



EFECTO DE LA VARIACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA EN EL DESEMPEÑO DE UN REACTOR UASB (UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET) TRATANDO EFLUENTES DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA

EFFECT OF VARIATION OF ORGANIC LOAD IN THE PERFORMANCE OF A REACTOR UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) TREATING PLANT EFFLUENT PALM OIL EXTRACTOR

Ing. Rafael Díaz Ortega, MSc. Julio Cesar Vega Suárez
*Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de
Ingenierías y Tecnológicas, Universidad de Popular del Cesar,
Tel: 5848217 (ext. 1129)
e-mail: rafaeldiaz@unicesar.edu.co - juliovega7@hotmail.com*

Abstract: This article presents the effect of organic load variation in the performance of a UASB reactor (Upflow anaerobic sludge blanket) of 2.5 L, a laboratory scale, trying to effluents from a palm oil extraction plant under mesophilic conditions. The hydraulic retention times (HRT) for the operation of the reactor was 24, 18 and 12 hours (24, 18 and 12H). The monitoring and evaluation of the system was performed using the following parameters: flow, temperature, chemical oxygen demand (COD), biogas production, pH, Total Suspended Solids (TSS) and Volatile Fatty Acids (VFA). The results obtained in terms of soluble COD removal efficiency showed a 81.42%, 79.08%, 75.76% for 24, 18 and 12 hours of HRT. The methane production rate was around 63.4%..

Resumen En este artículo se presenta el efecto de la variación de la carga orgánica en el desempeño de un reactor UASB (Upflow anaerobic sludge blanket) de 2,5 L, a escala de laboratorio, tratando efluentes de una planta extractora de aceite palma bajo condiciones mesofílicas. Los tiempos de retención hidráulica (TRH), para la operación del reactor fueron de 24,18 y 12 horas (24, 18 y 12H). El seguimiento y evaluación del sistema se realizó mediante los siguientes parámetros: Caudal, temperatura, demanda química de oxígeno (DQO), producción de biogás, pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Ácidos Grasos Volátiles (AGV). Los resultados obtenidos en términos de remoción de DQO soluble mostraron una eficiencia 81,42%, 79,08%, 75,76 % para 24, 18 y 12 horas de TRH. El porcentaje de producción de metano fue del orden del 63,4 %.

Keywords: Efluentes, reactor UASB, biodigestión, tratabilidad.



1. INTRODUCCIÓN

Los efluentes generados en las plantas extractoras de aceite de palma representan un grave problema de contaminación por el alto contenido de sustancias orgánicas que presentan ya que las concentraciones de DQO son del orden de 60.000 mg/l, DBO de 30.000 mg/l y SS de 25.000 p.p.m; ricos en potasio (Conil, 1995). Esta alta carga orgánica requiere una elevada demanda biológica y química de oxígeno para su depuración, lo que altera el delicado equilibrio para la vida acuática en las corrientes, tanto superficiales como subterráneas.

Tradicionalmente los tratamientos empleados para estos efluentes son la digestión anaeróbica (con o sin recirculación) seguida de un tratamiento aerobio mediante canales de oxidación, lodos activados o lagunas aireadas (Nemerow y Dasgupta, 1998).

Teniendo en cuenta la naturaleza y complejidad de estos efluentes, es factible su tratamiento mediante procesos biológicos anaerobios por los bajos costos de operación y por las altas cargas orgánicas que estos sistemas pueden soportar. Adicionalmente, estos procesos generan una serie de subproductos valiosos que pueden ser aprovechados de acuerdo con los requerimientos existentes. (Collazos y Vega, 2006). Dentro de estos procesos los reactores anaerobios son los más exitosos en el tratamiento de diferentes tipos de aguas residuales, éstos emplean un flujo ascendente con lodo granular (UASB-upflow anaerobic sludge bed). Este tipo de reactores pueden soportar altas cargas orgánicas, con un alto grado de eficiencia que puede oscilar entre 70-95 % de remoción dependiendo de la composición del agua residual. (Lettinga, G *et al.*, 1992.)

En este trabajo se evalúa el efecto de la variación de la carga orgánica en el funcionamiento de un reactor UASB, a escala de laboratorio, tratando efluentes de una planta extractora de aceite de palma bajo condiciones mesofílicas evaluando su comportamiento bajo distintos tiempos de retención hidráulica (TRH) de 24, 18 y 12 h a la concentración promedio de demanda química de oxígeno (DQO) del efluente de 45000 mg DQO/L.

MARCO TEÓRICO

Los efluentes generados en el proceso de extracción del aceite de palma se caracterizan por tener una alta concentración de materia orgánica, DBO entre 20.000 y 35.000 mg/L, DQO entre 30.000 y 60.000 mg/L; y una gran cantidad de sólidos disueltos (10.000 mg/L) y aceites y grasas (5.000 – 10.000 mg/L).

Se estima que por cada tonelada de aceite virgen se originan de 2 a 3 toneladas de aguas residuales (FEDEPALMA, 2004). Otras investigaciones sostienen que se pueden liberar, aproximadamente, 5 metros cúbicos de efluentes del aceite de palma por cada tonelada de aceite de palma producida (N. Nemerow, y A. Dasgupta, 2009).

Afortunadamente, éstos tienen la ventaja que una gran parte de la materia orgánica es biodegradable, ya que su índice de biodegradabilidad (DBO/DQO) es mayor de 0,4 (muy biodegradable). Esta relación se puede establecer si las muestras son cualitativamente análogas, lo que permite estimar con mayor rapidez si el contenido orgánico es biodegradable y determinar así la aptitud en cuanto a la biodegradabilidad de un efluente. Así, si el coeficiente de la



relación DQO/DBO5 es superior a 2 la biodegradabilidad del efluente puede verse comprometida, mientras que valores inferiores a 2 indican que las aguas son fácilmente biodegradables (Berruga Fernández, *et al*,2005).

Esta situación favorece el tratamiento de estos residuos por medio de procesos biológicos en condiciones anaeróbicas ya que los resultados muestran tendencias de biodegradación mayores al 70%, tal como se indicó anteriormente. Estos procesos son una muy buena alternativa siempre y cuando se cumpla con las siguientes condiciones básicas:

1. Sea posible la neutralización del desecho
2. La temperatura debe estar entre 30 – 35 °C.
3. Se garantice la precipitación y digestión de los sólidos orgánicos
4. Se pueda preparar y desarrollar un cultivo biológico aclimatado.
5. Exista un balance nutricional adecuado (adición de nitrógeno y fósforo debido a las limitaciones presentes en los residuos)

El proceso de degradación anaeróbica de la materia orgánica comprende básicamente las siguientes etapas:

1. Hidrólisis (Bacterias hidrolíticas)
2. Acidogénesis (Bacterias fermentativas)
3. Acetogénesis (Bacterias acetogénicas)
4. Metanogénesis (Bacterias metanogénicas)

En América Latina y Colombia, la tecnología de la digestión anaerobia se encuentra bien desarrollada por su facilidad para ser adaptada a las características del agua residual y a las condiciones del lugar en donde se va a implantar. Pero el proceso de purificación de los efluentes de las plantas

procesadoras del aceite de palma es costoso, porque casi no se les puede filtrar o centrifugar para extraerles el aceite debido a sus características físicas. La fermentación anaeróbica y aeróbica es posible, pero se necesita un largo periodo de tiempo para disminuir la DBO hasta un nivel aceptable (Gideon Van Melle, 1982.)

Para la tratabilidad de estos residuos de alta carga las tecnologías del tratamiento anaerobio, como el reactor de flujo ascendente anaerobio de lecho de lodos (UASB) y el filtro anaerobio, desde los años noventa empezaron a mostrar todo su potencial porque son adecuadas para el tratamiento industrial de las aguas residuales que no cumplen con las regulaciones ambientales para descarga directa a cuerpos receptores por su elevada DQO, bajo pH y presencia de sólidos en suspensión, además de sus grandes volúmenes (Noyola, 1995).

Un Reactor UASB, (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), está constituido por una cámara de digestión a la cual entra el agua residual con flujo ascendente. En la cámara se encuentra el manto de lodos (microorganismos), los cuales al entrar en contacto con el agua residual degradan la materia orgánica del afluente hasta CH₄ y CO₂, principalmente. Tal como se muestra en la siguiente figura.

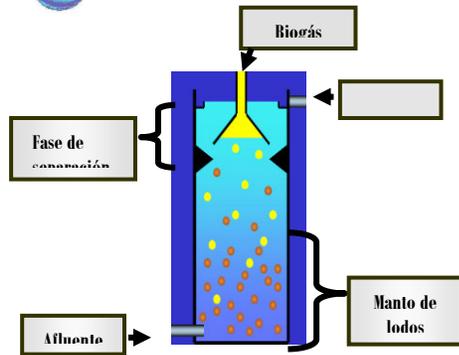


Figura 1. Esquema de reactor UASB.
fuente: <http://www.uasb.org/discover/agsb.htm>

La reducción del DQO provoca la expansión/fluidización de la cama de lodo que es elevada por la velocidad ascendente producto de la generación de biogás (mezcla de gases entre el CO_2 de la respiración anaerobia de las bacterias y el metano producto de la combustión y degradación del DQO) y la velocidad del líquido. Cuando el gránulo libera el biogás adherido a su superficie, el lodo vuelve a caer a la zona inferior del reactor, el biogás es colectado en las cámaras para tal fin, y el agua tratada abandona el reactor por rebose. Esta dinámica ocurre continuamente dentro del reactor. El biogás generado da lugar a una situación que interviene en la formación y mantenimiento de los gránulos, removiendo la cámara de lodos y permitiendo el intercambio de éstos con el agua residual. El elemento en donde se separan biogás, agua residual tratada y lodo es llamado separador trifásico. Este consta de varias cámaras separadas por deflectores, en las que el gas es recolectado.

El diseño o dimensionamiento del reactor puede llevarse a cabo siguiendo dos criterios fundamentales que son:

- Por carga orgánica: Se basa en la carga diaria de DQO y la carga volumétrica ($\text{kg DQO}/\text{m}^3_{\text{reactor}} \cdot \text{día}$) seleccionada como la adecuada para el funcionamiento del

reactor. Para el diseño se requieren los siguientes datos:

- CO: Carga orgánica de diseño ($8\text{-}20 \text{ kg DQO}/\text{m}^3 \cdot \text{día}$)
- DQO_{afl} = Demanda Química de Oxígeno en el afluyente (mg/L)
- Q=Caudal de afluyente ($\text{m}^3/\text{día}$). Para los cálculos se emplea el caudal promedio y el caudal pico esperado.

En la **Tabla 1** se recopilan algunos datos típicos sobre carga y rendimiento promedio de reactores UASB en tratamientos de efluentes industriales.

Tabla 1. Eficiencia de un reactor UASB en el tratamiento de vertidos industriales.

Proceso	Afluyente DQO, mg/L	TRH (h)	carga orgánica, g DQO / l-d	Remoción %DQO
Manto de lodo anaerobio de flujo ascendente	5000 – 15000	4 – 12	4 – 12	75 – 85

Fuente: Metcalf & Eddy. Ingeniería de aguas Residuales. Tercera Edición. Mc Graw Hill. Volumen 1. España. 1995.

Entre las ventajas del sistema UASB está su tamaño reducido, un bajo consumo de potencia por no requerir ninguna agitación mecánica, la retención de biomasa es muy buena lo que hace que no sea necesario recircular los lodos y permite que el sistema resista a la presencia de sustancias tóxicas y las fluctuaciones de carga, el sistema funciona con bajos requerimientos nutricionales, los lodos resisten largos períodos de tiempo sin alimentación, la producción de metano es aprovechable, entre otras.

La mayor limitante de estos sistemas (UASB), es la necesidad de un diseño que



tenga en cuenta el control de olores (ausencia de turbulencia, estructuras tapadas, recolección y utilización del biogás); las bacterias, especialmente las metanogénicas, se inhiben por una gran número de compuestos (especialmente los metales pesados). Por otra parte, si se presenta una disminución en la temperatura de operación, se reduce inmediatamente la eficiencia del sistema, y la conversión de nitrógeno orgánico a nitrógeno amoniacal desencadena una respuesta tóxica en el consorcio microbiano, ocasionando un incremento de nutrientes y de demanda de oxígeno en las aguas receptoras.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en las instalaciones del laboratorio de la facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar en Valledupar, utilizando un reactor UASB a escala laboratorio con tiempos de retención hidráulica (THR) de 24, 18 y 12 h.

Efluente: Éste se obtuvo de la planta de procesamiento “Las Flores”, ubicada en el municipio de Codazzi, en el departamento del Cesar. Las características de este efluente se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Características del efluente

PARAMETROS	VALORES	UNIDAD
pH	4.2	Unidades
alcalinidad total	1220	mg/L
DQO	32000	mg/L
DBO5	24000	mg/L

SST	37860	mg/L
SSV	22860	mg/L

Fuente: Rafael Díaz, 2011

Equipo experimental: La planta piloto, reactor UASB a escala laboratorio, está compuesta por: un sistema de alimentación, un tanque, una bomba peristáltica, el reactor UASB, un dispositivo de medición de la producción de biogás y un colector para el efluente (tanque). El volumen del reactor UASB es de 2.7 L (Valderrama, 2004). En la figura 2 se muestra el sistema

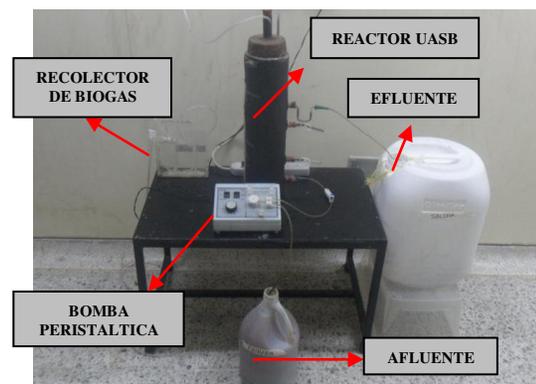


Figura 2. Montaje del sistema de tratamiento anaerobio (UASB).

Inoculo: Se utilizó un lodo granular obtenido de una planta de aguas residuales de la industria cervecera. Las características de este lodo son las siguientes:

**Tabla 3. Características del lodo granular**

Fuente: Autor del proyecto. 2011

PARÁMETROS	UNID	ANTES	DESPUÉS
SST	g/l	117	730,7
SSF		62,51	637,2
SSV		55,1	93,5
Velocidad de sedimentación	m/h	9,24	10,08
Índice Volumétrico	ml/g	5,32	1,35
Tamaño promedio del granulo	mm	0,55	1,56

Condiciones de arranque y operación: El arranque del reactor se realizó mediante la inoculación del lodo anaerobio diluido al veintisiete por ciento (27%) del volumen útil del reactor aplicando una carga orgánica inicial de 0,51 KgDQO / m³ * día. Para ajustar el pH se aplicó una solución de NaOH con el fin de favorecer el proceso de digestión anaeróbica. Se inició diluyendo el efluente a una concentración una 1000 mg/L. Este valor no sobrepasa el máximo de 5000 mg/L recomendado por Hulshoff (1987) para no tener problemas en el arranque.

Una vez que se alcanzaron eficiencias de remoción de DQO estables, se procedió a hacer incrementos sucesivos en la carga orgánica de afluente hasta alcanzar la concentración promedio del efluente de 32000 mg/L. Este procedimiento es similar al empleado por Caldera, Y et al, 2003, para arrancar un UASB a escala laboratorio. Hulshoff P, 1987, y Noyola, 1996, consideran pertinente ir incrementando gradualmente la carga en el reactor para no desestabilizar el proceso anaerobio que ocurre en su interior.

Cuando se alcanzó la máxima concentración, se procedió a variar el caudal de entrada para que el sistema pudiera operar con los tiempos de retención de 24, 18 y 12 horas. El reactor operó durante 129 días.

Las condiciones iniciales fueron:

- Día de arranque: 4 de mayo del 2011
- Caudal: 0,9 ml/min
- DQO residuo: 32000 mg/L
- DQO alimento: 2000mg/L
- Carga orgánica: 0,51 KgDQO / m³ * día
- Tiempo de residencia: 0.71d

Parámetros: El seguimiento del comportamiento del reactor se realizó evaluando los siguientes parámetros: caudal, temperatura, pH, Alcalinidad, (AGV), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST). Estos parámetros se analizaron aplicando las técnicas y procedimientos establecidos en los Standard Methods for Examination of Water and Wastewater de la APHA, AWWA, WPCF (18th edition), exceptuando a los ácidos grasos volátiles que se determinaron utilizando el método empírico de (Montgomery et al.,1979).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Variación del pH

Al inicio de la operación del reactor se observaron variaciones significativas en el comportamiento del pH debido a que durante los primeros días el sistema estaba en la etapa de adaptación (día 1 hasta el día 35). En esta fase de aclimatación los valores de pH variaron entre 6,6 y 6,8. A partir del día 35 se observó un aumento progresivo del pH; lo que indica la



estabilidad en el sistema. Durante la operación del sistema el comportamiento del pH no presentó una alteración significativa, se mantuvo alrededor de 7,4, a pesar de la disminución drástica del TRH de 48 a 12 horas. Estos valores se encuentran dentro del rango considerados como adecuados por (Ruiz *et al.*, 2000); (Metcalf y Eddy, 1995), para que se desarrolle el proceso de digestión anaerobia sistema. En la figura 3 se aprecia el comportamiento del pH.

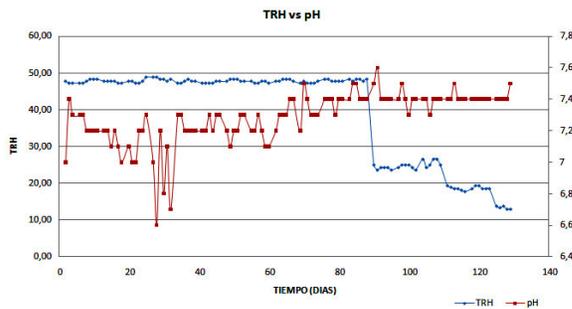


Figura 3. Comportamiento del pH y el TRH durante la operación.

3.2 Remoción de la Demanda Química de Oxígeno, DQO

La remoción de la DQO se evaluó considerando tres (3) TRH: 24, 18 y 12 horas, aumentando la carga orgánica en el afluente del reactor desde 4.08 hasta 65.22

Kg/m³*d DQO. La remoción máxima de DQO total fue de 86.88% a una carga de 15.90 Kg/m³*d DQO y, en términos de DQO soluble la remoción fue de 88.53 % para un tiempo de residencia de 48 horas aproximadamente.

Cuando el TRH fue de 24 horas la máxima carga aplicada fue de 31.62 Kg/m³*d DQO con una remoción de 81.42% en términos de DQO soluble. Resultados similares reportan (Borja *et al.*,1995), quienes trataron efluentes de un molino de aceite de palma

con una concentración de 44000 mg/l DQO en un reactor anaerobio de flujo ascendente de manto de lodos, obtuvieron una remoción de 85% para una TRH de 24 horas.

Con un TRH de 18 horas se alcanzó una carga máxima fue de 45.46 Kg/m³*d DQOt y una eficiencia de 81.71% en términos de DQO soluble. Cuando el sistema operó con un TRH de 12 horas, se observó un aumento considerable de la carga (143,5%) con relación a la evaluada para el TRH DE 18 horas, como consecuencia del aumento en la concentración de materia orgánica en el residuo (35000 mg/ DQO). La eficiencia obtenida bajo estas condiciones fue del 75,76% de remoción en términos de DQO.

Un resumen de los valores promedios de eficiencia alcanzada por el sistema en términos de remoción de DQOt y DQOs se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4. Resumen de la remoción de DQO
FUENTE: Autor de la investigación. 2011

TRH (Horas)	AFLUENTE	PROMEDIO CARGA APLICADA (Kg/m ³ *d DQO)	PROMEDIO % REMOCION DQO	
			Total	Soluble
48	Diluido	7,95	73,10	-
24	Sin diluir	30,72	80	81.42
18		45,46	75,43	79.08
12		65,22	73,71	75.76

En la tabla anterior se puede observar que los valores de eficiencia que presentó el sistema en términos de DQOt y DQOs removida son similares y directamente proporcionales al TRH evaluado. Según Pacheco J, *et al*, 2003, esto tiene que ver con la sedimentación de la fracción suspendida que conforma el total de la DQO, pues al final de cada ciclo el valor de la DQOt remanente se aproximó a la DQOs.



La relación entre la DQO y el TRH se muestra en la siguiente figura:

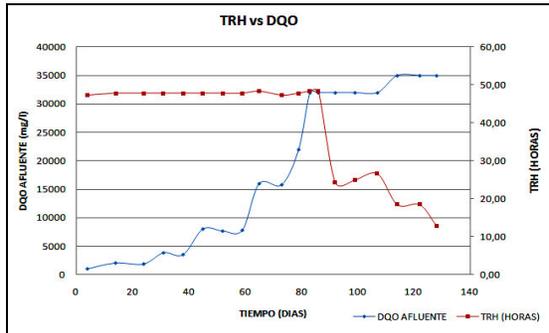


Figura 4. Comportamiento de la DQO durante el TRH.

En la anterior figura, se aprecia que el comportamiento de la DQO con relación al TRH evaluado, muestra un incremento constante debido a que el sistema se operó inicialmente con un residuo diluido con el fin de aclimatar el inóculo a las condiciones fisicoquímicas del residuo y facilitar de esta forma el arranque del sistema, que duró 85 días. Primeramente, se aplicó durante ocho (8) días, del día cuatro (4) al doce (12), una concentración de 1000mg/l de DQO con un TRH cercano a las 48 horas con el propósito de garantizar las condiciones adecuadas para el sistema anaerobio.

Las figuras 5 y 6 muestran las relaciones entre la carga orgánica, porcentaje de remoción de DQO, TRH, entre otros aspectos.

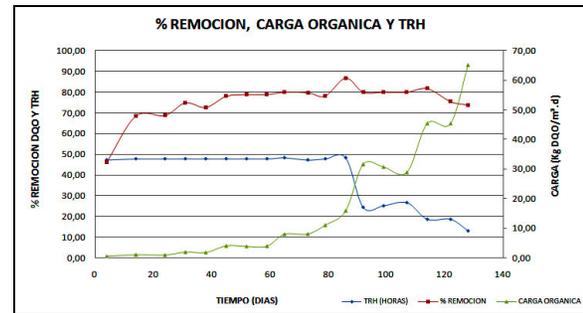


Figura 5. Remoción de materia orgánica respecto a la carga orgánica y TRH

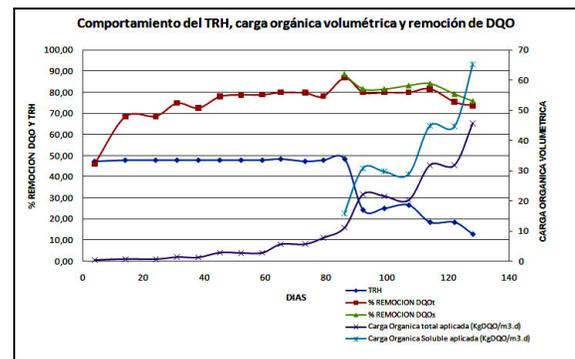


Figura 6. Comportamiento de la remoción de DQO en el reactor UASB

Se evidencia, en estas gráficas, que el comportamiento del porcentaje de remoción de materia orgánica no presenta una gran variación con relación a la carga aplicada, lo que indica la gran adaptación del sistema al residuo.

3.3 Producción de biogás

La producción de biogás se incrementó al aumentar la carga orgánica y al disminuirse el TRH. La mayor producción de metano fue de 25.2 l/d y se presentó cuando el TRH fue de 12 horas. Los resultados obtenidos coinciden con Lettinga *et al* (1980), cuando mencionan que un incremento en la carga orgánica ocasiona un aumento en la producción de biogás, factor determinante en el proceso de retención del lodo en el



reactor. La figura 7 muestra la relación entre TRH y producción de metano.

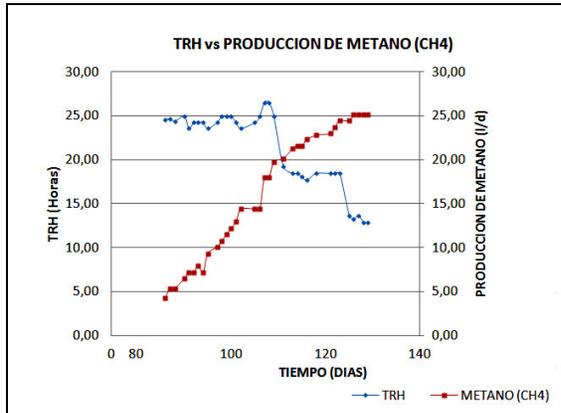


Figura 7. Producción de metano con respecto al TRH

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que un reactor UASB de flujo continuo es eficiente para tratar los efluentes provenientes de una planta extractora de aceite de palma al lograr un porcentaje de remoción del 75,76% para un TRH de 12 horas y una carga orgánica CO de 65,22 KgDQO/m³.d.

La producción de biogás se incrementó a medida que aumentaba la carga orgánica y se disminuía el tiempo de retención hidráulico.

Durante el tiempo de arranque del reactor se realizó un aumento progresivo de la carga orgánica lo que dio como resultado un incremento en el porcentaje de remoción de DQO en el sistema; lo que permitió obtener porcentajes promedio de reducción cercanos al 81,42% para la DQOs y alcanzar una carga máxima de 65 kg /m³.d.

Ratificando la gran estabilidad del sistema implementado.

Referencias Bibliográficas

APHA, AWWA y WCF. 1998. Standard methods for examination of water and wastewater. 20th edition. American Public Health Association 1015 Fifteenth Street, N.W. Washington, D.C., USA. 1223 pp
Behling, E.; Caldera M, Yaxcelys A.; Marín L, Julio C.; Rincón L, Nancy C. y Fernández A, Nola M. Eficiencia de un reactor anaeróbico en el tratamiento del efluente de una tenería. Boletín del centro de investigaciones biológicas, Vol 38, No. 3. Universidad del Zulia (Maracaibo). 2004.

Berruga M. (2005). Tesis Doctoral: Desarrollo de procedimientos para el tratamiento de efluentes de quesería. España: Universidad Complutense de Madrid.

Bolívar E. (2004). Determinación de la biodegradabilidad anaerobia del residuo líquido de una industria de sabajón. Universidad Nacional de Colombia (Bogotá), Facultad de Ingeniería, Dpto. de Ingeniería Civil y Agrícola.

Bermúdez, R., Suyén, R y Mirna M. (2003). Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogás. Centro de Estudios de Biotecnología Industrial, Universidad de Oriente. Revista Tecnoquímica. Vol. XXIII, No.2.

Borja, R; Banks, C y Sanchez. (1996). E. Anaerobic treatment of palm oil mill effluent in a two-stage up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) system. Journal of Biotechnology. No. 45. 1996. P 125-135.

Díaz, BÁEZ, Espitia S. y Molina F. (2002) Digestión Anaerobia: Una aproximación a la tecnología. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Biotecnología.

Erguder, T.; Tezel, U.; Guven, E y Deminer, G. (2001) "Anaerobic biotransformation and



methane generation potential of cheese whey in batch and UASB reactor. Waste Management Volume 21, Issue 7, 2001, Pages 643-650

Glynn, J. y Heinke, Gary. (1996). Environmental science and Engineering. Segunda Edición, prentice Hall Inc.

Guerra, R. González, S. Trupiano, A. Figueroa, M. Seghezzi, L. y Cuevas, C.M. (2000). Perfiles de actividad metanogénica específica en un reactor UASB (reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos) utilizado para el tratamiento de líquidos cloacales presedimentados. Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, ASADES. Hwang, S.; Hansen, C. L. Biokinetics of an upflow anaerobic sludge blanket reactor treatment whey permeate. Bioresource technology. 1992. vol. 41, pp. 223-230.

Kennedy K y Lentz E. (1999) Treatment Of Landfill Leachate Using Sequencing Batch And Continuous Flow Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors. Canadá.

Malaspina, F; Cellamare, C. (1996). Anaerobic treatment of cheese whey with a downflow-upflow hybrid reactor” Bioresource technology. vol. 55, pp. 131-139

Metcalf & Eddy. (1995). Ingeniería de aguas Residuales. Tercera Edición. Mc Graw Hill. Volumen 1. España.

Nemerow, Nelson y Dasgupta, Avijit.(2009). Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. Editorial Ediciones Díaz de Santos. España. 847p

Noyola, A.(1995).El tratamiento anaeróbico de aguas residuales como tecnología sustentable, en Memorias Segundo Minisimposio Internacional sobre Eliminación de Contaminantes de Aguas y Suelos, Instituto de Ingeniería- UNAM, México. 106-109 p

Osman, N., Delia, T. (2005). Anaerobic/aerobic treatment of municipal landfill leachate in sequential two-stage up-flow anaerobic sludge blanket reactor/completely stirred tank reactor systems. Process Biochemistry, 895–902. p

Pacheco, J. y Magaña, Aldo.(2003). Arranque de un reactor anaerobio, Ingeniería Revista Académica. Universidad Autónoma de Yucatan. México

Ramasamy, E.; Gajalakshmi, S.; Sanjeevi, R.; Jithesh, M.. (2004). “Feasibility studies on the treatment of dairy wastewaters with upflow anaerobic sludge blanket reactors”. Bioresource Technology, Vol. 93, Issue 2, pp.209-212.

Schleenstein, Gerhard. (2002). Puesta en Marcha y Operación de una Planta Anaerobia-Aerobia a Escala de Laboratorio para el Tratamiento de Riles de la Industria Cervecera. Universidad de la Frontera. Chile.

Valderrama, RINCÓN. (2004). Diseño, Montaje y Puesta en marcha de un reactor para evaluar la capacidad dehalogenante de un lodo anaerobio. Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). Facultad de Ingeniería, Dpto. de Ingeniería Civil y Agrícola.