



Incremento de la transferencia de masa

de hidrocarburos del suelo a la fase líquida en un cultivo de suelo en suspensión*

Dra. Mayola García Rivero**

En México existen varias áreas contaminadas con hidrocarburos del petróleo como consecuencia de las actividades de extracción, refinamiento y transporte. Otra fuente de contaminación importante, en el caso de combustibles, son los derrames en ductos que son perforados para tomas clandestinas, y los derrames o fugas en sitios donde se distribuye el combustible. Los derrames de hidrocarburos, debido a la complejidad de las mezclas involucradas, pueden poner en peligro la integridad de los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales.

La remediación de suelos contaminados con estas sustancias, representa una gran área de oportunidad para el cuidado del medio ambiente. En general los suelos contaminados por hidrocarburos derivados del petróleo son tratados por biorremediación, solidificación/estabilización, tratamiento térmico o físicoquímico. En particular la biorremediación es una buena opción, pero presenta una desventaja en cuanto al tiempo del proceso. En este sentido, es necesario enfocar la investigación a tratar de implementar estrategias que acorten el tiempo de proceso. El tratamiento de suelos contaminados, a través de la aplicación de métodos biológicos, puede efectuarse en fase sólida o en cultivo de suelo en suspensión. En ese último proceso, el suelo contaminado se trata en un biorreactor, en donde se realizan la extracción y la biodegradación de los contaminantes. El mezclado con-

tinuo en el biorreactor mantiene el suelo en suspensión, a la vez que permite el rompimiento de los agregados de suelo, favoreciendo la disolución de contaminantes y, en consecuencia, se reduce la resistencia a la transferencia de masa de los contaminantes de la fase sólida a la fase líquida.

Cuando un compuesto ha permanecido por largo tiempo en el suelo (intemperización) tiende a migrar hacia los poros y microporos del suelo, sitios a los cuales no tienen acceso los microorganismos (Alexander, 2000). A fin de que tales compuestos estén disponibles para los microorganismos, deben desorberse para llegar a la fase líquida. Con el propósito de incrementar la tasa de desorción de los compuestos, se ha propuesto el uso de surfactantes y solventes. La utilización de los surfactantes ha mostrado efectos contradictorios (Liu y col., 1995) y además su empleo en biorreactores agitados puede favorecer la producción de un exceso de espuma. En este trabajo se optó por el uso de solventes para mejorar el proceso global de la biodegradación, debido a que se conoce poco sobre el efecto de los solventes para incrementar la biodegradación de hidrocarburos en un sistema de suelo en suspensión.

El objetivo fundamental fue mejorar la transferencia de masa de hidrocarburos intemperizados de un suelo contaminado a la fase líquida, incrementando la desorción de los hidrocarburos mediante la adición de un solvente.

La muestra de suelo con la que se desarrolló el estudio fue tomada de un sitio próximo a una refinería localizada en el estado de Veracruz. Del mismo lugar se tomó una planta nativa (*Cyperus Laxus* Loam) que crecía en

**Profesora Investigadora Titular "A" del TESE.
*Trabajo para obtener el grado de doctora en Biotecnología por la Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa.



Figura 1. Cyperus Laxus Loam, que crecía en el sitio contaminado.

el suelo contaminado, para a partir de su rizósfera, aislar un consorcio microbiano adaptado a concentraciones elevadas de hidrocarburos, mismo que se utilizó para estudiar el proceso de biodegradación.

El trabajo se dividió en tres partes: en la primera, se estudió el efecto sobre la solubilización y desorción de los Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP), de los solventes no polares: hexano, benceno y tolueno, y de los solventes polares: butanol, acetona y metanol. La mayor desorción de Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP) se obtuvo con tolueno, cuyo extracto contiene una alta proporción de compuestos aromáticos y asfaltenos, según lo indicó el análisis por cromatografía en columna.

Tabla 1. Resultados de solubilidad /desorción y consumo de hidrocarburos en presencia de los diferentes solventes.

Posteriormente, se estudió el efecto de los mismos solventes en la desorción/biodegradación simultánea, en frascos serológicos de 165 ml. con 30 ml de suspensión de suelo y 10% de inóculo (v/v), incubados a 30 °C y 150 rpm. Se encontró que la adición de tolueno (ver tabla 1) incrementó de manera significativa, con respecto al control sin solvente, el consumo de HTP y particularmente el consumo de compuestos poliaromáticos. Se ha sugerido (Álvarez y Vogel, 1998) que la presencia de compuestos poliaromáticos de bajo peso molecular induce la biodegradación de poliaromáticos, tal como se observó en el presente estudio. Los resultados de la desorción/biodegradación simultánea con los demás solventes probados, no fueron significativamente diferentes al control sin solvente, excepto con benceno, tratamiento en el cual se obtuvo el menor consumo debido a su alta toxicidad (Huertas y col., 1998). En el caso del metanol, el bajo consumo podría explicarse por la alta concentración usada para permitir la desorción de los hidrocarburos.

Basándose en los resultados obtenidos, se seleccionó al tolueno para la siguiente serie de estudios. En la segunda parte, se analizó el efecto de la concentración de tolueno en la desorción y después en el proceso global desorción/biodegradación en cultivo de suelo en suspensión. Los ensayos se realizaron en frascos serológicos de 165 ml con 30 ml de suspensión de suelo, 10% de inóculo (v/v) y se incubaron a 30 °C y 150 rpm. En las pruebas de desorción, se adicionó azida de sodio, para inhibir el crecimiento microbiano. La tasa de desorción mostró un comportamiento exponencial con respecto a la concentración de tolueno. En el intervalo de concentraciones de tolueno probadas, la mejor degradación ocurrió cuando se adicionaron 14,000 mg/kg de suelo base seca; en 30 días de

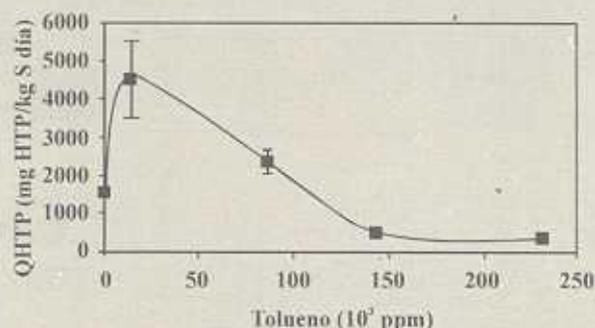
	Solubilidad (g/g solvente)	Desorción (mg/kg suelo)	Hidrocarburos consumidos (mg/kg de suelo)
Hexano	0.379	158 ± 14	25 100 ± 12
Benceno	2.733	317 ± 15	11 000 ± 4
Tolueno	4.615	391 ± 9	44 400 ± 1
Butanol	0.913	201 ± 16	30 400 ± 1
Acetona	0.418	140 ± 4	36 500 ± 2
Metanol	0.112	66 ± 6	3 700 ± 1
Control	----	----	28 600 ± 2

tratamiento, los HTP iniciales, 292,000 mg de HTP/kg de suelo base seca, disminuyeron un 47%. Sin embargo, el consumo de HTP fue inhibido cuando se adicionaron más de 14,000 mg de tolueno/kg de suelo. Estos resultados se explican debido a que la toxicidad de un compuesto está en función de la concentración en la membrana celular, más que de la estructura química del compuesto (Isken y col., 1999).

La tasa de consumo de hidrocarburos (q_{TPH}), se estimó con base en los datos de hidrocarburos residuales. El cambio de q_{TPH} en función de la concentración de tolueno (ver figura 3) sugirió un posible efecto inhibitorio de la concentración de HTP-Tolueno. Para los fines de este trabajo se supuso que el consumo de hidrocarburos sólo ocurre en la fase líquida (Goshal y col., 1996) y este consumo fue explicado por un modelo de inhibición por sustrato (Alexander y Show, 1989) acoplado a un mecanismo sencillo de desorción en estado transitorio. El modelo permitió apoyar la hipótesis de que el consumo de HTP se lleva a cabo en la fase líquida. Se estimaron las constantes de afinidad (k_m) y de inhibición (k_i) y el grupo adimensional de Damköhler (Goshal y col., 1996) que proporciona información sobre la relación entre la biodegradación de hidrocarburos y la transferencia de masa de hidrocarburos entre la superficie del suelo y la fase líquida.

El modelo generó una k_m y una k_i de 57 y 490 mg HTP/l de suspensión, respectivamente. Este modelo también permitió estimar el grupo adimensional de Damköhler (Da), el cual indicó que la transferencia de masa de los hidrocarburos es el paso que limita el proceso de biodegradación en concentraciones de tolueno menores a 86,000 mg/kg de suelo (Zhao y Voice, 2000). Con concentraciones de tolueno superiores, la reacción biológica se convierte en el paso limitante, según lo indica el Da. Los resultados se explican por el efecto inhibitorio de los compuestos solubles en la fase líquida (HTP-Tolueno) que pueden disminuir la actividad de la población microbiana, provocando la acumulación de HTP-Tolueno.

Los resultados obtenidos confirmaron que es factible el uso de solventes, específicamente tolueno, para acelerar la desorción de HTP y mejorar la biodegradación de los hidrocarburos. La biodegradación de los HTP en la fase líquida fue exitosamente explicada por el modelo propuesto, que incluye tanto a la transferencia de masa como al componente de reacción biológica. La tasa de desorción de HTP por efecto del tolueno podría incrementarse tantas veces como se quisiera, sin embargo, la toxicidad de los compuestos HTP-Tolueno marcan el límite máximo tolerable. ☺



REFERENCIAS

- Alexander M, Aging, "Bioavailability, and overestimation of risk from environmental pollutants", *Environ. Sci. Technol*, 2000, 34:4259-4264.
- Alexander, M. y Scow, K. "Kinetics of biodegradation in soil", Reactions and movement of organic chemicals in soils, Shawhney and Brown Eds.; *Soil Science Society of America Inc.*, Wisconsin, USA, 1989, pp. 243-269.
- Olivarez, P. y Vogel, T. "Substrate interactions of benzene, toluene and para-xylene during microbial degradation by pure cultures and mixed culture aquifer slurries", *Appl. Environ. Microbiol*, 1991, 37:2981-2985.
- Ghoshal, S.; Ramaswami, A. y Luthy, R. "Biodegradation of naphthalene from coal tar and heptamethylnonane in mixed batch systems", *Environ. Sci. Technol*, 1996, 30: 1282-1291.
- Huertas M.; Duque E.; Marqués, S. Ramos J. "Survival in Soil of different toluene-degrading *Pseudomonas* strains alter solvent shock", *Environ. Sci. Technol*, 1998, 64:38-42.
- Isken, S.; Derks, A.; Wolffs, P. Y Bont, J. "Effect of organic solvents on the yield of solvent-tolerant *Pseudomonas putida* S12", *Appl. Environ. Microbiol*, 1999, 65:2631-2635.
- Liu, Z.; Jacobson, A. y Luthy, R. "Biodegradation of naphthalene in aqueous nonionic surfactant system", *Appl. Environ. Microbiol*, 1995, 61:145-151.
- Zhao, X. y Voice, T. "Assessment of bioavailability using a multicolumn system", *Environ. Sci. Technol*, 2000, 34:1506-1512.