

Comportamiento de reactores anaerobios de flujo ascendente y manto de lodos a diferentes tiempos de retención hidráulica

**Pedro Vera Toledo¹, Raúl González Herrera¹
Carlos M. García Lara¹, Hugo A. Nájera Aguilar¹
Manuel A. Fernández Roblero¹**

RESUMEN

El estudio consistió en la puesta en marcha y operación de tres reactores anaerobios con manto de lodos y flujo ascendente (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, por sus siglas en inglés UASB), durante 14 semanas, con diferentes tiempos de retención hidráulica (TRH) dentro del rango desde las 5 hasta las 9 h, los resultados obtenidos sugieren que para tratar agua residual doméstica no necesariamente se requiere trabajar en el límite máximo del TRH, ya que, en términos de demanda química de oxígeno (DQO), los resultados indican que éstos son capaces de remover materia orgánica, con mejor desempeño cercano al límite inferior del rango reportado como óptimo para su operación (5 h). Además, se monitoreó el comportamiento de los parámetros básicos: oxígeno disuelto (OD), temperatura y pH (potencial de hidrógeno), tanto ambiental, como en el sistema. El proceso desde el punto de vista de la temperatura es un proceso mesofílico, porque ésta osciló en el rango desde los 20°C hasta 32°C.

Palabras clave: Tiempo de Retención Hidráulica, agua residual, reactores anaerobios.

ABSTRACT

The study consisted of the implementation and operation of three reactors with anaerobic sludge blanket and upstream (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, for its acronym in English UASB) for 14 weeks

with different hydraulic retention time (HRT) within the range of 5 to 9 h, the results suggest that to treat domestic wastewater is not necessarily required to work the upper limit of HRT, because in terms of COD, indicate that these are capable of removing organic matter, best performing near the lower limit of the range reported as optimal for operation (5 h), plus monitoring the behavior of the basic parameters: DO, temperature and pH, both environmentally, and in system. The process from the standpoint of temperature is a mesophilic process, because it varied in the range of 20°C to 32°C.

Key words: Hydraulic Retention Time, wastewater, anaerobic reactors.

INTRODUCCIÓN

El reactor UASB fue desarrollado en Holanda por Lettinga y sus colaboradores en los años 70, consiste en una zona de reacción en la parte inferior en la que se acumula la biomasa, la de mejor sedimentabilidad en el fondo y encima los lodos más ligeros, formando todo el lecho de lodos. Un separador gas-sólido-líquido en la parte superior, impide la salida de los sólidos del reactor, separándolos del gas producido y del efluente líquido, esta biomasa puede

¹Centro de trabajo: Ingeniería Ambiental, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Libramiento Norte Poniente s/n Ciudad Universitaria, Edificio 15, Colonia Caleras Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Tel 1256033 e-mail: caachis1@hotmail.com

| Parámetro | mg/ l |
|-------------------|--------|
| Fosforo | 6.6 |
| Nitrato | 46.10 |
| Zinc | 0.00 |
| Hierro rango bajo | 880 |
| Cromo rango bajo | 0.23 |
| Manganeso | 0.00 |
| Nitrito | 0.06 |
| Silicio | 4.40 |
| DQO | 286.55 |
| pH | 7 |
| Temperatura | 26°C |

Tabla 1 ■ Características del agua residual doméstica del influente.

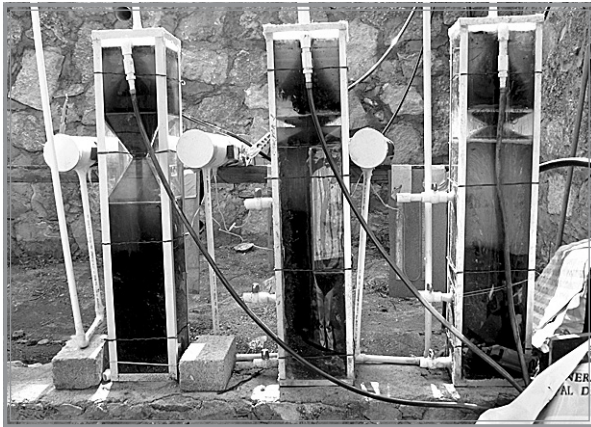


Figura 1 ■ Modelo de filtrado desarrollado por Boege y Kral (2011).

estar en forma de gránulos compactos o en forma de lodos floculentos con buena sedimentabilidad.

El reactor UASB fue utilizado en experimentos con éxito en el tratamiento de agua residual muy diversas, de procesados alimenticios, industriales, urbanas y lixiviados (Ruiz *et al.*, 2002).

Otro aspecto de mayor importancia, es que la velocidad de flujo ascendente debe ser congruente con parámetros hidráulicos, a una velocidad mayor, existe un límite donde el flujo de agua simplemente acanala la cama de lodos además de “lavarlos” lo que repercute

| Parámetro | Valor mg/1 |
|-----------------------------|------------|
| Sólidos Sedimentables | 546.6 |
| Sólidos disueltos totales | 0.198 |
| Sólidos totales volátiles | 35.372 |
| Sólidos disueltos volátiles | 0.104 |
| Sólidos totales | 52.486 |
| Sólidos totales tijos | 17.114 |
| Sólidos disueltos fijos | 0.094 |
| pH | 7.2 |
| Temperatura | 28°C |

Tabla 2 ■ Características del lodo de siembra.

en un tratamiento deficiente; es decir, aportar el flujo adecuado para evitar acanalamientos en la cama de lodos y que se permita a las bacterias remover contaminantes. En la figura 1 se muestra una fotografía donde se observan los reactores UASB empleados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron tres reactores UASB, con capacidad de 40 litros cada uno, alimentados con agua residual doméstica contenida en un recipiente con capacidad de 250 litros, para recirculación en la etapa de arranque y estabilización, se utilizó una bomba de potencia ½ HP marca Siemes y otro recipiente con capacidad 200 litros, como colector. Los reactores se equiparon con tres válvulas, la primera para la toma de muestras y purga de los lodos, las dos restantes para toma de muestras de agua, estas válvulas están colocadas a diferentes niveles a lo alto de los reactores. Los reactores fueron alimentados con agua residual doméstica, las características del agua residual se presentan en la tabla 1.

ARRANQUE Y OPERACIÓN DE LOS REACTORES

Arranque

Se inocularon los tres reactores con lodo granulado, 16 litros por reactor, el lodo se obtuvo de la planta de tratamiento de agua residual del Frigorífico del

| Reactor Semana | pH | | | OD en mg/l | | | Temperatura en °C | | |
|---------------------|------|------|------|------------|------|------|-------------------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 7.45 | 7.28 | 7.53 | 0.63 | 0.76 | 0.91 | 28 | 26 | 26 |
| 2 | 7.39 | 7.38 | 7.56 | 0.63 | 0.64 | 0.92 | 29 | 29 | 27 |
| 3 | 7.31 | 7.57 | 7.42 | 0.63 | 0.7 | 0.95 | 28 | 29 | 27 |
| 4 | 7.39 | 7.54 | 7.43 | 0.74 | 0.87 | 0.91 | 26 | 27 | 27 |
| 5 | 7.38 | 7.32 | 6.96 | 0.81 | 1.03 | 1.03 | 25 | 25 | 26 |
| 6 | 7.34 | 7.29 | 7.69 | 0.74 | 0.74 | 0.4 | 27 | 26 | 27 |
| 7 | 7.4 | 7.31 | 7.8 | 0.69 | 0.76 | 0.9 | 26 | 27 | 27 |
| 8 | 7.87 | 8.16 | 7.39 | 0.84 | 0.81 | 0.87 | 25 | 25 | 27 |
| 9 | 7.95 | 8.12 | 8.03 | 1.01 | 0.91 | 0.92 | 25 | 25 | 26 |
| 10 | 7.75 | 7.86 | 8.05 | 0.79 | 0.91 | 0.9 | 26 | 26 | 27 |
| 11 | 7.77 | 8.02 | 8.01 | 1.04 | 0.97 | 1.24 | 23 | 23 | 23 |
| 12 | 7.6 | 7.61 | 7.5 | 0.8 | 1.06 | 1.07 | 24 | 24 | 24 |
| 13 | 7.37 | 7.43 | 7.68 | 0.96 | 0.93 | 0.87 | 27 | 25 | 25 |
| 14 | 7.37 | 7.54 | 7.5 | 0.93 | 0.93 | 0.8 | 22 | 21 | 21 |
| Promedio | 7.52 | 7.60 | 7.61 | 0.80 | 0.86 | 0.95 | 25.77 | 25.57 | 25.71 |
| Desviación estándar | 0.22 | 0.31 | 0.30 | 0.14 | 0.13 | 0.11 | --- | --- | --- |

Tabla 3 ■ Monitoreo de los parámetros: pH, OD y temperatura, durante el estudio.

Sureste S. A. de C. V., ubicada en Tuxtla Gutiérrez. Las características del lodo se muestran en la tabla 2.

Los reactores

Durante 14 semanas se alimentaron los reactores con agua residual doméstica, para alcanzar TRH de 5, 7 y 9 h, se dispuso agua residual a razón de 133, 95 y 74 ml/min, para los reactores 1, 2 y 3 respectivamente, recirculando la alimentación hasta alcanzar la aclimatación de los microorganismos, reponiendo el agua cuando la producción de biogás (CO₂) disminuía sensiblemente.

Operación

Una vez que se alcanzó el “estado estacionario” en la producción de los gases, se consideró operación, los flujos de alimentación y los TRH continuaron iguales.

Se excluye la recirculación y se monitoreó la DQO en la entrada y para cada una de las salidas en las últimas cuatro semanas. Se llevó a cabo el muestreo y toma de mediciones de temperatura al interior del reactor (lodo y agua), temperatura ambiente, pH y OD en agua y en lodo, de manera regular una toma por día.

Para monitorear el pH y la temperatura se utilizó el potenciómetro Stick pH y Temperature Meter, marca Hanna. El electrodo de pH tiene un sensor de temperatura integrado para medir y compensar la temperatura de forma rápida y precisa. Consta de tres valores también memorizados (pH 4.01, pH 7.01, pH 10.01) y evita errores durante la calibración.

Para el monitoreo del oxígeno disuelto se utilizó el sensor Vernier Dissolved Oxygen y la interface para sensores Vernier Labquest, electrodo polarográfico

| Entrada promedio mg/1 | Salida mg/1 | | | | Reactor | Desviación estándar | Promedio | % Promedio remoción |
|-----------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------------------|----------|---------------------|
| | Semana 11 | Semana 12 | Semana 13 | Semana 14 | | | | |
| 286.549 | 150.585 | 152.047 | 149.123 | 78.947 | 1 | 35.839 | 132.676 | 53.699 |
| 286.549 | 157.895 | 116.959 | 228.07 | 87.719 | 2 | 60.844 | 147.661 | 48.469 |
| 286.549 | 255.848 | 152.047 | 207.602 | 87.719 | 3 | 72.437 | 175.804 | 38.648 |

Tabla 4 ■ Desviaciones estándares y media aritmética de la DQO en el influente y efluente del agua, en los 3 reactores.

marca Vernier, detecta la concentración de oxígeno en agua y en soluciones acuosas, trabaja en el rango desde 0 hasta 15 mg/1 con una precisión de ± 0.2 mg/1. La DQO se determinó por el método cerrado de digestión con dicromato de potasio utilizando un reactor DQO marca Hach y el espectrofotómetro "spectronic 200+". Para realizar estas determinaciones se tomó una muestra de 10 ml de agua a la entrada y 10 ml de agua procesada a la salida de cada reactor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tomando en cuenta que el agua residual doméstica utilizada, presentó una carga orgánica promedio de 286.55 mg/1, es considerada como carga orgánica baja (Ghangrekar, 2006; Nguyen, 2009) y que los reactores cumplen con relación entre la base-altura (desde 1 hasta 5) (Gutiérrez *et al.*, 2001), con forma de prisma rectangular, con 400 cm² de base por 100 cm de altura, equipados con el separador gas-sólido-liquido (GSL). La campana o separador GLS, se necesita para lograr un buen funcionamiento del reactor a fin de mantener un lodo sedimentable (en su mayoría granular), un efluente clarificado y libre de gases (Caicedo, 2006). Se considera que los reactores cubren los criterios de construcción y por ende de operación. Los resultados del monitoreo de los parámetros: pH, OD y temperatura del sistema, durante el estudio, se presentan en la tabla 3.

De acuerdo con Ghangrekar (2006), el rango de pH óptimo para estos sistemas es desde 6.6 hasta 7.6. En lo referente a la temperatura para los procesos mesófilos

no debe ser mayores de 35°C pero no menores a 20°C, esto para evitar fluctuaciones en el tratamiento, los reactores reportaron promedios similares con temperaturas 25.77°C, 25.57°C y 25.71°C, para los reactores 1, 2 y 3 respectivamente. Los valores del pH muestra que los reactores 2 y 3, en promedio reportaron 7.60 y 7.61, con desviaciones estándar de 0.31 y 0.30, respectivamente, ambos ligeramente sobre el rango de los valores reportados como óptimo. Para el reactor 1, los valores se ubican dentro del rango reportados como óptimos con pH promedio de 7.52 y desviación estándar de 0.22 menor que sus contrapartes.

A pesar de considerarse un proceso anaerobio, invariablemente se encontró OD, en concentraciones relativamente bajas, que se explica desde la aireación del agua en el influente, por tal motivo merece más análisis la concentración reportada de OD en el lodo, nuevamente el reactor 1, reporta valores que rondan por debajo de un mg/1, en promedio, dato menor a los otros dos reactores, Durán *et al.* (2010) mostraron que el efecto de diferentes concentraciones de OD, para la glucosa, con bajas concentraciones (0.6 y 1.0 mg/1) la eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno y la actividad metanogénica permanece constante, e inclusive concluye que, la presencia de bajas concentraciones de OD en lodos metanogénicos favorece la generación de metano. El comportamiento de la remoción de la materia orgánica en las últimas 4 semanas se presenta en la tabla 4, donde se incluye la concentración DQO promedio del inicio del estudio

además de la desviación estándar, promedios y porcentajes promedios de remoción.

En términos de eficiencia de remoción de DQO, el reactor 1, presentó mayor desempeño, con promedio en el efluente de 132.67mg/l de DQO, y un promedio de remoción de 53.699%, además de una desviación estándar de 35.839, con 4.23 puntos porcentuales arriba del reactor 2, el más cercano. Galindo *et al.* (2011), registraron en un estudio con reactores de dos etapas los TRH que presentaron mayor eficiencia fueron 10 h y 8 h, registrando promedios de remoción de 84% y 85% respectivamente, en contraparte Ruiz *et al.* (2002) en reactores UASB de una sola etapa, indican que el porcentaje de remoción de DQO, con un TRH desde 5 hasta 6 h es desde 55 hasta 75%; lo que se acerca al resultado obtenido para el caso del reactor 1 con el TRH de 5 h que tuvo una remoción promedio de 53.699%.

CONCLUSIONES

Los sistemas para tratar el agua residual de cualquier origen, entre otras situaciones debería ofrecer una serie ventajas para disminuir la concentración de contaminantes al menor costo en el menor tiempo, esto inmiscuye la velocidad a la que se tratan estos efluentes. En suma, los tratamientos para el agua residual entre otras bondades, debería contar con la una mayor velocidad de flujo, con por lo menos igual calidad del efluente, ya que se disminuye entre otras bondades el espacio para la planta y/o incrementa la capacidad de tratamiento, específicamente para los reactores UASB, a mayor TRH, mayor volumen del reactor y engeneral mayores costos.

Para este estudio, a pesar que se desde el diseño se toman en cuenta TRH cercanos a 4 h, en la operación, se han reportado rangos de entre 4 y 12 h con porcentajes de remoción desde 42 % hasta 81% en términos de DBO, con tendencia a menor eficiencia en las 4 h de TRH, Morgan, *et al.* (2001), demuestran que existe una estrecha relación entre estas dos variables. El porcentaje de remoción de materia orgánica de los

resultados indican que estos los reactores UASB, son capaces de remover materia orgánica, con mejor desempeño cercano al límite inferior del rango reportado como óptimo para su operación (5 h), cuidando siempre que no se presenten problemas de acanalamientos en la cama de lodos.

LITERATURA CITADA

CAICEDO MESSA F. J., 2006. *Diseño, Construcción y Arranque de un Reactor U.A.S.B. piloto para el tratamiento de lixiviados.* TE Manizales Universidad Nacional de Colombia sede Manizales Especialización en Ingeniería Ambiental-Área Sanitaria.

GALINDO A., N. RINCÓN Y J. PÉREZ, 2011. *Evaluación de un reactor anaerobio de dos etapas,* 9th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, Medellín, Colombia, August 3-5, 2011.

GHANGREKAR MAKARAND M., 2006. *UASB desing parameters.* Department Civil of Engineering Indian Institute of Technology Kharagpur, India.

GUTIÉRREZ MARCELO A., L. SEGHEZZO, A.P. TRUPIANO Y C.M. CUEVAS, 2001. *Efecto de la descarga de lodo y el tiempo de retención hidráulica en la remoción de sólidos en suspendidos en un reactor UASB (Reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodos.* Universidad Nacional de Salta, Consejo de Investigación- INENCO, Laboratorio de Estudios Ambientales, Buenos Aires, Argentina. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.

DURÁN HINOJOSA U., O. MONROY HERMOSILLO, J. GÓMEZ HERNÁNDEZ, F. RAMÍREZ VIVES, 2010. Efecto del oxígeno y la glucosa en la metanogénesis y mineralización de resinas poliméricas, *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. XII, núm. 1, julio, pp. 39-46.

MORGAN SAGASTUME F., J.M. MORGAN SAGASTUME & A. NOYOLA ROBLES, 2001. *Aplicabilidad de la digestión anaerobia para el tratamiento de aguas residuales municipales.* Coordinación de Bioprocesos Ambientales, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

NGUYEN TUAN A., 2009. *Methods for UASB Reactor Design.* National Environmental Services Agency (NESA).

RUIZ I., J.A. ÁLVAREZ Y M. SOTO, 2002. *El potencial de la digestión anaerobia en el tratamiento de aguas residuales urbanas y efluentes de baja carga orgánica.* Universidad de la Coruña. Facultad de Ciencias. Campus da Zapateira, A Coruña. http://alojamientos.us.es/ciberico/archivos_acrobat/porto1isaruz.pdf

