parte los lodos de recirculación son alimentados por la parte superior y el influente a tratar por la

parte inferior. Además, se cuenta con dos difusores cerámicos colocados en el fondo, de manera tal que dispersen el aire en burbujas muy pequeñas (Vittadini, 1991).

Tanque de sedimentación. Es un cilindro transparente de plexiglás tal que la parte más baja es cónica, para facilitar la sedimentación de lodos. El licor mezclado se alimenta desde el tanque de aireación, del que sale por rebalse, y cuando llega al clarificador da origen a un fluio descendente de lodos. Los que decantan son separados y recirculados desde el fondo mediante una bomba, el agua clarificada también utiliza el mecanismo de rebalse para ser evacuada al tanque del efluente.

Experimental

Se prepararon los influentes con aceite de girasol, alcanzando las concentraciones de grasas y aceites de entrada al

2 3 G F E B

Figura 1. Diagrama del equipo experimental. A: bomba de alimentación, B: bomba de recirculación, C: tanque de alimentación, D: tanque de aireación, E: tanque de sedimentación, F: tanque para el efluente, G: bloque de oxigenación, H: medidor de flujo de aire.

tanque de alimentación los valores de 250, 667 y 1047mg·l⁻¹. Estos valores se mantenían por 5, 7 y 4 días, respectivamente. Los valores de DQO de entrada fueron 838, 1836 y 2405, cifras que consideran la DQO asociada a la sacarosa; el intervalo de operación de la concentración de O2 disuelto varió entre 2-3mg·l-1 y la relación DQO:N:P fue 100:5:1 a nivel de la alimentación. El pH fue entre 6 y 8, la relación carga másica fue entre 0,4 y 1,8kgD-QO/kgSSLM/día, la que se sitúa entre un sistema convencional y de alta carga, y el índice volumétrico de lodos (IVL) varió entre 100 y 300ml·g-1. El agua residual sintética era preparada diariamente en un estanque de acumulación de 50 litros que incluía un agitador para dispersar el aceite en la fase acuosa. En este estanque se acumula un aceite que no ingresa al proceso de tratamiento biológico, al que se denomina aceite retenido.

Grasas y aceites

En la determinación de grasas v aceites se miden cualitativamente grupos de sustancias con características similares, sobre la base de su común solubilidad en un disolvente adecuado, utilizando el ensayo del método Gravimétrico/ Soxhlet (Método 2530C; APHA-AWWA-WPFC, 1992). Los métodos analíticos empleados tradicionalmente, de tipo gravimétrico como el método de Soxleth, no discriminan entre las grasas y aceites y otros compuestos orgánicos como hidrocarburos (Metcalf y Eddy, 2003).

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Los SST se determinaron por filtración de un volumen de muestra conocido sobre filtros de fibra de vidrio WHATMAN, de 4,7cm GF/C y posteriormente secados a 103-105°C. La diferencia de peso de los filtros antes y después de la filtración permite calcular el contenido en SST (Método 2540D; APHA-AWWA-WPFC, 1992).

Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)

El residuo obtenido del método 2540D, fue incinerado a 550°C en un horno mufla, posteriormente enfriado, desecado y pesado. La pérdida de peso corresponde a los sólidos suspendidos volátiles. (Método 2540E; APHA-AWWA-WPFC, 1992).

Demanda Química de Oxígeno

Se oxidó la muestra a través de la acción del K₂Cr₂O₇ a 150°C, durante 2h, y luego se llevó a cabo la determinación por espectrofotometría a 600nm. Se utilizó sulfato de plata como catalizador y sulfato de mercurio para evitar las posibles interferencias del cloruro (Crespi y Huertas, 1984).

Resultados y Discusión

En este experimento se prepara una mezcla de agua, sacarosa y aceite de girasol en el tanque de alimentación del sistema, el que es agitado mecánicamente; sin embargo, parte del aceite queda retenido en el tanque. Para estimar la biodegradación del aceite se considera el que ingresa al tanque de aireación, que es sometido a un proceso de biodegradación por lodos activos; la biomasa se obtuvo de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de la ciudad de Oviedo, Espáña. El influente posee una concentración de sacarosa constante de 400ml·l⁻¹ y se aumenta gradualmente la concentración de aceite de girasol de 192 a 938mg·l-1. La concentración de la biomasa en el tanque de aireación con deflector varía entre 2500 v 4300mg·l⁻¹ y la carga másica varía de 0,4 a 1,8 kgDQO/día/ kgSSLM. En la Figura 2 se aprecia el diagrama de la planta de lodos activos.

Balance de materia: aceite eliminado y biodegradado

Del balance de materia se obtiene la masa de aceite girasol biodegradada que es parte del influente que se alimenta al sistema. Se tiene que para el estanque de aireación:

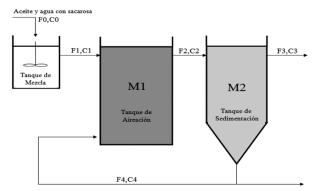


Figura 2. Diagrama de proceso de planta de lodos activos. F0, C0: llujo y concentración de aceite alimentado al estanque de mezcla; F1, C1: flujo y concentración de aceite que ingresa al tanque de aireación; F2, C2: flujo y concentración de aceites que sale del tanque de aireación, F3, C3: flujo y concentración de aceite del efluente; F4, C4: flujo y concentración de aceite de recirculación; M1: masa de aceite contenida en el licor de mezcla del tanque de aireación; M2: masa de aceite que flota en el tanque de sedimentación y la masa de grasas y aceites en el fondo del tanque de sedimentación adherida a la biomasa.

TABLA I BALANCE DE MATERIA EN LODOS ACTIVOS

Días de operación		1 a 5	6 a 12	13 a 16
Masa de aceite (g)	Alimentada	30	112	100
	Retenida	7	8	10
	En el efluente	3,1	8	7,6
	Biodegradada	16,9	54	39,4
	Acumulada	3	42	43
Concentración de estanque mezcla (mg·l·l)		250	666,7	1046,7
Concentración ingreso a tanque aireción (mg·l-1)		191,6	619	937,5
Eficiencia de biodegradación (%)		74	52	44
Eficiencia de eliminación (%)		86,5	92,3	91,5

$$dM1/dt = F1 \cdot C1 - F2 \cdot C2 -$$

$$rA \cdot V + F4 \cdot C4$$
 (1)

y para el estanque de sedimentación secundaria:

$$dM2/dt = F2 \cdot C2 - F3 \cdot C3 - F4 \cdot C4 - F6 \cdot C6$$
 (2)

donde F₆= 0, V: volumen del reactor, y r_A: velocidad de desaparición del aceite vegetal.

El balance para el sistema en su totalidad es

$$\begin{array}{ll} dM_{1}/dt \,+\, dM_{2}/dt = \, F_{1} \cdot C_{1} \,-\, \\ F_{3} \cdot C_{3} \,-\, r_{A} \cdot V \end{array} \tag{3}$$

donde r_AV, corresponde al aceite vegetal que desaparece por unidad de tiempo, es el aceite netamente biodegradado por los microorganismos, tal que

$$r_A \cdot V = F_1 \cdot C_1 - F_3 \cdot C_3 - dM_1/dt - dM_2/dt$$
(4)

Parte del aceite ingresado flota y pasa al sedimentador,

en el que se acumula y flota, lo que se considera al estimar la masa biodegradada de aceite. Al realizar el balance de materia en forma integral para un determinado periodo de tiempo se tiene que

$$M_1 + M_2 = F_1 \cdot C_1 \cdot \Delta t - F_3 \cdot C_3 \cdot \Delta t - r_A \cdot \Delta t$$
 (5)

donde Δt: período de tiempo determinado (1 día).

Luego, si se utiliza un subíndice para caracterizar el día correspondiente, se tiene que para el día 1:

$$\begin{array}{ll} M_{11} + M_{21} = F_{11} \cdot C_{11} \cdot \Delta t - \\ F_{31} \cdot C_{31} \cdot \Delta t - V \cdot r_A \cdot \Delta t \end{array} \tag{6}$$

para el día 2:

$$\begin{array}{ll} M_{12} + M_{22} = F_{12} \cdot C_{12} \cdot \Delta t - \\ F_{32} \cdot C_{32} \cdot \Delta t - V \cdot r_A \cdot \Delta t \end{array} \tag{7}$$

y para el día n:

$$\begin{array}{ll} M_{1n} + M_{2n} = F_{1n} \cdot C_{1n} \cdot \Delta t - \\ F_{3n} \cdot C_{3n} \cdot \Delta t - V \cdot r_A \cdot \Delta t \end{array} \tag{8}$$

Luego el balance de masa para una cantidad determinada de días de operación es

$$\Sigma (M_{1i}+M_{2i}) = F_{1i} \cdot \Delta t \cdot \Sigma (C_{1i}) - F_{3i} \cdot \Delta t \cdot \Sigma (C_{3i}) - r_A \cdot V \cdot \Delta t$$
 (9)

y por lo tanto, el aceite biodegradado en un periodo de días determinado es

$$F_{1i} \cdot \Delta t \cdot \Sigma (C_{1i}) - F_{3i} \cdot \Delta t \cdot \Sigma (C_{3i}) - \Sigma (M_{1i} + M_{2i}) = r_A \cdot V \cdot \Delta t$$
(10)

y la biodegradabilidad es

$$D = r_A \cdot V \cdot \Delta t / F_{1i} \cdot \Delta t \cdot \Sigma (C_{1i}) \quad (11)$$

$$\begin{array}{l} D = \{F_{1i} \cdot \Delta t \cdot \Sigma(C_{1i}) - \\ F_{3i} \cdot \Delta t \cdot \Sigma(C_{3i}) - \Sigma(M_{1i} + M_{2i})\} / \\ F_{1} \cdot \Delta t \cdot \Sigma(C_{1i}) \end{array} \tag{12}$$

Protocolo experimental del balance de materia

Se define un método experimental para el balance de materia del aceite. El diagrama de flujo (Figura 3), muestra las corrientes de entrada y salida, en las que se midió caudal y concentración.

El flujo de alimentación y la concentración de grasas y aceites (F1, C1) son conocidos, y se fija de acuerdo a las condiciones experimentales.

F2, C2: No es relevante para el balance da materia.

F3, C3: El flujo del efluente es igual al de entrada y está predeterminado por las condiciones del experimento. La concentración C3 se obtiene por el método de Soxhlet.

F4, C4: No es relevante para el balance da materia.

M1: Se determina mediante Soxhlet, la concentración de aceite en licor de mezcla, se toma muestra de 250ml de licor de mezcla, con la concentración obtenida se calcula para el volumen total del licor de mezcla.

M2: Se estima la masa de aceite de girasol acumulada en el sedimentador en un período de tiempo determinado. Se evacúa agua del tanque sedimentador a un tanque auxiliar y se recoge la masa de aceite húmedo en otro recipiente, posterior a esto se realiza la evaporación del agua remanente mediante baño maría y se pesa el aceite.

M3: Se agrega a lo anterior, la masa de aceite acumulada en la biomasa del sedimentador secundario y se determina por medio del método Soxhlet; se toma muestra de 100ml y con la concentración obtenida se calcula para el volumen total del manto de solidos sedimentados.

Resultados del balance de materia

Los parámetros relevantes tuvieron los comportamientos que a continuación se describen.

Evolución y calidad de la biomasa. En lo que respecta a la concentración de biomasa se tiene que hay una marcada disminución cuando se acusa la presencia de aceite en la alimentación. A partir de la Figura 4 se tiene que la concentración de

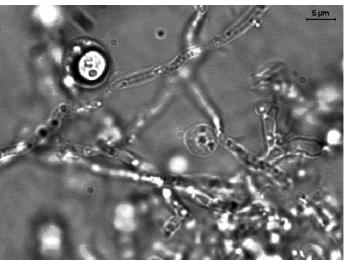


Figura 3. Microorganismos filamentosos.

sólidos sufre una baja considerable, pero después aumenta la biomasa, sin sobrepasar los 4200mg·l·l de sólidos suspendidos totales, pese a los valores de concentración de materia orgánica que se alimentan, entre los 800 y 2400mg·l·l de DQO, por tanto se constata que una fracción de la materia orgánica alimentada ésta siendo metabolizada por los microorganismos y transformada en biomasa.

De la Figura 4, los valores de IVL se explican a partir del fenómeno de hinchamiento o 'bulking' que sufren los fangos activos, va que constata la presencia de microorganismos de tipo filamentosos, que son los que provocan el bulking. Éstos se alimentan de sustratos solubles como la sacarosa y además se generan condiciones ambientales favorables para ellos, como es la presencia de ácidos grasos, ya que el deflector en tanque de aireación aumenta el tiempo de residencia de las grasas y aceites. Esto explica el crecimiento de biomasa filamentosa, ya que no hay carencia de nutrientes, que es la causa más habitual, dado que las concentración de P v N agregadas son en función de la DQO y se toma este parámetro como referencia para la relación DQO:N:P como 100:5:1.

El parámetro IVL es uno de los más relevantes para esta experiencia, dado que los valores de IVL son muy altos, lo que indica que estamos ante un fenómeno de abultamiento o bulking, lo cual impide una adecuada sedimentación de la

biomasa en la etapa de sedimentador secundario, evidentemente impidiendo óptimo funcionamiento del sistema. Las causas de esta anomalía se puede encontrar en la alta concentración de ácidos grasos, que favorece el desarrollo de ciertas especies filamentosas como las Nocardias, Microtrix, etc. (Forster, 1992).

En presencia de sustratos biodegradables que no requieren de hidrólisis previas, tales como glucosa, maltosa, ysacarosa, resulta favorecido el crecimiento y desarrollo de especies de tipo filamentosas. La presencia de sacarosa en el influente potencia el crecimiento de las especies mencionadas (Sheintuch y Tartakovski, 1997), ya que se producen efectos sinérgicos entre la presencia de ácidos grasos y de sacarosa.

Se tomó una muestra del licor de mezcla del estanque de aireación y se constató la presencia de filamentosas en el mismo (Figura 3), lo cual complementa los resultados obtenidos para el parámetro IVL y se confirma la relación entre la presencia de grasas y aceites y la aparición del fenómeno de bulking.

El IVL alcanza un valor máximo cercano a los 300ml·g¹ y a medida que aumenta la concentración de aceite de girasol en relación a la sacarosa en el influente, gradualmente empieza a disminuir el IVL hasta llegar a un valor próximo a los 100ml·g¹. Esto estaría asociado a que el efecto sinérgico ya

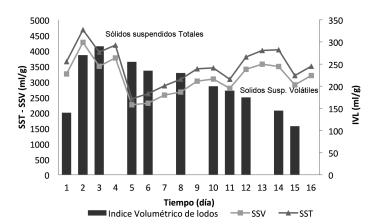


Figura 4. Comportamiento de la biomasa, concentración de sólidos suspendidos totales y volátiles e IVL.

mencionado se ve reducido, pues sustancias hidrolizadas como los ácidos grasos y el glicerol son preferencialmente adsorbidos por flóculos bacterianos, lo que posibilita su desarrollo y crecimiento (Sheintuch et al., 1997), estableciéndose de este modo un factor que potencia el crecimiento de la biomasa floculenta y se favorece una relación de equilibrio entre las especies floculentas y las filamentosas.

Evolución de la DQO. El nivel de eliminación de DQO es del orden del 90%. En todo caso se observa un leve incremento en la DQO del efluente con respecto a experiencias similares, lo que está dado en gran medida por el desarrollo de biomasa filamentosa también conocido como hinchamiento de los lodos, que trae como consecuencia la presencia de sólidos biológicos suspendidos en el efluente, lo

cual aumenta la carga orgánica y con ello la DQO.

De la Figura 5 se tiene que el contenido de materia orgánica del efluente es prácticamente constante para todo el intervalo de DQO en el influente. No así la materia orgánica retenida, que depende del influente. Para valores de DQO próximos a 800mg·l-1 de los cuales un 50% corresponde a sacarosa, la acumulación de aceite es reducida. Para concentraciones de ~1700mg·l-1, la DOO acumulada es considerable, lo que se debe a que gran parte del aceite es removido por flotación.

Respecto a la carga másica, el contenido de materia orgánica del efluente no depende de la carga másica aplicada, ya que para todos los valores de las cargas másicas aplicadas, el efluente posee un contenido de DQO relativamente constante. Lo que sí varia en función de

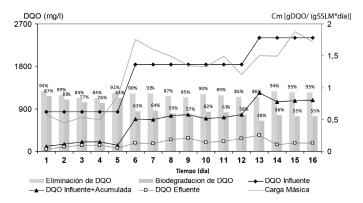


Figura 5. Evolución de DQO influente y efluente, y eficiencia de biodegradación y eliminación de DQO y carga másica.

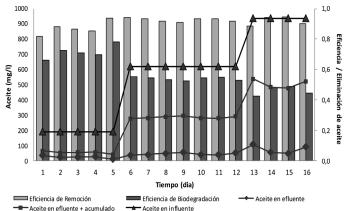


Figura 6. Comportamiento de la concentración de aceites y grasas en influente y efluente, eficiencia de eliminación y biodegradación de grasas y aceites.

la carga másica aplicada es el aceite acumulado, lo que está vinculado al nivel de biodegradación y flotación que se alcanza, respectivamente.

Para cargas másicas de 0,4kgDQO/(kgSSLM/día), régimen convencional, en el tramo inferior, prácticamente no se acusa acumulación, lo que es un reflejo del 75% de biodegradación alcanzado. Para cargas másicas que superan 1,2kgDQO/(kgSSLM/día), régimen de alta carga, se observa una alta acumulación de materia orgánica, algo coherente con los niveles de biodegradación alcanzados menores a un 52%.

Eliminación de aceite. De la Figura 6 se tiene que para valores de baja concentración de aceite en el influente, este es prácticamente eliminado en su totalidad, por la vía de la biodegradación. Ello se explica dado que a valores bajos de concentración de aceite se logran eficiencias de biodegradación por sobre el 70%, debido a la incidencia del dispositivo que retiene el aceite y sus productos de hidrólisis en el tanque de aireación, lo que favorece la interacción biomasa-aceite.

El aumento de concentración de aceite es muy considerable, pasando de 200 a 600 mg·l⁻¹ aproximadamente, lo cual intensifica el efecto de baja en la actividad biodegradadora de la biomasa, reduciendo la biodegradación a un 52 y 44%, cuando la concentración de aceite en el influente es aumentada a 600 y 900mg·l⁻¹, respectivamente, de tal modo que se incrementa fuertemente la flotación de aceite y con ello se mantiene el nivel de eliminación. La eliminación global de aceite para bajas concentraciones es del orden del 85%, la cual es por la vía de la biodegradación principalmente

y se tiene que para concentraciones mayores de aceite en el influente, a pesar de que la biodegradación se reduce significativamente, aumenta la eliminación global del aceite, ya que adquiere preponderancia la eliminación por flotación, debido a que la mayor acumulación de aceite, tanto en el tanque de aireación como en el sedimentador secundario, favorece claramente la coalescencia de las partículas de aceite, con lo cual incluso se aumenta la eficiencia de eliminación.

Se constata que la biodegradabilidad del influente disminuye con el aumento de la concentración de aceite, por tanto en lo relativo a la eliminación de aceite se tiene que se alcanzan niveles adecuados a bajas concentraciones. En la medida que se incrementa la concentración de aceite en el influente, el sistema presenta una menor capacidad de biodegradación. En este caso se preparó la alimentación a concentraciones de 300, 600 y 1200mg·1⁻¹, y hay que destacar que las concentraciones reales del influente al sistema de tratamiento son menores, va que una parte del aceite queda retenido en el estanque de alimentación.

Conclusiones

La biodegradación del aceite varía desde 74 a 44%, para concentraciones de aceite de girasol que van de 191,6 a 937,5mg·l⁻¹.

El aumento de la concentración de aceite inhibe el mecanismo de biodegradación de aceite.

La eliminación del aceite alcanzada varía desde 86,5 a 92,3%, para concentraciones de aceite de girasol que oscilan entre 191,6 y 937,5mg·l⁻¹.

La eliminación del aceite se debe a la flotación y biodegradación, siendo este último mecanismo el de mayor incidencia.

REFERENCIAS

- Albasi C, Riba JP, Sokolovska O, Bales V (1997) Enzimatic hydrolysis of sunflower oil: Characterisation of interface. J. Chem. Technol. Biotechnol. 69: 329-336.
- APHA-AWWA-WPFC (1992) Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Aguas Residuales. Díaz de Santos. Madrid, España. pp. 2-76, 2-80 y 2-85.
- Brooksbank AM, Latchford JW, Mudge SM (2007) Degradation and modification of fats, oils and grease by commercial microbial supplements. World J. Microbiol. Biotechnol. 23: 977-985.
- Chipasa KB, Medrzycka K, (2006) Behavior of lipids in biological wastewater treatment processes. J. Indust. Microbiol. Biotechnol. 33: 635-645.
- Crespi M, Huertas J (1984) Determinación simplificada de la demanda química de oxígeno por el método del dicromato. *Tecnol. Agua 13*: 35-40.
- Dueholm TE, Andreasen KH, Nielsen PH (2001) Transformation of lipids in activated sludge. *Water Sci. Technol.* 43: 165-172.
- Edgerton B, Mc Niven D, Wong CH, Menoud P, Barford JP, Mitchell CA (2000) Strategies for dealing with piggery effluent in Australia: the sequencing batch reactor as a solution. Water Sci. Technol. 41: 123-126.
- Fernández M, Abalos A, Crombet S, Caballero H (2010) Ensayos de biodegradabilidad anaeróbia de aguas residuales generadas en una planta refinadora de aceite de soja. *Interciencia* 35: 600-604.
- Forster C (1992) Oils, fats and greases in wastewater treatment. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 55: 402-404.
- Frigon D, Guthrie R, Baschman G, Roger J, Bayley B, Raskin L (2006) Long-term analysis of a full-scale activated sludge waste water treatment system exhibiting seasonal biological foaming. *Water Res.* 40: 999-1008.
- García-Sifuentes CO, Pacheco-Aguilar R, Valdez-Hurtado S, Márquez-Rios E, Lugo-Sánchez ME, Ezquerra-Brauer JM (2009) Impacto del agua de cola de la industria pesquera: tratamientos y usos. CyTA J. Food 7: 67-77.

- Hasenhuettl GL (2005) Fats and Fatty Oils. En Kroschwitz JI (Ed.) Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Wiley. Nueva York, EEUU. pp. 801-836.
- Keenan D, Sabelnikov A (2000) Biological Augmentation eliminates grease and oil in bakery wastewater. *Water Environ. Res.* 72: 141-146.
- Metcalf-Eddy (2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4^a ed. McGraw Hill. 98 pp.
- Morgenroth E, Kommedal R, Harremoes P (2002) Process and modeling of hydrolysis of particulate organic matter in aerobic wastewater treatment A review. Water Sci. Technol. 45(6): 25-40.
- Nabarlatz D, Vondrysova J, Jenicek P, Stüber F, Font J, Fortuny A, Fabregat A, Bengoa C (2010) Hydrolytic enzymes in activated sludge: Extraction of protease and lipase by stirring and ultrasonication. *Ultrason. Sonochem.* 17: 923-931.
- Rittmann B, McCarty P (2001) Biotecnologia del Medio Ambiente. Mc Graw Hill. Madrid, España. pp. 316-320.
- Ronzano E, Dapena J (2002) Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales. 2ª ed. Diaz de Santos. Madrid, España. 14 pp.
- Sainz J (2004) Ingeniería Química, Separación de aceites de efluentes industriales. pp. 93-99.
- Sheintuch M, Tartakovsky O (1997) Activated-sludge system design for species selection: analysis of a detailed multispecies model. *Chem. Eng. Sci.* 52(17), 3033-3046.
- Vittadini G (1991) Catalogo de Información de Equipamiento de Biocontrol. Catálogo Vittadini Riferimenti. Milán Italia. pp. 1-12.
- Water Environment Federation (2010) Design of Municipal Wastewater Treatment Plants. 5^a ed. WEF Manual of Practice 8. ASCE Manual and Report on Engineering Practice 76. American Society of Civil Engineers, Mc Graw-Hill. 14-1.
- Weatherley LR, Rooney DW, Niekerk MV (1997) Clean synthesis of fatty acids in an intensive lipase-catalised bioreactor. J. Chem. Tech. Biotechnol. 68: 437-441.