

# Simulación de la Producción de Hidrógeno en la Estabilización Anaerobia de Lodos Residuales Secundarios

Jéssica Samanta Hernández Gutiérrez<sup>1</sup>, Gabriela Zafra Jiménez<sup>2</sup>, Mayola García Rivero<sup>2</sup>, María<sup>1</sup> Aurora Martínez Trujillo<sup>2</sup>, Sergio Esteban Vigueras Carmona<sup>2</sup>

## Resumen

**E**l objetivo del presente trabajo fue realizar la simulación de la producción de hidrógeno en un reactor de mezcla completa alimentado con lodos residuales secundarios (LRS). Para la elaboración del mismo, se utilizó el modelo matemático para la digestión anaerobia, ADM1.

La simulación de la digestión anaerobia metanogénica de LRS produce en promedio 0.21 mL H<sub>2</sub>.g-1SSV. Con la intención de aumentar la productividad del hidrógeno, se simulan dos estrategias de enriquecimiento del inóculo. En la primera se añade un microorganismo productor de hidrógeno (*Clostridium*) directamente al digester anaerobio de lodos; con ello, el rendimiento de hidrógeno se mantiene en el mismo nivel. La segunda estrategia es inhibir los grupos consumidores de azúcar (fermentación) y consumidores de hidrógeno (metanogénesis hidrogenotrófica) y enriquecer el digester con *Clostridium*, con lo cual los rendimientos de hidrógeno pueden ser hasta de 70 ml.g-1SSV.

### Acerca de los autores...

<sup>1</sup>Estudiante de la Maestría de Ingeniería Bioquímica del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE).

<sup>2</sup> Profesor(a) de la División de Ingeniería Química y Bioquímica del TESE.

**Palabras clave:** *Clostridium*, hidrógeno, digestión anaerobia, lodos residuales secundarios, enriquecimiento.

## Introducción

Los lodos residuales son generados en las etapas de sedimentación primaria, secundaria y terciaria de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y su disposición, representa 60% de los costos del presupuesto anual de operación y mantenimiento de la PTAR (Cacho Rivero y Suidan, 2006). En México más de 90% de los lodos residuales no son tratados, lo que implica que alrededor de 3,195 t peso seco/d de lodos residuales sin tratamiento se devuelven al alcantarillado y a las corrientes de agua, lo que representa, sin lugar a duda, un problema ambiental y de salud pública (Vigueras, 2011).



La estabilización de los lodos residuales se realiza principalmente por digestión anaerobia con producción de metano y bióxido de carbono. Sin embargo, esta tecnología está siendo actualmente cuestionada, debido a que el CH<sub>4</sub> y el CO<sub>2</sub> son gases de efecto invernadero. Aunque en países desarrollados el metano es aprovechado para generar energía calorífica y eléctrica, que es utilizada para cubrir los requerimientos energéticos de la PTAR; en países no desarrollados, el metano es quemado en las antorchas de las PTAR y en muchos casos el biogás producido es venteado a la atmósfera sin tratamiento.

Una transformación tecnológica que se ha explorado en los últimos años es la estabilización de lodos residuales con producción de hidrógeno (Cooney y col., 2007, Ting y Lee, 2007), ya que el hidrógeno es considerado un combustible amigable con el ambiente, porque su combustión genera emisiones libres de carbono, sulfuro y NO<sub>x</sub>, además, tiene un rendimiento energético de 120 kJ.g<sup>-1</sup>, lo que representa una capacidad 2.75 veces mayor que la de los carburantes fósiles (Das y col., 2007).

Todas estas bondades están provocando que se destinen cada vez más recursos financieros y humanos en la adaptación, desarrollo e investigación de tecnología que permita la estabilización de lodos residuales con producción de hidrógeno como combustible sustituto del metano.

La digestión anaerobia de lodos residuales es un proceso complejo, debido a que suceden una serie de reacciones interconectadas que son controladas por diferentes grupos microbianos que crecen a velocidades distintas, y los productos intermediarios de algunos grupos microbianos inhiben el consumo de otros productos intermediarios. Así que optimizar el proceso es un trabajo de ingeniería arduo, que implica altos costos de investigación.

Por este motivo, los estudios de producción de hidrógeno por digestión anaerobia han empezado a realizarse con simulación en computadora. La simulación es una herramienta con un costo relativamente bajo, que permite

describir el comportamiento de procesos bioquímicos a través de modelos matemáticos. La simulación de procesos a nivel mundial se ha desenvuelto a pasos agigantados, principalmente debido a computadoras con procesadores de mayor velocidad, a interfaces gráficas que facilitan el manejo de gráficos, al almacenamiento de gran cantidad de datos, la aplicación de lenguajes de programación estructurados que facilitan que con pocas sentencias se realicen de forma más eficiente las soluciones de sistemas de ecuaciones (García y col., 2008).

El ADM1 es un modelo matemático para la digestión anaerobia que fue desarrollado con la intención de generalizar el uso de simuladores para el estudio de la anaerobiosis. El modelo se implementa con ecuaciones diferenciales y algebraicas, donde existen 26 variables de concentración en estado dinámico, y ocho variables implícitas por reactor o elemento de reactor.

El objetivo de este trabajo es simular la producción de hidrógeno durante la estabilización de lodos residuales secundarios, con la intención de generar estrategias de arranque y operación de los digestores anaerobios de LRS.

## **El hidrógeno, la electrólisis del agua, y los procesos biológicos**

Dentro de los procesos de producción biológica de hidrógeno, la fotofermentación y la fermentación son los económicamente factibles (Levin y col., 2004). Los procesos de fotofermentación son llevados a cabo por microorganismos fotosintéticos, tales como algas y cianobacterias, los cuales producen el hidrógeno desde ácidos orgánicos y agua, utilizando la luz solar. Estos procesos pueden ser considerados como los más económicos, pero sólo operan durante el día. Además, la producción de oxígeno durante el proceso puede hacer decrecer la eficiencia de producción de hidrógeno (Kim y col., 2004). Por el contrario, la fermentación, llevada a cabo por microorganismos anaerobios, produce altos niveles de hidrógeno y su realización es independiente de la luz solar (Chen y col., 2005, Kotay y Das 2007).

La aportación de nuevas investigaciones y avances para viabilizar la producción de hidrógeno en la matriz energética mundial ha revelado que la biomasa es una de las fuentes más antiguas y prometedoras como fuente de energía, ésta incluye a los desechos orgánicos de origen animal, residuos agrícolas e industriales y aguas y lodos residuales que podrían ser utilizados para la generación de biocombustibles (Antonopoulou y col., 2008).

## **Metodología**

En la simulación del proceso se utilizó el modelo matemático para la digestión anaerobia, ADM1 (Bastone y col. 2002). Al modelo se le adicionaron las ecuaciones correspondientes para integrar al *Clostridium* como grupo microbiano generador de hidrógeno.

El modelo ADM1 es resuelto con el programa de computadora Polymath 5.1, que utiliza el algoritmo Runge Kutta 4. Las variables del modelo se agruparon en variables de rendimiento, de velocidad de crecimiento microbiano y de consumo de sustrato. Los valores iniciales de las variables de rendimiento fueron obtenidos a partir de la estequiometría de la reacción y se determinaron las fracciones máxicas de rendimiento producto/sustrato y biomasa/sustrato. Para las variables de velocidad, se utilizaron los valores propuestos en el reporte del grupo de trabajo del modelo ADM1 de la IWA. Las variables para

*Clostridium* fueron calculadas a partir de los resultados publicados en trabajos de investigación previos, en donde, este microorganismo es utilizado para la producción de hidrógeno a partir de diferentes sustratos y condiciones de operación (Mu y col., 2006).

## Resultados

Según los resultados publicados por Zhagz y col. (2006), las bacterias hidrogénicas pueden lograr hasta un 72% de consumo de azúcares, en condiciones ambientales similares a las que existen en la DA de LRS. Este hecho significa que el enriquecimiento del inóculo anaerobio con bacterias productoras de hidrógeno, como por ejemplo *Clostridium*, podría favorecer el consumo de azúcar soluble con producción de hidrógeno. Para simular este evento, se requiere conocer la estequiometría de la reacción y los parámetros cinéticos asociados al crecimiento de *Clostridium*. La reacción estequiométrica puede ser representada por la ecuación 1.



Ec. 1

A partir de esta expresión, se calculan los rendimientos máxicos de la hidrólisis de azúcares por *Clostridium*, Tabla 1.

Costante	Descripción	Valor	Unidades
$Y_{suH}$	Rendimiento máxico	0.0777	$g X_{clos} g^{-1} su$
$F_{acsuH_2}$	acetato a partir de azúcares para la obtención de hidrógeno	0.3703	$g ac g^{-1} su$
$F_{busuH_2}$	butirato a partir de azúcares para la obtención de hidrógeno	0.2716	$g bu g^{-1} su$
$F_{H_2su}$	hidrógeno por azúcares	0.0231	$g H_2 g^{-1} su$
$F_{icsuH_2}$	$CO_2$ a partir de azúcares para la obtención de hidrógeno	0.391	$g CO_2 g^{-1} su$

**Tabla 1**

Relación producto sustrato para la hidrólisis de azúcares solubles por *Clostridium sp.*

Para evaluar el consumo de azucares por *Clostridium sp.*, se utiliza la Ecuación 2.

$$\frac{d(Ssu)}{d(t)} = (D(Ssuo - Ssu)) + (k_{hyd} * X_{ch}) + ((1 - F_{fali}) * k_{hyd} * X_{li}) - \left( \left( k_{msu} \left( \frac{Ssu}{K_{ssu} + Ssu} \right) X_{su} * I1 \right) - \left( \left( k_{msuH} \left( \frac{Ssu}{K_{ssuH} + Ssu} \right) X_{clos} * I1H \right) \right) \right)$$

Ec. 2

en donde  $K_{msuH}$  es la velocidad máxima de consumo de azúcar soluble por *Clostridium sp* en  $g^{-1}X_{clos} d^{-1}$ ,  $K_{ssuH}$  es la constante de saturación para

azúcar soluble, debido a *Clostridium sp*, I1H es el factor de inhibición debido a cambios de pH y concentración de amoníaco, para *Clostridium sp*. Con el fin de conseguir los valores de  $K_{msuH}$  y  $K_{ssuH}$  se utilizaron los datos publicados por Mu y col., (2006), ellos obtienen la pendiente y ordenada al origen del inverso de la velocidad de consumo de glucosa, contra el inverso de la concentración de glucosa inicial, para un inóculo anaerobio enriquecido con bacterias hidrogénicas.

$$\frac{1}{V} = 48.3 \frac{1}{S} + 3.58$$

La pendiente representa el cociente de  $K_{ssuH}/K_{msuH}$  y la ordenada al origen representa  $1/K_{msuH}$ , por lo tanto, los valores utilizados en la simulación son  $K_{msuH} = 6.7 \text{ gSu g}^{-1} \text{ Xclos d}^{-1}$  y  $K_{ssuH} = 13.5 \text{ g. su L}^{-1}$

El crecimiento de *Clostridium sp* ( $X_{clos}$ ) es simulado utilizando la ecuación (3)

$$\frac{d(X_{clos})}{d(t)} = (D(X_{clos0} - X_{clos})) + \left( (Y_{suH} * k_{msuH}) * \left( \left( \frac{Ssu}{(K_{ssuH} + Ssu)} \right) X_{clos} * I1H \right) \right)$$

Ec. 3

En donde  $X_{clos0}$  es la concentración inicial de *Clostridium sp* en g.L-1,  $Y_{suH}$  es el rendimiento biomasa sustrato para *Clostridium sp* en  $\text{g}_{X_{clos}} \text{ g}^{-1} \text{ su}$ . Los productos de la hidrólisis de azúcares por *Clostridium sp* son acetato, butirato, bióxido de carbono e hidrógeno, este último se simula utilizando las ecuaciones 4, 5, 6 y 7

$$\frac{d(SH_2)}{d(t)} = (D(SH_{20} - SH_2)) + (FH_{su} * k_{msuH} * \left( \frac{Ssu}{(K_{ssuH} + Ssu)} \right) * X_{clos} * I1H)$$

Ec. 4

$$\frac{d(Sbu)}{d(t)} = (D(Sbu_0 - Sbu)) + \left( F_{busu} * k_{msu} * \left( \frac{Ssu}{(K_{ssu} + Ssu)} \right) * X_{su} * I1 \right) + \left( F_{busuH2} * k_{msuH} * \left( \frac{Ssu}{(K_{ssuH} + Ssu)} \right) * X_{clos} * I1H \right)$$

Ec. 5

$$\frac{d(Sac)}{d(t)} = (D(Sac_0 - Sac)) + (F_{acsu} * k_{msu} * \left( \frac{Ssu}{(K_{ssu} + Ssu)} \right) * X_{su} * I1) + (F_{acsuH2} * k_{msuH} * \left( \frac{Ssu}{(K_{ssuH} + Ssu)} \right) * X_{clos} * I1H)$$

$$\frac{d(Sic)}{d(t)} = (D(Sic_0 - Sic)) + (F_{icsu} * k_{msu} * \left( \frac{Ssu}{(K_{ssu} + Ssu)} \right) * X_{su} * I1)$$

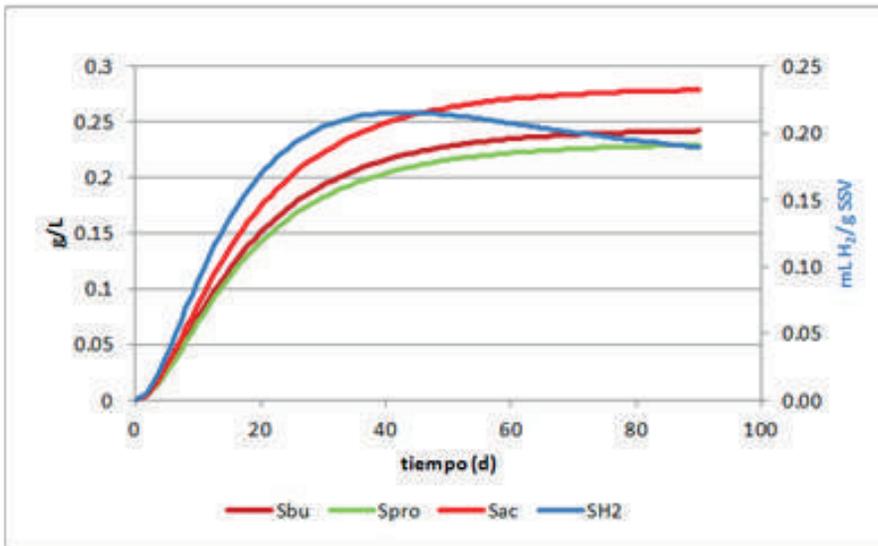
Ec. 6

$$\left( F_{icsuH} * k_{msuH} * \left( \frac{Ssu}{(K_{ssuH} + Ssu)} \right) * X_{clos} * I1H \right)$$

Ec. 7

En donde:  $S_{H_2O}$  y  $S_{H_2}$  es la concentración de oxígeno soluble (g.L-1) a la entrada y la salida respectivamente.

La Figura 1 muestra la simulación para el consumo de azúcares, incluyendo los dos grupos microbianos consumidores de éstos: los fermentadores ( $X_{Su0} = 0.0285$  g.L-1 y las fermentadoras hidrogénicas ( $X_{Closo} = 0.12$  g.L-1). La simulación se realiza a 90 días de operación con un TRH de 30 días y con inhibición de la metanogénesis. En la gráfica se observa que la concentración de  $H_2$  alcanza su máximo valor a los 43 días de iniciado el proceso, este valor 0.215 mL  $H_2$ .g SSV-1 (como lodo crudo) se encuentra en el orden de magnitud del reportado por Xiao y col. (2009), cuando utilizan lodos residuales crudos como sustrato e inóculo (0.25 mL  $H_2$ .g-1 SSV). Sin embargo, este valor es 100 órdenes de magnitud menor al reportado para fermentación de azúcares con producción de hidrógeno (Fang y col., 2002, Chen y col., 2006)

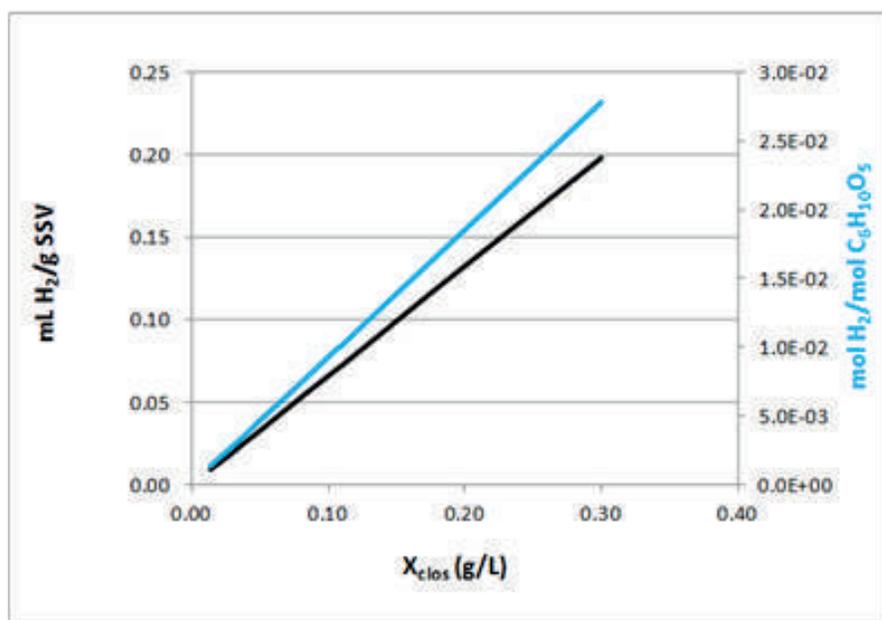


**Figura 1**

Simulación de la hidrólisis de azúcares en la DA de LRS para un inóculo enriquecido con *Clostridium sp.*



Una de las estrategias para el enriquecimiento del cultivo es inocular el reactor con bacterias hidrogénicas. En la Figura 2 se muestra la simulación de un cultivo enriquecido con *Clostridium sp.* con diferente concentración inicial de éste y con una concentración inicial de bacterias fermentadoras  $X_{su}$  de 0.0285g.L-1, estas bacterias están presentes en los consorcios utilizados para la DA de LRS.



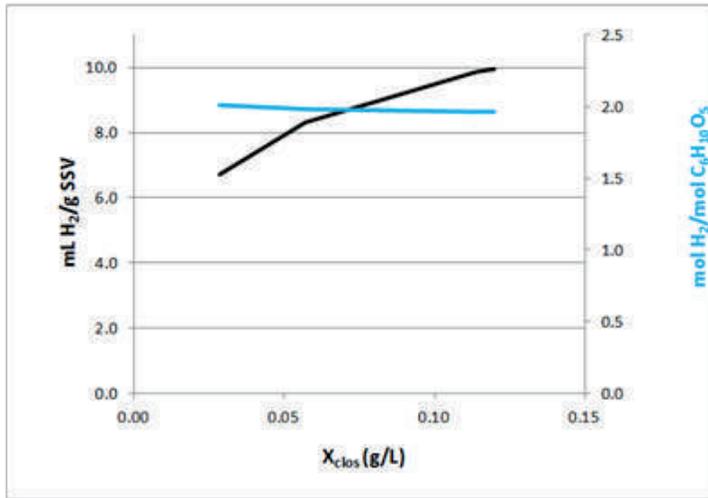
**Figura 2**

Producción molar de hidrógeno con diferentes concentraciones iniciales de *Clostridium sp.*

Se observa que la producción de hidrógeno aumenta al incrementarse la concentración de *Clostridium sp.*, sin embargo, los valores de producción no tienen un incremento significativo, ya que el rendimiento de producción molar de hidrógeno por mol de sustrato es 100 veces menor que el estequiométrico (reportado entre 2 y 4 mol H<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> sustrato). Aparentemente el problema aquí no está relacionado al consumo de sustrato, ya que el rendimiento de consumo de azúcar en la simulación es mayor a 99%, lo que implica que los azúcares se transforman principalmente a ácidos grasos volátiles sin producción de hidrógeno.

Otra estrategia para enriquecer los digestores anaerobios de lodos residuales para la producción de hidrógeno es la inhibición de los grupos microbianos presentes en los consorcios para la estabilización de lodos residuales y la promoción de las bacterias productoras de hidrógeno. Esto se logra utilizando varias técnicas, las dos más utilizadas son: tratamiento del lodo a bajos valores de pH (< 3.0) y aumento de la temperatura (>90 °C). En estas técnicas se aprovecha que bacterias como *Clostridium sp.* pueden formar endoesporas, y se utiliza como criterio de selección, ya que las endoesporas tienen estructuras de pared más complejas, en comparación con las células vegetativas, lo que las hace resistentes al calor, a bajos porcentajes de humedad, radiación, ácidos y desinfectantes químicos.

En la Figura 3 se muestra la simulación utilizando lodo residual tratado enriquecido con *Clostridium sp.* En este proceso se asume que las bacterias fermentadoras ( $X_{su}$ ) han sido eliminadas del LRS. Se observa que el rendimiento molar de producción de hidrógeno aumenta considerablemente en comparación del proceso en donde están presentes las  $X_{su}$ .

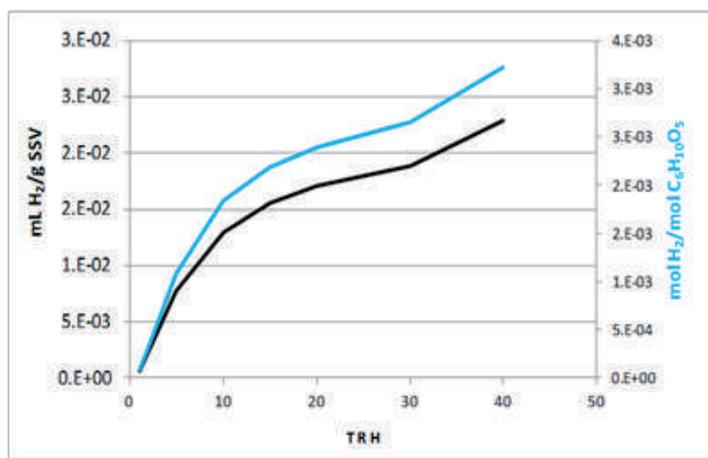


**Figura 3**

Simulación de la producción de hidrógeno en la DA de LRS con diferentes concentraciones de inóculo enriquecido con *Clostridium sp.*, sin bacterias fermentadoras ( $X_{su}$ )

En este proceso, se logran rendimientos en el orden de magnitud reportado en varios estudios. El valor en la simulación es de alrededor de 2 mol H<sub>2</sub>.mol<sup>-1</sup> azúcar. La producción volumétrica de hidrógeno también se incrementa hasta 10 mL H<sub>2</sub>.g<sup>-1</sup> SSV; este valor está en el orden de magnitud reportado por Xiao y col. (2009) cuando utiliza lodo esterilizado como inóculo y sustrato (11.77 mL H<sub>2</sub>.g<sup>-1</sup> SSV), y por el encontrado por Cheng y col. (2002) cuando utiliza lodo tratado térmicamente (11.54 mL H<sub>2</sub>.g<sup>-1</sup> SSV).

El tiempo de retención es un parámetro de operación que influye en la eficiencia de la digestión anaerobia de lodos residuales secundarios; en la Figura 4, se observa su efecto en la producción de hidrógeno en presencia de bacterias fermentadoras ( $X_{su0} = 0.0285$  g.L<sup>-1</sup>) y *Clostridium sp.* ( $X_{clos0} = 0.285$  g.L<sup>-1</sup>), donde que el tiempo de retención, bajo esta circunstancia, no provoca cambios significativos en los rendimientos molares de producción de hidrógeno, es decir, la bacterias fermentadoras son quienes consumen en mayor proporción el azúcar presente.



**Figura 4**

Simulación de la producción de hidrógeno en la DA de LRS a diferentes tiempos de retención hidráulica con concentraciones iniciales de  $X_{su}$  y  $X_{clos}$  iguales (0.0285 g L<sup>-1</sup>)

La Figura 5 muestra la simulación a diferentes tiempos de retención hidráulica sin presencia de bacterias fermentadoras ( $X_{su}$ ) y con una concentración inicial de  $X_{clos} = 0.0285$  g.L<sup>-1</sup>. Se observa que a tiempos de retención hidráulica

## Referencias

1. Valdez-Vázquez I, Poggi Varaldo H M. Hydrogen production by fermentative consortia. *Renewable and sustainable energy reviews*; 2009; 13; 1000-1013.
2. Levin D., Slam R., Cicek N., Sparling R. 2006. Hydrogen production by *Clostridium thermocellum* 27405 from cellulosic biomass substrate. *International Journal of Hydrogen Energy*. 31: 1496-1503.
3. Kim, S.H., Han, S.K., Shin, H.S., 2004. Feasibility of biohydrogen production by anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge. *Int. J. Hydrogen Energy* 29, 1607-1616.
4. Chen DY, Hansen CL (2006). Acidogenesis characteristics of natural, mixed anaerobes converting carbohydrate-rich synthetic wastewater to hydrogen. *Process Biochem* 41(8):1736-17455.
5. Kotay Shireen Meher, Das Debabrata. 2007. Microbial hydrogen production with *Bacillus coagulans* IIT-B T S1 isolated from anaerobic sewage sludge. *Bioresource Technology*. 1183-1190.
6. Antonopoulou G., Gavala H. N., Skiadas I. V., Angelopoulos K., Lyberatos G., 2008. Biofuels generation from sweet sorghum: Fermentative hydrogen production and anaerobic digestion of the remaining biomass. *Bioresour Technol*. 99; 110-119.
7. Cacho Rivero J. A., Suidan M.T. (2006) Effect of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dose on the thermo-oxidative co-treatment with Anaerobic digestion of excess municipal sludge. *Water Science & Technology* 54, (2), 253-259
8. Viguera S.E., Ramírez F., Noyola A., Monroy O. 2011. Effect of thermal pretreatment on the anaerobic digestion of wasted activated sludge. *Water Science & Technology* 64 (4) 953-959
9. Cooney M., Nathan M., Cannizzaro C., Benemann J. 2007. Two-phase anaerobic digestion for production of hydrogen-methane mixtures. *Bioresource Technology* 98 (2007) 2641-2651
10. Ting C., Lee D. 2007. Production of hydrogen and methane from wastewater sludge using anaerobic fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy* 32 (2007) 677-682
11. García G. Juan Manuel, Ibarra Castro Pablo, Félix Flores Ma. Guadalupe, Ríos Moreno Gustavo. 2008. La simulación de procesos en ingeniería química. *Revista Investigación Científica*. 4: No. 2, Nueva época.
12. Bastone D. J., Keller J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi S., Pavlostathis S. G., Rozzi A., Sanders W. T., Siegrist H., Vavilin V.A. 2002. Anaerobic Digestion Model No. 1. International Water Association (IWA) Publisher, London. 77 p
13. Mu S. J., Zeng Y., Wu P., Lou S. J., Tartakovsky B. 2006. Anaerobic digestion model no. 1-based distributed parameter model of an anaerobic reactor: 1. Model development. *Bioresource Technology* 99: 3665-3675.
14. Fang, H.H.P. y Liu, H. (2002). Effect of pH on hydrogen production from glucose by a mixed culture. *Bioresource Technology*, 82 (1), 87-93.

mayores a 20 d tiene rendimientos molares de producción de hidrógeno mayores a 1.5 mol H<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> azúcar. A tiempos menores, los rendimientos bajan, debido principalmente a la disminución de la concentración de azúcar, provocado por la disminución en la hidrólisis de SSV; la eficiencia de remoción de SSV es de 54% a 30 días de tiempo de retención y 3% para un día de tiempo de retención.

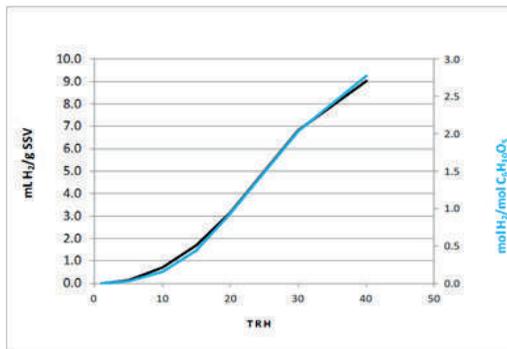


Figura 5

Simulación de la producción de hidrógeno en la DA de LRS a diferentes tiempos de retención hidráulica sin Xsu y con XClo de 0.0285 g.L<sup>-1</sup>

La Figura 6 muestra la simulación para la DA de LRS. La simulación se realiza a 90 días de operación con un TRH de 30 días, con X<sub>clo</sub> = 0.12 g.L<sup>-1</sup> y X<sub>su</sub> = 0. Aquí se simula la hidrólisis con acumulación de AGV, es decir, no se incluye acetogénesis ni metanogénesis. La productividad aumenta de 22 mL H<sub>2</sub>.g<sup>-1</sup>SSV a 65 mL H<sub>2</sub>.g<sup>-1</sup>SSV.

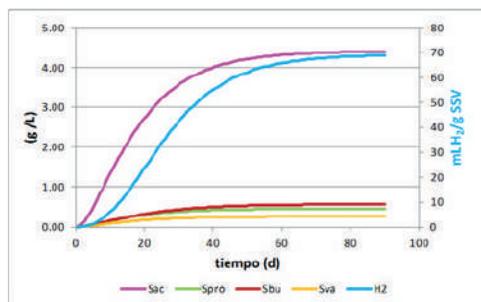


Figura 6

Simulación de DA de LRS, con enriquecimiento de *Clostridium sp.* e inhibición de bacterias fermentadoras de azúcares y metanogénesis.

## Conclusión

La simulación de la producción de hidrógeno permitió definir que el enriquecimiento hidrogénico de un reactor anaerobio para la estabilización de lodos residuales secundarios, debe estar acompañado de la eliminación de las bacterias fermentadoras de azúcares y las metanogénicas hidrogenotróficas y acetoclastas. La inhibición de los grupos metanogénicos y fermentadores se logra si los lodos residuales son sometidos a pretratamientos mecánicos, químicos o térmicos.



# El Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

Te invita a participar en los:



# Cursos y Diplomados

## de Educación Continua

### PARA INICIAR EN NOVIEMBRE-DICIEMBRE 2012

- Manejo Básico de Excel.
- C#.Net.
- Mantenimiento a PC Avanzado.
- AutoCAD Avanzado.
- Asp.Net.
- Manejo Inteligente de Excel.
- Álgebra.
- Programación en C++.
- Introducción a la Administración Profesional de Proyectos.
- Micro Controladores Pic's.
- Calculo Diferencial e Integral.
- Solid Works Básico.
- Programación Web con PHP y MySQL.
- Informática Fiscal 2012.

### OTRAS OPCIONES

- Autocad Básico.
- Fundamentos de Seguridad en Redes.
- Seis Sigma.
- Core Tools.
- Oracle.
- Mantenimiento a PC Básico.
- SQL Server Básico y Avanzado.
- Análisis de Tráfico de Redes.
- Lean Manufacturing.
- Seguridad e Higiene Industrial.
- Visual Basic.Net.
- Mando por PLC' S-7.
- Planeación Avanzada de la Calidad APQP.
- Paquetes Contables.
- Curso Básico de Computación
  
- Diplomado en Java
- Diplomado en Redes Lan y Wan.

Cursos y diplomados sujetos a demanda; nos reservamos el derecho de reprogramación o cancelación.

◆ **Armamos cursos a la medida de tus necesidades** ◆

**Informes e Inscripciones:**  
CENTRO DE  
EDUCACIÓN CONTINUA  
5000-2364 y 5000 2365  
e-mail:  
educontese@gmail.com

**Horario de atención:**  
Lunes a viernes  
de 9:00 a 15:00 horas y  
de 16:00 a 18:00 horas.  
Sabados de  
10:00 a 13:00 horas.

**Dirección:**  
Av. Tecnológico s/n  
Col. Valle de Anáhuac,  
Ecatepec de Morelos,  
Estado de México.  
(entre las estaciones Múzquiz y  
Ecatepec de la Línea B del Metro)

**ATENCIÓN**  
Si tienes experiencia como  
instructor y te interesa  
participar con nosotros,  
**!!!CONTÁCTANOS!!!**



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

