

Informes

Torres, R.D. 2003. El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. *Ecosistemas* 2003/2 (URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/032/informe1.htm>)

El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos

Duilio Torres Rodríguez, Facultad de Agronomía, postgrado Ciencia del Suelo, Universidad Central de Venezuela. 2101 Maracay (Aragua), Venezuela.

Las prácticas de biorremediación consisten principalmente en el uso de diferentes organismos (plantas, levaduras, hongos, bacterias, etc.) del medio para neutralizar sustancias tóxicas, bien transformándolas en sustancias de carácter menos tóxico o bien convirtiéndolas en inocuas para el medio ambiente y la salud humana. Una de las medidas biocorrectoras más empleada es la utilización de microorganismos para la descontaminación de suelos. Estos sistemas de descontaminación se basan en la absorción de las sustancias orgánicas por parte de dichos microorganismos, los cuales las utilizan como la fuente de carbono necesaria para su crecimiento y de energía para sus funciones metabólicas.

Tipos de biorremediación

Venezuela, un país petrolero y minero, donde existen problemas de contaminación de ecosistemas frágiles y algunas áreas agrícolas, requiere investigación destinada al desarrollo de técnicas biocorrectoras adaptadas a las condiciones ecológicas del país. El fundamento de estas técnicas está basado en que muchos de los compuestos xenobióticos son semejantes a los naturales y, por tanto, factibles de degradación o inertización. No obstante existen algunos compuestos más complejos, difíciles de degradar. El objetivo de este trabajo es estudiar el papel de los microorganismos en la degradación de compuestos xenobióticos, su importancia desde el punto de vista ambiental y estudiar los factores y mecanismos que afectan el proceso de degradación, así como las técnicas de biorrecuperación más comunes que se emplean en la actualidad.

La biorremediación utiliza la habilidad de los microorganismos para degradar compuestos orgánicos. Esta tecnología está basada en el uso de organismos naturales o mejorados genéticamente para recuperar sitios contaminados y proteger el ambiente (Miller y Poindexter, 1994). Marivela *et al.* (2002) señalan que el proceso de biorremediación puede clasificarse de acuerdo al organismo que efectúa la degradación del compuesto xenobiótico en los siguientes tipos:

a.- Fitorremediación. Consiste en el uso de plantas verdes para contener, remover o neutralizar compuestos orgánicos, metales pesados o radionucleidos. Un ejemplo de la fitorremediación la constituye el uso de la especie *Thlaspi caurulencens* en suelos contaminados con zinc y cadmio. Lombi *et al.* (2001) encontraron que el uso de esta especie lograba eliminar más de 8 mg/Kg de cadmio y 200 mg/Kg de zinc, representado estos valores el 43 y 7 por ciento de estos metales en un suelo agrícola, respectivamente.

b.- Biorremediación animal. Existen animales que actúan como agentes descontaminantes, ya que pueden desarrollarse en medios con fuerte toxicidad y poseen en su interior microorganismos capaces de retener los metales pesados (Atlas,1995; en Gibson y Sailer,1996).

c.- Biorremediación microbiana. Existe la posibilidad del uso de bacterias con la propiedad de acumular o metabolizar metales pesados. La utilización de microorganismos que transforman diferentes compuestos nocivos en otros de menor impacto ambiental ha experimentado un gran desarrollo reciente. Aunque las bacterias son las más empleadas en el proceso de biorremediación, también se han empleado otros microorganismos como hongos, algas, cianobacterias y actinomicetes para la degradación de compuestos tóxicos en el suelo.

Biodegradación de compuestos tóxicos por microorganismos

Degradación de plaguicidas

Galli (2002) señala que los compuestos tóxicos más usados son los plaguicidas, los cuales en muchos casos resultan ser muy tóxicos. Estos compuestos químicos constituyen una adecuada fuente de carbono y donadores de electrones para ciertos microorganismos del suelo. En la literatura existen algunos ejemplos de degradación de plaguicidas por microorganismos, entre los cuales se pueden citar los siguientes.

Según Golovleva et al. (1990), las *Pseudomonas* son las bacterias más eficientes en la degradación de compuestos tóxicos. La capacidad de estas bacterias para degradar estos compuestos depende del tiempo de contacto con el compuesto, las condiciones ambientales en las que se desarrollen y su versatilidad fisiológica. Vásquez y Reyes (2002) evaluaron tres especies de *Pseudomonas* para la biodegradación del herbicida Aroclor 1242. Los resultados obtenidos demuestran la gran capacidad de las bacterias para degradarlo, siendo el porcentaje de degradación de 99,8, 89,4 y 98,4 respectivamente.

Ouahiba et al. (2001) aislaron varias especies de hongos en suelos contaminados con pesticidas de Argelia. Las especies más frecuentes fueron *Aspergillus fumigatus*, *A. Niger*, *A. terreus*, *Absidia corymberifera* y *Rhizopus microsporus var microsporus*. En este experimento, 53 especies aisladas destacaron por su habilidad para la degradación del herbicida metribuzin en medio líquido. Se demostró a su vez que el herbicida promovía el crecimiento de los géneros *Absidia* y *Fusarium*, los cuales lograron eliminar el 50% del compuesto después de 5 días. Por otra parte, la especie *Botrytis cinerea* eliminó el herbicida linuron casi completamente, y 31 especies pudieron eliminar el metroburon, destacando *Botrytis Cinerea* que lo eliminó casi en su totalidad.

Otro experimento mostró la eficiencia de la bacteria *Rhodococcus sp.* para degradar las triazinas a nitrato. Fournier et al. (2002) realizaron un ensayo para estudiar las transformaciones del herbicida atrazina como consecuencia de la descomposición microbiana. Este compuesto logró ser transformado en nitrito (30%), óxido nitroso (3,2%), amonio (10%) y formaldehído (27%).

Degradación de hidrocarburos

Otro grupo de compuestos tóxicos muy abundante son los hidrocarburos. Halden et al. (1999) demostraron la eficiencia de bacterias del género *Pseudomonas* en la degradación del ácido 3-Phenoxybenzoico en suelos. Este experimento sirvió también para evaluar el papel biodegradativo de

dos *Pseudomonas* que habían sido manipuladas genéticamente. Las bacterias resultaron ser efectivas en todos los casos; sin embargo, las bacterias modificadas genéticamente tuvieron una mayor capacidad para sobrevivir a factores ambientales adversos. Este resultado es alentador, dado que uno de los factores que muchas veces impide la biorremediación de suelos *in situ* son las condiciones ambientales desfavorables para el crecimiento bacteriano.

Otra especie de bacteria que ha sido usada para la degradación de hidrocarburos es *Sphingomonas wittichii* RW1, la cual en condiciones anaeróbicas es capaz de transformar el 2,7 diclorobenceno, produciendo el metabolito 4 clorocatenol y el 1,2,3,4 tetraclorodibenceno (Hong et al. 2002).

Los hongos también han sido evaluados para la degradación de hidrocarburos. Boldu et al. (2002) estudiaron el papel del hongo *Cladophialophora sp.* sobre la degradación de benceno, tolueno, etilbenceno y xileno. El hongo no fue capaz de degradar el benceno, pero degradó los compuestos alcalinizados (tolueno, etilbenceno y xileno). El mecanismo de degradación fue una combinación de asimilación y cometabolismo. El tolueno y el etilbenceno fueron usados como fuente de carbono y energía. En el proceso degradativo actúa la enzima monooxigenasa la cual se encargó de la degradación del tolueno, etilbenceno y el xileno.

Otros microorganismos, menos estudiados pero que también contribuyen a la degradación de agentes contaminantes en el suelo, son las cianobacterias. Abed et al. (2002) estudiaron el papel de las especies *Phormidium* y *Oscillatoria* sobre la degradación de hidrocarburos. Los resultados señalan que en 7 días se había degradado el n-octadecano y el ristiano en un 25 y 34%, respectivamente. Estos valores demuestran el potencial de estas cianobacterias para el desarrollo de futuras técnicas de biodegradación en suelos contaminados con hidrocarburos.

Las algas también juegan un papel importante en los procesos de biodegradación. Lai et al. (2002) estudiaron el proceso de biotransformación del esteroide estrógeno por acción de *Chlorella vulgaris*. Con luz esta especie metabolizó el 50% del estradiol, transformándolo a un compuesto desconocido, aunque otros estrógenos como el estriol hidroxiestrona y el etinil estradiol se mantuvieron estables en el cultivo del alga.

Métodos biológicos de degradación de compuestos tóxicos

Biofiltración

El proceso de biofiltración se basa en la entrada de aire contaminado a birreactores en los cuales la flora microbiana convierte los contaminantes orgánicos volátiles en dióxido de carbono, agua y biomasa. Puesto que los microorganismos desarrollan su actividad en medio líquido, la biodegradación debe tener lugar en fase acuosa.

Bioventing o inyección de aire

Arroyo et al. (2001) definen como *bioventing* un tratamiento de biorrecuperación *in situ* consistente en la ventilación forzada del suelo mediante la inyección a presión de oxígeno en la zona edáfica no saturada mediante pozos de inyección. Debido a la aireación del suelo se va a favorecer la degradación de los hidrocarburos por dos motivos: por volatilización, facilitando la migración de la fase volátil de

los contaminantes, y por biodegradación, ya que al incrementar la oxigenación del suelo se va a estimular la actividad microbiana

Biosparging

El *biosparging* es definida por Wilson (1999) como un método *in situ* que combina el efecto de la ventilación con la utilización de microorganismos autóctonos para degradar compuestos orgánicos absorbidos por el suelo en la zona saturada. En el *biosparging* el aire y los nutrientes se inyectan en la zona saturada para mejorar la actividad de los microorganismos presentes. Ésta técnica se utiliza para la limpieza de los compuestos orgánicos en suelos y agua subterránea. Se ha demostrado la eficiencia del *biosparging* para la degradación de herbicidas como la atrazina (Crawford et al. 2000).

Conclusiones

La contaminación de los suelos por la presencia de agentes tóxicos como hidrocarburos, plaguicidas y otras sustancias constituye un problema ambiental de primer orden. El panorama actual no es tan desalentador ya que se cuenta con novedosas técnicas para la recuperación de suelos degradados por contaminación química. El uso de los microorganismos constituye una estrategia potencialmente viable. Hasta hace algunos años las investigaciones se habían limitado a la identificación de aquellos microorganismos capaces de aislar compuestos tóxicos. Hoy día las investigaciones están dirigidas a incrementar la tasa de degradación de compuestos tóxicos, mejoramiento genético de microorganismos para que se adapten a ambientes extremos y desarrollo de diferentes técnicas biocorrectivas alternativas para la recuperación de suelos degradados.

Referencias

Abed, R., Safi, N., Köster, J., Beer, D., El Nahhal, Y., Rullkötter, J. y García, F. 2002. Microbial diversity of a heavily polluted microbial mat and its community changes following degradation of petroleum compounds. *Applied and environmental microbiology* 68: 1674-1683.

Arroyo, E. y Quesada, J. 2002. *Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos*. Geocisa. División de Protección ambiental de suelos. <http://www.geocisa.com>.

Boldu, F., Vervoort, J., Grontehuis, J. y Van Groenestijn, J. 2002. Substrate interactions during the biodegradation of Benzene, Toluene Ethylbenzene and Xylene (BTEX) Hydrocarbons by the fungus *Cladophialophora* sp strains T1. *Applied and Environmental Microbiology* 68: 2660-2665.

Crawford, J., Traina, S. y Touvinen, O. 2000. Bacterial degradation of atrazine in redox potential gradients in fixed-film sand columns. *Soil Science Society of America Journal* 64: 624-634.

Fournier, D., Halasz, A., Spain, J., Fiurasek, P. y Hawari, J. 2002. Determination of key metabolites during biodegradation of hexahidro 1,3,5 Trinitro 1,3,5 Triazine with *Rhodococcus* sp Strain DN 22. *Applied and Environmental Microbiology* 68: 166-172.

Galli, C. 2002. *Degradación por medios bacterianos de compuestos químicos tóxicos*. Comisión Técnica Asesora en: Ambiente y desarrollo sostenible, Buenos Aires, Argentina.

Golovleva, L., Aharonson, R., Greenhalg, N., Sethunathan, N. y Vonk, W. 1990. The role and limitations of microorganism in the conversion of xenobiotics. *Pure and appl. Chem* 62: 351-364.

Halden, R., Tepp, S., Halden, B. y Dwryer, D. 1999. Degradation of 3 phenoxybenzoic acid in soil by *Pseudomonas pseudoalcaligenes* POB310 (pPOB) and two Modified *Pseudomonas* Strains. *Applied and environmental microbiology* 65: 3354-3359.

Lai, K., Scrimshaw, M. y Lester, J. 2002. Biotransformation and bioconcentration of steroid estrogens by *Chlorella vulgaris*. *Applied and environmental Microbiology* 68: 859-864.

Marivela, C., Guerrero, C., López, L., Sánchez, V. y Toledo, A. 2002. *Metales pesados y medio ambiente*. Grupo de seminario 1-26, Barcelona, España.

Poidexter, L. y Miller, P. 1994. In: Gibson and Sayler. 1996. *Predictability of biorremediation performance cannot be made with a High level of confidence*. American Academic of Microbiology, Washington DC, USA.

Vasquez, M. y Reyez, W. 2002. *Degradación de Aroclor 1242 por Pseudomas sp*. Biblioteca Nacional del Perú, Perú.

Wilson, D. y Oma, H. 2000. *Technical bulletin of sparging y biosparging*, Washington DC, USA.