ARTICULO ORIGINAL

Influencia de la alimentación sobre la actividad metanogénica en un digestor anaerobio

Influence of diet on the methanogenic activity in an anaerobic digester

Jorge del Real Olvera[I], Francisco Prieto García[II]

I: Facultad de Ingeniería Química, Universidad Veracruzana, Zona Xalapa, Circ. Aguirre Beltrán s/n, Xalapa, Veracruz, México.
II: Centro de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del Esta do de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo, Km. 4.5 C.P. 42076, Pachuca, Hidalgo, México. prietog@uaeh.reduaeh.mx

RESUMEN

En el proceso de digestión anaerobia coexisten cuatro grupos bacterianos, siendo los más relevantes los metanogénicos, que tienen como medio habitual el estómago de los rumiantes. Se empleó un inóculo proveniente del fluido ruminal vacuno para investigar la influencia en las características de la alimentación sobre un digestor anaerobio en la depuración de vinazas provenientes de una destilería, mediante la degradación de materia orgánica como **DQO** y volumen de biogás. Los resultados muestran un impacto significativo en la degradación, cuando se emplean dos clases diferentes de sustrato. Los vertidos generados al destilar jugo natural de caña mostraron menor nivel de biodegradación pero mayor estabilidad en el proceso; los desechos originados al destilar jugo cristalizado exhibieron un comportamiento errático, que dificulta el control del digestor. Variando la concentración de la alimentación en 5, 10 y 15% y suministrando el vertido cada 24, 48 y 72 horas respectivamente; los datos mostraron que la peor manera de operación, es alimentar cada 72 horas al digestor ya que aun cuando la concentración del vertido fuera máxima, su rendimiento final disminuyó en 42,72% con respecto a los otros. Se obtuvieron resultados semejantes cuando se alimenta a 24 o 48 horas al digestor (0,62% de diferencia), mostrando tendencias parecidas. De acuerdo con lo anterior, se concluye que la manera óptima de trabajar este consorcio sería alimentar cada 24 horas al biorreactor a concentración del 10% en volumen de vinazas de jugo natural para no rebasar la capacidad de autorregulación del sistema biológico.

Palabras clave: Digestión anaerobia, vinazas, bacterias metanogénicas y biogás.

ABSTRACT

Four main groups of bacteria coexist in the anaerobic digestive process, being the most important the methanogenics, which have like habitual means the stomach of the ruminants. An originating methanogenics microbial partnership of the bovine ruminal fluid was used to investigate the influence in the characteristics of the feeding on a digester anaerobic in the depuration of vinasses originating of a distillery, by means of the degradation of its organic matter expressed as **COD** and the generation of biogas. The results show a significant impact in the degradation, when two classes different from substrate is used. On one hand, those poured generated when distilling natural juice of cane showed smaller biodegradation level but bigger instability in the process; while the waste urinated when distilling crystallized juice exhibited an erratic behavior, what hinders the control of the digester. A following variation the concentration of the feeding modifies among 5, 10 and 15%, giving the one poured respectively each 24, 48 and 72 hours. The data demonstrate that the worst operation way, is to feed since every 72 hours to the digester even when the concentration of having poured was maximum, its final yield diminishes in 42,72% with regard to the other ones. Nevertheless, similar results were obtained when feeds each 24 or 48 hours to the digester (0,62% of difference), showing similar operation tendencies. In accordance with the above mentioned, conclude that the good way to work this consortium would be to feed every 24 hours with a concentration of 10% in volume of vinasses of natural juice for not surpassing the capacity of self-regulation of the biological system.

Keywords: Anaerobic digestion, vinasses, methanogenics bacteria and biogas.

INTRODUCCION

Se sabe, que los efluentes procedentes de las destilerías de alcohol (denominados vinazas), representan un serio problema de índole ambiental debido a sus elevados volúmenes evacuados, además del enorme poder contaminante de los mismos. En el estado de Veracruz, que es uno de los principales productores de caña y por ende de alcohol, el problema es aun más grave ya que grandes cantidades de los subproductos del proceso de elaboración de azúcar son destinados para este fin.

Las distintas características de las vinazas dependen fundamentalmente de la materia prima destilada y así como del sistema de destilación empleado. Sin embargo, algunos autores [1] señalan que si bien las características de las diferentes vinazas son variadas, la aplicación de pre-tratamientos simples a las mismas conducen a la obtención de efluentes con propiedades semejantes. No obstante, se recomienda tomar en cuenta la naturaleza y la concentración del vertido residual a ser tratado, ya que tienen un fuerte impacto sobre el desempeño del proceso anaerobio. En este sentido, antes de procesar los residuos, es aconsejable verificar la cantidad de materia orgánica soluble y en suspensión que contienen, ya que algunos digestores trabajan mejor con uno u otro material [2].

Por todo lo anterior, en este trabajo se propone analizar la influencia que muestran dos clases diferentes de vinazas sobre la cinética digestiva, modificando además su concentración y el tiempo de alimentación.

FUNDAMENTACION TEORICA

De manera general, cualquier vertido contaminante está conformado por dos partes principales: materia orgánica e inorgánica. Para eliminar la polución en el primer caso se emplean generalmente métodos de degradación bioquímicos, por ser más económicos y eficientes para las características del material. Por otro lado, para los contaminantes inorgánicos se aplican frecuentemente métodos de transformación químicos, fisicoquímicos o una combinación de ambos. El material soluble que se degrada lentamente, está compuesto primordialmente por moléculas de alto peso molecular o material recalcitrante y requieren de metabolismos específicos con altos tiempos de retención hidráulicos (**TRH**) para convertirse en ácidos grasos volátiles (**AGV**) que sirven como sustrato en la acidogénesis. Por otro lado, la parte que se transforma rápidamente está compuesta esencialmente por moléculas de bajo peso molecular y sirve como sustrato en la metanogénesis.

Cuando se trabaja con materia orgánica en suspensión se modifica el desempeño global del fermentador anaerobio, ya que es frecuente que se formen gránulos en el interior del digestor por la aglomeración de algunos materiales. Estudios realizados [3] han tratado de caracterizar los factores que interfieren en el desarrollo de la granulación del material, pero aun no se ha llegado a un acuerdo definitivo. Sin embargo, se sugiere que al degradarse algunas proteínas se favorece la generación de una matriz polimérica que impulsa el desarrollo de dichos materiales. Otros autores [4] especulan sobre el papel que juegan los filamentos de ciertas bacterias en las estructuras granulares. No obstante, mientras se continúe con las investigaciones en el área resulta complicado definir las condiciones que facilitan la formación de estas estructuras.

MATERIALES Y METODOS

Se analiza el comportamiento exhibido por un consorcio microbiano en la depuración de aguas de la industria alcoholera. A continuación, se describen los materiales y métodos empleados en el estudio.

Efluente Contaminante

Las vinazas utilizadas en el estudio fueron recolectadas en una destiladora ubicada en el municipio de Actopan en el estado de Veracruz, la cual utiliza generalmente jugo natural de caña como materia prima para producir alcohol. Sin embargo, por el carácter estacional de la caña también emplean jugo cristalizado. Los vertidos contaminantes se caracterizaron como lo proponen Beltrán y colaboradores [5] en donde se determinaron pH, temperatura, demanda química y bioquímica de oxígeno, sólidos totales y volátiles, entre otros. El intervalo presentado para la caracterización de siete muestras y los valores de las muestras digeridas en este estudio se describen en la tabla [6].

Tabla
Características de las vinazas, entre paréntesis las desviaciones estándar [6]

Parámetro	Intervalo	Digerida
pH	4,00 – 5,5	4,00 (0,02)
Temperatura (ºC)	82,5-86,5	86,30 (0,10)
DQO (g/l)	12,2 – 63,5	59,20 (0,12)
DBO5 (g/l)	1,21 – 12,8	8,43 (0,04)
Sólidos Totales (g/l)	15,54 – 42,3	25,87 (0,09)
Sólidos Volátiles (g/l)	1,23 – 3,82	2,33 (0,02)
Fósforo Total (mg/l)	16,6–65,7	52,35 (0,11)
Nitrógeno (mg/l)	21,3–64,0	35,00 (0,09)
Fenoles	2,80–20,0	9,87 (0,05)
Materia Orgánica (%)	94,9–95,9	-----

Inóculo

El cultivo primario de bacterias se obtuvo del fluido ruminal, proveniente del estómago vacuno. Éste tiene un hábitat primordialmente anaerobio y ya que las bacterias metanogénicas son el paso controlante en la cinética de crecimiento microbiano de dicho consorcio, en este estudio se manejaron estas condiciones como las más favorables. Uno de los reportes más completos de las especies bacteriales metanogénicas se muestra en la figura 1 y fue proporcionado por McHugh y colaboradores [6, 7], muchas de las cuales se lograron identificar en los análisis microbiológicos realizados a la colonia aquí empleada.

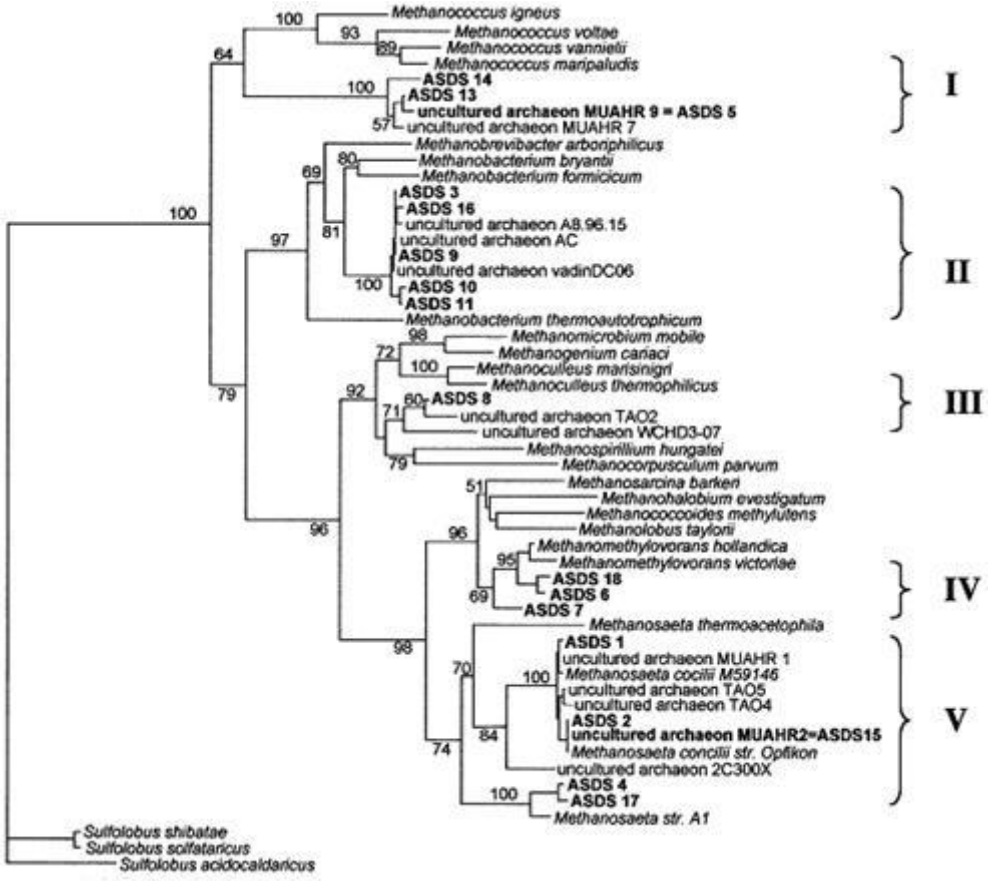

Fig 1. Resultado del análisis filogenético del fluido ruminal vacuno [6].

Reactor anaerobio

La oxidación anaerobia se llevó a cabo en un digestor de vidrio de 4 litros con agitación mecánica, el cual fue operado por lotes a una temperatura de 35 ± 2 ºC y 150 rpm tal y como se muestra en la Figura 2 [6]. Se colocaron 2,5 litros de vinazas neutralizadas y diluidas al 30% en vol. junto con 0,5 litros de inóculo metanogénico para iniciar la adaptación. Posteriormente se incrementó paulatinamente la concentración de vinazas hasta llegar a las características de operación de la destiladora en el mismo lapso de tiempo que le tomo al inóculo llegar a las condiciones metanogénicas.

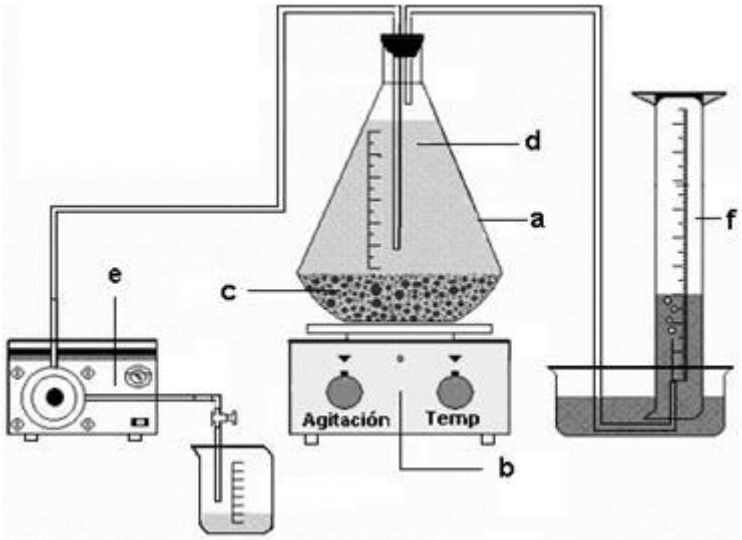

Fig. 2. Diagrama del equipo experimental
(a) Digestor anaerobio (b) Parrilla (c) Fluido ruminal
(d) Vertido residual (e) Bomba (f) Gasómetro [6].

Los parámetros analizados en el sistema de reacción fueron: a) La cantidad de biogás generado por el medio, el cual fue medido en un gasómetro por desplazamiento de líquido, b) La demanda química de oxígeno (***DQO***) mediante la digestión de la muestra de acuerdo con la norma NMX-AA-030-SCFI-2001 y c) los sólidos totales y volátiles mediante el método gravimétrico como lo propone la norma NMX-AA-034.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de biodegradación reportados [7], para la fermentación de vinazas mediante la utilización de un consocio proveniente de fluido ruminal, estimulan el desarrollo de diseños experimentales bajo diferentes condiciones de operación digestiva. Demostraron que, por cada gramo de ***DQO*** disminuido se generan aproximadamente 971,2 ml de biogás con una cinética de primer orden. Asumen que es vital controlar la naturaleza y concentración del vertido residual al momento de realizar la degradación biológica, ya que ambos parámetros tienen un fuerte impacto sobre el desempeño del proceso anaerobio. Se sugiere estimar la cantidad de materia orgánica soluble y en suspensión que contiene el vertido, ya que algunos sistemas trabajan mejor cuando el efluente contiene principalmente la carga en suspensión. Además, debido a las diferencias mostradas en los resultados físico-químicos obtenidos para las diversas muestras de vinazas, se propuso

modificar las condiciones de operación, analizar los cambios biocinéticos generados cuando se emplean dos tipos diferentes de vinazas; por un lado las generadas al destilar el jugo natural caña y por el otro las desechadas al destilar el jugo cristalizado.

En la Figura 3, se muestran los resultados obtenidos para las dos clases de vinazas. Las corridas se hicieron alimentando los digestores con dos concentraciones diferentes, por un lado al 5% y por el otro al 10% en volumen durante un período de 20 días. Es importante aclarar que en ninguno de los ensayos aquí realizados se tuvo variaciones significativas en la cantidad de sólidos, por lo que no se presentan los resultados de este parámetro.

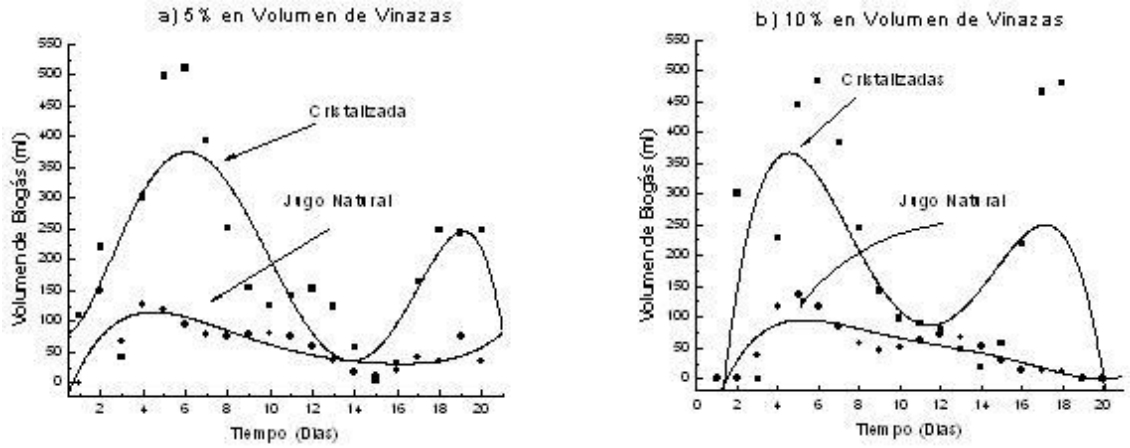

Fig 3. Generación de biogás a diferentes concentraciones y sustratos.

Aquí, se puede observar como en ambos casos las vinazas de jugo cristalizado generaron mayor cantidad de biogás, lo cual indica que la degradación fue más completa. Sin embargo, su comportamiento a través del tiempo es bastante errático, lo que dificulta enormemente el control del proceso digestivo bajo estas condiciones. Por otro lado, los desechos al destilar jugo natural presentan una mayor estabilidad de operación. Es probable que las diferencias biocinéticas entre ambos vertidos sean generadas por los elementos químicos añadidos a las vinazas para lograr su cristalización, ya que éste es un proceso diseñado específicamente para que la materia en solución pase a ser suspensión. No obstante, esta hipótesis requiere de un estudio específico y profundo para su comprobación.

Por otro lado, un aspecto importante a tomar en cuenta cuando alimenta a la destiladora es la parte económica, ya que ésta restringe el uso indiscriminado del jugo cristalizado ya que es más costoso que el jugo natural. Es así que, tanto por razones económicas como cinéticas se propone emplear sólo vinazas provenientes de la destilación del jugo natural.

Una siguiente modificación, se presenta en la Figura 4, donde se puede observar el comportamiento que exhibió el consorcio cuando la concentración en la alimentación se modificó entre 5, 10 y 15%, pero sobre todo cuando el vertido se suministró a diferentes lapsos de tiempo. Aquí se propuso alimentar a los digestores cada 24, 48 y 72 horas, respectivamente a la concentración anterior Todo con la finalidad de analizar el cambio en la actividad microbiana del consorcio ante las diferentes perturbaciones en la alimentación, comprobando así la capacidad buffer que puede lograr el medio.

Como se puede observar, la manera de alimentar el vertido residual al fermentador ocasiona pulsaciones en la generación de biogás ya que se presentaron picos pronunciados los días de la alimentación. Bajo este criterio, la Figura 4a parece mantener un comportamiento menos aleatorio que las dos opciones posteriores, lo cual puede reflejarse como mayor estabilidad en la fermentación. Por otro lado, la cantidad total de gas generado por este sistema fue de 3651 ml, resultando ser una de las cantidades más elevadas de gas durante el periodo de evaluación. La Figura 4b*,* muestra mayores variaciones en la cantidad de gas, llegando incluso a presentar la máxima cantidad para todos los digestores el día 4 de operación, siendo además el sistema que más produjo gas con un total de 3675 ml al final del periodo. Por último, la Figura 4.c*,* resulto ser la peor manera de operar el biorreactor ya que la cantidad de gas que genero fue de apenas 2105 ml; más aún, se pudo observar que al final de los 20 días de análisis se llegó a las mismas características que la fermentación natural del fluido ruminal, es decir, sin sustrato; lo cual sugiere que en este tiempo ya no existía actividad microbiana favorable para la degradación del vertido.

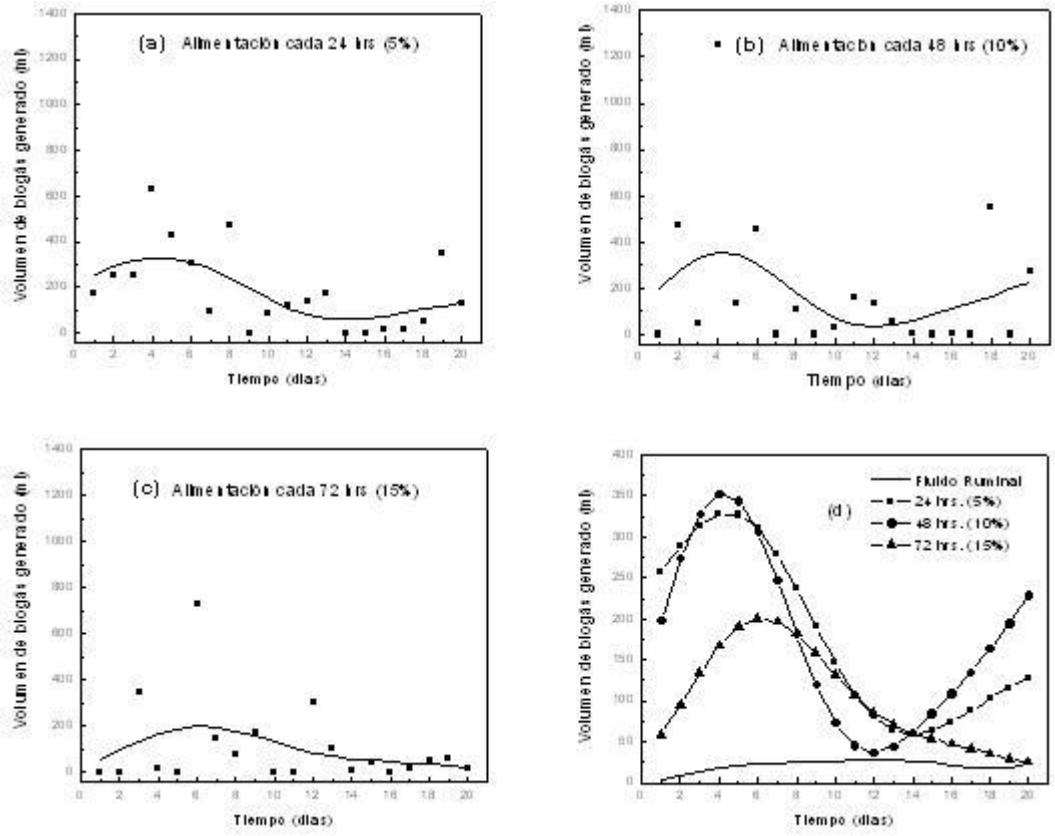

Fig 4. Biogás generado a diferentes tiempos de alimentación.

Por otro lado, en la Figura 4d se muestran las curvas de tendencias de los datos, y aunque su ajuste fue bajo (entre 0,52 y 0,55 para un polinomio de 5° orden), resultó ser semejante en todos los casos. Aquí, se incluyeron los resultados obtenidos para la fermentación natural del fluido, solo con la materia orgánica que se le proporcionó a la colonia microbiana en el reactor generador de biomasa.

Finalmente, la Figura 5 confirma el hecho de que la peor manera de trabajar para este digestor, es alimentarlo cada 72 horas ya que aún cuando la concentración de vertido fue la máxima analizada, su rendimiento final disminuyó en 42,72% con respecto a los otros. Por otro lado, se obtuvieron resultados semejantes cuando se alimenta cada 24 o 48 horas al digestor (0,62% de diferencia), ya que ambos

muestran tendencias parecidas de operación, aunque obviamente, al analizar la concentración manejada resultará más favorable operarlo a la mayor de ellas, es decir 10%.

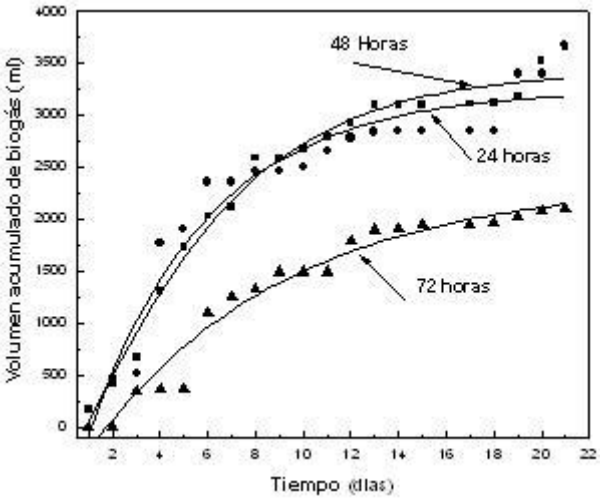

Fig 5. Biogás acumulado a diferentes tiempos de alimentación.

CONCLUSIONES

Los resultados aquí obtenidos han podido demostrar que el empleo de fluido ruminal en la depuración de vinazas, tiene muy buenas perspectivas para ser empleado en las estaciones depuradoras de aguas residuales como consorcios no nativos con fines ambientales.

Debido a que el sistema reactivo aquí empleado, ofrece la posibilidad de manipular las condiciones de trabajo para incrementar la eficiencia del digestor.

Se analizaron dos clases de vinazas, y se pudo comprobar que los vertidos del jugo cristalizado generaron polución más fácil de degradar; sin embargo su comportamiento es bastante errático y aleatorio, lo que dificulta enormemente el control del proceso digestivo. Por otro lado, el residuo del jugo natural presenta una menor biodegradabilidad pero mayor estabilidad en la operación.

Además, se pudo comprobar que la manera de alimentar el vertido residual al fermentador ocasiona pulsaciones en la generación de biogás ya que se presentaron picos pronunciados el día de la alimentación. No obstante, cuando se alimenta diariamente al sistema el comportamiento es menos aleatorio que para los otros casos, lo cual refleja una mayor estabilidad en la digestión. Es importante notar que al final, alimentar cada 72 horas al reactor tiene el mismo resultado que cuando no se añade vinazas al inóculo, mientras que la concentración al 10% anula el efecto del tiempo de alimentación ya que las curvas son aproximadamente iguales.

BIBLIOGRAFIA

1. PÉREZ-GARCÍA M. Utilización de Biorreactores Avanzados en la Depuración Anaerobia de Vertidos de Alta Carga Orgánica. España, 175 pp. 1995.

2. AYMAN N. O., KASAPGIL B. Effect of Wastewater Composition on Methanogenic Activity in an Anaerobic Reactor. *Journal of Environmental Science and Health*. 39(11-12). 2004.

3. WENTZEL, M. C., MOOSBRUGGER, R.E., SAM-SOON, G.A., Y MARAIS R. Tentative Guidelines for Waste Selection, Process Design, Operation and Control of Upflow Anaerobic Sludge Bed Reactor. *Water Science and Technology*. 12(30):31-42. 1994.

4. GAVALA, H. N., ANGELIDAKI, I. Y BIRGITTE K. Kinetics and Modeling of Anaerobic Digestion Process. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. 81:58-93. 2003.

5. BELTRÁN, F. J., GARCÍA-ARAYA, J. F., ÁLVAREZ, P. M. Wine distillery wastewater degradation: 2. Improvement of aerobic biodegradation by means of an integrated chemical (ozono)-biological treatment, *Journal of Agricultural Foods Chemical*. 47:3919-3924. 1999.

6. DEL REAL-OLVERA, J., PRIETO-GARCÍA, F., GORDILLO-MARTÍNEZ, A. J. Factibilidad del empleo de un consorcio microbiano en el tratamiento de vinazas. *Tecnología Química*. 31(3):70-80. 2011.

7. MCHUGH S., CARTON M., COLLINS G. Y O'FLAHERTY V. Reactor performance and microbial community dynamics during anaerobic biological treatment of wastewaters at 16–37 ºC. *FEMS Microbiology Ecology*. 48:369-378. 2004.

8. DEL REAL, O. J., PRIETO G. F., SANTOS, L. E. M., ROMÁN G. A. D. Y GORDILLO M. A. J. Empleo y Manipulación de la Fermentación del Fluido Ruminal en el Tratamiento de Vertidos Residuales de Vinazas. *Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental* . 89(12):43-55. 2006.

Recibido: Mayo 2012
Aprobado: Septiembre 2012

Jorge del Real Olvera[I]. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Veracruzana, Zona Xalapa, Circ. Aguirre Beltrán s/n, Xalapa, Veracruz, México.