



MODELAMIENTO MATEMATICO Y SIMULACIÓN DE LA BIODEGRADACIÓN DE HIDROCARBUROS INTemperIZADOS EN UN BIORREACTOR DE LODOS

Medina Moreno S.A^{1*}, Huerta Ochoa S²., Téllez Jurado A¹., Aguilera Vázquez L¹., Gutiérrez Rojas M².

¹Universidad Politécnica de Pachuca departamento Ingeniería en Biotecnología, Carretera Pachuca-Cd Sahún, Km 20, Rancho Luna, Ex Hacienda de Sta Bárbara. *samm67@upp.edu.mx. Tel. 01(771) 5477511 ext 2417

²Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa departamento de Biotecnología, Av. San Rafael Atlixco No. 186 Col. Vicentina, C.P. 09340, México, D.F.

Introducción. Los biorreactores de lodos (BLD), son sistemas trifásicos que involucran la interacción entre microorganismos suspendidos y varias fases (suelo, agua y aire), en la que uno o múltiples contaminantes se encuentran en la matriz de una fase sólida. El uso de los BLD para la remediación *ex-situ* de fases sólidas contaminadas, ha sido extenso (1). Sin embargo, una comprensión fenomenológica más profunda del proceso es necesaria. Esto ha conducido a su vez al desarrollo de modelos matemáticos (2,3). No obstante, ningún modelo ha considerado el efecto de la intemperización sobre el mecanismo global de biodegradación en un BLD.

El objetivo del trabajo, fue desarrollar y validar un modelo capaz de predecir la biodegradación en un BLD de hidrocarburos totales del petróleo en un suelo con altos niveles de intemperización.

Modelo. El modelo fenomenológico de difusión-sorción-biodegradación (DSB) planteado, contempla el efecto en el nivel de intemperización de los contaminantes en la matriz sólida mediante el equilibrio del contaminante al interior de la matriz porosa, descrito con una isoterma de Langmuir. El modelo es el siguiente.

$$\frac{\partial c_{H_s}(t,r)}{\partial t} = \frac{D_{eff} \cdot (K_{af} + c_{H_s})^2}{\xi (K_{af} + c_{H_s})^2 + \rho_s \cdot (1-\xi) \cdot q_{max} \cdot K_{af}} \left(\frac{\partial^2 c_{H_s}(t,r)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial c_{H_s}(t,r)}{\partial r} \right)$$

@ t=0; 0 ≤ r ≤ R; c_{H_s}(0,r) = c_{H_s}⁰

C.F.I: $\left. \frac{\partial c_{H_s}}{\partial r} \right|_{r=0} = 0$; C.F.II: $-D_{eff} \left. \frac{\partial c_{H_s}}{\partial r} \right|_{r=R} = k_L [c_{H_s}(t,R) - c_H(t)]$

$$c_{H_s}(t) = \frac{3}{R^3} \int_0^R r^2 c_{H_s}(t,r) dr; \quad c_{HTPs}^{total}(t) = [\rho_s (1-\xi) \cdot K_d + \xi] c_{H_s}(t)$$

$$\mu = \mu_{max} \left(\frac{c_H}{K_H + c_H} \right); \quad q(t) = \left[K_d + \frac{\xi}{\rho_s (1-\xi)} \right] c_{H_s}(t)$$

$$\frac{dc_H(t)}{dt} = k_L \cdot \frac{3m_s}{R(\rho_s \cdot V_{suelo} - m_s)} \cdot [c_{H_s}(t,R) - c_H(t)] - \frac{\mu \cdot x}{Y_{x/H}} @ c_H(0) = 0$$

$$\frac{dx(t)}{dt} = \mu \cdot x(t) @ x(0) = x_0; \quad \frac{dc_{CO_2}}{dt} = Y_{CO_2/x} \cdot \mu \cdot x(t) @ c_{CO_2}(0) = 0; \quad \frac{dc_{sol}}{dt} = Y_{sol/x} \cdot \mu \cdot x(t) @ c_{sol}(0) = 0$$

Donde c_{H_s}: concentración de hidrocarburos solubles en el poro de la partícula de suelo (mg L⁻¹); c_H: concentración de hidrocarburos en el seno de la fase acuosa (exterior de la matriz porosa; mg L⁻¹); q: concentración de hidrocarburos adsorbidos en el suelo (mg kg⁻¹); c_{HTPs}^{total}: concentración de total de hidrocarburos referidas al volumen total de las partículas de suelo (adsorbidos y solubles; mg L⁻¹); x: concentración de biomasa (consorcio) en el seno de la fase acuosa (mg L⁻¹); c_{CO₂}: Concentración dióxido de carbono producido por unidad de volumen de la fase acuosa(mg L⁻¹); c_{sol}: concentración metabolitos solubles en el seno de la fase acuosa(mg L⁻¹)

Metodología. Como biorreactor, se utilizó un tanque de mezclado de acero inoxidable de 5 lt de volumen nominal (con un volumen de operación de 4 lt) y una carga de sólidos (suelo intemperizado) de 30% p/v. La concentración inicial promedio de hidrocarburos en el suelo intemperizado fue de 150,000 ppm. Un consorcio aislado de la misma región del suelo intemperizado en estudio (4), fue usado como biocatalizador. Se realizaron dos cinéticas bajo las mismas condiciones de operación, con la diferencia que en una se utilizó como agente de desorción tolueno a 14,000 ppm (2). Los hidrocarburos residuales fueron extraídos por soxhlet (EPA 3540) y

cuantificados por CG en un cromatógrafo SRI 8610 con detector de ionización de flama.

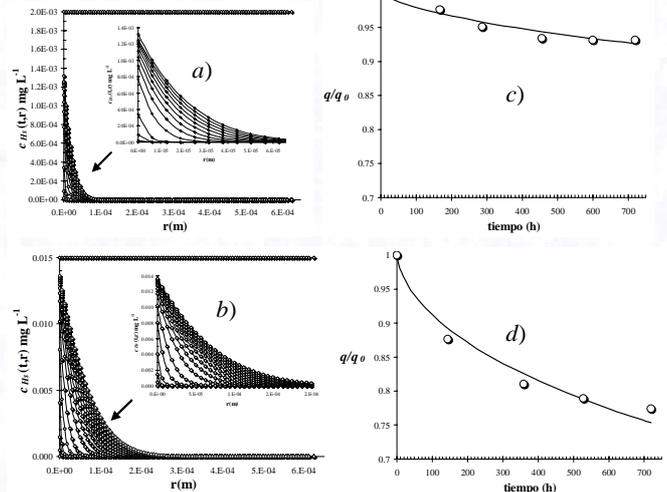


Fig. 1 Perfiles de concentración hidrocarburos al interior de la partícula de suelo sin tolueno (a) y con tolueno (b). Fracción de hidrocarburos residuales en la matriz sólida sin tolueno (c) y con tolueno (d). Datos experimentales (e)

Resultados y discusión. En la Figura 1, se muestran los perfiles de concentración y fracción residual de los hidrocarburos en la matriz sólida, ambos predichos por el modelo. En base a los datos experimentales mostrados en las Figuras 1c) y 1d), se observa que el modelo fue capaz de predecir con precisión, el fenómeno DSB para los hidrocarburos en el suelo intemperizado. El modelo, consideró un fenómeno de histéresis en los poros al interior de las partículas de suelo, en donde la trayectoria del equilibrio inicial de des-adsorción y solubilización de los HTPs (isoterma lineal), es diferente a la trayectoria de un segundo equilibrio de re-adsorción (isoterma de Langmuir). El considerar, para el segundo equilibrio una isoterma de tipo Langmuir, permite explicar de manera clara el fenómeno DSB acoplado a la adición del solvente como un agente de extracción de contaminantes en suelos intemperizados.

Conclusión. Se desarrolló un modelo DSB capaz de predecir y describir la biodegradación de hidrocarburos totales del petróleo de un suelo intemperizado en un biorreactor de lodos. El presente modelo, puede servir de plataforma para el desarrollo de criterios de diseño para la biodegradación de hidrocarburos en suelos intemperizados, mediante un BLD.

Bibliografía

- Huesemann, M.H., Hausmann, T.D., Fortman, T.J. 2002. Microbial factors rather than bioavailability limit the rate and extent of PAH biodegradation in aged crude oil contaminated model soils. *J. Bioremediation*. 6: 321-336.
- García-Rivero, M., Saucedo-Castañeda, G., Flores De Hoyos, S., Gutiérrez-Rojas, M. 2002. Mass transfer and hydrocarbon biodegradation of aged soil in slurry phase. *Biotechnol. Prog.* 18: 728-733.
- Mulder, H., Breure, A.M., Rulkens, W.H. 2001. Prediction of complete bioremediation periods for PAH soil pollutants in different physical states by mechanistic models. *Chemosphere*. 43: 1085-1094
- Díaz-Ramírez, I.J., Ramírez-Saad, H., Gutiérrez-Rojas, M., Favela-Torres, E. 2003. Biodegradation of Maya crude oil fractions by bacterial strains and a defined mixed culture isolated from *Cyperus laxus* rhizosphere soil in a contaminated site. *Can. J. Microbiol.* 49:755-761.