

# CINETICA DEL PROCESO DE BIOMETANIZACION EN REACTORES TIPO GAS-LIFT

Gloria del C. Plaza\* y Verónica Rajal†

INENCO

(Instituto de Investigaciones  
en Energía No Convencional)  
Buenos Aires 177 - 4400 SALTA  
ARGENTINA

## RESUMEN

Se encaró el estudio cinético del tratamiento anaeróbico de desechos orgánicos en un reactor del tipo *gas-lift* de 6 litros de capacidad. Los datos experimentales corresponden a la digestión anaeróbica de cargas discontinuas de estiércol vacuno y desechos de tomate.

A través de la aplicación de un modelo de primer orden [1, 2] para la producción de biogas, se obtuvieron los valores de los parámetros cinéticos  $t_0$ , tiempo requerido para el inicio de la digestión y  $k$ , constante cinética de cada caso estudiado.

El modelo cinético de primer orden empleado representa una herramienta necesaria para predecir la producción de biogas a escala piloto e industrial.

## 1 INTRODUCCION.

Recientes estudios demostraron las ventajas del tratamiento anaeróbico de desechos orgánicos, lo que condujo a varias instalaciones a escala industrial. Estas ventajas conciernen particularmente a la formación de metano como fuente valiosa de energía y a una baja producción de biomasa aplicable como bioabono.

La proyección a escala comercial implica un aumento de interés en el modelado de estos procesos. Un modelo cinético de un proceso fermentativo es de fundamental importancia, para un adecuado dimensionamiento de los sistemas de reacción.

Efectuar un estudio cinético de un dado fenómeno o proceso, implica estudiar su evolución en el tiempo. Para ello es necesario cuantificar la concentración de microorganismos presentes, la concentración de sustrato limitante del proceso y la concentración de producto.

A diferencia de las reacciones químicas ordinarias para las cuales sólo se necesita determinar las concentraciones de reactivos y productos, en un proceso biológico la situación es muy complicada, ya que los agentes activos que promueven los cambios que se observan son los microorganismos presentes que sintetizan complejos enzimáticos de acuerdo a las condiciones del medio.

---

\*INENCO. UNSa-CONICET

†Becario CONICET

La situación se complica aún más, cuando se trabaja con cultivos mixtos como es el caso de los procesos biológicos de tratamiento de residuos.

Algunos autores postulan la cuantificación temporal de los complejos enzimáticos presentes, como así también de sus actividades, procedimiento aún no viable, dada la falta de metodología analítica adecuada.

## 2 TEORIA. MODELO DE PRIMER ORDEN.

Considerando que la velocidad de remoción de sustrato es proporcional a su concentración de sustrato, se puede plantear un modelo de primer orden:

$$\frac{dS}{dt} = -k.S \quad (1)$$

donde  $k$  es la constante cinética ( $d^{-1}$ ) y  $S$ , la concentración de sustrato ( $kg.m^{-3}$ ).

Chowdhury y Fulford [2] partieron de esta suposición para obtener los parámetros cinéticos de una serie de experiencias.

### 2.1 Sistema discontinuo.

Considerando la ec. 1 para sistema discontinuo, e integrándola entre tiempo inicial ( $t = t_0$ ) y el tiempo final ( $t = t$ ) obtenemos:

$$S = S_0.exp(-k.(t - t_0)) \quad (2)$$

donde  $S_0$  es la concentración de sustrato al tiempo  $t = t_0$ . El tiempo inicial  $t_0$  se llama tiempo de latencia y es el tiempo requerido para el inicio de la digestión. El valor de este parámetro depende de la concentración de sustrato (en este caso estiércol o desechos de tomate) y del inóculo alimentado al digester. Podemos entonces reescribir la ecuación 2:

$$\ln\left(\frac{S}{S_0}\right) = -k.t + k.t_0 \quad (3)$$

Es decir que, graficando el  $\ln(S/S_0)$  vs  $t$  se tiene una línea recta, y de allí se pueden obtener los valores de  $-k$  (la pendiente) y  $k.t_0$  (ordenada al origen).

La segunda suposición que se hace es que la producción acumulativa de gas ( $G'$ ) es proporcional a la concentración de sustrato consumido:

$$G' = C.f.V.(S_0 - S) \quad (4)$$

donde  $C$  es la constante de producción: el volumen de biogas o metano producido por unidad de masa de alimentación digerible consumida ( $m^3 kg$ ),  $f$  es la fracción digerible de la masa total alimentada y  $V$  es el volumen de trabajo del reactor ( $m^3$ ).

Sustituyendo en 4 la ecuación 2 se obtiene:

$$\frac{G}{C.f.S_0} = 1 - exp[-k.(t - t_0)] \quad (5)$$

donde  $G = G'/V$  es la producción específica de gas acumulativa ( $m^3 m^{-3}$ ).

Experiencia	ST <sub>0</sub>	SV <sub>0</sub>	DQO <sub>0</sub>	DQO <sub>f</sub>
Estiércol 1	7.5	5.2	4000.0	2400.0
Estiércol 2	6.1	4.3	25600.0	9600.0
Tomate 1	5.6	4.3	35200.0	12800.0

Tabla 1: Experiencias desarrolladas con recirculación de biogas. ST: Sólidos Totales (% p/p); SV: Sólidos Volátiles (% p/p); DQO: Demanda Química de Oxígeno (mg/l) (DQO<sub>0</sub>: DQO inicial, DQO<sub>f</sub>: DQO final)

Reordenando la ec. 5:

$$\ln\left(1 - \frac{G}{C \cdot S_{d0}}\right) = -k \cdot t + k \cdot t_0 \quad (6)$$

donde  $S_{d0} = S_0 \cdot f$  es la concentración de alimentación digerible.

Graficando  $\ln(1 - G/C \cdot S_{d0})$  vs.  $t$  se obtiene una línea recta y de allí se tienen los valores de los parámetros  $k$  (pendiente) y  $k \cdot t_0$  (ordenada al origen).

El principal inconveniente que se presenta en este punto es la medición de la concentración de sustrato, sin embargo, este valor se puede aproximar usando parámetros medibles como lo son los sólidos volátiles y la demanda química de oxígeno.

### 3 TRABAJO EXPERIMENTAL.

#### 3.1 Equipos.

Las experiencias fueron desarrolladas en dos reactores del tipo *gas-lift* de 6 litros de capacidad útil (8 litros de volumen total), cuyo diseño se discute en otro trabajo.

La temperatura de digestión de todos los ensayos considerados fue de 35 °C

#### 3.2 Procedimiento experimental.

Las experiencias realizadas se describen brevemente en la Tabla 1.

Cabe señalar que el valor de DQO de la experiencia Estiércol 1 corresponde a la fracción soluble, mientras que los restantes son valores totales, de allí las diferencias de magnitudes.

Las experiencias realizadas con estiércol vacuno duraron 29 días, mientras que la de tomate sólo 22, ya que hubo que detener la digestión debido a problemas de inhibición microbiana, con la consiguiente caída de la producción de biogas. Durante estos períodos, las mediciones se realizaron diariamente para el caso de la producción de biogas, y en períodos no regulares para la obtención de DQO y de SV.

La determinación de biogas se realizó por la medición del desplazamiento de agua acidulada contenida en un recipiente, mientras que la de DQO y SV se hicieron según normas estandares [4].

## 4 RESULTADOS Y DISCUSION.

### 4.1 Procesamiento de datos.

Los datos de volúmen diario de biogas producido, demanda química de oxígeno y sólidos volátiles obtenidos experimentalmente; se procesaron en programas desarrollados en el lenguaje Mathematica [3].

De la aplicación del programa se obtuvo el mejor ajuste para el modelo propuesto y los valores de los parámetros cinéticos  $t_0$  y  $k$  para cada ensayo.

### 4.2 Resultados experimentales.

Las Figuras 1 y 2 muestran el contraste de los datos experimentales con el modelo para la experiencia Estiércol 1.

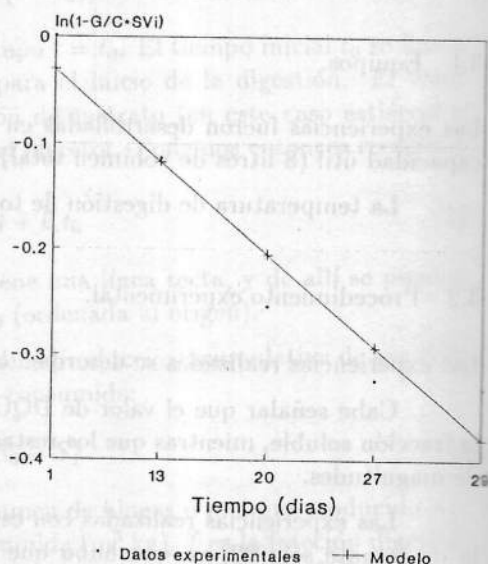
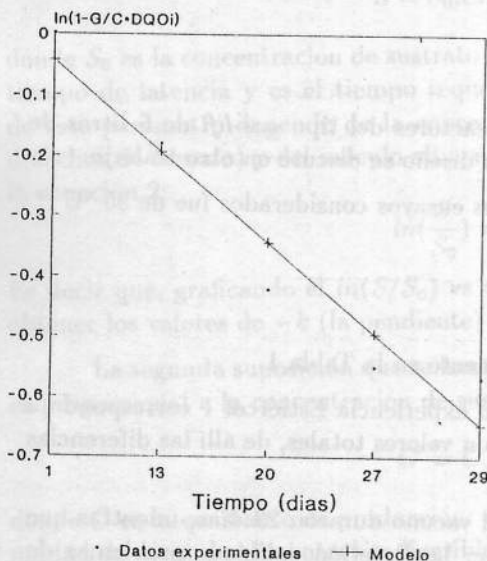


Figura 1: Demanda Química de Oxígeno.

Figura 2: Sólidos Volátiles.

Las Figuras 3 y 4 muestran el contraste de los datos experimentales con el modelo para la experiencia Estiércol 2.

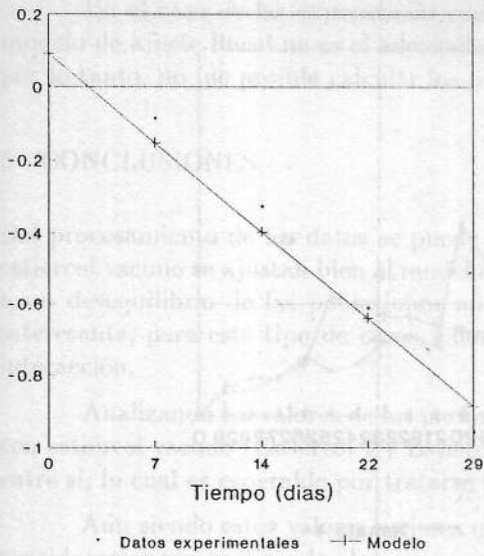


Figura 3: Demanda Química de Oxígeno.

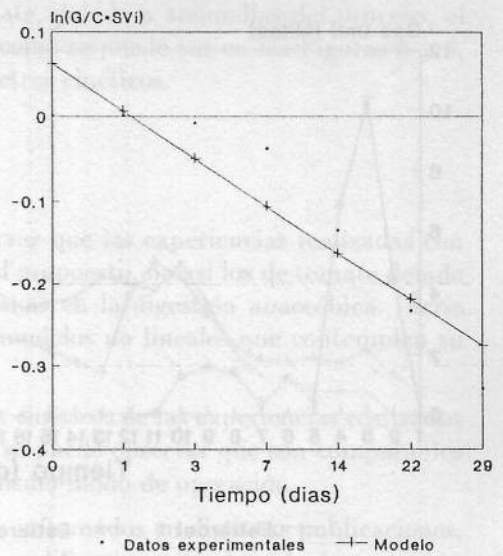


Figura 4: Sólidos Volátiles.

Las Figuras 5 y 6 muestran el contraste de los datos experimentales con el modelo para la experiencia Tomate 1. En este caso, si bien se procesaron los datos obtenidos, se observó que no se pueden ajustar linealmente según el modo de operación empleado.

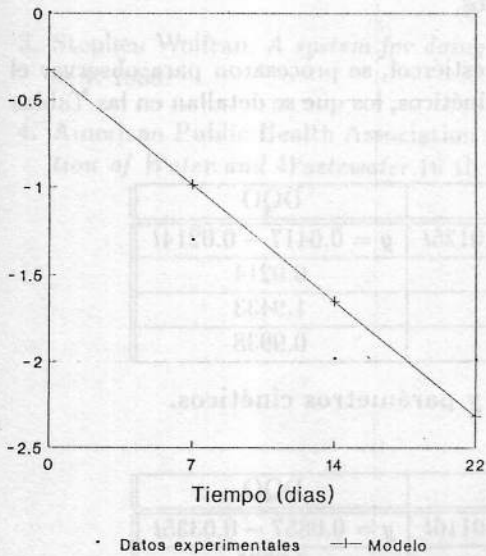


Figura 5: Demanda Química de Oxígeno.

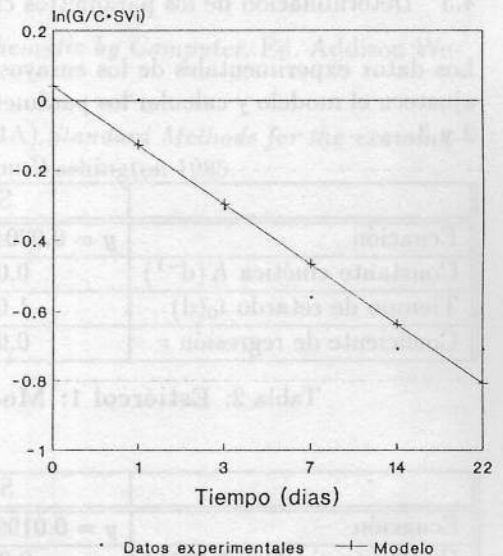


Figura 6: Sólidos Volátiles.

Los datos de la producción diaria de biogas figuran en la Figura 7. Las experiencias

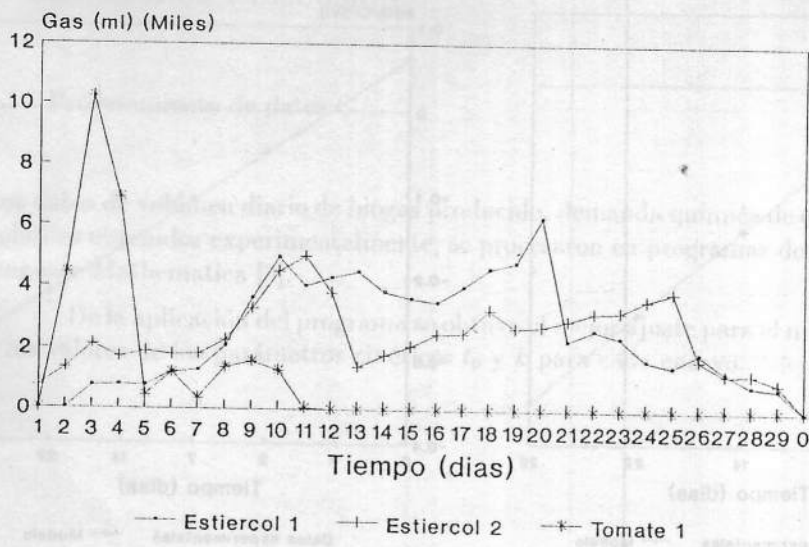


Figura 7: Producción de biogas.

realizadas con estiércol son comparables, lo que es esperable ya que se trata del mismo modo de operación. En el caso del tomate, a partir del día 13 se observa una inhibición total de la digestión anaeróbica.

#### 4.3 Determinación de los parámetros cinéticos.

Los datos experimentales de los ensayos con estiércol, se procesaron para observar el ajusten el modelo y calcular los parámetros cinéticos, los que se detallan en las Tablas 2 y 3.

	SV	DQO
Ecuación	$y = 0.0204 - 0.0125t$	$y = 0.0417 - 0.0214t$
Constante cinética $K(d^{-1})$	0.0125	0.0214
Tiempo de retardo $t_0(d)$	1.6298	1.9433
Coefficiente de regresión $r$	0.9948	0.9938

Tabla 2: Estiércol 1: Modelo y parámetros cinéticos.

	SV	DQO
Ecuación	$y = 0.0199 - 0.0116t$	$y = 0.0857 - 0.0335t$
Constante cinética $K(d^{-1})$	0.0116	0.0335
Tiempo de retardo $t_0(d)$	1.7068	2.5548
Coefficiente de regresión $r$	0.9936	0.9850

Tabla 3: Estiércol 2: Modelo y parámetros cinéticos.

En el caso de las experiencias con tomate, debido a anomalías del proceso, el modelo de ajuste lineal no es el adecuado, tal como se puede ver en las Figuras 5 y 6, por lo tanto, no fue posible calcular los parámetros cinéticos.

## 5 CONCLUSIONES.

Del procesamiento de los datos se puede observar que las experiencias realizadas con estiércol vacuno se ajustan bien al modelo lineal propuesto, no así los de tomate debido a un desequilibrio de las poblaciones microbianas en la digestión anaeróbica. Sería interesante, para este tipo de casos, plantear modelos no lineales que contemplen su interacción.

Analizando los valores de los parámetros cinéticos de las experiencias realizadas con estiércol vacuno (Estiércol 1 y Estiércol 2) se puede observar que son comparables entre sí, lo cual es esperable por tratarse del mismo modo de operación.

Aún siendo estos valores mejores que los informados en distintas publicaciones, consideramos que realizando algunas pequeñas modificaciones en el modo de operación del sistema se pueden mejorar más.

## REFERENCIAS

1. Y. R. Chen y A. G. Hashimoto. *Kinetics of methane fermentation*. Biotech. and Bioeng. Symposium, 8: 269-282, 1978.
2. R. B. S. Chowdhury y D. J. Fulford. *Renewable Energy*. Vol. 2, No. 475, pp. 391-400, 1992.
3. Stephen Wolfran. *A system for doing Mathematic by Computer*. Ed. Addison Wesley. 1988.
4. American Public Health Association (APHA). *Standard Methods for the examination of Water and Wastewater*. 16 th edition. Washington. 1985.

El tomate, por ser un fruto estacional y perecedero, debe ser comercializado dentro de los diez días posteriores a su cosecha, pasando este período mínimo al campo de descomposición y por ende su valor económico. A pesar de las buenas características del Mercado, cuya demanda generalmente varía en forma inversa a la producción, existen en ciertos períodos el precio del producto no cubre los costos de producción, vendiendo el fruto sin comercializar. En análisis de caso, éste pasa a aumentar considerablemente la cantidad de desechos agrícolas de la región, superando en la cosecha 1992 los 4.000 tn solo en la ciudad de Apolobato Saravia.

Todos estos desechos son fuentes de contaminación al medio por la gran cantidad de su descomposición en el ambiente, considerando además, el interés de recuperar la energía de 75% restante en la biomasa [1].

El interés del tratamiento, movimiento de desechos sólidos creció en la última década debido a las diversas ventajas frente a otros tratamientos.