

Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos

R.O. Carpena¹, M. Pilar Bernal²

(1) Dpto. Química Agrícola. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid

(2) Dpto. Conservación de Suelos y Agua y Manejo de Residuos Orgánicos, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, CSIC, Apartado 164, 30100 Murcia.

En las últimas décadas del siglo XX surgieron tecnologías basadas en el empleo de organismos vivos para descontaminar suelos o emplazamientos contaminados y recuperar los ecosistemas afectados. Cuando estas tecnologías se basan en el uso de plantas, globalmente reciben el nombre de *fitorremediación* (en español se usan indistintamente también: *fitorrecuperación*, *fitocorrección*, *fitorrestauración* o *fitorrehabilitación*). Se define como el uso de plantas verdes para eliminar los contaminantes del entorno o para reducir su peligrosidad (Salt *et al.*, 1998).

La *fitorremediación* de suelos contaminados se basa en el uso conjunto de plantas, enmiendas del suelo y técnicas agronómicas para eliminar, retener, o disminuir la toxicidad de los contaminantes del suelo (Chaney *et al.*, 1997). Este grupo de *fitotecnologías* reúne un gran número de ventajas, especialmente la limpieza y la economía; no utilizan reactivos químicos peligrosos, ni afectan negativamente a la estructura del suelo, sólo aplican prácticas agrícolas comunes; además, el proceso se realiza *'in situ'* evitando costosos transportes (Cunningham *et al.*, 1995).

Estas fitotecnologías se pueden aplicar tanto a contaminantes orgánicos como inorgánicos, presentes en sustratos sólidos, líquidos o en el aire. Se distinguen:

- **Fitoextracción:** uso de plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables.
- **Fitoestabilización:** uso de plantas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno, mejorando las propiedades físicas y químicas del medio.
- **Fitoimmobilización:** uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo. Junto con la anterior son técnicas de contención.
- **Fitovolatilización:** uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización, y para eliminar contaminantes del aire.
- **Fitodegradación:** uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos.
- **Rizofiltración:** uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos.

Los elementos tóxicos, principalmente los metales pesados, se encuentran generalmente en bajas concentraciones en el medio ambiente, aunque, como resultado de actividades antropogénicas, sus niveles se han incrementado. Así, se considera que existe contaminación del suelo cuando la composición del mismo se desvía de su composición "normal", denominado *nivel* o *fondo biogeoquímico*. También se define la contaminación del medio como la presencia de algún constituyente, causado por la actividad humana, en una concentración tal que afecta negativamente a su funcionamiento y a los organismos vivos presentes en él. Los metales pesados en el suelo, suponen un riesgo por: su *lixiviación* hacia aguas superficiales y subterráneas, *absorción por las plantas*, y finalmente, el *paso a la cadena trófica*. Cuando se dan niveles muy altos de biodisponibilidad, tanto los elementos esenciales (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo) como los no esenciales (Cd, Pb, Hg, Cr) pueden ser tóxicos. La amenaza que suponen para la salud humana y animal se agrava por su larga persistencia en el suelo. Para la descontaminación de elementos tóxicos en suelos se han empleado las técnicas de *fitoextracción* y *fitoestabilización* o *fitoimmobilización*.

La *fitorremediación*, por sí misma, muestra una serie de limitaciones, tales como: la localización del contaminante cercano a la rizosfera, las condiciones físicas y químicas del suelo (tales como el pH, la salinidad y el contenido de nutrientes, que pueden limitar el crecimiento vegetal), la concentración del contaminante (que debe estar dentro de los límites tolerables para la planta), riesgos de lixiviación de los contaminantes más móviles, y accesibilidad a la zona contaminada. Por lo tanto, estas tecnologías son especialmente útiles para su aplicación en grandes superficies, con contaminantes relativamente inmóviles o con niveles de contaminación bajo, y deben considerarse procesos de recuperación a largo plazo. Entre las ventajas que presentan estas técnicas, destaca (1) que se pueden realizar *in situ*, es decir sin necesidad de transportar el suelo o sustrato contaminado, (2) son de bajo coste, (3) permiten su aplicación, tanto a suelos como a aguas, (4) sólo requieren prácticas agronómicas convencionales, (5) actúan positivamente sobre el suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas, y (6) son medioambientalmente aceptables, debido a que se basan en la formación de una cubierta vegetal.

La aparición de la Fitorremediación enseguida tuvo su eco entre los investigadores europeos y, fruto de ello, fueron varias iniciativas, proyectos, etc. entre los que destacaremos la creación de redes científicas específicas, como: *PHYTONET* (Marmioli y Monciardini, 1999), y las acciones *COST 837* (1998-2003) y *859* (en vigor hasta 2009) (Vanek y Schwitzguébel, 2003). Esto posibilitó numerosos contactos científicos tanto internacionales como nacionales. En este sentido, presentamos aquí una muestra de las aportaciones a esta línea por algunos investigadores participantes en la Acción *COST 859*. La revista *ECOSISTEMAS* nos brinda la oportunidad de llevar a cabo un volumen monográfico sobre las investigaciones llevadas a cabo en España en los últimos años en el campo de la *Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados*. Así, a continuación, se revisan tanto aspectos básicos de la fitorremediación, como la aplicación de diversas tecnologías a emplazamientos concretos afectados por metales pesados. En particular, los siguientes:

- *La hiperacumulación de metales que conlleva el desarrollo de mecanismos de tolerancia en las plantas que cuentan con esta capacidad, permite, su estudio como plantas modelo; y la discusión de distintas hipótesis sobre las ventajas que obtienen de esta peculiaridad,*

- *Los aspectos bioquímicos y de genética molecular de plantas, más destacados en los mecanismos de tolerancia y acumulación de metales pesados,*

- *El objetivo final de la fitorremediación de un suelo contaminado no debe ser sólo eliminar o reducir el contaminante sino, sobre todo, recuperar la calidad del mismo. Los indicadores biológicos de la calidad del suelo, en especial aquellos relacionados con las comunidades microbianas, presentan un enorme potencial para el seguimiento y control de un proceso fitorremediador.*

- *La conservación de especies nativas de suelos contaminados con metales (metalofitas y pseudometalofitas) debería ser prioritaria por su posible utilización en fitotecnologías ambientales de revegetación, fitoestabilización y fitoextracción. Se presenta un estudio llevado a cabo con especies nativas procedentes de suelos mineros con altos niveles de Zn, Pb y Cd del Norte de España.*

- *Las hiperacumuladoras de Ni son mucho más numerosas que las de otros metales. La mayoría de ellas pertenecen al género *Alyssum* L. Se han llevado a cabo estudios de fitoextracción de Ni con estas plantas en zonas del N.O. de la Península Ibérica.*

- *Se ha realizado un estudio de las posibilidades de la flora natural y agrícola en la rehabilitación de suelos contaminados con mercurio en la antigua zona minera de Almadén.*

- *El vertido al río Guadiamar de lodo pirítico procedente de la mina de Aznalcóllar en 1998 dio la posibilidad de desarrollar y poner en práctica estas tecnologías de fitorremediación. Se presenta un resumen de los trabajos desarrollados durante 5 años en uno de los suelos afectados, que ha puesto de manifiesto las posibilidades reales de aplicación de estas tecnologías y las limitaciones y dificultades que conllevan.*

Finalmente, podemos afirmar que estamos ante un desarrollo científico de las fitotecnologías de descontaminación, todavía en sus albores, pero prometedor a medio plazo ante el conjunto de experiencias positivas realizadas.

Referencias

Chaney, R.L., Malik, M., Li, Y.M., Brown, S.L., Brewer, E.P., Angle, J.S., Baker, A.J.M. 1997. Phytoremediation of soil metals. *Curr. Opin. Biotechnol.* 8: 279-284.

Cunningham, S.D. , Berti, W.R., Huang, J.W. 1995. Phytoremediation of contaminated soils and sediments. En: *Bio-remediation: Science and Applications* (eds. Skipper, H.D. y Turco, R.F.), pp. 145-56, Soil Sci. Soc. Am., Madison, .

EPA. 1999. Phytoremediation resource guide. EPA 542-B-99-003 Agency Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office Washington .

<http://www.clu-in.org/download/remed/phytoresgude.pdf>

EPA. 2000. Introduction to Phytoremediation. EPA 600-R-99-107.

<http://www.clu-in.org/topics/default.focus/sec/Phytoremediation/>

Marmioli, N. and Monciardini, P. 1999 PHYTONET (<http://www.dsa.unipr.it/phytonet>), a thematic network devoted to scientific, economical, environmental and social aspects of phytoremediation. *Int. J. Phytoremediat.* 1: 125-138.

Pilon-Smits, E. 2005. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Biol.* 56: 15-39.

Salt, D.E., Smith, R.D., Raskin, I .1998. Phytoremediation. *Annual Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49: 643-68.

Van der Lelie, D., Schwitzguébel, J.P., Glass, D. J., Vangronsveld, J., Baker, A. 2001. Assessing phytoremediation's progress in the United States and Europe. *Environ. Sci. Technol.* 35: 446A-452A.

Vanek T., Schwitzguebel, JP. 2003. *Phytoremediation inventory - COST 837 view. COST Action 837 Plant biotechnology for the removal of organic pollutants and toxic metals from wastewaters and contaminated soils.* Praga, .

- **Páginas electrónicas de interés**

COST Action 837(1998-2003) Plant biotechnology for the removal of organic pollutants and toxic metals from wastewaters and contaminated soils. <http://lbewww.epfl.ch/COST837/>

COST Action 859 (2004-2009) Phytotechnologies to promote sustainable land use management and improve food safety. <http://w3.gre.ac.uk/cost859/>

Hazardous waste clean-up information (US EPA) <http://clu-in.org/>

International Journal of Phytoremediation. <http://www.aehs.com/journals/phytoremediation/>

Missouri Botanical Garden-[Phytoremediation website http://www.mobot.org/jwccross/phytoremediation/](http://www.mobot.org/jwccross/phytoremediation/)

Environmental Protection Agency (EPA). Abandoned mine lands (AMLs) <http://www.epa.gov/superfund/programs/aml/index.htm>