

Planta Centralizada para la Codigestión de Residuos Agroindustriales del Área Metropolitana de Montevideo, con Producción de Biogás y Bioabono.

M. Passeggi, M. Benzo y L. Borzacconi

Departamento de Ingeniería de Reactores, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Herrera y Reissig 565, Montevideo, Uruguay

(E-mail: passeggi@fing.edu.uy; mbenzo@fing.edu.uy; lilianab@fing.edu.uy)

Resumen

En base a un relevamiento sobre generación de residuos orgánicos de agroindustrias, se seleccionaron los residuos a ser tratados en un reactor piloto de percolación de 5000 litros. Los residuos seleccionados son contenido ruminal de bovinos, residuo de descarte de curtiembre y purga de lodos activados. El reactor de percolación se operó con 30 días de tiempo de residencia y con una carga volumétrica de 2.84kgSV/(m³.d), obteniéndose una eficiencia de remoción de SV del 47% y 0.36m³CH₄/(kgSV). Una planta centralizada para el tratamiento de 17500 toneladas anuales de residuos, permitiría generar 350kW de energía eléctrica y bioabono con un contenido de materia orgánica seca de 1750 toneladas anuales, expresadas como sólidos volátiles.

Palabras claves

Codigestión; residuos sólidos; percolación; mezcla completa.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento y disposición ambientalmente adecuados de los residuos orgánicos de origen agroindustriales constituye un desafío aún no resuelto en la mayor parte de los países de América Latina. La digestión anaerobia ofrece una alternativa de tratamiento con ventajas importantes, entre las que se destaca el bajo costo operativo y la generación de energía a partir del biogás. En particular, las plantas anaerobias centralizadas constituyen una solución posible para el tratamiento de los residuos agroindustriales en zonas con alta densidad de emprendimientos productivos de pequeña y mediana escala. En cualquier caso, los costos de inversión limitan su implementación si no se logra operar los digestores con cargas elevadas.

Una limitante para la operación con cargas elevadas lo constituye la presencia de inhibidores aportados por los residuos o generados en el proceso (Banks and Wang, 2003; Hansen *et al.*, 2003). Este es el caso los residuos de descarte de las curtiembres, que tienen un alto contenido de materia grasa rica en triglicéridos, que durante la digestión se degrada en glicerol y ácidos grasos de cadena larga. Los ácidos grasos de cadena larga son potenciales inhibidores de la metanogénesis (Koster and Cramer, 1986; Cirne *et al.*, 2006).

Otros residuos, como el contenido ruminal y los lodos secundarios de plantas de tratamiento, tienen un bajo potencial de generación de metano debido a su muy limitada biodegradabilidad. En el caso del contenido ruminal, el alto contenido de fibras genera dificultades de mezclado si no son reducidas mediante un pretratamiento (López *et al.*, 2006). Esto obliga a operar los digestores con bajo contenido de sólidos, limitando así la posibilidad de alcanzar cargas elevadas.

La codigestión de residuos permite diluir inhibidores, reducir problemas de mezcla y potenciar la generación de metano (Cuetos *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2008).

El objetivo de este trabajo es evaluar el desempeño del reactor de percolación durante la codigestión de tres de los principales residuos agroindustriales del Área Metropolitana de Montevideo y proyectar los resultados a una planta centralizada.

MÉTODOS

Relevamiento de generación de residuos.

Se relevó la generación de más de 20 plantas agroindustriales del área metropolitana con residuos orgánicos no tóxicos, y se analizó su distribución territorial. Los residuos más importantes fueron analizados para determinar sus principales componentes y su biodegradabilidad anaerobia.

Digestión en reactor y piloto.

Se ensayó la codigestión de contenido ruminal, descarte de curtiembre y lodo biológico de aceitera. El reactor de percolación de escala piloto tiene un volumen útil de 5.0m³, diámetro 150cm y altura 3.5m. Cuenta con una camisa de agua caliente para mantener la temperatura próxima a los 35°C, una bomba para recircular lixiviado del fondo y cinco visores distribuidos en la altura para observar la torta de sólidos. La recirculación se temporizó, de modo de operar 15 segundos cada 10 minutos con un caudal próximo a los 200 litros por minuto. La alimentación se realizó en forma diaria, cinco días a la semana. La mezcla de residuos se mezcló con un volumen igual del contenido del reactor para inocularla. La alimentación se realizó mediante bombeo y la descarga por gravedad. El biogás generado se midió mediante dos contadores de uso doméstico colocados en serie y los valores obtenidos cada día fueron promediados.

Durante cinco meses se operó el reactores con carga próxima a 3 gSV/(L.d) y 30 días de tiempo de residencia. Los residuos se alimentaron en una relación volumétrica 4:2:1, para el contenido ruminal, residuo de descarte y lodo respectivamente, diluyéndose la mezcla con igual volumen de agua.

Métodos analíticos

Para cada lote de residuos se determinó el contenido de sólidos totales y volátiles. En el caso del contenido ruminal se determinó adicionalmente el contenido de lignina insoluble en ácidos y para los otros dos residuos el contenido de Grasas y Aceites y de Nitrógeno Total Kjeldal. En la descarga de los reactores se determinó el contenido de Sólidos Totales y Sólidos Volátiles, el DQO soluble, el pH, los Ácidos Grasos Volátiles y la Alcalinidad al Bicarbonato. Excepto el contenido de Lignina que se determinó por el método Klason (Templeton and Ehrman, 1995), el resto de los análisis se realizaron según Standard Methods (APHA, 1995). En el biogás se determinó el contenido de metano y anhídrido carbónico mediante cromatografía gaseosa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del relevamiento.

La mayor concentración de generadores se encontró en el eje de la ruta 5, de modo que se centró el estudio en esa zona. En la tabla 1 se presentan los principales residuos del área de influencia de la ruta 5 metropolitana

Tabla 1. Principales residuos del área de influencia de la R5 metropolitana

	Residuos (Ton/año)	% SV
Residuos de Frigorífico	13008	17
Descarte de Curtiembre	2743	26
Lodo de Aceitera.	990	25
Grasa de Láctea	720	19
Totales	17461	

Caracterización de los residuos utilizados para alimentar el reactor.

En la tabla 2 se presenta la caracterización de los residuos, con los valores medios y la correspondiente desviación estándar.

Tabla 2. Caracterización de los residuos.

	ST(g/L)	SV(g/L)	G&A (mg/gSV)	NTK (mg/gSV)	Lignina (mg/gSV)
Contenido Ruminal	18±4	16±4	-	18±3	28±5
Residuo de Descarne	23±6	19±6	513±125	74±20	-
Lodo Biológico Secundario	29±12	22±10	234±133	17±8	-

Resultados de la operación del reactor.

Este reactor se operó durante 143 días en las mismas condiciones de carga, resultando una operación estable luego de la etapa de arranque, con variaciones ocasionadas por la variabilidad de los lotes de residuos. La carga promedio resultó de 2.87 kgSV/(m³.d).

En la operación de un reactor de laboratorio de mezcla completa alimentado con la misma mezcla de residuos durante casi un año (resultados no mostrados), se alcanzó una carga de 4.9kgSV/(m³.d) con eficiencia de remoción de sólidos volátiles próxima al 50%

Luego de cargarse el reactor con inóculo y agua, se comenzó a alimentar la mezcla de residuos. Al cabo de 50 días, se había completado la carga del reactor con residuos. Realizando un balance de masa entre el día 50 y el final de la operación (día 143) se contabiliza el ingreso de 1336kg de sólidos volátiles y la descarga de 728kg de sólidos volátiles. No se observó acumulación de sólidos en la fracción soluble del contenido del reactor. Despreciando las posibles variaciones en el contenido de la torta de residuos, la eficiencia de eliminación de sólidos volátiles totales (SV) resultó del 47%. En el mismo período la producción de biogás acumulada fue de 734m³ a presión y temperatura normal, con 65.3% de metano en promedio, resultando entonces una producción de 0.36 m³CH₄/kgSV alimentado.

La figura 1 muestra la evolución de los sólidos volátiles acumulados en alimentación y descarga, así como el biogás acumulado durante todo el período de operación del reactor de percolación. Los bajos valores de descarga durante los primeros 50 días se deben a la acumulación de sólidos dentro del reactor durante el arranque. Mediante los visores del reactor se pudo seguir la evolución de la altura de la torta de sólidos dentro del mismo, pero no fue posible obtener muestras representativas del contenido de la torta.

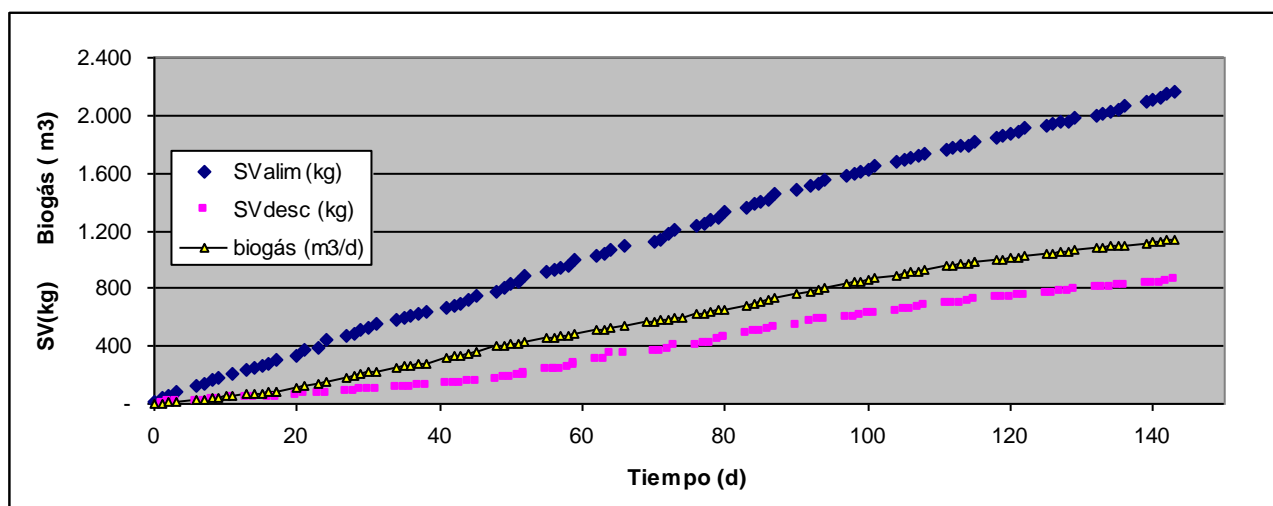


Figura1. Biogás producido y SV de alimentación y descarga en reactor de percolación.

Proyección de los resultados a una planta centralizada.

El diseño de la planta centralizada se elaboró en base a la información obtenida en el relevamiento y a las experiencias de digestión en escala de laboratorio y piloto.

La carga de residuos para la cual se diseñó es la correspondiente a cinco frigoríficos, dos curtiembres, una láctea y una aceitera. En la tabla 3 se presenta el volumen de residuos, su contenido de materia orgánica expresada en sólidos volátiles y DQO, así como el DQO que se transformaría en metano según los ensayos de biodegradabilidad (resultados no mostrados).

Tabla 3: Carga de residuos para el diseño y metanización proyectada.

	Residuos (Ton/año)	S.Volátiles (Ton/año)	DQO (Ton/año)	DQO metanizado (Ton/año)
Residuos de Frigorífico	13008	2211	3096	1393
Descarne de Curtiembre	2743	713	1070	663
Lodo de Aceitera.	990	248	520	156
Grasa de Láctea	720	137	342	274
Totales	17461	3309	5027	2486

La relación entre Sólidos Volátiles y DQO resultó de 1.4 para residuos de frigorífico, 1.5 para Descarne de Curtiembre, 2.1 para grasa de aceitera y se estimó en 2.5 para grasa de láctea,

A partir del DQO metanizado se obtiene el volumen de metano que generará la planta, empleando para esto el coeficiente 350m³/Ton de DQO, que resulta de la estequiometría. De este se puede estimar en 870.100 metros cúbicos el volumen de metano generado anualmente a presión y temperatura norma, equivalente a 2384 metros cúbicos de metano diarios.

El poder calorífico inferior del metano es 8530kcal/m³, lo cual significa que el metano generado contiene 2:033.000 kilocalorías. Si este biogás se emplea en generación de energía eléctrica mediante un motogenerador comercial (que operan a eficiencias cercanas al 35%), se podría generar energía eléctrica con una potencia de 345kW.

Considerando que la eficiencia de remoción de materia orgánica, expresada en sólidos volátiles es del 47%, el bioabono generado contiene según esta proyección 1750 toneladas de sólidos volátiles (materia orgánica estabilizada y seca)

El bioabono generado fue evaluado por la Facultad de Agronomía (resultados no mostrados), encontrándose que el efecto del mismo es comparable al de un fertilizante químico.

CONCLUSIONES

El reactor de percolación resultó adecuado para la codigestión contenido ruminal, descarne de curtiembre y lodo biológico secundario de planta de tratamiento aerobia.

La proyección de los resultados de este trabajo a una planta centralizada tratando residuos sólidos de cinco frigoríficos, dos curtiembres, una aceitera y una láctea, indican que el potencial de generación de energía eléctrica y bioabono es de 350kW y 1750 toneladas de materia seca, respectivamente.

REFERENCIAS

APHA, AWWA, WEF (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th edition

Chen, Y., Cheng, J., J., Creamer, K., S. (2008) Inhibition of anaerobic digestion process: A review, *Bioresource Technology*, **99**, 4044-4064.

Cirne, D., G., Paloumet, X., Björnsson, Alves, M., M., Mattiasson, B. (2006) Anaerobic digestion of lipid-rich waste- Effects of lipid concentration, *Renewable Energy*, **32**, 965-975.

Cuetos, M., J., Gómez, X., Otero, M., Morán, A. (2008) Anaerobic digestión of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: Influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW), *Biochemical Engineering Journal*, **40**, 99-106.

Hansen, T., L., Svärd, A., Angelidaki, I., Schmidt, J., E., Jansen., J., Christensen, T., H. (2003). Chemical characteristics and methane potentials of source-separated and pre-treated organic municipal solid waste, *Water Science and Tecnology*, **48**, (4), 205-208.

Koster, I.W., Cramer, A. (1986) Inhibition of methanogenesis from acetate in granular sludge by long-chain fatty acids, *Applied and Environmental Microbiology*. Feb 1987, 403-409.

López, I., Passeggi, M., Borzacconi, L., (2006). Co-digestion of ruminal content and blood from slaughterhouse industries: influence of solid concentration and ammonium generation, *Water Science and Tecnology*, **54**, (2), 231-236.

Templeton, D., Ehrman, T. (1995) Laboratory Analytical Procedure #003 – Determination of Acid Insoluble Lignin in Biomass, *Chemical Analysis and Testing Task Laboratory Analytical Procedure*.

Wang, Z., Banks, C., J. (2003) Evaluation of a two stage anaerobic digester for treatment of mixed abattoir wastes, *Process Biochemistry*, **38**, 1267-1273.