

Evaluación de un reactor aerobio piloto con medio de soporte de polietilentereftalato (PET) para tratamiento de efluente lechero

(Evaluation of a pilot aerobic reactor with polyetilenterephthalate (PET) as support material for dairy wastewater treatment)

Marcelo Muñoz¹, Jessica Reina¹, María Belén Aldás¹

Resumen:

Se instaló un reactor piloto de flujo pistón aerobio horizontal, con medio de soporte PET (polietilentereftalato), reciclado de botellas plásticas para el tratamiento de un sustrato sintético elaborado a partir de suero lácteo, con concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO) entre 800 y 2100 mg/L. Se utilizó un inóculo bacteriano aclimatado con el afluente a tratarse. Se determinaron eficiencias de remoción de materia orgánica del 62.2%, 85% y 94%, operando con tiempos de retención de 5.14, 6.01 y 8.01 horas y trabajando con valores de cargas orgánicas volumétricas (L_v) de 7.68, 6.19 y 4.61 kg/día.m³, respectivamente. Adicionalmente, se calculó la constante cinética de transferencia másica (k), con un valor de 0.02 m/día y por otro lado, se determinó un factor de carga (F/M) de 0.4, indicando que el proceso se asemeja a un sistema de aireación prolongada. Finalmente, se realizó un análisis de la biomasa generada en el interior del reactor, obteniendo un valor de 11560 mg/L, el cual es mayor al valor de los sistemas convencionales.

Palabras clave: Agua residual; reactor aerobio; industria láctea; PET.

Abstract:

A pilot aerobic horizontal plug flow reactor filled with pieces of PET (polyethylene terephthalate), from plastic bottles was installed for treatment of a synthetic substrate prepared from lactic whey with COD values of 800 to 2100 mg/L. A bacterial inoculum previously acclimated to the substrate was used. Organic material removal efficiencies of 62.2%, 85% y 94% were obtained with retention times of 5.14, 6.01 and 8.01 hours, and with volumetric organic loads (L_v) of 7.68, 6.19 and 4.61 kg/day.m³, respectively. Also, the kinetic mass transfer constant (k) was calculated and it presented a value of 0.02 m/day. On the other hand, an F/M ratio of 0.4 was determined, indicating that the process had a similar performance to an extended aeration system. Finally, the biomass generated inside the reactor was analyzed, obtaining a value of 11560 mg /L, which is a higher value than those of conventional systems.

Keywords: Wastewater; aerobic reactor; dairy industry; PET.

¹ Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador (maria.aldas@epn.edu.ec)

1. Introducción

La industria láctea es considerada una de las más contaminantes, pues genera desechos con gran volumen que se caracterizan por presentar altos valores de DBO₅ (40 a 48000 mg/l) y DQO (80 a 95000 mg/l) (Kushwaha, Srivastava y Mall, 2011) además de grasas, nutrientes, lactosa y detergentes. Se ha estimado que se generan de 0.2 a 10 litros de efluentes por litro de leche procesada (Shete y Shinkar, 2013). El lactosuero es un subproducto caracterizado como contaminante. Cada 1000 litros de lactosuero generan cerca de 35 kg de DBO y cerca de 68 kg de DQO, cuya carga contaminante es equivalente a la de las aguas negras producidas en un día por 450 personas (Centro de Producción Más Limpia de Nicaragua, 2003). Los nutrientes que contienen estas aguas residuales pueden causar eutrofización en cuerpos hídricos; disminuyen la cantidad de oxígeno disuelto y por tanto restringen la vida acuática (Carta-Escobar, Pereda-Marín, Álvarez-Mateos, Romero-Guzmán, Duran-Barrantes y Barriga-Mateos, 2004).

Varias son las alternativas para la reducción de la contaminación causada por esta industria, entre las que destaca el tratamiento anaeróbico de las aguas residuales, reactores anaerobios con material plástico de relleno usados para el tratamiento de efluentes de industrias lecheras han permitido una remoción de hasta 85 % de la carga orgánica expresada como DQO (Muñoz, Fuentes y Aldás, 2016). Sin embargo, pueden presentarse algunos inconvenientes en este tipo de tratamiento, dado que los componentes grasos limitan la acción de las bacterias metanogénicas, por ello se aplican en su lugar tratamientos biológicos aerobios, como lagunas aireadas, lodos activados, reactores biológicos secuenciales, entre otros, donde se han reportado eficiencias de remoción de materia orgánica, como DBO con valores entre 57 y 99 % (Kuswaha, et al 2011). También se han ensayado procesos de electrocoagulación en aguas residuales de industria del yogur, con remociones de hasta 93 % de DQO y 82 % de DBO₅ (López y Harnisth, 2016).

Dentro de los tratamientos aerobios, toman importancia aquellos que pueden llevarse a cabo mediante la formación de biofilm o biopelícula, que consiste en una estructura compleja de canales de agua y aireación, permitiendo el transporte de alimentos, desechos y oxígeno para el desarrollo de diversos grupos bacterianos (Kourkoutas, 2004). Así existen estudios de tratamiento de efluentes de industrias lecheras mediante biofiltración con remociones de 99 % de DQO y de DBO₅ (Prócel, Posligua y Banchón, 2016). Los microorganismos formadores de biopelícula poseen algunas ventajas sobre microorganismos suspendidos, entre estas: mayor persistencia dentro del sistema, mayor tasa de crecimiento, mayor incremento en la actividad metabólica y mayor resistencia a la toxicidad (Lapo, 2014). Con el fin de que se beneficie la formación de biopelícula, suele utilizarse un medio de soporte, por lo general los más utilizados son los plásticos que poseen alta superficie específica (650 m²/m³ para este estudio), lo que favorece la adhesión de los microorganismos y la formación de una película biológica que asegure el atrapamiento, en los

espacios vacíos del lecho, de flóculos microbianos no adheridos (Baecheler, Zambrano y Urrutia, 2001).

Por lo anterior, en esta investigación, se utiliza un reactor horizontal aerobio para el tratamiento de agua sintética elaborada a partir de lactosuero, con el fin de evaluar su eficiencia en la remoción de la carga orgánica contaminante y los parámetros de diseño. El reactor tiene relleno de PET (polietilentereftalato), plástico cuya principal aplicación es la fabricación de botellas, que genera un impacto negativo en el ambiente. Adicionalmente, se aplica un modelo matemático para la obtención de la constante cinética de transferencia másica.

2. Metodología

Se construyó el reactor con tubería de PVC (policloruro de vinilo) de forma horizontal con un diámetro de 58 mm y una longitud de 750 mm, con salidas para la espuma producto de la agitación del agua con lactosuero debido al ingreso del aire proveniente de los difusores. A partir de la ecuación 1:

$$V = \frac{Q \cdot S_o}{L_v} \quad (1)$$

Donde:

L_v : Carga volumétrica, g/L.día

Q : Caudal, L/día

S_o : Concentración DQO, g/L

V : Volumen, L

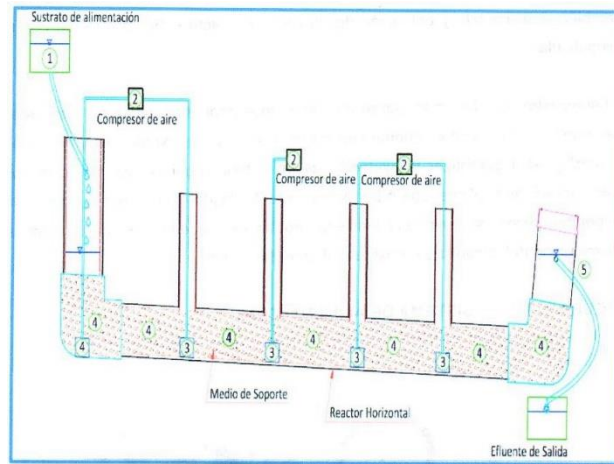
Al tomar como punto de partida para la experimentación una S_o de 2.1 g/L y un Q de 9.48 L/día, y como referencia una L_v de 9.6 g/L.día (Arango y Sanches, 2009), se obtuvo un volumen del reactor de 2.07 L.

Así se obtuvo la relación Diámetro/Longitud = 1/13, que garantiza un flujo predominantemente pistón (Alvis, 2015).

La alimentación al reactor se realizó por gravedad, como muestra la *Figura 1*, el agua residual elaborada a partir de lactosuero ingresó de manera continua a través del reactor sin recirculación; el suministro de aire mediante difusores, permitió obtener concentraciones de oxígeno mayores a los 2 mg/L.

En la *Figura 1*, se observa la zona que corresponde al reactor (4) que contiene al medio de soporte PET, en forma de V y los difusores de aire (3) en constante burbujeo, que proviene de los aireadores (2), además del sistema de alimentación (1), donde ingresa el afluente a tratar en diferentes cargas y salida del efluente (5).

Con el fin de garantizar un funcionamiento aerobio y una correcta difusión del oxígeno, se inclinó al reactor con respecto de la horizontal; adicionalmente, se protegieron de la luz todas las mangueras y las entradas y salidas del reactor, para evitar el crecimiento de algas.



a)



b)

Figura 1. a) Esquema del reactor aerobio biológico horizontal b) Reactor instalado

Las características del reactor se presentan resumidas en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Características del reactor aerobio

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen total	2	L
Volumen útil	1.73	L
Diámetro del reactor	58	Mm
Largo del reactor	0.75	M
Inclinación sobre la horizontal	5	Cm

El medio de soporte consistió en pedazos de PET (polietilentereftalato), procedentes de botellas plásticas, de forma rectangular de dimensiones entre 2 y 4 cm a los que luego se dobló en forma de V para permitir que las colonias de bacterias se adhieran y evitar que se elimine con el efluente la biopelícula generada; el volumen del medio de soporte ocupó el 13.79 % del reactor, quedando un volumen libre para el tratamiento de 1.73 L. El medio de soporte se mantuvo dentro del reactor sin ser arrastrado debido a que el flujo es laminar, con velocidades relativamente bajas. El material de relleno puede permanecer en el reactor indefinidamente.

Se utilizó un inóculo de bacterias facultativas monitoreadas mediante el análisis de SSV, procedentes del agua de un río, tomando un volumen de 1400 ml de lodo biológico con 100 ml de sustrato, preparado a partir de lactosuero, con una resiembra de inóculo de 30 ml en la primera semana, 100 ml en la segunda y 100 ml en la tercera luego de los primeros 21 días de operación, en los que se añadió bicarbonato de sodio para mantener el pH en el rango de 6.5 a 7.5, rango que se mantuvo durante toda la investigación. Se adicionaron nutrientes, nitrógeno y fósforo hasta alcanzar la relación DBO/N/P = 100:5:1, para que las bacterias puedan desarrollarse y lleguen a su nivel máximo de crecimiento. La temperatura de trabajo fue de 15 – 17 °C.

Los parámetros de control evaluados fueron: DQO (eficiencia de remoción de materia orgánica), mediante el método APHA 5220 DQO D; pH utilizando un pHmetro de mesa; sólidos suspendidos totales, SST, a través del método gravimétrico 2540 B y sólidos suspendidos volátiles, SSV, a través del método de ignición SM 2540 E; el tiempo de retención hidráulico, *TRH*; la carga orgánica volumétrica, *L_v*; la carga orgánica superficial, *L_s*; la superficie específica, *Se*; la relación biomasa-carga orgánica, *Y*, y el factor de carga, *F/M*, son parámetros con los cuales se experimentó.

La experimentación consistió en la aclimatación durante 21 días y operación del reactor hasta su estabilización, con una duración de 81 días. Para la etapa de aclimatación se consideraron los siguientes aspectos: el caudal fue de 2.8 mL/min, el tiempo de retención de 10.3 h y la DQO del afluente de 1000 – 2100 mg/L. La etapa de operación se dividió en 3 fases para la recolección de datos que servirán para la obtención de la constante másica de remoción de materia orgánica (*k*), así:

- Fase I: se llevó a cabo en un período de 26 días, con un caudal constante de 5.6 mL/min (0.008064 m³/d), con un tiempo de retención de 5.14 horas
- Fase II: se llevó a cabo en un período de 23 días, con un caudal constante de 4.8 mL/min (0.006912 m³/d), con un tiempo de retención de 6.01 horas
- Fase III: se llevó a cabo en un período de 32 días, con un caudal constante de 3.6 mL/min (0.005184 m³/d), con un tiempo de retención de 8.01 horas

Terminada la etapa de operación se analizó la biopelícula formada sobre del material de soporte, determinándose la cantidad de SSV, cuyos valores permitieron la determinación de la concentración de biomasa y del parámetro *Y*.

3. Resultados y Discusión

En la *Tabla 2*, se muestra un resumen de los valores promedio de los parámetros de control obtenidos en la etapa de operación.

Tabla 2. Parámetros de control en la etapa de operación del reactor aerobio

TRH (h)	Carga volumétrica afluente, L_v (kg/día.m ³)	Carga orgánica superficial, L_s (kg/día.m ²)	Factor de carga (F/M)	Eficiencia remoción (%)
5.14	7.28	0.01190	0.7	67.2
6.01	6.16	0.00952	0.5	85
8.01	4.61	0.00713	0.4	94

Los factores de carga (F/M), que se muestran en la *Tabla 2*, expresan la relación entre la carga orgánica que entra al sistema y la cantidad de microorganismos que se encuentran en el interior del reactor, indicando que el tratamiento se asemeja a un sistema de lodos activados convencionales (0.5 d⁻¹- 0.8 d⁻¹) (Oliviera, 2001), mientras que para un tiempo de retención hidráulico de 8.01 horas, el sistema tiende al comportamiento de un tratamiento de lodos activados de aireación prolongada. El factor de carga fue calculado mediante la *ecuación 2*:

$$\frac{F}{M} = \frac{Q \cdot S_o}{XV} \quad (2)$$

Donde:

$\frac{F}{M}$: Factor de carga, día⁻¹

Q : Caudal, L/día

S_o : Concentración DQO en el afluente, g/L

V : Volumen, L

X : Concentración de biomas, g/L

En la *Figura 2*, se aprecia la variación de la DQO del afluente y del efluente y la eficiencia de remoción, con respecto al tiempo de reacción; se observa que para todos los tiempos de retención, se logra una remoción considerable.

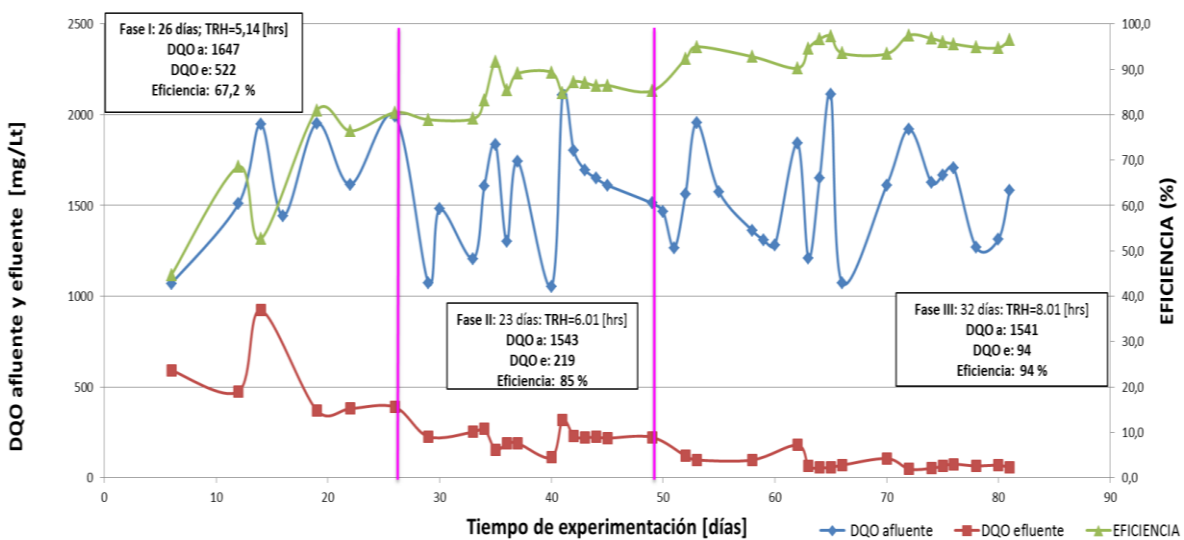


Figura 2. Variación DQO afluente y DQO efluente - Eficiencia vs tiempo de experimentación

Se observa, a partir de la figura anterior, en la fase I: valores promedio de DQO afluente de 1647 mg/L, y de DQO efluente de 522 mg/L, en la fase II: valores promedio de DQO afluente de 1543

mg/L, y de DQO efluente de 219 mg/L, en la fase III: valores promedio de DQO afluente de 1541 mg/L, y de DQO efluente de 94 mg/L, 32 días; estos resultados indican que mientras mayor es el tiempo de retención, la eficiencia de remoción del reactor presenta valores más elevados.

En la *Figura 3*, se aprecia, en la fase I, valores de carga volumétrica entre 5 y 9.4 kg/día.m³, con un promedio de 7.8 kg/día.m³. En la fase II, valores de 4.2 a 8.4 kg/día.m³, con un promedio de 6.19 kg/día.m³. En la fase III, los valores estuvieron entre 3.2 a 6.3 kg/día.m³, con promedio de 4.6 kg/día.m³, donde se obtuvo la máxima remoción de materia orgánica, con un valor del 94.5%.

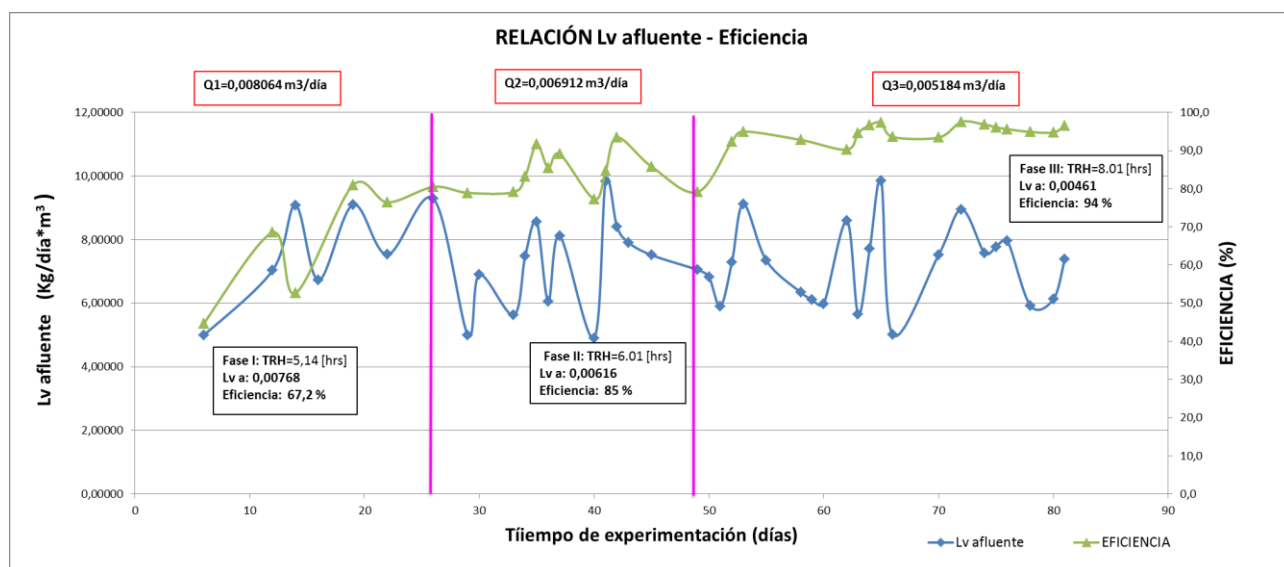


Figura 3. Lv afluente - Eficiencia de remoción vs. tiempo de experimentación

En la *Figura 4*, se presenta los valores promedios de la carga orgánica volumétrica (L_v), con la que operó el reactor en cada una de las fases y las eficiencias en promedio alcanzadas.

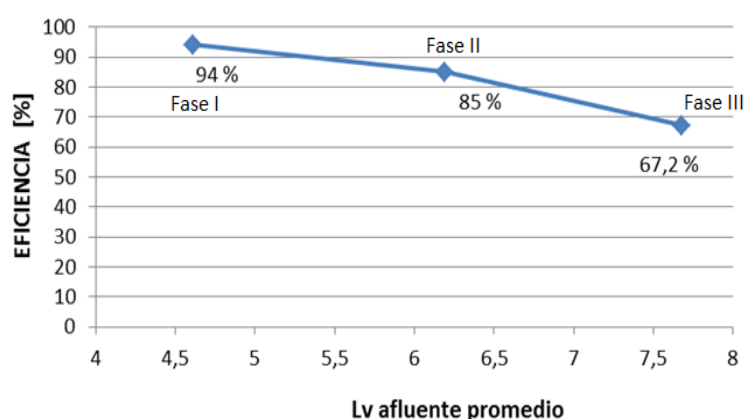


Figura 4. Lv afluente vs. Eficiencia de remoción

Las eficiencias de remoción aumentan cuando la carga orgánica disminuye y cuando el tiempo de retención aumenta, en un estudio realizado en un reactor SBR y otro reactor SBR modificado con 2.7 m² de material plástico de soporte (Sirianuntapiboon, Jeeyachok y Larplai, 2005), concordando

con los resultados encontrados, esto debido a que el factor de carga disminuye y la biomasa tiene mejores condiciones de crecimiento.

A cargas menores a 1 kg/día.m^3 , la eficiencia de remoción tiene un valor mínimo de 82%, en un estudio realizado en dos tipos de sistemas de tratamiento aerobio, el primero con un reactor y el segundo con tres reactores en cascada, donde el efluente lechero sintético presentó concentraciones de 4000 mg/l de DQO (Carta-Escobar, et al 2004), en este estudio, se tienen cargas de 4.61 kg/día.m^3 con eficiencias de 94%, lo que indica que la concentración de la materia orgánica del afluente tiene influencia en el comportamiento de la biopelícula.

La carga orgánica superficial, L_s , se determinó al igual que L_v , para cada una de las fases en promedio con las que funcionó el reactor, lo que se muestra en la *Figura 5*.

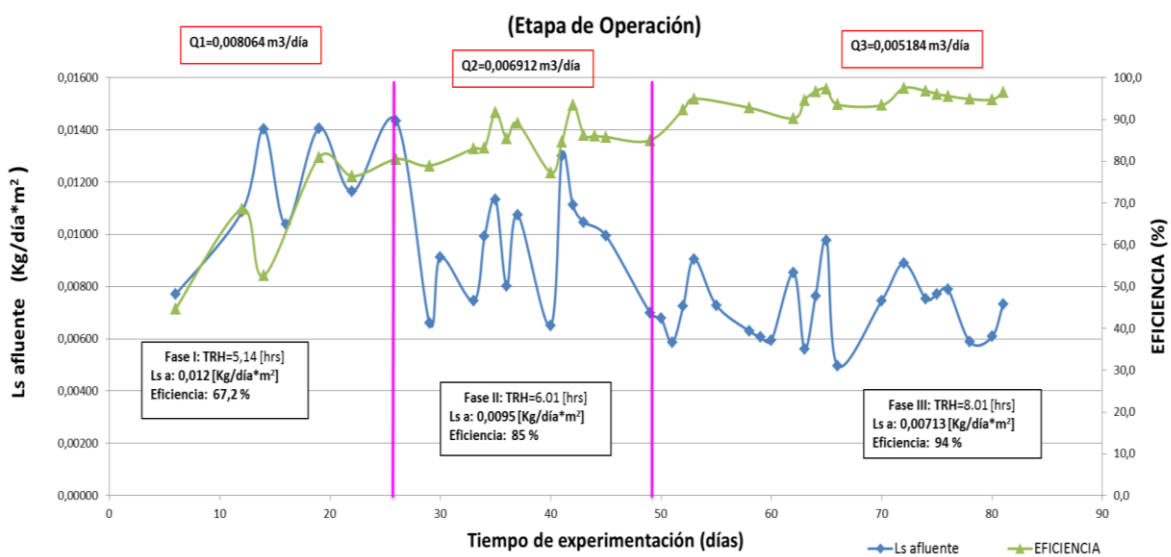


Figura 5. L_s afluente - Eficiencia de remoción vs. tiempo de experimentación

En la fase I se observan los valores de la carga orgánica superficial más elevados, entre 0.008 y 0.015 kg/día.m^2 , con valores de eficiencia entre 45% y 81%. En la fase II los valores de la carga orgánica superficial disminuyen, con valores entre 0.0066 y 0.012 kg/día.m^2 , con valores de eficiencia entre 77% y 91%. En la fase III se observan los valores de la carga orgánica superficial más bajos entre 0.0066 y 0.007 kg/día.m^2 , con valores de eficiencia entre 80% y 95%; a medida que la carga orgánica superficial disminuye, la eficiencia aumenta, este comportamiento se debe a que existe menor carga orgánica por área de biopelícula, lo que favorece el metabolismo celular.

Terminada la etapa de operación se analizó el lodo biológico formado en el interior del material de soporte, así puede observarse en la *Figura 6*, la biopelícula formada sobre el medio de soporte; para los SST se registró una masa de 25 g y para los SSV, una de 20.13 g. Con estos datos, se procede a calcular el resto de parámetros de operación, que se muestran en la *Tabla 3*.

Lateef, Chaudhry e Ilyas (2013) examinaron un reactor de lodos activados que trataba efluente de la industria lechera a una temperatura de $16 -24 \text{ }^\circ\text{C}$ con tiempos de retención hidráulicos de 2 a 12

días, y encontraron que la eficiencia aumenta con el tiempo de retención. Para factores de carga de 0.21 – 0.98, se determinaron eficiencias de 98.3 – 84.5 %; para el mismo valor promedio del factor de carga, se tiene una eficiencia menor en el presente estudio. Se indica también que para aguas residuales de industria lechera, el valor de Y suele encontrarse alrededor de 0.20 kg VSS/Kg de DQO, valor similar al determinado.



Figura 6. Biopelícula formada sobre el medio de soporte PET

Tabla 3. Valores calculados de los parámetros de operación del reactor aerobio

Parámetro	Valor	Unidad
Concentración de biomasa, X	11560	mg/L
Superficie específica, S_e	650	m ² /m ³
Relación biomasa – carga orgánica, Y	0.28	-

En un reactor SBR trabajando con efluente lechero con concentraciones de DQO de 400 a 2000 mg/l, se alcanzaron eficiencias superiores al 90 %, cuando la concentración de biomasa fue de 3000 mg/l (Mohseni-Bandpi y Bazari, 2004), mientras que en este estudio la concentración de biomasa fue tres veces mayor, indicando que el tamaño del reactor puede optimizarse.

A partir de los datos experimentales determinados en el sistema de tratamiento piloto se determinó el coeficiente de transferencia másico, k , utilizando la ecuación 3, definida para un reactor tipo flujo pistón donde la remoción de la carga orgánica está representada por una cinética de primer orden (Mara, 1976); esta ecuación permite el cálculo del volumen de relleno de un reactor en función de la calidad del agua de entrada y de salida.

$$\ln \frac{L_i}{L_e} = k \left(\frac{V \cdot S_e}{Q} \right) \quad (3)$$

Donde:

L_i : DQO del afluente, mg/L

L_e : DQO del efluente, mg/L

S_e : Superficie específica del medio de soporte, m²/m³

V : Volumen útil del reactor, m³

Q : Caudal, m³/día

k : Coeficiente de transferencia másico, m/día

Con los datos de la DQO del afluente y del efluente en cada etapa de operación, si se consideran los valores de la superficie específica y el caudal, se obtiene la *Figura 7*, donde la pendiente de la recta obtenida equivale al coeficiente k . Así se obtiene un valor de 0.02 m/día.

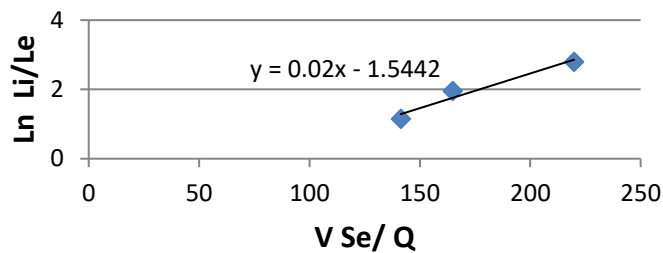


Figura 7. Determinación del coeficiente másico k

El modelo es dependiente de la temperatura, y el valor de k en esta experimentación correspondió a una temperatura ambiente de operación, en promedio de 16° C.

Finalmente, el modelo cinético para este reactor horizontal con medio de soporte PET, se expresa mediante la ecuación 4:

$$\frac{Li}{Le} = e^{-\frac{0.02 V Se}{Q}} \quad (4)$$

3. Conclusiones y Recomendaciones

El reactor aerobio horizontal operó hasta una estabilización efectiva del residuo, representada por la concentración de microorganismos o biomasa presente de 11560 mg/L.

El valor del factor de producción de biomasa, Y , es de 0.28, valor de un sistema de lodos activados de aireación prolongada.

Las eficiencias promedio obtenidas en cada una de las fases como máximas de estabilización, fueron de 67.2%, 85% y 94.5%, con cargas orgánicas volumétricas de 7.25, 6.16 y 4.61 kg/día.m³ respectivamente, con un tiempo de retención hidráulico de 5.14, 6.01 y 8.01 horas, y con períodos de 23, 26 y 32 días respectivamente.

Se obtuvo un modelo cinético de la remoción de la materia orgánica específica para el reactor aerobio biológico horizontal, en base a tres tiempos de retención analizados, con la finalidad de establecer parámetros de diseño en base a las necesidades finales del tratamiento de aguas residuales.

Se observó una buena formación de biopelícula, en el material de soporte PET, con forma gelatinosa y con un espesor de 3 mm, lo cual asegura el consumo de la materia orgánica.

En el lodo final se obtuvo una relación de factor de carga de 0.7, 0.5 y 0.4, la cual disminuye en cada una de las fases, con sus respectivas condiciones de operación, y se obtiene un mayor

porcentaje de eficiencia de remoción de materia orgánica en la tercera fase, con un tiempo de retención hidráulico mayor; con un $F/M = 0.4$, lo que indica un sistema de lodos activados tendiente a aireación prolongada.

Se recomienda verificar durante el funcionamiento del reactor que las condiciones ambientales sean las adecuadas para el desarrollo de la biopelícula y por tanto para lograr altas eficiencias de remoción de materia orgánica, en especial el valor del pH.

Se recomienda además realizar el análisis de los lodos de drenaje, en cuanto al valor del factor de carga, para verificar la estabilidad de los mismos.

Bibliografía

- Alvis, C. (2015). Evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Complejo Urbanístico Barcelona de Indias. Tesis de titulación de Maestría en Ingeniería Civil, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Gravito, 58 pp.
- Arango Bedoya O., Sanches, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB, Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias, (7), 2, 24-31.
- Baecheler, J., Zambrano, E., Urrutia, H. (2001). Estudio de la cinética de crecimiento de biopelícula bacterianas aplicadas en el tratamiento de riles, XIV Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS. Santiago, Chile.
- Carta-Escobar, F., Pereda-Marin, J., Alvarez-Mateos, P., Romero-Guzman, F., Duran-Barrantes, M. M., & Barriga-Mateos, F. (2004). Aerobic purification of dairy wastewater in continuous regime: Part I: Analysis of the biodegradation process in two reactor configurations. *Biochemical engineering journal*, 21(2), 183-191.
- Centro de Producción Más Limpia (CPMLN). 2003. Manual de Buenas Prácticas Operativas de Producción Más Limpia para la Industria Láctea. Recuperado el 15 de septiembre de 2015 de <http://www.mific.gob.ni/Portals/0/Documentos%20MIFIC/Manual%20Buenas%20Practicas%20Ambientales%20en%20Lacteas.pdf>
- Kourkoutas, Y. B. (2004). Immobilization technologies and support materials suitable in alcohol beverages production: a review. *Food Microbiology*, (21): 377- 397.
- Kushwaha, J. P., Srivastava, V. C., & Mall, I. D. (2011). An overview of various technologies for the treatment of dairy wastewaters. *Critical reviews in food science and nutrition*, 51(5), 442-452.

- Lapo, B., C. (2014) Estudio de medios de soporte para crecimiento bacteriano, aplicado al tratamiento biológico aerobio de aguas residuales. Tesis de titulación de Maestría en Ingeniería Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, 105 pp.
- Lateef, A., Chaudhry, M. N., & Ilyas, S. (2013). Biological treatment of dairy wastewater using activated sludge. *Science Asia*, 39(2), 179-185.
- López, P., & Harnisth, A. (2016). Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Enfoque UTE*, 7(1), 13–21.
- Mara, D., (1978) *Sewage treatment in hot climates*, John Wiley & Sons. New York, 166 pp.
- Mohseni-Bandpi, A., & Bazari, H. (2004). Biological treatment of dairy wastewater by sequencing batch reactor. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 1(2), 65-69.
- Muñoz, M., Fuentes, V., & Aldás, M. B. (2016). Reactor anaerobio de flujo horizontal con medio de soporte de polietilentereftalato. *Enfoque UTE*, 7(2), 97–108.
- Oliviera, E. (2001). Tratamiento biológico del agua residual. Recuperado el 12 de septiembre de 2015, de <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5909/12Mjkm12de18.pdf;jsessionid=DFB8941A94B63943AAFD0CA543C6B6EF.tdx1?sequence=12>;Capítulo 7.
- Prócel, D., Posligua, P., & Banchón, C. (2016). Biodegradación de contaminantes orgánicos de la industria láctea. *Enfoque UTE*, 7(1), 22–32.
- Shete, B. S., & Shinkar, N. P. (2013). Comparative study of various treatments for dairy industry wastewater. *IOSR J Eng*, 3, 42-47.
- Sirianuntapiboon, S., Jeeyachok, N., & Larplai, R. (2005). Sequencing batch reactor biofilm system for treatment of milk industry wastewater. *Journal of Environmental Management*, 76(2), 177-183.