

# MODELAMIENTO DE LA BIODEGRADACION DE SISTEMAS ACUOSOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

Medina Moreno S.A; López Isunza F\*; Huerta Ochoa S; Gutiérrez Rojas M.

Departamento de Biotecnología y \*Departamento de Procesos e Ingeniería Hidráulica. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, Iztapalapa 09340 México, D.F. Tel. (525) 804 6505; FAX (525) 804.4712.

e-mail: mgr@xanum.uam.mx

Palabras clave: modelo matemático, cinética microbiana y transporte

**Introducción.** Los derrames de hidrocarburos en sistemas acuosos han originado problemas de contaminación graves (1). Recientemente han surgido nuevas tecnologías para el biotratamiento de estos sistemas (2,3). La comprensión de los mecanismos involucrados podrá permitir una adecuada aplicación de las tecnologías de biorremediación. El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un modelo dinámico capaz de predecir y describir la biodegradación de hidrocarburos en fase acuosa. El modelo fue desarrollado basándose en procesos de cinética microbiana y transporte de masa interfacial.

**Modelo.** Las ecuaciones que describen el modelo son:

$$\frac{dc_H}{dt} = k_{LA} a_H (c_H^* - c_H) - \mu X$$

$$\frac{dc_{O_2}}{dt} = k_{LO_2} a_{O_2} (c_{O_2}^* - c_{O_2}) - \frac{\mu X}{Y_{X/O_2}}$$

$$\frac{dc_{CO_2}}{dt} = \frac{\mu X}{Y_{CO_2/X}}$$

$$\frac{dx}{dt} = \mu X - m X$$

$$\frac{dc_{sol}}{dt} = Y_{sol/X} \mu X - cte \text{ cinética producto}$$

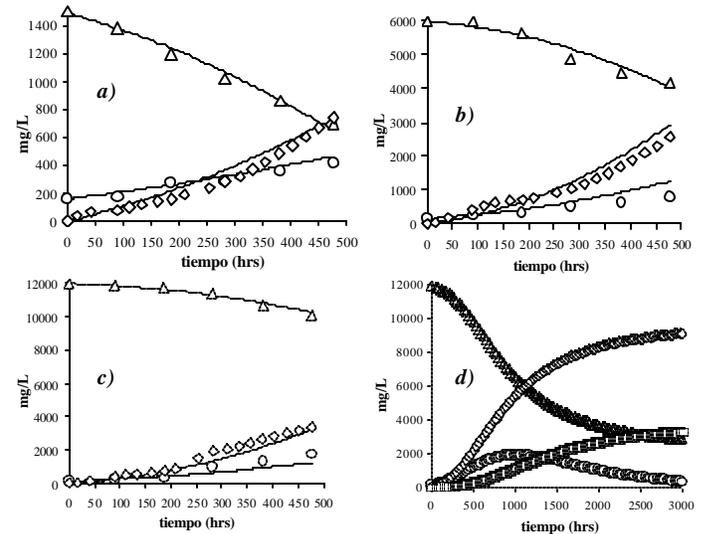
Las suposiciones del modelo fueron: i) sistema aerobio de mezclado ideal; ii) transporte interfacial de hidrocarburos totales del petróleo (HTP) y O<sub>2</sub>, de la fase no acuosa (FNA) y gaseosa (FG) respectivamente a la fase acuosa (FA); iii) consumo de HTP por los microorganismos únicamente en la FA e inhibición por sustrato y producto; iv) se consideraron los HTP y O<sub>2</sub> como sustratos limitantes; v) los productos de la biodegradación son los compuestos solubles formados, el CO<sub>2</sub> producido y la biomasa. Los valores y definición de variables y parámetros se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Definición de las variables y parámetros del modelo.

$c_H$ HTP (FNA) inmersos en FA (mg/L)	$\mu_{max}$ tasa max crec. (0.07-0.11 h <sup>-1</sup> )
$c_H^*$ HTP equilibrio en la interfase (10 mg/L)	$k_{LA}$ coef transf. masa HTP (100 h <sup>-1</sup> )
$c_L$ HTP soluble en FA (mg/L); t=0; $c_L=0$	$k_{LO_2}$ coef transf. masa O <sub>2</sub> (300 h <sup>-1</sup> )
$x$ biomasa en FA (mg/L); t=0; $X=162$	$K_H$ cte afinidad HTP (1 mg/L)
$c_{O_2}$ O <sub>2</sub> soluble en FA (mg/L); t=0; $c_{O_2}=0$	$K_{O_2}$ cte afinidad O <sub>2</sub> (0.338 mg/L)
$c_{CO_2}$ CO <sub>2</sub> producido (mg/L); t=0; $c_{CO_2}=0$	$K_{IH}$ cte inhibición sustrato (50 mg/L)
$c_{sol}$ compuestos solubles (mg/L); t=0; $c_{CO_2}=0$	$K_{IOL}$ cte inhibición producto (470mg/L)
$c_g$ saturación O <sub>2</sub> FA (6 mg/L)	$Y_{X/H}$ (0.81); $Y_{X/O_2}$ (0.338); $Y_{CO_2/X}$ (1.85);
$\mu$ tasa específica de crecimiento (h <sup>-1</sup> )	$Y_{sol/x}$ (0.001) rendimientos (mg/mg)
$m$ coef mantenimiento (0.0002 h <sup>-1</sup> )	$c$ ? cte cinética producto (0.001 mgsol/gX)

**Metodología.** El modelo fue comprobado mediante cinéticas de biodegradación de HTP. Se realizaron tres cinéticas a concentraciones de 1500, 6000 y 12000 mgHTP/L en matraces Erlenmeyer (125 mL). El inóculo fue un consorcio previamente adaptado a la biodegradación de crudo. Los matraces fueron muestreados a las 90, 186, 282, 382 y 478 horas. Los HTP totales fueron extraídos (liq-liq con CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) y analizados por espectrofotometría infrarroja (Perkin Elmer 200 FT-IR 3,300 a 2,500 cm<sup>-1</sup>). La biomasa fue determinada de la fase acuosa por densidad óptica (620 nm). La producción de CO<sub>2</sub> fue determinada por muestreo del espacio libre de los matraces con un cromatógrafo

de gases (GOW-MAC detector TCD). Todos los matraces fueron agitados a 200 rpm y 30°C aireándose cada 12 horas en condiciones estériles.



**Fig 1.** Datos experimentales y predicción de valores por el modelo. a)1500mg/L; b)6000mg/L; c)12000mg/L; d) simulación de la biodegradación a tiempo mayores para 12000 mg/L. (-?-) HTP; (-?-) CO<sub>2</sub>; (-O-) biomasa; (-?-) solubles; (-) modelo.

**Resultados y Discusión.** El modelo fue resuelto con un algoritmo de Runge Kutta-Fehlberg de cuarto orden programado en Matlab. Para las tres concentraciones, los datos experimentales y la predicción de valores por el modelo se muestran en la Figura 1. En la misma figura se muestra una simulación de la biodegradación para 12000 mg/L a tiempos posteriores al experimental. Para todas las concentraciones el modelo fue capaz de describir los valores experimentales en la biodegradación de HTP. La simulación también mostró que el cultivo necesita un tiempo de 3000 horas (125 días) para biodegradar un 80% de los HTP a una concentración de 12000 mg/L.

**Conclusiones.** Se desarrollo un modelo dinámico capaz de describir y predecir la biodegradación en sistemas acuosos contaminados con hidrocarburos. El modelo puede ser utilizado para el diseño de criterios en la aplicación de tecnologías para la remediación de este tipo de sistemas.

**Agradecimiento.** La realización de este trabajo, fue posible gracias al apoyo proporcionado por CONACyT.

## Bibliografía.

- (1) Sugai, S.E., Lindstrom, J.E. and Braddock, J.F. 1997. *Environmental Influences on the Microbial Degradation of Exxon Valdez Oil on the Shorelines of Prince William Sound, Alaska*. Environ. Sci. Technol. Vol. 37, pp 1554-1572.
- (2) Collins, L.D. and Daugulis, A.J. 1999. *Simultaneous biodegradation of benzene, toluene and p-xylene in a two phase partitioning bioreactor: concept demonstration and practical application*. Biotechnol. Prog. Vol. 15, pp 74-80.
- (3) Daugulis, A.J. 2001. *Two-phase partitioning bioreactors a new technology platform for destroying xenobiotics*. TRENDS in Biotechnology. Vol. 19 No. 11 pp 457-462.