

# EVALUACIÓN DE UN BIORREACTOR DE MANTO DE LODO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE PARA EL TRATAMIENTO DE VINAZAS

Abumalé, Cruz-Salomón<sup>1</sup>, Rocío, Meza-Gordillo<sup>2</sup>,  
Arnulfo, Rosales-Quintero<sup>3</sup>, Cristina, Ventura-Canseco<sup>4</sup>,  
Edna Iris, Ríos-Valdovinos<sup>5</sup>

<sup>1</sup> dr.abumale@gmail.com, <sup>2</sup> romego71@yahoo.com.mx,

<sup>3</sup> arnol122@gmail.com, <sup>4</sup> lcanseco66@hotmail.com,

<sup>5</sup> edna.riosv@gmail.com

<sup>1,5</sup> Facultad de Ingeniería. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas,

<sup>2,3,4</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.



Para citar este artículo:

Cruz, A., Meza, R., Ríos, E., Rosales, A. y Ventura, C. (2016) Evaluación de un biorreactor de manto de lodo anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de vinazas. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo* 5 (12) 78-89. doi: 10.31644/IMASD.12.2016.a05

## RESUMEN

En esta investigación se presenta la evaluación de un biorreactor de manto de lodo anaerobio de flujo ascendente (UASB) de 4.4 L durante un periodo de 90 días, el cual fue alimentado con vinazas de una empresa de bebidas fermentadas provenientes de Comitán, Chiapas. Se investigó principalmente la eficiencia de la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) y la estabilidad del reactor con respecto al factor alfa ( $\alpha$ ) y potencial de hidrógeno (pH). La eficiencia de remoción de la DQO fue de 90 %. Durante el estudio, se mantuvo un sistema estable con  $\alpha = 0.28$  y  $\text{pH} = 7.1$ .

### Palabras clave

*Aguas residuales, vinazas, UASB, DQO.*

EVALUATION OF AN UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET  
BIOREACTOR FOR THE TREATMENT OF VINASSE

— *Abstract*—

In this research the evaluation of a type bioreactor "upflow anaerobic sludge blanket reactor" (UASB) of 4.4 L occurs during a period of 90 days, which was fed with wastewater (vinasse) of a fermented beverage company from Comitán, Chiapas. The removal efficiency of chemical oxygen demand (COD), stability with respect to reactor factor alpha ( $\alpha$ ) and hydrogen potential (pH) were mainly investigated. The removal efficiency of COD was 90 %. During the study, the  $\alpha$  factor (0.28) and pH (7.1) remained stable in the system.

**Keywords**

*Wastewater, Vinasse, UASB, COD.*

La tecnología para el tratamiento anaerobio de aguas residuales ha sido aplicada en el tratamiento de aguas residuales provenientes de diferentes industrias tales como: destilerías, tenerías, textil, de la pulpa y el papel y procesadoras de alimentos (Buzzini *et al.*, 2002; Kasum *et al.*, 2002; Ramasamy *et al.*, 2004; Chavez *et al.*, 2005). Para tal propósito, se han desarrollado diversas configuraciones de reactores tales como el reactor anaerobio por contacto (Nahale, 1991), reactor de lecho fluidizado (Iza, 1991), reactor anaerobio de película fija (AFFR) (Rao *et al.*, 2005) y el reactor de manto de lodo anaerobio de flujo ascendente, conocido comúnmente como UASB, desarrollado entre los años 1976-1980 por el Profesor Gae Lettinga de la Universidad de Wageningen en Holanda (Iñiguez-Covarrubias y Camacho-López, 2011). El primer reactor UASB se aplicó para el tratamiento de agua residual de refinería de azúcar de remolacha en Holanda (Lettinga, 1980). Después de que el primer reactor UASB a escala piloto fuera operado con éxito, se utilizaron muchos reactores de este tipo a escala real para tratar diferentes tipos de aguas residuales industriales. Actualmente este reactor se aplica de forma extensiva debido a su efectividad en aguas residuales con una alta carga orgánica y a sus ventajas económicas (Lettinga *et al.*, 1997; Buzzini *et al.*, 2002; Kusum *et al.*, 2002; Mahmoud *et al.*, 2003; Chavez *et al.*, 2005).

El estado de Chiapas, en particular en la región de la meseta comiteca, se encuentran cultivos de *Agave americana* L. y *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck los cuales son utilizados para obtener una bebida alcohólica (bebida espirituosa) típica de la región llamada Comiteco (Reynoso-Santos *et al.*, 2012). Actualmente el proceso de elaboración se lleva a cabo de manera artesanal en donde se obtienen 0.85 L de residuo/L mosto proveniente del proceso de destilación, que son arrojados a los cuerpos de agua superficiales o utilizados como agua de riego generando eutrofización de los cuerpos de agua superficiales, lixiviación de nitratos a las aguas subterráneas y reducción de los niveles del oxígeno disuelto (Vlyssides *et al.*, 1997). En suelo, puede ser una amenaza para la fertilidad debido al desequilibrio de los nutrientes o incluso a concentraciones nocivas de los mismos (Kannabiran y Pragasam, 1993). Por tal razón el objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar un biorreactor UASB para tratar las vinazas provenientes de la destilación alcohólica del Comiteco.

## METODOLOGÍA

### *Obtención de la materia prima*

Las vinazas utilizadas fueron proporcionadas por la Empresa Balún Canán, S.A. de C.V. establecida en el municipio de Comitán de Domínguez, Chiapas, producto de un lote de destilación, las cuales fueron almacenadas a 4°C hasta su utilización.

### *Análisis fisicoquímicos*

Los sólidos sedimentables (ss, mL/L) se determinaron según a la norma mexicana NMX-004 (2000), sólidos suspendidos totales (SST, mg/L), sólidos totales volátiles (STV, mg/L) y sólidos disueltos totales (SDT, mg/L) se llevaron a cabo siguiendo la norma mexicana NMX-034 (2001). El pH de las muestras se determinó con un potenciómetro marca HACH modelo SenSion 3 (influentes y efluentes), la acidez se determinó siguiendo la norma NMX-036 (2001). El análisis de la demanda química de oxígeno (DQO, mg O<sub>2</sub>/L) se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-030 (2001) mediante la técnica de reflujo cerrado/espectrofotométrico (influentes y efluentes). La demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-028 (2001).

### *Descripción y preparación del biorreactor*

En la Figura 1 se indican las condiciones de diseño del biorreactor, éste fue construido en fibra de vidrio con un volumen de 4.4 L, con forma cilíndrica en virtud de las ventajas hidrodinámicas y la menor posibilidad de formación de zonas muertas. El biorreactor operó a un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 24 h y se inoculó con 2 L de complejo microbiano anaerobio (obtenido de una planta de tratamiento de agua residual de una empresa embotelladora) previamente adaptado, con un contenido de 2.5 gST/mL.

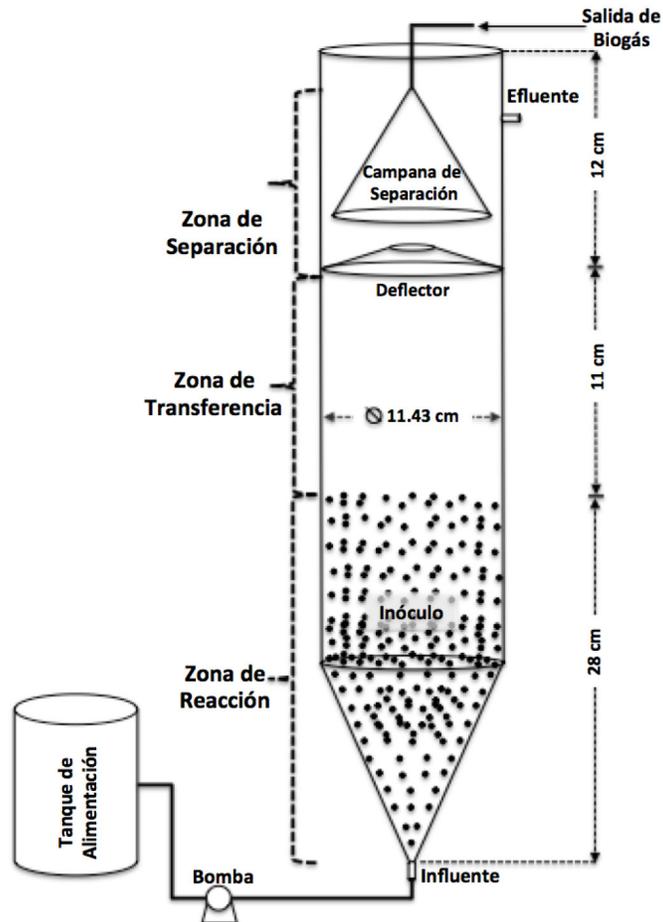
### *Seguimiento del Biorreactor*

Durante el periodo de evaluación del biorreactor se monitoreó la DQO. Los parámetros de control fueron temperatura, pH y factor alfa ( $\alpha$ ) el cual se obtiene de acuerdo al siguiente procedimiento (Speece, 1996): se tomaron 10 mL de muestra y se acidificó con HCl 0.1N hasta alcanzar un pH de 5.75 registrando los mL de HCl requeridos (V<sub>1</sub>) este volumen corresponde a la

alcalinidad bicarbonática. Posteriormente, esta muestra se llevó a pH 4.3 ( $V_2$ ). El factor alfa se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{V_2}{V_1 + V_2}$$

**Figura 1.** Biorreactor de manto de lodo anaerobio de flujo ascendente  
Fuente: Esta Investigación.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características fisicoquímicas de las vinazas (influentes) en términos del DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, SVT, SDT y SS así como temperatura y pH se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Caracterización fisicoquímica de las vinazas.

Parámetro	Valores obtenidos
pH	3.9 ± 0.013
Acidez (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	79.3 ± 4.9
dqo (mg O <sub>2</sub> /L)	120,221±18,447
dbo5 (mg O <sub>2</sub> /L)	102,180 ± 15,320
ss (mL/L)	100 ± 14.1
st (mg/L)	71,691.42 ±186.6
svt (mg/L)	62,890.47±172.6
sst (mg/L)	9,190 ± 95.8
sdt (mg/L)	62,501.42 ± 93

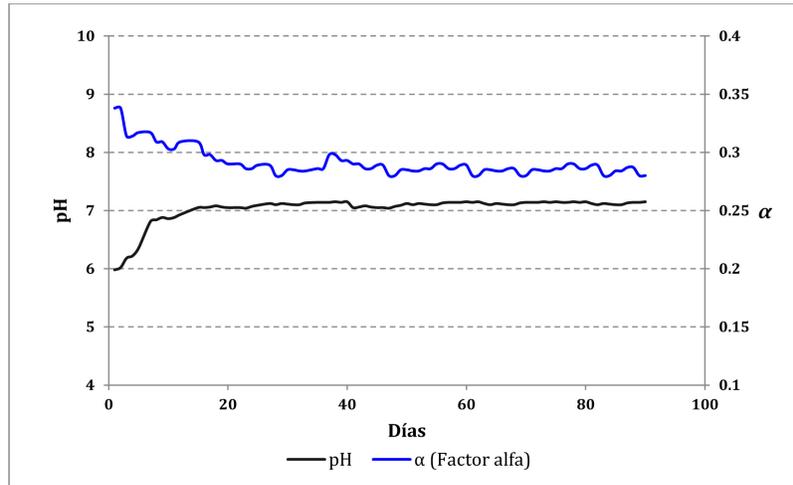
Elaboración propia

Como se puede ver en la **Tabla 1**, las vinazas tienen un pH por debajo del rango permisible indicado por la NOM-001-ECOL-1996 (5-10 unidades), por tal razón las vinazas al ser vertidas a un cuerpo de agua superficial se considera como un agente contaminante; debido a su bajo pH estas pueden causar acidificación (Lükewille *et al.*, 1997). Por otro lado, la concentración de materia orgánica medida como DBO<sub>5</sub> y DQO presentes en las vinazas son 1000 veces mayor que el límite máximo permitido por la NOM-001-ECOL-1996 (30-200 mg O<sub>2</sub>/L). Esta carga orgánica es debido a la presencia de sólidos disueltos y azúcares reductores, compuestos no volátiles procedentes del caldo de fermentación (alcohol), ácido acético, láctico, glicerol, melanoidinas y compuestos fenólicos y polifenólicos (Capasso *et al.*, 1992; Sangave *et al.*, 2007; Robles-González *et al.*, 2010). Por tal razón es de vital importancia dar un tratamiento a estos efluentes agroindustriales, que por su índice de biodegradabilidad (0.85, obtenido de la relación DBO<sub>5</sub>/DQO) y materia orgánica, es factible un tratamiento biológico anaerobio como el que se lleva a cabo en los reactores UASB.

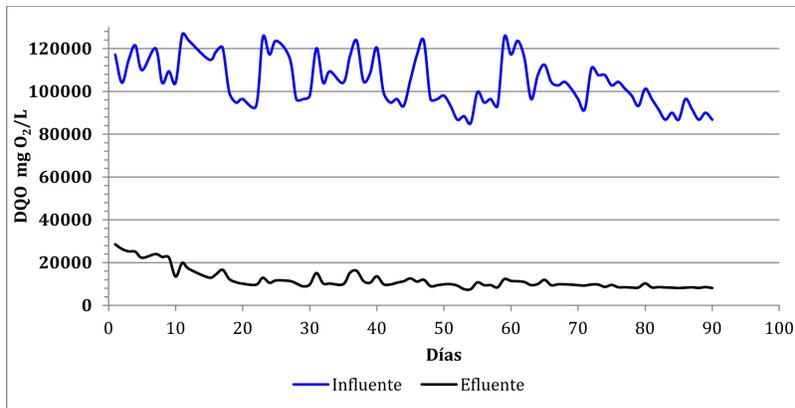
En la **Figura 2**, se observa el comportamiento del biorreactor con base en sus parámetros de control (pH y  $\alpha$ ) durante los 90 días de evaluación. Como se puede observar el pH en el biorreactor se mantuvo estable en el rango óptimo (6.8-7.4) para las Archaea metanogénicas reportado por Speece, (1996). Por otro lado el factor alfa ( $\alpha$ ) es usualmente empleado

para el control de la estabilidad del proceso anaerobio (Speece, 1996) y para medir la capacidad tampón del biorreactor. Como se puede ver, el biorreactor operó de manera adecuada debido a que su índice alfa se encontró dentro del rango óptimo de operación (0.2-0.4) reportado por Rojas, (2004).

**Figura 2.** Parámetros de Control del UASB



**Figura 3.** Evaluación del biorreactor UASB.



El análisis de la DQO en la **Figura 3** y **Figura 4** muestra el comportamiento del biorreactor UASB durante el periodo de evaluación de 90 días, en donde se puede observar que el biorreactor operó de manera estable durante todo el periodo de evaluación, alcanzando un porcentaje de remoción mayor al 90%. Sin embargo aun cuando el porcentaje de remoción fue alto, se generaron efluentes con una DQO de 6500 mgO<sub>2</sub>/L, los cuales presentan

aun gran cantidad de materia orgánica biodegradable la cual puede ser utilizada como materia prima de procesos de oxidación avanzada, filtros percoladores, biodiscos o un segundo tratamiento anaerobio como lo reporta Robles-Gonzales *et al.* (2010).

**Figura 4.** Porcentaje de Remoción.



## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados de este estudio se concluye que un tratamiento biológico anaerobio como el proporcionado por el reactor de manto de lodo anaerobio de flujo ascendente es una tecnología eficaz para llevar a cabo el tratamiento de vinazas de la bebida fermentada producida en Comitán, Chiapas, esto por su alto desempeño medido en términos de porcentaje de remoción de DQO mayor a 90%, alcanzando un perfil similar a los tratamientos aerobios. Por tal razón se recomienda el uso de este tipo de biorreactores debido a su ahorro económico en los gastos de energía en la operación de aireación de los procesos aerobios.

## REFERENCIAS

- Buzzini** A.P., Pires E.C. (2002). Cellulose Pulp Mill Effluent Treatment in an Up flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. *Process Biochem.* (38): 707-713.
- Capasso**, R.; Cristinzio, G.; Evidente, A. (1992). Isolation, spectroscopy and selective phytotoxic effects of polyphenols from vegetable wastewaters. *Phytochemistry.* (31): 4125-4128.
- Chavez** P.C., Castillo L.R., Dendooven L., Escamilla-Silva E.M. (2005). Poultry Slaughter Wastewater Treatment with an up Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor. *Bioresour. Technol.* (96):1730-1736.
- Iñiguez-Covarrubias** G. y Camacho-López A. (2011). Evaluation of an Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASB) with Changes in the Upflow Velocity. *Ingeniería Investigación y Tecnología.* Vol. XII, Núm. 1, 199-208.
- Iza** J. (1991). Fluidized-Bed Reactors for Wastewater Treatment. *Water Sci. Technol.* (24): 109-132.
- Kannabiran**, B. y Pragasam, A. (1993). Effect of distillery effluent on seed germination, seedling growth and pigment content of *Vigna mungo* (L.) Hepper (CVT9). *Geobioscience* 20, 108-112.
- Kasum** L., Kansal A., Balakrishnan M. Rajeswari K.V., Kishore V.V.N. (2002). Assessment of Biomethanation Potential of Selected Industrial Organic Effluents in India. *Resour. Conserv. Recycl.* (35): 141-161.
- Lettinga** G, van Nelsen AFM, Hobma SW, de Zeeuw W, Klapwijk A. (1980). Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. *Biotechnol Bioeng.* 22(4): 699-734.
- Lettinga** G., Field J., Vanlier J., Zeeman G., Hulshoff-Pol L.W. (1997). Advanced Anaerobic Wastewater Treatment in the Near Future. *Water Sci. Technol.* 35(10): 5-12.
- Lim** S.J., Tak-Hyun, K. (2014). Applicability and trends of anaerobic granular sludge treatment processes, a Review. *Biomass and bioenergy.* 60:189-202.
- Lükewille** A.; D. Jeffries, M.; Johannessen, G.; Raddum, J.; Stoddard y T. Traaen. (1997). Transboundary Air Pollution. International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Acidification of Rivers and Lakes. The nine year report: acidification of surface water in Europe and North America – Long-term developments (1980s and 1990s). NIVA-report n° 3637-97:168.

- Mahmoud N., Zeeman G., Gijzen H., Lettinga G. (2003).** Solids Removal in Upflow Anaerobic Reactors, a Review. *Bioresour. Technol.* (90):1-19.
- Nahale C. (1991).** The Contact Process for the Anaerobic Treatment of Wastewater: Technology, Design and Experience. *Water Sci. Technol.* (24):179-191.
- Norma Mexicana NMX-AA-004-SCFI.** Análisis de agua-determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. Diario Oficial de la Federación. 18 de diciembre del 2000. México, DF.
- Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI.** Análisis de agua-determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. Diario Oficial de la Federación. 1 de agosto del 2001. México, DF.
- Norma Mexicana. NMX-AA-030-SCFI.** Análisis de agua- determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. Diario Oficial de la Federación. 17 de abril del 2001. México, DF.
- Ramasamy E.V., Gajalakshmi S., Sanjeevi R., Jithesh M.N., Abbasi S.A. (2004).** Feasibility Studies on the Treatment of Dairy Wastewaters with up Flow Anaerobic Sludge Blanket Reactors. *Bioresour. Technol.* (93):209-212.
- Rao G.A., Venkata-Naidu G., Krishna-Prasad K., Chandrasekhar- Rao N., Venkata- Mohan S., Annapurna J., Sarna P.N. (2005).** Anaerobic Treatment of Wastewater with High Suspended Solids from a Bulk Drug Industry Using Fixed Film Reactor (AFFR). *Bioresour. Technol.* (96): 87-93.
- Reynoso-Santos, R.; García-Mendoza, J.A.; López-Báez, W. Y López-Luna, A. (2012).** Identificación taxonómica de las especies agave utilizadas para la elaboración del licor comiteco en Chiapas, México. *Agroproductividad* 5(4):9-17.
- Robles-González, V.; López-López, E.; Martínez-Jerónimo, F.; Ortega-Clemente, A.; Ruiz-Ordaz, N.; Galíndez-Mayer, J.; Rinderknecht- Seijas, N.; Poggi-Varaldo, H. (2010).** Combined treatment of mezcal vinasses by ozonation and aerobic biological post-treatment. *Proceedings of 14th International Biotechnology Symposium. Rimini, Italy, 14-18 September 2010 in CD ROM.*
- Rojas, CH. O. (2004).** La alcalinidad como parámetro de control de los ácidos grasos volátiles en digestores UASB. 101-105.

- Sangave, P.C.; Gogate, P.R.; Pandit, A.B. (2007).** Ultrasound and ozone assisted biological degradation of thermally pretreated and anaerobically pretreated distillery wastewater. *Chemosphere* 68 (1): 42–50.
- Speece, R.E. (1996).** Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatments. Archae Press. Nashville. TN, USA.
- Vlyssides, A.G., Israilides, C.J., Loizidou, M., Karvouni, G., Mourafeti, V., 1997.** Electrochemical treatment of vinasse from beet molasses. *Water Sci. Technol.* 36 (2–3), 271–278.