



**MONITOREO Y ANÁLISIS DE UN REACTOR UASB OPERADO A DIFERENTES  
CARGAS VOLUMÉTRICAS APLICADAS**

**MONITORING AND ANALYSIS OF A UASB REACTOR OPERATED AT DIFFERENT  
APPLIED VOLUMETRIC LOADS**

**Miroslava De Los Angeles Mier Quiroga**

Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua,  
Universidad Autónoma del Estado de México, México

[mirosmier@gmail.com](mailto:mirosmier@gmail.com)

ORCID: 0000-00024796-1920

**Mario Esparza Soto**

Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua,  
Universidad Autónoma del Estado de México, México

[mespazas@uaemex.mx](mailto:mespazas@uaemex.mx)

ORCID: 0000-0001-8907-7984

**Mercedes Lucero Chávez**

Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua,  
Universidad Autónoma del Estado de México, México

[mlucero@uaemex.mx](mailto:mlucero@uaemex.mx)

ORCID: 0000-0002-0382-4721

**Sergio Alcaraz Ibarra**

Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua,  
Universidad Autónoma del Estado de México, México

[salcarazi@uaemex.mx](mailto:salcarazi@uaemex.mx)

ORCID: 0000-0003-2270-5741

**RESUMEN**

En sistemas de tratamiento de agua residual anaerobios la microbiología es más compleja y delicada que la de los procesos aerobios, donde la mayoría de las bacterias trabajan individualmente. Sin embargo, los sistemas anaerobios tienen más ventajas como la

capacidad de producir energía en forma de biogás y ahorrar costos de operación al no requerir sistemas de aireación. Por otro lado, pocas investigaciones han reportado altas eficiencias de remoción de demanda química de oxígeno soluble (DQOs) de los sistemas anaerobios al tratar agua residual industrial, ya que estos sistemas suelen ser operados a



cargas orgánicas muy altas teniendo como consecuencia eficiencias de remoción no mayores al 60 %. El objetivo de esta investigación fue evaluar el rendimiento de un reactor UASB escala piloto en términos de remoción de DQOs al ser operado a 4 diferentes cargas orgánicas volumétricas aplicadas (COVapl): 1, 1.6, 2.5 y 3.2 kg DQOs/m<sup>3</sup>d). Las cuales fueron aplicadas al mantener la DQOs del influente fija (1000 mg/L) y al modificar los tiempos de retención hidráulica (TRH): 19, 15, 13 y 8 horas, respectivamente. La eficiencia de remoción de DQOs fue superior al 90 % sin importar la COVapl. Debido a las COVs bajas se esperaban eficiencias altas, sin embargo, que fueran mayores al 90 % indican la rápida adaptación de los microorganismos tanto al tipo de agua como a las modificaciones en el TRH.

**Palabras clave:** reactor UASB; DQO; sistemas de tratamiento anaerobios

### ABSTRACT

In anaerobic wastewater treatment systems the microbiology is more complex and delicate than in aerobic processes, where most of the bacteria work individually. However, anaerobic systems have more advantages such as the ability to produce energy in the form of biogas and save operating costs by not requiring aeration systems. On the other hand, few investigations have reported high removal efficiencies of soluble chemical oxygen demand (COD) from anaerobic systems when treating industrial wastewater, since these systems are usually operated at very high organic loads resulting in removal efficiencies of no more than 60 %. The objective of this research was to evaluate the performance of a pilot scale UASB reactor in terms of CODs removal when operated at 4 different applied volumetric organic loads

(VOCapl): 1, 1.6, 2.5 and 3.2 kg COD/m<sup>3</sup>d). These were applied by keeping the influent CODs fixed (1000 mg/L) and by modifying the hydraulic retention times (HRT): 19, 15, 13 and 8 hours, respectively. The COD removal efficiency was higher than 90 % regardless of the COVapl. Due to the low COVs, high efficiencies were expected; however, the fact that they were higher than 90 % indicates the rapid adaptation of the microorganisms to both the type of water and the modifications in the HRT.

**Keywords:** UASB reactor; COD; anaerobic treatment systems

Fecha de envío: 08 de agosto de 2022

Fecha de aceptación: 15 de noviembre de 2022

### INTRODUCCIÓN

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico complejo que se realiza en ausencia de oxígeno, donde la materia orgánica se transforma a biomasa y compuestos orgánicos, la mayoría de ellos volátiles. Aunque es un proceso natural, sólo en los últimos años ha llegado a ser una tecnología competitiva en comparación con otras alternativas (Rittmann & McCarty, 2018). Esto ha sido posible gracias a la implementación de sistemas que separan el tiempo de retención hidráulico (TRH) del tiempo de retención celular (TRC), los cuales han sido denominados reactores de alta tasa. Un tipo de reactor anaerobio notablemente desarrollado, basado en el proceso de lecho de lodos, es el de flujo ascendente (UASB, por sus siglas en inglés). Las bacterias se encuentran inmersas en el lodo que está depositado en el reactor anaerobio y que a medida que se alimenta con el vertimiento, va creciendo por el ascenso poblacional de las bacterias (Lew et al., 2004). Uno de los



parámetros más importantes a controlar en un reactor UASB es la actividad metanogénica, la cual indica el comportamiento bacteriano en la degradación de la materia orgánica (Morgan-Sagastume et al., 2001). Debido a su capacidad de remover altas concentraciones de materia orgánica, este tipo de reactor suele ser utilizado al tratar aguas residuales municipales o industriales con COVapl altas ( $< 4 \text{ kg DQOs/m}^3\cdot\text{d}$ ). Sin embargo, pocas veces se ha reportado la operación de los reactores UASB cuando son operados a COVapl bajas ( $\leq 3 \text{ kg DQOs/m}^3\cdot\text{d}$ ). Por lo que el objetivo de esta investigación fue el monitoreo y análisis de la eficiencia de remoción de DQOs de un reactor UASB a escala piloto operado a 4 diferentes COVapl bajas: 1, 1.6, 2.5 y 3.2 kg DQOs/m<sup>3</sup>d.

### METODOLOGÍA

Se operó un reactor UASB con un volumen de 150 L. Las 4 COVapl que se aplicaron al reactor UASB fueron Etapa 1:  $1 \pm 0.1$ , Etapa 2:  $1.6 \pm 0.2$ , Etapa 3:  $2.5 \pm 0.1$  y Etapa 4:  $3.2 \pm 0.2 \text{ kg DQOs/m}^3\cdot\text{d}$ . Debido a que el agua de la chocolatera llega con concentración de la DQOs variable (superior a 2000 mg/L), se diluyó cada lote para obtener una DQOs lo más cercana a 1000 mg/L y de esta forma controlar la COVapl solo con el cambio de TRH.

El agua residual de la industria chocolatera que se utilizó en esta investigación es entregada con un pH ácido ( $5.1 \pm 1.02$ ). Debido a que los sistemas de tratamiento biológicos deben operar con un pH cercano a 7 se había considerado agregar NaOH, sin embargo, dilución que se realizó para alcanzar la concentración deseada de DQOs también incrementó el pH ( $7 \pm 0.3$ ) permitiendo la correcta operación.

Se aplicó al menos 30 días cada COVapl. Se muestreo 5 días a la semana el influente y el efluente del reactor UASB. Se midió diario el pH y la temperatura. Todas las muestras fueron filtradas con filtros de fibra de vidrio (GF/C, Whatman). Las muestras filtradas fueron colectadas y almacenadas en viales ámbar, acidificadas a un pH de 2 y almacenadas a 4°C hasta ser analizadas. De todas las muestras se obtuvo la DQOs.

### RESULTADOS

#### pH y temperatura

El pH es uno de los parámetros más importantes a monitorear en cualquier sistema de tratamiento de agua residual biológico. Los microorganismos con muy sensibles a los cambios de pH y se debe mantener en un rango óptimo (6.5 a 7.6 en sistemas anaerobios (Alcaraz-Ibarra et al., 2020)) para darles las condiciones necesarias al tratamiento. El pH se mantuvo durante las 4 etapas dentro del rango óptimo recomendado ( $7.4 \pm 0.4$ ) (Rittmann & McCarty, 2018).

El promedio de la temperatura del influente y del efluente fue de  $17.3 \pm 1.4$  y  $20.3 \pm 1.1 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente (Figura 1). La temperatura del efluente fue más alta que la del influente durante la etapa que se operó en invierno (etapa 4) debido a que se instaló un intercambiador de calor con una resistencia de 200 W en la línea del influente para mantener la temperatura del reactor alrededor de 20 °C. A pesar de la variación de la temperatura ambiental (y por lo tanto del influente) y del calentamiento del influente, la temperatura de operación del reactor UASB se mantuvo dentro del rango de temperatura psicrófila (15 – 20 °C).

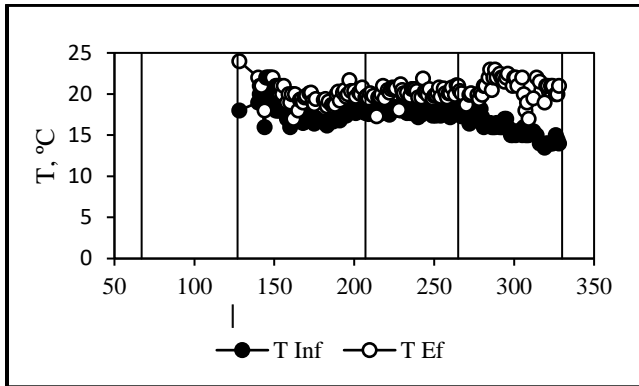


Figura 1. Temperatura del influente y del efluente del reactor UASB durante las cuatro etapas. Las líneas verticales indican el final de cada etapa.

#### COVapl y DQOs

La remoción de COVapl al igual que la DQOs (Figura 2) se mantuvo mayor al 90 %, siendo las etapas correspondientes a los mayores TRH (19 y 15 horas, respectivamente) las que tuvo mayor % de remoción (Tabla 1).

Tabla 1. TRH, DQOs (Inf y efl) y COV (aplicada y removida) del reactor UASB

Etap a	TR H	DQOs	DQOs	COVa	COVre
		inf	efl	pl	m
		mg/L		kg CODs/m <sup>3</sup> d	
1	19	795	51	1.0	0.95
2	14	934	57	1.6	1.54
3	10	1020	73	2.5	2.29
4	8	1058	81	3.2	2.95

Debido que para esta investigación se trató agua residual real, el control de la concentración de DQOs y, por lo tanto, de la COVapl variaba con cada lote de agua residual que se recibía. Por lo que, a pesar de un influente variable el desempeño del reactor se mantuvo estable ya que el porcentaje de remoción de sus efluentes la DQOs fue superior al 90 % durante el tiempo que duró el experimento (línea gris en Figura 2).

Como se muestra en la Figura 2, a pesar de la variación en el influente, la DQOs en el efluente fue menor a 100 mg/L durante todo el tiempo de operación.

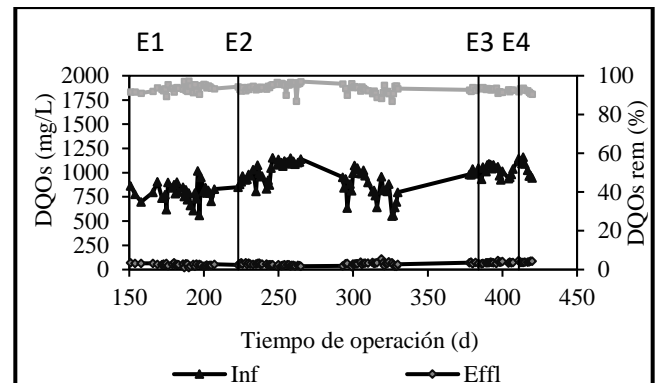


Figura 2. Desempeño del reactor UASB: DQOs inf y efl. Cada línea vertical indica el comienzo de una etapa

#### DISCUSIONES

Los reactores UASB son ampliamente estudiados debido a las múltiples aplicaciones y ventajas. Sin embargo, la literatura principalmente ha estudiado su desempeño a temperaturas mesofílicas (> 20 °C) y a COVapl superiores a 4 kg DQOs/m<sup>3</sup>•d, siendo esta temperatura la reportada como ideal para obtener eficiencias de remoción de DQOs superiores al 80 % (Lettinga, 2001). En cuanto a las investigaciones realizadas a temperaturas psicrófilas (< 20 °C) se han reportado eficiencias de remoción entre el 50 y 80 % al tratar agua residual municipal (Serrano León et al., 2018; Rizvi et al., 2015) y una remoción de hasta 90 % al tratar agua residual sintética (Bialek et al., 2013). Debido a lo anterior, las eficiencias de remoción esperadas para esta investigación eran de máximo el 80 %, por lo cual los resultados obtenidos fueron reveladores, ya que incluso con la temperatura promedio de operación en este experimento (~ 20 °C) se lograron eficiencias superiores al 90 %. Esto indica que no se le ha dado la importancia a la aplicación de este tipo de sistemas a bajas temperaturas, sin



embargo, como los resultados muestran, se pueden obtener eficiencias de remoción de DQOs iguales o mejores que en sistemas de tratamiento mesofílicos. Saber que es posible operar reactores UASB en ciudades en donde la temperatura promedio no sobrepasa los 30 °C (como Toluca) es muy importante.

### CONCLUSIONES

Los reactores UASB suelen operarse como parte de sistemas UASB - SBR de lodos activados por las bajas eficiencias de remoción de DQOs que se obtienen al tratar agua residual industrial (COVapls altas) (Mier-Quiroga et al., 2016). Sin embargo, con la presente investigación se muestra que un UASB puede ser igual de eficiente si se opera con COVapls bajas. Con esta investigación se pudo demostrar que incluso una COVapl de 1 kg DQOs/m<sup>3</sup>d es viable.

Los TRH que se emplearon en cada etapa para modificar la COVapl, también deben ser considerados en el estudio de los reactores UASB, ya que influyen en la calidad de su efluente. Debido a lo anterior no se puede concluir que un TRH fuera mejor que otro ya que se obtuvieron resultados similares.

A pesar de que los sistemas de reactores UASB suelen descartarse en ciudades frías por los costos de calentamiento (para llegar a temperaturas mesofílicas), este estudio demostró que es posible su viabilidad (altas eficiencias de remoción de DQOs).

### REFERENCIAS

Alcaraz-Ibarra, S., Mier-Quiroga, M. A., Esparza-Soto, M., Lucero-Chávez, M., & Fall, C. (2020). Treatment of chocolate-processing industry wastewater in a low-temperature pilot-scale UASB: Reactor performance and in-situ biogas use for bioenergy recovery. *Biomass and Bioenergy*, 142, 105786.

Bialek, K., Cysneiros, D., & O'Flaherty, V. (2013). Low-Temperature (10°C) Anaerobic Digestion of Dilute Dairy Wastewater in an EGSB Bioreactor: Microbial Community Structure, Population Dynamics, and Kinetics of Methanogenic Populations. *Archaea*, 2013, 1–10.

F. J. Ruiz-Rodriguez, P. G. Bueno, y J. C. Hernández, [1] Rittmann, B., & McCarty, P. (2018). *Environmental Biotechnology: Principles and Applications* (1st ed.). McGraw-Hill Science/Engineering/Math.

Lettinga, G. (2001). Challenge of psychrophilic anaerobic wastewater treatment. *Trends in Biotechnology*, 19(9), 363–370.

Lew, B., Tarre, S., Belavski, M., Green, M., 2004. UASB reactor for domestic wastewater treatment at low temperatures: a comparison between a classical UASB and hybrid UASB-filter reactor. *Water Science and Technology* 49 (11-12), 295-301

Mier-Quiroga, M. (2016). Mejoramiento de la sedimentación de un lodo activado mediante la adición de magnesio. Toluca, CIRA: Universidad Autónoma del Estado de México.

Morgan-Sagastume, F., Morgam-Sagastume, J.M., Noyola-Robles, A., (2001). Aplicabilidad de la digestión anaerobia para el tratamiento de aguas residuales municipales En: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/arsidua/mexico/01405e14.pdf>

Rizvi, H., Ahmad, N., Abbas, F., Bukhari, I. H., Yasar, A., Ali, S., Yasmeen, T., & Riaz, M. (2015a). Start-up of UASB reactors treating municipal wastewater and effect of temperature/sludge age and hydraulic retention time (HRT) on its performance. *Arabian Journal of*



Chemistry, 8(6), 780–786.

Serrano León, E., Perales Vargas-Machuca, J. A., Lara Corona, E., Arbib, Z., Rogalla, F., & Fernández Boizán, M. (2018). Anaerobic digestion of municipal sewage under psychrophilic conditions. *Journal of Cleaner Production*, 198, 931–939.