

Impacto del tiempo de residencia hidráulica sobre la hidrólisis solubilización de desechos sólidos en un reactor de codigestión

Y. I. Quintero*, G. I. González**, B. Torres*, E. Rustrián* y E. Houbron*

*Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. México. (Mail: ehoubron@uv.mx)

**Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana. México. (Mail: giglzlz2@hotmail.com)

El objetivo de este trabajo fue estudiar el proceso de hidrólisis-solubilización por digestión anaerobia de la materia orgánica contenida en residuos sólidos orgánicos (RSO) y lodos, a escala piloto. Así como la influencia que tiene sobre el proceso el tiempo de retención hidráulica (TRH). Se empleó un reactor con un volumen útil total de 27.3 litros. Se cargó con cantidades iguales de residuos sólidos orgánicos y lodos colectados de una depuradora de agua residual urbana. Los RSO contenían 77% de residuos alimenticios y de jardinería y 23% de papel y cartón; ambos sustratos se caracterizaron inicialmente. Se efectuaron 2 experimentos, primero a TRH 5 y luego a 10 días. Se hizo circular agua continuamente a lo largo del reactor, por 80 y 105 días, respectivamente. En la parte superior se colectó el efluente de donde se tomaron las muestras. Los resultados revelan que el TRH es un factor determinante. La degradación de la materia orgánica requirió el doble de tiempo a TRH 10, que a 5 días.

Palabras clave: biorreactor, codigestión, lixiviado, residuos sólidos, tiempo de residencia hidráulica

INTRODUCCIÓN

El mayor nivel de vida y la industrialización, han modificado la composición de la basura. Lo que antes eran desechos orgánicos fácilmente biodegradables, ahora se compone en mayor proporción de envolturas plásticas y derivados industriales. La composición de la basura ha pasado de ser en su mayor parte orgánica, a no biodegradable y voluminosa, lo que hace más difícil su manejo (SEMARNAT, 2005). Los principales agentes impactantes que generan la disposición y manejo inadecuado de los residuos, son el biogás y los lixiviados. Pueden afectar espacios ambientalmente sensibles, como zonas de recarga de acuíferos, de alta diversidad ecológica: pantanos, marismas, humedales, bosques tropicales, etc., así como reservas ecológicas y parques nacionales (Sánchez, 2005). A la fecha no se ha implementado en México un programa de separación, ni de recolección separada. Por tal motivo, alrededor del 50% de la basura que se lleva a los sitios de disposición final está compuesta por materia orgánica fácilmente putrescible (residuos de alimento, jardinería, papel y cartón) (INEGI, 2007). En el estado de Veracruz se tienen registrados oficialmente solo 4 rellenos sanitarios. Con una generación anual de 2,035,000 toneladas de RSU (INEGI, 2008), y se ha estimado que alrededor del 80% se dispone a cielo abierto (González *et al.*, 2003). Esta crisis provocada por la carencia de sitios para la disposición final de residuos, se ve agudizada con la generación de lodos residuales de plantas de tratamiento, que deben ser finalmente dispuestos en un sitio apto para este fin. El tratamiento anaerobio de RSU puede ser una alternativa válida, debido principalmente a la reducción en su volumen. La aplicación de la codigestión ofrece muchas ventajas respecto a los tratamientos separados (Stroot *et al.*, 2001). El mezclar un residuo sólido con otro más diluido como

un lodo, permite un mejor manejo y degradabilidad. Adicionalmente, aumenta la tasa de humedad, diluye y contrarresta el efecto de inhibidores; aporta nutrientes específicos que puedan estar ausentes. La codigestión presenta otras ventajas, como un mayor rendimiento en la producción de biogás, comparado con la digestión de residuos separados, y la producción de un residuo estabilizado, factible de usarse como mejorador de suelos. En plantas de biogás, el proceso de codigestión es un método que mejora la economía del tratamiento. Por otro lado, ofrece una alternativa para la disposición de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas. En países desarrollados la producción de lodos residuales corresponde a 0.1 kg de materia seca/hab-d, cantidad que se incrementará en el futuro. Una buena gestión de estos lodos permitiría que dejen de ser considerados como un desecho. Adicionalmente, su impacto ambiental será menor, en comparación con su incineración. En este trabajo se pretende contrarrestar los problemas que causan el manejo de los lodos y las grandes cantidades que se generan de Residuos Sólidos Orgánicos (RSO).

La codigestión ofrece ventajas sobre el sistema clásico de digestión anaerobia de residuos sólidos. Permite por ejemplo, disminuir los tiempos de residencia del sólido en el reactor, otorgando una mayor capacidad de degradación en términos de masa digerible por unidad de volumen. Esto permite trabajar a mayor carga orgánica (Chamy *et al.*, 2002). A continuación se presentan los aspectos relevantes del estudio y tratamiento de la codigestión de Residuos Sólidos orgánicos (RSO) y lodos en diferentes partes del mundo. En Chile se ensayaron a nivel laboratorio, 3 protocolos diferentes. El estudio concluye diciendo que la codigestión es una alternativa viable al tratamiento tradicional de ambos residuos por separado. La mayor producción de biogás y degradación de sólidos es con 60% de RSO y 40% de lodos aerobios residuales (Chamy *et al.*, 2002). Un estudio efectuado en Polonia presenta los resultados de la investigación de la fermentación anaeróbica de los lodos de planta de tratamiento de aguas residuales y la fracción orgánica de RSU, así como la co-fermentación de ambos sustratos bajo condiciones de temperaturas mesófilas y termófilas (Sosnowski *et al.*, 2003). En todos los ensayos, la concentración de metano en el biogás generado se mantuvo por arriba del 60%. Se registró un rango de 0.4-0.6 dm³/g SSV, en función del sustrato que se trabajó en cada reactor. En Colombia, se evaluó el comportamiento de lodos anaerobios a temperaturas mesófilas y termófilas. Un lodo proveniente de la planta de tratamiento de una comunidad; otro del tratamiento de estiércol de puercos y una mezcla de ambos. El mejor comportamiento lo tuvo la mezcla. Se ensayaron 3 TRH. Se concluyó que incrementando de 10 a 15 °C, se triplica la producción de metano. A mayor TRH (25 d) mejor conversión y mayor generación específica de metano. (Castillo *et al.*, 2003). En Italia se realizó codigestión anaerobia de lodos y desechos orgánicos provenientes del departamento de comida fresca de un mercado. Se probó con diferentes tipos de carga orgánica, las cuales correspondieron a diferentes escenarios de alimentación de desechos orgánicos (Corti y Lombardi, 2007). Se empleó una planta piloto, aumentando la carga orgánica de los RSO. El reactor piloto mostró una mejoría considerable en la producción de biogás. Al mismo tiempo funcionó en condiciones estables de manera permanente. Recientemente en México se efectuaron experimentos sobre la digestión anaerobia como alternativa de tratamiento para la reducción de RSO. Se caracterizó el lodo que se utilizó como inóculo (Vidal, 2008). El digestor se cargó al 1% de RSO y 1% de inóculo de lodo y agua, se trabajó por lotes, con duración de 32 días. La temperatura promedio fue de 35°C (+- 2°C). Se adicionó nitrato de potasio una vez que empezó a producir biogás. Al aplicar la mayor cantidad de nitratos se removieron más STV.

OBJETIVO

El objetivo principal del trabajo es evaluar el impacto del tiempo de residencia hidráulica sobre la hidrólisis solubilización de desechos sólidos en un reactor de codigestión.

METODOLOGÍA

Equipo utilizado. Se utilizó un biorreactor construido con PVC cédula 80. Cuenta con válvulas y equipo de medición en acero inoxidable. Está constituido por tres compartimentos: domo, cuerpo y fondo. Contiene 2 termopozos en cuerpo y fondo para medir la temperatura interior. Para introducir el fluido se utilizó una bomba Masterflex, con motor de 1/10 de HP, conectada a un cabezal. Se ajustó para permitir un flujo de recirculación de 227.66 ml/h para TRH 5 y de la mitad para TRH 10 (Fig. 1). Se utilizó agua de la llave para alimentar la celda, con el fin de simular la recirculación de un lixiviado tratado y así aplicar un TRH específico. En la parte superior se ubicó la salida del efluente. Se colocó un separador trifásico de PVC, que se muestra en la Figura 1, para impedir que el biogás salga por ahí. Por el fondo se alimentó el biorreactor de manera continua con agua. La medición del biogás se llevó a cabo mediante un arreglo Flask Marriot.

Trampa de Sólidos. Se instaló un separador trifásico con el fin de impedir que el efluente ascendente arrastre sólidos y salgan por la parte superior del domo.

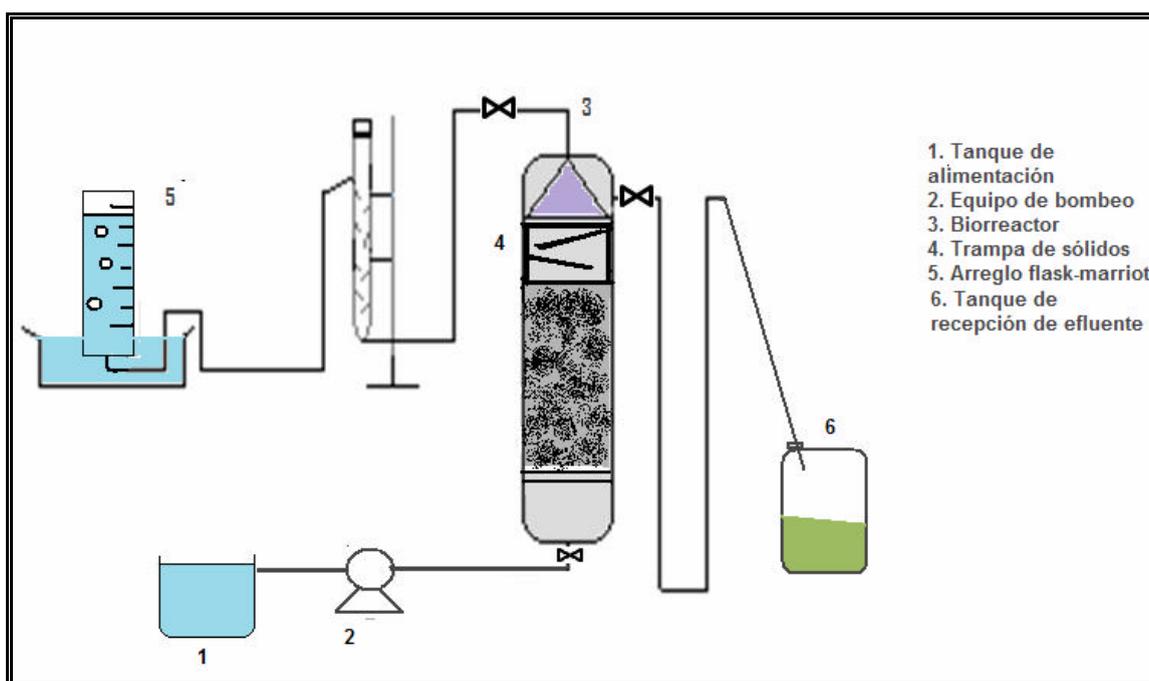


Figura 1 Esquema del sistema utilizado para la codigestión.

Muestreo inicial de residuos. Se constituyó una muestra de RSO, compuestos por: cáscaras de piña, papa, tomate, zanahoria, naranja, plátano, chayote, elote, hojas de lechuga y de árboles, cilantro, papel periódico y cartón. Se cortaron manualmente en pedazos cuadrados que tuvieron en promedio 3 cm de lado. Se seleccionaron los RSO aleatoriamente de contenedores de basura para que la muestra fuera representativa.

Muestreo de lodos. Se utilizaron lodos proveniente de una planta depuradora de aguas residuales de 25 L/s y que da servicio a una Unidad habitacional. Los lodos se tomaron

directamente del canal de salida tal y como se encontraban el día del muestreo. Sus características eran: color negro, olor desagradable, consistencia chiclosa y húmeda, contenían cabello, hojas, basura, etc.

Cantidades de sustratos a introducir. Tomando en cuenta las dimensiones del cuerpo, el volumen útil del reactor para colocar los RSO y lodos será de 13,028.81 cm³. El cálculo de esta cifra ya considera el espacio ocupado por la trampa de sólidos y el termopozo. Se pretende trabajar con una mezcla al 50% en peso. Se pesaron 6.5 kg de lodos húmedos y lo mismo de RSO, se mezclaron e introdujeron poco a poco compactándolos. Los porcentajes de cada RSO se obtuvieron de la composición nacional aportada por el INEGI, los datos disponibles eran de 2007.

Caracterización inicial de RSO y lodos. El objetivo de estos análisis fue conocer la composición de cada sustrato, para saber la carga orgánica que aportaba. Se efectuaron análisis del contenido de materia orgánica presente: Demanda Química de Oxígeno soluble y total (DQOs y DQOt) del lixiviado extraído. Así mismo, se obtuvieron todos los sólidos suspendidos totales y volátiles (SST y SSV). Respecto al contenido de nitrógeno, se decidió hacer 2 determinaciones: Nitrógeno Total Kjeldhal y Nitrógeno amoniacal (N-NTK y N-NH₄). También, se midió el pH y fósforo.

Muestreo de efluente. Para la toma de muestra del efluente se colocó un contenedor de plástico. La muestra se preservó en refrigeración a 4°C, durante el lapso de los análisis correspondientes. La frecuencia de muestreo fue variable, dependiendo de la etapa. Al inicio se monitoreaba cada 4 horas y una vez estabilizado, el muestreo fue diario.

RESULTADOS

A continuación se analiza el comportamiento de los parámetros determinados en el lixiviado extraído de los experimentos con un TRH de 5 y 10 días.

Inmediatamente al arranque del reactor aparece en el lixiviado materia orgánica que se aprecia bajo la forma de DQO Total y soluble (Figura 2). En ambos caso la mayor parte de la DQO se presenta bajo forma soluble. Este es el resultado de una excelente hidrólisis solubilización de la materia orgánica sólida introducida en la celda. Se alcanzaron concentraciones máximas al inicio del experimento, con valores de hasta 15,000 y 12,000 mg DQO/L para los TRH de 5 y 10 días, respectivamente.

Para el TRH de 5 días, rápidamente el sistema no extrae más DQO y en un periodo de 10 días se hidrolizó la materia sólida. Para el TRH de 10 días, se ha requerido un periodo de más de 20 días para hidrolizar toda la materia sólida. Al reducir el tiempo de residencia se aumenta el contacto entre sustrato sólido y microorganismos, lo cual favorece la etapa de hidrólisis solubilización.

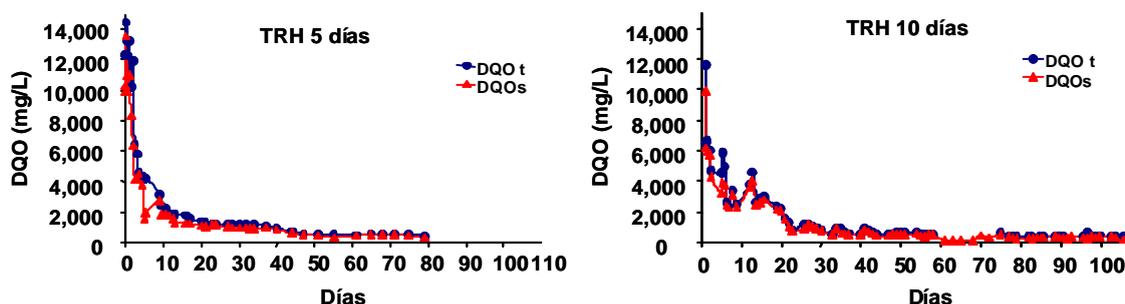


Figura 2.- Evolución de la DQO total y soluble en el reactor, a TRH 5 y 10 días.

La cinética de hidrólisis máxima alcanzada fue de 2,700 y 1,200 mgDQO/L.d para TRH de 5 y 10 días, respectivamente (Figura 3). Estos valores son similares a los encontrados por Houbron y col, 2008, para TRH semejantes en hidrólisis solubilización de pulpa de café.

El comportamiento de los sólidos suspendidos fue similar para los totales y volátiles, donde trabajando a TRH 10, se pasó de un valor inicial de 119 mg/L, a 27 en 20 días. Pero a TRH 5, solo fue necesaria la mitad del tiempo para pasar de 108 a 12. Estas concentraciones tan bajas demuestran la excelente hidrólisis. Efectivamente, en ambos casos no aparecieron partículas en la fase líquida. Toda la materia orgánica hidrolizada se encuentra bajo forma disuelta.

En ambos experimentos el pH se mantuvo ácido, con valores cercanos a 5 durante toda la fase de hidrólisis acidificación, o sea para 10 y 20 días, que corresponden a TRH de 5 y 10 días, respectivamente. Una vez terminada esta fase, debido a la extracción continua de los ácidos generados, el pH se incrementó a valores cercanos a 6. Sin embargo, aunque el pH de la fase líquida presentó valores ácidos, se observó una producción de metano máxima de 2.5 y 1.7 L/d.

El interés en este tipo de reactor es hidrolizar y solubilizar el material orgánico en la celda y así generar un efluente rico en DQO soluble o AGV's fácilmente fermentables. Así, el lixiviado extraído, se podría tratar en un reactor metanogénico de alto rendimiento. El pH como parámetro de selección no fue suficiente para inhibir completamente la metanización. Efectivamente, el Nitrógeno y fósforo presentaron cinéticas de aparición en el lixiviado en el periodo inicial. Su perfil de concentración fue similar al de la DQO, con valores iniciales de 150 y 40 mg/L a TRH 5 días, y de 340 y 40 a TRH 10 días.

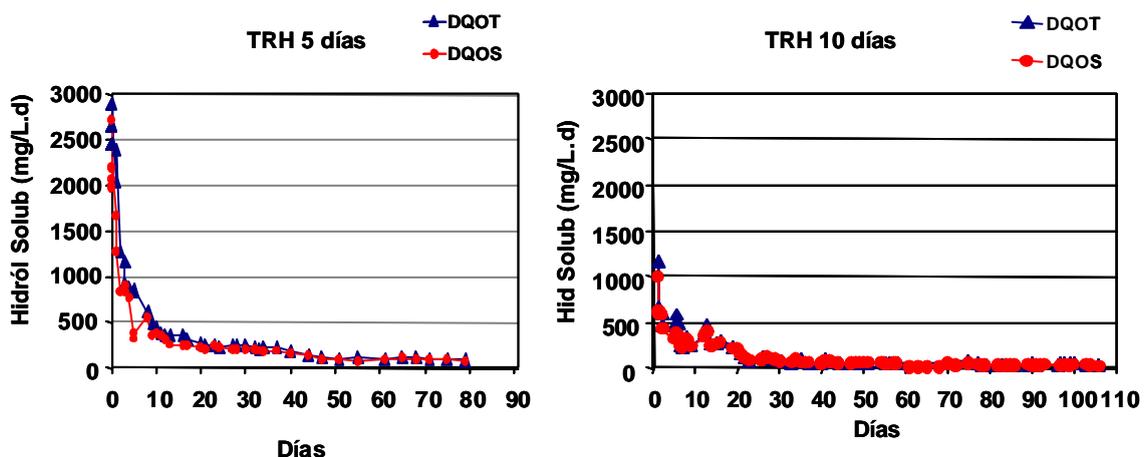


Figura 3. Evolución de las cinéticas para TRH 5 y 10 días.

Experimentaciones similares sobre pulpa de café (Houbron y col. 2003 y 2008), presentaron resultados equivalentes. Las cinéticas máximas de reacción se observaron al

inicio; la duración de la fase hidrolítica se redujo tanto en los experimentos con pulpa, con un TRH corto, como en la codigestión con lodos bacterianos.

CONCLUSIONES

- En ambos experimentos se observó al inicio una hidrólisis solubilización con cinéticas máxima.
- A mayor TRH, la duración del periodo de hidrólisis es superior, se registraron de 10 y 20 días para TRH de 5 y 10 días, respectivamente. Al aumentar la tasa de recirculación del lixiviado, se incrementa el contacto entre microorganismos y sustrato, lo que permite acelerar las cinéticas enzimáticas.
- Al aplicar una codigestión de lodos bacterianos y residuos sólidos orgánicos, contenidos en los RSU, se incrementan las cinéticas de reacción. La presencia de microorganismos activos permite iniciar el proceso de hidrólisis solubilización de inmediato.
- Esta configuración del reactor, recirculando un lixiviado tratado, permite acelerar considerablemente los tiempos de estabilización de los desechos sólidos orgánicos. El lixiviado rico en AGV's, puede ser tratado en una segunda etapa por un reactor metanogénico de alto rendimiento.

REFERENCIAS

- Bouallagui H., Touhami Y., Ben Cheikh R., Hamdi M. (2005). Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. *Process Biochemistry*, 40: 989-995.
- Castillo, M., Cristancho, E., Arellano, V. (2003). Estudio de las condiciones de operación para la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. In: *Revista colombiana de biotecnología Vol. V No.2*. Págs. 11-22.
- Cavinato, C., Fatone, F., Bolzonella, D., Pavan, P. (2008). Single phase extreme thermophilic (70°C) anaerobic codigestion of sewage sludge and organic fraction of municipal solid waste. In: *Vth international symposium on Anaerobic Digestion of solid Wastes an Energy Crops*, May 25-28, Hammamet, Tunisia.
- Chamy R., Cofré, O., Alcázar, D y Chinga P. (2002). Co-digestión de RSU y lodos aerobios residuales, como alternativa a procesos de tratamiento tradicionales. In: *XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Octubre 27-31, Cancún, México.
- Corti, A. and Lombardi, L. (2007). Anaerobic Co-digestión of source selected organic waste and sewage sludge. In: *Eleventh International Symposium Waste Management and Landfill*, Sardinia 1 - 5 October, Cagliari, Italy.
- González López G., Tejada Rosas M. and Zamora Hernández A. (2003). Environmental indicators for a sustainable development of final disposal of solid waste in the gulf of México zone. In: *Fourth int. symposium on cleaner bioprocesses and sustainable development*, June 16, 2002, Veracruz, México.
- Hernández Muñoz Aurelio (1994). Depuración de aguas residuales. Editorial Paraninfo S.A., tercera edición. Madrid, España.
- Houbron E., Larrinaga A., Rustrián E. (2003). Liquefaction and methanization of solid and liquid coffee wastes by two phase anaerobic digestion process. *Water science and technology*. 48 (6), 255-262.
- E. Houbron, G. I. González-López, V. Cano-Lozano, E. Rustrián (2008). Hydraulic retention time impact of treated recirculated leachate on the hydrolytic kinetic rate of coffee pulp in an acidogenic reactor. *Water Science and Technology*. **58** (7), 1415-1421.

- INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2007-2008). Censo general de población y vivienda. Estadísticas por tema, en estadísticas ambientales: residuos, México.
- Sánchez G. J. (2005). Biorrelentos metanogénicos, opción sustentable para la disposición final de los residuos sólidos. En: *Proc. 1er. Congreso Interamericano de residuos*, mayo 4-7, Mérida, Yucatán, México.
- SEMARNAT Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (2005). Base de datos estadísticos del sistema nacional de información ambiental y de recursos naturales. México, dimensión ambiental. En *Residuos y riesgo ambiental*.
- Sosnowski, P., Wieczorek, S., Ledakowicz S. (2003). Anaerobic co-digestion of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes. *Advances in Environmental Research*. **7**, 609-616.
- Stroot, P., McMahon, K., Mackie, R., Raskin, L. (2001). Anaerobic codigestion of municipal solid waste and biosolids under various mixing conditions-I. Digester performance. *Wat. Res.* **35**, 1804-1816.
- Vidal, M. (2008). Estudio de la degradación de los residuos sólidos municipales en un reactor anaerobio adicionando nitratos. *Tesis de maestría*. Instituto Tecnológico de Orizaba-División de Estudios de Posgrado. Orizaba, México.