

OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS QUE CONTROLAN LA EVOLUCIÓN DE BIOGÁS EN LA ESTABILIZACIÓN DE BARROS ACTIVADOS RESIDUALES DE MALTERÍAS DE CEBADA (Resultados preliminares – Trabajo en desarrollo)

H. Campaña, P. Benedetti, A. Hernández, A. Airasca
GEIA - Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Bahía Blanca
11 de Abril 461 - 8000 Bahía Blanca - Argentina
e-mail: hcampana@frbb.utn.edu.ar, pbenedet@criba.edu.ar

RESUMEN:

El tratamiento anaeróbico de residuos es una tecnología que se desarrolla desde hace bastante tiempo con distintas configuraciones y esquemas operativos diversos. Una alternativa para sistemas de alta carga es el reactor de flujo ascendente a través de un manto de barros (UASB), operando en temperaturas relativamente bajas (15 - 40 C). Los reactores discontinuos de tipo secuencial también se utilizan en digestión anaeróbica en el rango psicrófilico. El reactor UASB híbrido es una interesante alternativa que combina las ventajas de ambas tecnologías. Al efecto de optimizar los parámetros de diseño y operación de un equipo piloto de digestión anaeróbica, de diseño propio y que puede operar como UASB híbrido, se implementó un diseño de experimentos mediante el método de Taguchi, que economiza tiempo y cantidad de ensayos requeridos, presentándose en este trabajo algunos resultados preliminares de los ensayos de laboratorio. La relación de carga aparece como una variable de diseño clave, verificado además por la incidencia de materia orgánica de fácil digestión (azúcar). Se han ensayado algunos catalizadores, y el pH continúa siendo el parámetro de control más importante para el proceso de digestión anaeróbica.

Palabras clave: biogás, digestión anaeróbica, psicrófilico, estabilización, diseño de experimentos

INTRODUCCIÓN

La Digestión Anaeróbica es un proceso biológico complejo que consiste en la descomposición de materia orgánica, o residuos orgánicos diluidos, en ausencia de oxígeno molecular, esta reacción bioquímica compleja es llevada a cabo en etapas por distintos tipos de micro-organismos que no requieren de oxígeno molecular.

Los productos finales del proceso son tres: una mezcla de gases denominada biogás, un efluente líquido que contiene nutrientes y un barro remanente compuesto de materia orgánica estabilizada y residuos de la actividad celular de las bacterias (rico en nitrógeno y proteínas).

GEIA, de la Universidad Tecnológica Nacional, F.R.B.B. está experimentando desde hace más de 10 años, con barros residuales provenientes de la planta de tratamiento biológico aeróbico de efluentes de una maltería de cebada cervecera (barros activados). En la etapa inicial los trabajos de estabilización anaeróbica, solo fueron a escala laboratorio (Campaña et al. 2004), durante los últimos años (Campaña et al. 2006; Campaña et al. 2007; Campaña et al. 2008), se han presentado resultados experimentales también en escala piloto en un reactor de diseño propio (tipo UASB híbrido).

El ajuste y la optimización de los parámetros de diseño y operación del reactor semiindustrial se realizan mediante ensayos en dicho equipo piloto previa experimentación a escala laboratorio. Los resultados presentados en este trabajo, resumen la experimentación desarrollada a partir de un diseño de experimentos con el método Taguchi (Hernández et al., 2008), con el objetivo de estudiar qué factores, y en qué niveles, maximizan la producción de biogás (variable respuesta).

En esta evaluación preliminar fueron ensayadas distintas Relaciones de Carga (proporción de barro fresco/estabilizado), a cuatro niveles; B: Catalizador, C: Temperatura, D: pH inicial y E: Azúcar, todos ellos a dos niveles. El objetivo prioritario es encontrar la relación de carga óptima, ya que el reactor puede operar en forma discontinua (secuencial) (SBR) además de hacerlo en forma continua (UASB).

Se han ensayado también otras variables, como pH, agregado de azúcar, distintos catalizadores y diferentes temperaturas, que controlan la eficiencia de operación, medida ésta como volumen de biogás generado, y capacidad de estabilización.

DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Dadas las características del problema se aplicó un Diseño Especial para Factores con Niveles Múltiples (Evangelaras et al. 2006; Fang et al. 2000; Grove et al. 1991; Lewis et al. 2001; Lin et al. 2006; Madaen et al. 2006) con un factor a cuatro niveles y los restantes a dos niveles. Para ello se utilizó el Arreglo Ortogonal L8 modificado, donde las tres primeras columnas se combinan para dar cabida al factor con cuatro niveles. No se midieron interacciones ya que se consideró que no tenían efecto sobre la variable respuesta. Los ensayos se realizaron por duplicado y durante un período de tiempo limitado (mínimo 30 días).

Debido a las características del experimento hubiera sido imposible la aplicación del Diseño de Experimentos clásico. El Método de Taguchi otorga una solución viable que provee resultados que permiten obtener conclusiones para mejorar el desempeño del Digestor y maximizar la producción de biogás.

También es importante destacar que los resultados se obtienen con, únicamente, ocho ensayos diferentes. Esta es una ventaja destacable cuando la experimentación se realiza en espacios reducidos y las variables medidas tienen alguna complejidad analítica, no es el caso del pH, ni el volumen de biogás, pero sí lo es la determinación de DQO o la determinación de composición del biogás mediante cromatografía (fase experimental a desarrollar próximamente).

Desarrollo del trabajo

Listado de los ensayos

Factores

RC = relación de carga, proporción de barro fresco/estabilizado. Se ensayaron cuatro relaciones

- (RC)₁: 1:1
- (RC)₂: 2:1
- (RC)₃: 3:1
- (RC)₄: 4:1

C = Catalizador. Se ensayaron Dos Catalizadores

- (C)₁: 200 mg/l (Manganeso)
- (C)₂: 200 mg/l (Cobalto)

T = temperatura. Se ensayaron Dos Temperaturas, (T)₁, (T)₂.

pH = Buffer. Se ensayaron dos cantidades de Bicarbonato de Sodio, para los dos niveles ensayados.

- 15 ml, (pH)₁
- 25 ml, (pH)₂

A = azúcar. Se ensayaron dos condiciones.

- Sin azúcar, (A)₁
- Con azúcar (A)₂.

Primera etapa Diseño experimental Taguchi

Ensayo 1: (RC)₁ (C)₁ (T)₁ (pH)₁ (A)₁

Ensayo 2: (RC)₂ (C)₁ (T)₁ (pH)₂ (A)₂

Ensayo 3: (RC)₃ (C)₂ (T)₁ (pH)₂ (A)₁

Ensayo 4: (RC)₄ (C)₂ (T)₁ (pH)₁ (A)₂

Segunda etapa Diseño experimental Taguchi

Ensayo 1: (RC)₁ (C)₂ (T)₂ (pH)₂ (A)₂

Ensayo 2: (RC)₂ (C)₂ (T)₂ (pH)₁ (A)₁

Ensayo 3: (RC)₃ (C)₁ (T)₂ (pH)₁ (A)₂

Ensayo 4: (RC)₄ (C)₁ (T)₂ (pH)₂ (A)₁

Desarrollo del trabajo experimental

Los dispositivos utilizados se muestran en la Figura 1.



Figura 1: Reactores utilizados en el laboratorio.

Los ensayos de la primera etapa comenzaron en noviembre de 2008 y en cada caso se describe la mezcla colocada inicialmente en Erlenmeyers de 2000 ml.

Todos los ensayos se realizaron por duplicado. En todos los casos se dosificó Fosfato de Potasio para ajustar la relación DBO/N/P del sistema bajo estudio.

Reactor 1 – Reactor 1'				
(RC) ₁	(C) ₁	(T) ₁	(pH) ₁	(A) ₁
0.9 l de barro fresco 0.9 l de barro estabilizado	0.36 gramos catalizador Mn	28,1°C	15 ml Bicarbonato de Sodio	Sin Azúcar
0.36 gramos - fosfato de potasio PO ₄ H ₂ K				
Reactor 2 – Reactor 2'				
(RC) ₂	(C) ₁	(T) ₁	(pH) ₂	(A) ₂
1.2 l de barro fresco 0.6 l de barro estabilizado	0.36 gramos catalizador Mn	28,1°C	25 ml Bicarbonato de Sodio	18 gramos Azúcar
0.36 gramos - fosfato de potasio PO ₄ H ₂ K				
Reactor 3 – Reactor 3'				
(RC) ₃	(C) ₂	(T) ₁	(pH) ₂	(A) ₁
1.35 l de barro fresco 0.45 l de barro estabilizado	0.36 gramos Catalizador Co	28,1°C	25 ml Bicarbonato de Sodio	Sin Azúcar
0.36 gramos - fosfato de potasio PO ₄ H ₂ K				
Reactor 4 – Reactor 4'				
(RC) ₄	(C) ₂	(T) ₁	(pH) ₁	(A) ₂
1.44 l de barro fresco 0.36 l de barro estabilizado	0.36 gramos catalizador Co	28,1°C	15 ml Bicarbonato de Sodio	18 gramos Azúcar
0.36 gramos - fosfato de potasio PO ₄ H ₂ K				

Tabla 1: Composiciones de cada ensayo

Las variables medidas en cada ensayo fueron pH, volumen de gas generado y en forma discontinua DQO. La segunda etapa comenzó en julio de 2009 y continúa actualmente.

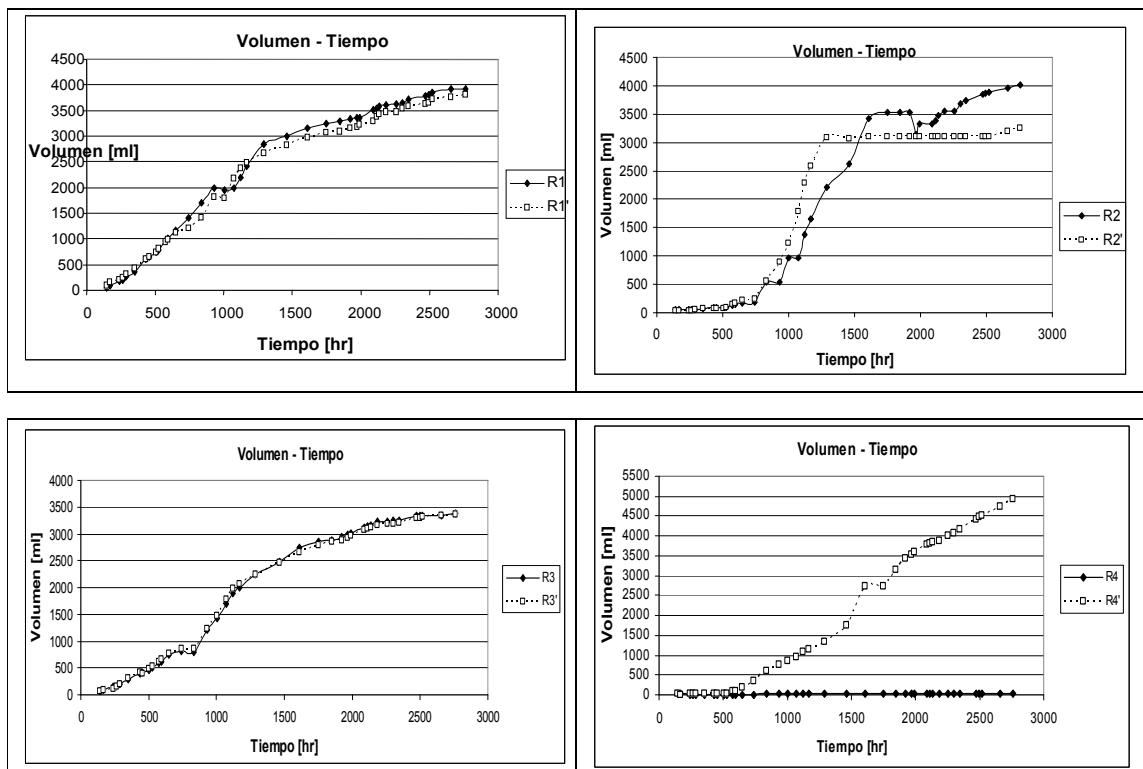


Figura 2: Variación del volumen generado en el tiempo para cada reactor y su duplicado.

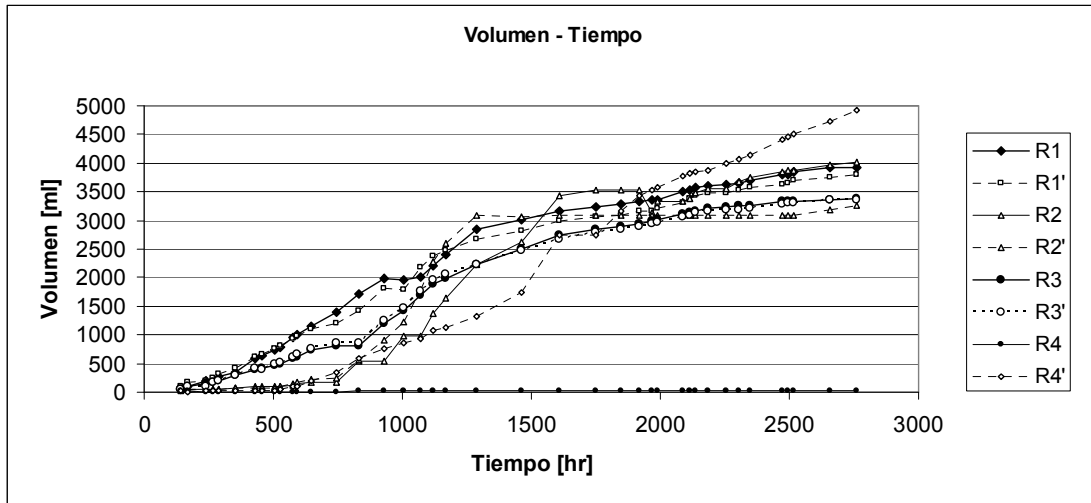


Figura 3: Variación del volumen generado en el tiempo para todos los reactores.

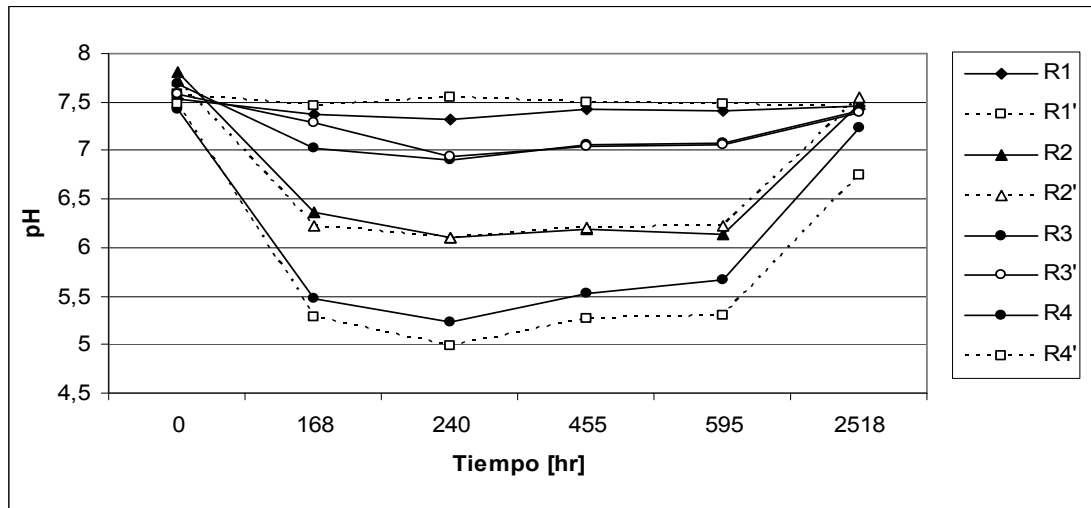


Figura 4: Variación del pH en el tiempo para todos los reactores.

CONCLUSIONES

Si bien se han concluido solamente los ensayos de la primera etapa, se pueden adelantar algunas conclusiones experimentales, por ejemplo el volumen generado en los reactores y sus duplicados tienen tendencias semejantes, con la excepción del reactor 4 (R4) que no generó biogás.

Se presentan los resultados para casi 4 meses de ensayos, pero interesa fundamentalmente la evolución de los primeros 10 días, donde se ve claramente que la producción de biogás sigue un orden, desde el que más genera, reactor 1, (R₁ y R₁'), reactor 3, (R₃ y R₃'), reactor 2, (R₂ y R₂'), reactor 4, (R₄ y R₄'), con lo que podemos concluir en forma preliminar sobre la importancia que tiene la cantidad de barro fresco que se alimenta (la mitad de la carga para el caso de los reactores 1 y 1'), y la evolución del pH (particularmente manipulado mediante el agregado o no de azúcar, ya que en los reactores 1 y 3 no se le agregó azúcar).

Los catalizadores ensayados no mostraron diferencias significativas en las variables medidas actualmente, aunque no se descarta su posible influencia en la calidad del biogás (incidencia en la generación de AGV, ácidos grasos volátiles como precursores del biogás). Con el nivel de experimentos actual, no se puede concluir todavía respecto a la influencia de la temperatura.

REFERENCIAS

- Campaña H. (2004). Anaerobic Digestion of Activated Sludges from Wastewaters. Industrial-Organic Agriculture cooperation – 1^o part : Laboratory stage” – 10th World Congress Anaerobic Digestion – IWA NRC CNRC – Montreal-Canadá.
- Campaña H., Benedetti P., Prieto A., Linquiman P. (2006). Producción de Biogás a partir del exceso de barros del tratamiento de efluentes de una maltería de cebada. XXII IACChE (CIIQ) 2006 / V CAIQ- Octubre 06.
- Campaña H., Benedetti P., Prieto A., Linquimán P. (2007). Optimización del balance energético en la estabilización de barros residuales – producción de biogas – escalas laboratorio y piloto. 2^{do} Congreso HYFUSEN – Junio 07 – Posadas – Argentina
- Campaña H., Linquiman P., Prieto A., Benedetti P.(2008) - Anaerobic Digestion of Activated Sludges from Malting Wastewaters”.- pag 195. Proceedings. Sequencing Batch Reactor Technology – 4th Conference – Universidad de la Sapienza – Roma - Italia
- Hernández A., Campaña H., Benedetti P. (2008). Aplicación del Diseño de Experimentos. Método de Taguchi a un proceso de Digestión Anaeróbica. 8^o Congreso Latinoamericano de Sociedades de Estadística (CLATSE), Montevideo, Uruguay.
- Evangelaras, H. Kolaiti, E, and Koukouvinos, C. “Robust parameter design: Optimization of combined array approach with orthogonal Arrays”. (2006). Journal of Statistical Planning and Inference. Vol. 136. Issue 10. pp. 3698-3709. 45. N^o 3. Pp 311-322.
- Fang, Kai-Tai. Lin, Denis. Winker, Peter. Zhang, Yong. (2000). Uniform design: Theory and application. Technometrics, Vol. 42. N^o 3. Pp. 237-248.
- Grove, D. M. Davis, T. P. (1991). Taguchi’s Idle Column Method. Technometrics. Vol. 33. N^o 3.
- Lewis, S. M. Dean A. M. (2001). Detection of Interactions in experiments on large numbers of factors. J. R. Statist. Soc. B. Vol. 63. Part. 4. Pp 633-672.
- Lin, Ta-Sen. Wu, Chu-Fu and Hsieh, Chien-Te. (2006). Enhancement of water-repellent performance on functional coating by using the Taguchi method. Surface and Coatings Technology, Volume 200, Issues 18-19, 8, Pp 5253-5258.
- Madaeni, S. S. and Koocheki, S. (2006). Application of Taguchi method in the optimization of wastewater treatment using spiral-wound reverse osmosis element. Chemical Engineering Journal Volume 119, Issue 1, 1, Pp 37-44.

ABSTRACT

Anaerobic treatment of wastes has been practiced for many years with different configurations and operating schemes. One such high-rate system is up flow anaerobic sludge blanket (UASB) technology operating at temperatures ranging 15- 40°C. ASBR (Anaerobic Sequence Batch Reactor) are performed, even psychrophilic level. The hybrid batch – UASB reactor was applied for high loading rates and high organic acids contents. At this stage the objective is to adjust design and operating parameters of a pilot plant unit that can work continuous (UASB) or discontinuous (ASBR). In order to optimize the experiment stage, both Laboratory and pilot plant assays, Taguchi methods for experimental design was implemented, and preliminary results of Laboratory test show some trends of the main controlling parameters, like charge relationship as design variable (organic matter to digest, mainly those of fast degradation, like sugars). Some catalysts are tested too, and pH performance is still the main control parameter the digestion process.

Keywords: biogas, anaerobic digestion, psychrophilic, stabilization, experimental design