



Evaluación del comportamiento de un reactor UASB con diferentes cargas orgánicas provenientes de lactosuero*

Ricardo Adolfo Parra Huertas**, Rafael Germán Campos Montiel***

Evaluating the behavior of a UASB reactor with different organic loads from whey

Avaliação do comportamento de um reator UASB com diferentes cargas orgánicas provenientes de soro lácteo

RESUMEN

Introducción. La industria láctea es uno de los sectores más importantes de la economía de países industrializados y en desarrollo. Aproximadamente 90 % del total de la leche utilizada en la industria quesera es eliminado como lactosuero; las estadísticas indican que el lactosuero es descartado como efluente y crea un serio problema ambiental debido a que afecta física y químicamente la estructura del suelo. Lo anterior resulta en una disminución en el rendimiento de cultivos agrícolas, y cuando se desecha en el agua, reduce la vida acuática al agotar el oxígeno disuelto. **Objetivo.** Evaluar un reactor UASB a través de la digestión anaerobia utilizando dos cargas orgánicas de 3 g/L/día DQO y 4 g/L/día DQO. **Materiales y métodos.** Se realizaron diferentes análisis de laboratorio de ambas cargas DQO, proteína, azúcares, AGV, metano y amonio. **Resultados.** Los resultados indicaron que la eficiencia de DQO mostró ser mayor al 65 %, la degradación de azúcares fue total, la degradación de proteína fue mayor de 78 %, mientras que las concentraciones de amonio, metano y AGV estuvieron dentro de los parámetros

* Artículo derivado del proyecto de investigación titulado "Efecto de altas descargas puntuales de lactosuero en un sistema de depuración anaeróbico" realizado entre 2005 y 2006 y financiado por la Fundación Hidalgo Produce A.C. de México. ** Químico de Alimentos, magíster Ciencias de Alimentos, docente Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. ***Licenciado Ingeniería Bioquímica Industrial, magíster en Biotecnología, doctor Biotecnología, docente Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Correspondencia: Ricardo Adolfo Parra Huertas, e-mail ricardo.parra@uptc.edu.co

normales para un buen funcionamiento del reactor. **Conclusión.** El reactor UASB es una buena opción para el tratamiento de aguas residuales, pues contiene lactosuero en dos cargas orgánicas diferentes.

Palabras clave: lactosuero, digestión anaerobia, degradación, UASB, reactor.

ABSTRACT

Introduction. Dairy industry is one of the most important sectors in industrialized and developing countries. Approximately 90% of the milk used in cheese industries is eliminated as whey (or lactoserum). Statistics indicate that lactoserum or whey is discarded as an effluent and brings a serious environmental problem, due to the fact that it affects, physically and chemically, the soil's structure. This reduces the performance of crops and, when whey is disposed by being poured into water bodies, aquatic life is reduced because it drains the dissolved oxygen. **Objective.** Evaluate a UASB reactor by means of anaerobic digestion, using two organic loads of 3 g/L/day COD and 4 g/L/day COD. **Materials and methods.** Different laboratory analyses were performed on both loads: COD, protein, sugars, VFA, methane and ammonium. **Results.** The results indicated that the COD efficiency was above 65%; the sugars' degradation was total and the protein degradation was higher than 78%, while the ammonium, methane and VFA concentrations were all within the normal parameters for the reactor's correct work. **Conclusion.** The UASB reactor is a good option to treat waste water, as it contains whey in two different organic loads.

Key words: lactoserum or whey, anaerobic digestion, degradation, UASB, reactor.

RESUMO

Introdução. A indústria láctea é um dos setores mais importantes da economia de países industrializados e em desenvolvimento. Aproximadamente 90 % do total do leite utilizado na indústria queijeira é eliminado como soro lácteo; as estatísticas indicam que o soro lácteo é descartado como efluente e cria um sério problema ambiental devido a que afeta física e quimicamente a estrutura do solo. O anterior resulta numa diminuição no rendimento de cultivos agrícolas, e quando se elimina na água, reduz a vida aquática ao esgotar o oxigênio dissolvido. **Objetivo.** Avaliar um reator UASB através da digestão anaeróbia utilizando duas cargas orgânicas de 3 g/L.dia DQO e 4 g/L.dia DQO. **Materiais e métodos.** Realizaram-se diferentes análises de laboratório de ambas cargas DQO, proteína, açúcares, AGV, metano e amônio. **Resultados.** Os resultados indicaram que a eficiência de DQO mostrou ser maior a 65 %, a degradação de açúcares foi total, a degradação de proteína foi maior de 78 %, enquanto as concentrações de amônio, metano e AGV estiveram dentro dos parâmetros normais para um bom funcionamento do reator. **Conclusão.** O reator UASB é uma boa opção para o tratamento de águas residuais, pois contém soro lácteo em duas cargas orgânicas diferentes.

Palavras importantes: soro lácteo, digestão anaeróbia, degradação, UASB, reator.

INTRODUCCIÓN

La digestión anaerobia (DA) es la tecnología que puede convertir la cadena agro-industrial de residuos, residuos sólidos urbanos y/o lodos de las aguas residuales en energía renovable (Molino et al., 2013); la DA consiste en un proceso biológico natural en el cual las bacterias descomponen la materia orgánica en ambientes donde existe poco oxígeno o en los cuales está ausente (Molino et al., 2013). Este proceso es conocido por ser eficaz en la conversión de residuos orgánicos en metano, subproducto potencialmente valioso, que puede ser utilizado como combustible en la producción de calor y electricidad (Demirel, Yenigun & Onay, 2005; Göblös, Portörő, Bordás, Kálmán, & Kiss, 2008);

por lo tanto, la DA sería un método favorable para el tratamiento de efluentes de residuos lácteos (Demirel, et al., 2005).

La industria láctea, como la mayoría de las agroindustrias, genera aguas residuales sólidas caracterizadas por una elevada demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) que representan alto contenido de materia orgánica (Demirel et al., 2005); al respecto, aproximadamente 90 % del total de la leche utilizada en la industria quesera es eliminada como lactosuero el cual retiene cerca de 55 % del total de ingredientes de la leche como sales minerales, lactosa, proteínas solubles y lípidos (Parra, 2009); estas tres últimas sustancias orgánicas son responsables del 97 % total de la DQO (Demirel et al., 2005). Teniendo en cuenta lo anterior el lactosuero es definido como la sustancia líquida obtenida por separación del coágulo de leche en la elaboración de queso (Parra, 2009).

La producción mundial de lactosuero que se genera es más de 145 t/año (Göblös, et al., 2008). A pesar de las diferentes posibilidades de utilización de suero de leche, aproximadamente la mitad del suero de queso producido en todo el mundo se descarta sin tratamiento (Göblös et al., 2008; Parra, 2009).

El lactosuero causa graves problemas de contaminación, ya que es un contaminante orgánico alto con una DQO de 60-80 g/L. Por lo anterior, la aplicación de tratamiento aeróbico es ineficaz, debido principalmente al costo de la suplementación de oxígeno, así como a la generación de lodos más altos (Gannoun, 2008; Rajeshwari, Balakrishnan, Kansal, Lata & Kishore, 2000).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de un reactor UASB alimentado con dos cargas orgánicas 3000 mg DQO/L/día y 4000 mg DQO/L/día de agua residual que contenía lactosuero proveniente de una industria quesera local.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Esta investigación se realizó en los laboratorios de alimentos del Centro de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en México.

Materiales

Lactosuero. Se utilizó lactosuero ácido proveniente de la elaboración de queso tipo Oaxaca obtenido de la Empresa Prounilac de la ciudad de Tulancingo-México. Las muestras fueron proporcionadas desde la empresa, colectadas en contenedores de 10 litros y almacenada a 4 °C para evitar la acidificación y los cambios en la composición del lactosuero. Antes de ser alimentado el reactor, se ajustó el pH a 7 utilizando bicarbonato de sodio puro.

Lodos

Los lodos anaeróbicos granulados utilizados en el reactor UASB fueron tomados de una planta de tratamiento de agua residual local, y aclimatados para la degradación de lactosuero.

Diseño del reactor y operación

Se utilizó un reactor tipo UASB (Up-flow anaerobic sludge bed) de vidrio con capacidad de 2,5 Litros e inoculado al 40 % de su capacidad con lodos anaerobios previamente adaptados, y con un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 1,9 días. Las condiciones de operación de temperatura fueron de 18-22 °C, simulando condiciones verdaderas de trabajo en la planta, puesto que posteriormente el

experimento se realizaría a escala real para el tratamiento de lactosuero de la ciudad. El reactor fue alimentado de abajo hacia arriba utilizando una bomba peristáltica, como se puede observar en la figura 1.

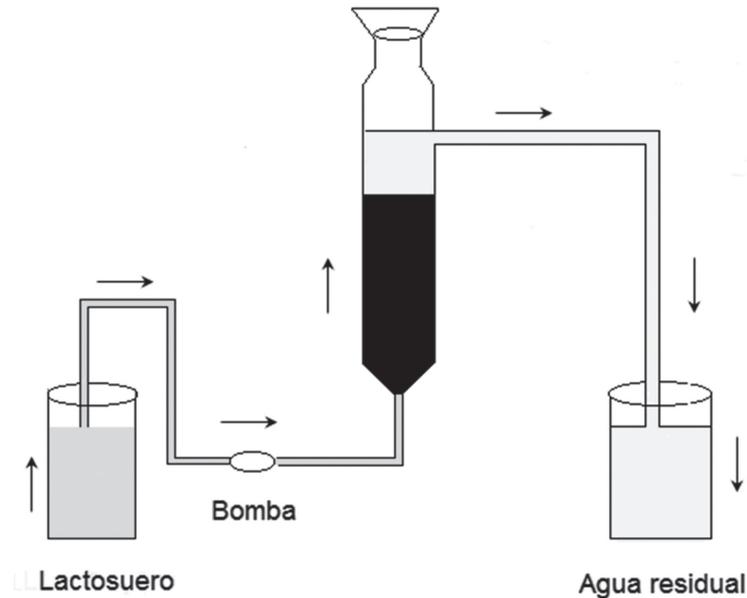


Figura 1. Diagrama de reactor UASB tratando lactosuero

Se manejaron 2 cargas orgánicas de lactosuero: 3000 mg DQO/L/ día y 4000 mg DQO/L/día. El reactor se alimentó con la carga de 3000 mg DQO/L/día durante 20 días; posteriormente, se aumentó la carga a 4000 mg DQO/L/día durante 20 días.

Análisis

Al influente y al efluente del reactor UASB se les determinaron demanda química de oxígeno (DQO) por el método (APHA, 2005), y pH por potenciometría; los ácidos grasos volátiles (AGV) se cuantificaron mediante cromatografía de gases con una columna capilar Elite FFAP (CrossbondCarbowax-PEG) de 30 m de longitud en un cromatógrafo de gases Perkin-Elmer. La temperatura del detector de ionización de flama fue de 250 °C, la del inyector fue de 250 °C y la de la columna de 130 °C. Para la determinación de metano se usó el mismo cromatógrafo, pero con una columna capilar ElitePlot-Q de 30 m de longitud con una temperatura en el detector (metanizador) de 120 °C, la del inyector de 50 °C y de la columna de 45 °C. Se empleó nitrógeno como gas acarreador.

El volumen de inyección de la muestra fue de 1 µl. Se inyectó al principio una muestra de metano puro, y por medio del área obtenida, se calcularon el área y la concentración de metano de las muestras problema; los azúcares totales, por la técnica de antrona (Padín G, 2009), y la proteína, por la técnica de Bradford (Bradford, 1976).

Finalmente, se determinó amonio por la técnica de electroforesis capilar, marca Beckman-coler. Las muestras fueron centrifugadas a 6000 rpm durante quince minutos y filtradas por medio de un filtro de 0,45 µm. Se preparó una solución buffer para la determinación de amonio solución de imidazol en una concentración 10 mM ajustando el pH con ácido acético 1M.

Las condiciones previas a la corrida de la muestra fueron 2 minutos de enjuague con hidróxido de sodio, 2 minutos de lavado con agua y 2 minutos de lavado con buffer; posteriormente, la muestra fue corrida por el equipo en 3 minutos para amonio. Los cálculos se basaron en la curva patrón obteniéndose la concentración en mg/L.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestran los resultados de la eficiencia en remoción de DQO y se observa que las eficiencias fueron superiores al 65 % para las dos cargas manejadas.

Tabla 1. Demanda química de oxígeno a diferentes concentraciones de lactosuero con eficiencias de remoción

CARGA	DQO (mg/L)	Eficiencia (%)
	E S	
3000 mg DQO/L día	8261 1654	79,97
4000 mg DQO/L día	11623 3910	66,35

E= entrada reactor; S= salida reactor

En trabajos similares utilizando lactosuero, Gutiérrez, Encina, & Fdz-Polanco (1991); Malaspina, Cellamare, Stante, & Tilche (1996) y Monroy, Famá, Meraz, Montoya, & Macarie (2000) obtuvieron eficiencias cercanas a 70 %; estos resultados son justificados por el hecho de que estos autores manejaron temperaturas entre 35 y 37 °C, y en esta investigación las condiciones fueron a temperaturas de ambiente (18-20 °C). Al respecto Parkin & Owen (1986) mencionan que una de las condiciones óptimas para la eficiente digestión es la temperatura, cualquiera de los dos rangos mesofílica (30-38 °C) o la termofílica (50-60 °C). En otros trabajos como el realizado por Parra (2010) utilizando lactosuero con cargas de 5200 mg DQO/L/día se obtuvieron eficiencias en remoción de DQO del 51 % con condiciones de temperatura de 15-20 °C. Najafpour (2008) trabajó con lactosuero alimentando el reactor UASB con una concentración de 7000-20000 mg DQO/L/día durante 27 días; al día 7 de estudio la efluente presentó 65 % de eficiencia; al día 10 de operación, 30 % de eficiencia; día 15, 60 % de eficiencia; y al último día de estudio, 65 % de eficiencia; para la carga de 3000 mg DQO/L/día, 79,97 %, y para la carga de 4000 mg DQO/L/día, 66,35 %.

En la tabla 2, se observa una total degradación de los carbohidratos por parte del consorcio microbiano, la eficiencia de degradación fue del 100 %. Sin importar la carga orgánica manejada en el reactor, se llevó a cabo una degradación total de los carbohidratos. Estos resultados son similares a los reportados por Vidal, Carvalho, Méndez & Lema (2000), quienes encontraron eficiencias en un rango de 92 al 100 %. Parra (2010) obtuvo en su investigación, una degradación de 98 % de carbohidratos.

Los resultados anteriores son explicados por lo que reseñan Vidal et al. (2000) y Demirel et al. (2005) quienes mencionan que la degradación de carbohidratos (como la lactosa) es más rápida y casi total en condiciones anaeróbicas, además de ser el principal sustrato disponible para las bacterias anaerobias.

Se observa en la tabla 2 que en la carga orgánica de 3000 mg DQO/L/día la degradación de proteína fue total; caso contrario ocurrió con la carga orgánica de 4000 mg DQO/L/día en la cual la degradación fue del 78,82 %. Al respecto Vidal et al. (2000) mencionan que en condiciones anaeróbicas la hidrólisis de proteínas es más lenta que la hidrólisis de carbohidratos; lo anterior podría explicar por qué solo fue 78,82 % para la segunda carga de 7900 mg DQO/L/día.

Tabla 2. Azúcares, proteína y amonio en el influente y efluente en un reactor tipo UASB a diferentes cargas orgánicas de lactosuero

CARGA	AZÚCARES		PROTEÍNA		AMONIO	
	E	S	E	S	E	S
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
3000 mg DQO/L/día	138	0	113	0	175	134
4000 mg DQO/L/día	464	0	510	108	129	111

E= entrada reactor; S= Salida reactor

Los resultados anteriores son también explicados por Parkin & Owen (1986) quienes afirman que el material proteico es degradado más completamente a temperaturas termofílicas; de acuerdo con Vidal et al. (2000) la eficiencia de degradación en proteína es menor a la de carbohidratos en condiciones anaerobias, debido a que la hidrólisis de proteínas es más lenta que la hidrólisis de carbohidratos (Parra, 2010).

Las concentraciones de amonio se reportan en la tabla 2. Los principales productos de la biodegradación de proteínas en condiciones anaeróbicas son el amonio y diferentes componentes de aminoácidos. Concentraciones de amonio entre 200-1000 mg/L son satisfactorias en digestores anaerobios, mientras que concentraciones arriba de 3000 mg/L han sido observadas como fuertemente inhibidoras, según Parkin y Owen (1986); en otros trabajos como los de Malaspina et al. (1996) y Vidal, et al. (2000) se observaron valores máximos de amonio de 1196 mg/L. Vidal et al. (2000) mencionan al respecto que cuando el contenido de amonio se encuentra en el rango de 50 a 200 mg/L este puede estimular las bacterias metanogénicas en el reactor.

Según Parkin y Owen (1986) las concentraciones de amonio hasta de 1500 mg/L han sido satisfactorias en digestores anaerobios. Teniendo en cuenta los trabajos anteriores y los valores reportados en la tabla 2 se observa que estos están dentro de los valores permitidos donde el amonio no es tóxico para el consorcio microbiano que se encuentra en los lodos.

En la tabla 3 se detalla la concentración de ácidos grasos volátiles como el acético, propiónico y butírico para la salida del reactor; se observa que la concentración de AGV fue mayor para la carga de 4000mg DQO/L/día. Al respecto, Inanc, Matsui e Ide (1999) y Malaspina, et al. (1996), en sus trabajos con lactosuero, mencionan que las poblaciones metanogénicas pueden tolerar concentraciones de ácido acético, ácido propiónico y ácido butírico, superiores a 10000 mg/L, además de suponer que este valor es un indicativo de que la digestión anaerobia marcha bien; al respecto, Parkin y Owen (1986) han mencionado que concentraciones de ácidos volátiles arriba de 6000 mg/L pueden ser toleradas.

Tabla 3. Ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico y metano en el influente y efluente del reactor tipo UASB a diferentes cargas orgánicas

Carga	ácido acético	ácido propiónico	ácido butírico	metano
	S mg/L	S mg/L	S mg/L	mmol/día
3000 mg DQO/L/día	838	206	802	159
4000 mg DQO/L/día	15329	337	1364	20

S=salida del reactor

Lo anterior indica que la concentración AGV, reportada en la tabla 3, se encuentra dentro de los límites normales para un buen funcionamiento del reactor.

Las concentraciones de metano se muestran en la tabla 3, e indican que el reactor UASB además de cumplir la etapa de hidrólisis y acetogénesis realizó la metanogénesis, incluso en la producción de metano. La producción de metano fue mayor para la carga más baja, debido probablemente a que hubo mayor adaptación del consorcio microbiano en la digestión.

CONCLUSIONES

Los resultados presentados en este trabajo muestran que el reactor UASB es una opción viable para el tratamiento de aguas residuales que contienen lactosuero a diferentes cargas orgánicas. Para la carga de 3000 mg DQO/L/día y 4000 mg DQO/L/día, la eficiencia de remoción de DQO fue 79,97 % y 66,35 %, respectivamente. La degradación de carbohidratos fue del 100 % para las cargas manejadas, mientras que en la degradación de proteínas, la carga orgánica más bajo tuvo 100 % de degradación, lo que no ocurrió con la carga de 4000 mg DQO/L/día que tuvo una eficiencia de degradación de 78,82 %. Tanto para las concentraciones de amonio como para las de ácidos grasos volátiles y metano, los valores estuvieron dentro de los parámetros normales de un funcionamiento correcto del reactor durante el experimento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo-México y a la "Fundación Hidalgo Produce" de México-Hidalgo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA. (2005). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. Washington D. C. USA:APHA
- Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(2), 248-254.
- Demirel, B.; Yenigun, O. & Onay, T. (2005). Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. *Process Biochemistry*, 40(8), 2583-2595.
- Gannoun, E.; Bouallagui, H.; Touhami, Y. & Hamdi, M. (2008). Ecological clarification of cheese whey prior to anaerobic digestion in upflow anaerobic filter. *Bioresource Technology*, 99, 6105.
- Göblös, S.; Portörő, P.; Bordás, D.; Kálmán, M. & Kiss, I. (2008). Comparison of the effectivities of two-phase and single-phase anaerobic sequencing batch reactors during dairy wastewater treatment. *Renewable Energy*, 33(5), 960-965.
- Gutiérrez, J.; Encina, P. & Fdz-Polanco, F. (1991). Anaerobic treatment of cheese-production wastewater using a UASB reactor. *Bioresource Technology*, 37(3), 271-276.
- Inanc, B.; Matsui, S. & Ide, S. (1999). Propionic acid accumulation in anaerobic digestion of carbohydrates: An investigation on the role of hydrogen gas. *Water Science and Technology*, 40(1), 93-100.

- Malaspina, F.; Cellamare, C.; Stante, L. & Tilche, A. (1996). Anaerobic treatment of cheese whey with a downflow-upflow hybrid reactor. *Bioresource Technology*, 55(2), 131-139.
- Monroy, O.; Famá, G.; Meraz, M.; Montoya, L. & Macarie, H. (2000). Anaerobic digestion for wastewater treatment in Mexico: state of the technology. *Water Research*, 34(6), 1803-1816.
- Najafpour, B.; Asadi, M. & Ghasemi., M. (2008). Biological Treatment of Dairy Wastewater in an Upflow Anaerobic Sludge-Fixed Film Bioreactor. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 4(2), 251.
- Padín, D. (2009). Fermentación alcohólica del lactosuero por *Kluyveromyces marxianus* y solventes orgánicos como extractantes. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 29, 110-116.
- Parkin, G. & Owen, W. (1986). Fundamentals of Anaerobic Digestion of Wastewater Sludges. *Journal of Environmental Engineering*, 112(5), 867-920. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9372(1986)112:5(867)
- Parra, R. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 62(1), 4967.
- Parra, R. (2010). Digestión anaerobia de lactosuero: efecto de altas cargas puntuales. *Revista facultad Nacional de Agronomía*, 63(1), 5385-5394.
- Rajeshwari, K. ; Balakrishnan, M.; Kansal, A.; Lata, K. & Kishore, V. (2000). State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(2), 135-156.
- Vidal, G.; Carvalho, A.; Méndez, R. & Lema, J. (2000). Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewaters. *Bioresource Technology*, 74(3), 231-239.