



# ELECTROBIORREMEDIACIÓN, UNA TÉCNICA INNOVADORA PARA LA LIMPIEZA DE SUELOS CONTAMINADOS

JUANA ALVARADO IBARRA\*, KAREN NAVARRO PALOMARES, KARLA TERÁN SAMANIEGO, CAROLINA VIZCARRA OLVERA

## RESUMEN

En este escrito se hace una revisión bibliográfica con el propósito de mostrar una técnica innovadora para la eliminación de contaminantes orgánicos en suelos, la cual consiste en la aplicación de un campo eléctrico y el uso de organismos biológicos como plantas y bacterias. Esta práctica es conocida como electrobiorremediación y surge a partir de la necesidad de mejorar los métodos ya existentes de remediación de suelos. El objetivo de este documento es mostrar el funcionamiento, las limitantes, así como las ventajas y desventajas de la aplicación de la electrobiorremediación.

**Palabras clave:** Biorremediación, bioaumentación, electrobiorremediación y electrocinética.

## ABSTRACT

In this paper a literature review has been made to show an innovative technique for the removal of organic contaminants in soil, which involves the application of an electric field and the use of biological organisms such as plants and bacteria. This practice is known as electrobioremediation and arises from the need to improve existing soil remediation methods. The aim of this paper is to show the operating, limitations, as well as the advantages and disadvantages of implementing the electrobioremediation.

**Keywords:** Bioremediation, bioaugmentation, electrobioremediation and electrokinetic.

DRA. JUANA ALVARADO IBARRA  
Departamento de Investigación  
en Polímeros y Materiales,  
Universidad de Sonora  
Correo: jalvarado@polimeros.uson.mx

ING. KAREN NAVARRO PALOMARES  
Posgrado en Sustentabilidad,  
Universidad de Sonora  
Correo: napk9211@gmail.com  
E.D.S. KARLA TERÁN SAMANIEGO  
Posgrado en Sustentabilidad,  
Universidad de Sonora  
Correo: kteran28@hotmail.com

LIC. CAROLINA VIZCARRA OLVERA  
Posgrado en Sustentabilidad,  
Universidad de Sonora  
Correo: carolina.vizvarrao@gmail.com

\*Autor para correspondencia: Dra. Juana Alvarado Ibarra  
Correo electrónico: jalvarado@polimeros.uson.mx  
Recibido: 15 de Marzo del 2015  
Aceptado: 17 de Junio del 2015  
ISSN: 2007-4530

## INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es un problema que ha tomado relevancia a nivel internacional, nacional y local, ya que ha venido degradando los ecosistemas de nuestro planeta, poniendo a prueba las capacidades de los gobiernos para actuar ante la nueva necesidad de remediar la afectación de estos entornos [1].

Considerando lo descrito en el párrafo anterior, la corteza terrestre no es un entorno natural que se encuentre exceptuado de la contaminación; pues es conocido que la contaminación del suelo se puede dar, entre otros: por exceso de fertilizantes y derrames de productos químicos; o uso de insecticidas, herbicidas y pesticidas. Según un estudio del Instituto Nacional de Ecología (INE) [2], en México actualmente existen una gran cantidad de sitios contaminados con diferentes tipos de compuestos, debido principalmente a las actividades de la agricultura, la industria minera y la petroquímica, además de la disposición clandestina y derrames de productos y residuos peligrosos [3].

Un suelo contaminado disminuye su calidad, presenta un exceso o déficit de humedad, disminuye los nutrientes disponibles para plantas y microorganismos nativos de los sitios, lo que provoca erosión del suelo y conduce a la contaminación del aire y del agua. Además, el suelo constituye uno de los recursos naturales más importantes del planeta; es el substrato que sustenta la vida; es la interfaz entre la atmósfera, la litósfera, la biósfera y la hidrósfera; es un elemento dinámico y vivo [4]; de ahí la importancia de tratar los suelos contaminados.

Existen numerosas tecnologías de remediación de suelos contaminados que pueden clasificarse en 3 tipos: a) biológicos (biorremediación, bioestimulación, fitorremediación, biolabranza, etc.), en donde las actividades metabólicas de ciertos organismos permiten la degradación, transformación o remoción de los contaminantes a productos metabólicos inocuos; b) fisicoquímicos (electrorremediación, lavado, solidificación/estabilización, etc.), aquí se toma ventaja de las propiedades físicas y químicas de los contaminantes para destruir, separar o contener la contaminación; y c) térmicos (incineración, vitrificación, desorción térmica, etc.), en los cuales se utiliza calor para promover la volatilización, quemar, descomponer o inmovilizar los contaminantes en un suelo [5].

Actualmente, se ha despertado un especial interés en emplear una tecnología híbrida para el tratamiento de suelos contaminados con compuestos orgánicos hidrofóbicos (HOC por sus siglas en inglés); esta técnica de innovación une los beneficios de la biorremediación y la electrocinética, la cual es nombrada como electrobiorremediación [6].

## ELECTROBIORREMEDIACIÓN

La electrobiorremediación es una técnica que combina las ventajas de la tecnología electrocinética con

las ventajas de la biorremediación para el tratamiento de suelos contaminados con un nivel de baja, media o alta permeabilidad. Esta es una técnica barata y muy eficiente; sin embargo, se debe poner gran atención en que los microorganismos utilizados sean capaces de degradar los contaminantes a los que están dirigidos [7].

Esta técnica, como se muestra en la figura 1, consiste en la aplicación de corriente eléctrica directa al suelo y, según el tipo de contaminante, ocurren dos fenómenos: 1) biodegradación de los contaminantes, lo que aumenta la biodisponibilidad de nutrientes y facilita que los microorganismos los aprovechen; y 2) migración de contaminantes, en este caso la corriente eléctrica provoca que los contaminantes se trasladen hacia las plantas para que sean retenidos o eliminados en alguna parte de ella [8]. Aunado a estas estrategias, en el año 2010 se identificaron también 3 mecanismos de remoción de los contaminantes: electroósmosis, electromigración y electroforesis [9].

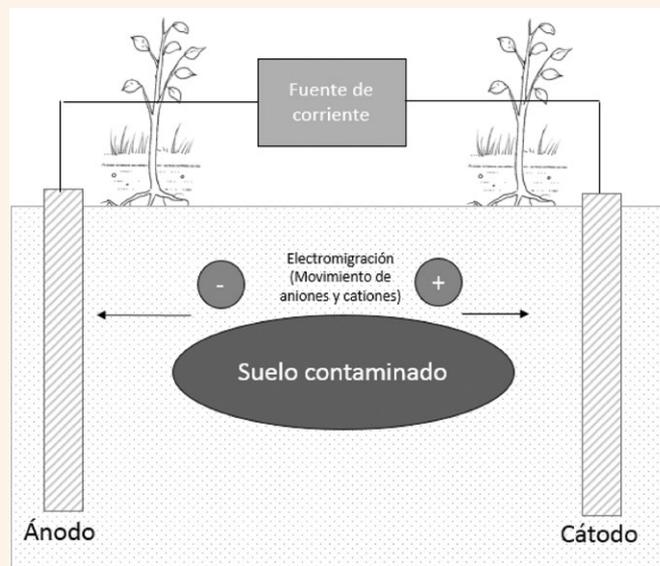


Figura 1. Esquema de la técnica de la electrobiorremediación.

Varios estudios han demostrado que la técnica de electrobiorremediación mejora la eliminación de contaminantes orgánicos, tales como compuestos aromáticos, herbicidas y tricloroetileno; de igual manera, se ha confirmado que la fuerza del campo eléctrico y la matriz de electrodos tienen efectos sobre la degradación de los contaminantes durante la biorremediación in situ; y se ha encontrado que las bajas densidades de corriente tienen poco efecto sobre la actividad bacteriana, ya que se ha descubierto que a  $1.57 \text{ A/m}^2$  de corriente continua se puede estimular su actividad; afortunadamente, la aplicación de este método ha tenido efectos benéficos sobre la transferencia de microbios y nutrientes [10].

Hay limitaciones en la tecnología de electrobiorremediación que deben superarse, éstas incluyen: a) la solubilidad del contaminante y su desorción

de la matriz del suelo; b) la disponibilidad del tipo de microorganismos en el sitio de la contaminación; c) la relación entre las concentraciones de iones; d) el requisito de un fluido para la movilización de contaminantes; e) la heterogeneidad o anomalías encontradas en los sitios, como grandes cantidades de hierro u óxidos de hierro, grandes rocas o grava; y f) los efectos de electrodos tóxicos en el metabolismo microbiano, ruptura de la membrana celular o cambios en las propiedades físico-químicas de la superficie de células microbianas [11].

### VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA APLICACIÓN DE ELECTROBIORREMEDIACIÓN

La biorremediación se caracteriza por ser una técnica amigable con el ambiente y de bajo costo. Sin embargo, al combinar esta técnica con la electrorremediación sus características cambian, ya que la aplicación de corriente eléctrica directa modifica algunas propiedades del suelo, como el tamaño de las partículas (granulometría), contenido de materia orgánica, pH y cantidad de sales solubles [12]. Entre las características que se ven alteradas en el suelo se encuentra la homogenización de humedad, esto se debe a que el agua se mueve hacia uno de los electrodos en particular, provocando la aparición de poros y su consecuente variación en pH, por lo que el flujo electroosmótico se vuelve irregular; es así que el suelo puede perder calidad. Sin embargo, cabe hacer mención de que el pH puede ser regulado al combinar la electrobiorremediación con otras técnicas como la lixiviación [13].

Entre las ventajas de esta técnica tenemos: 1) biodegradación, la cual transforma los contaminantes a compuestos más simples y fáciles de degradar para los organismos, 2) aumenta la biodisponibilidad de nutrientes y 3) migración de contaminantes. Lo anterior se traduce en un aumento en la eficiencia de remoción de los agentes contaminantes y una disminución en el tiempo del proceso de remediación, lo que favorece la reducción en los costos de operación [14].

### CASOS DE ESTUDIO

Entre los casos a nivel internacional se encuentran los realizados a través de las redes de revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, llevando a cabo varios experimentos con la intención de optimizar la técnica de electrobiorremediación. De lo antes descrito, se encontró que la aplicación de surfactantes son un factor favorable que contribuye a la biodisponibilidad del

contaminante, así como a su biodegradación (porcentajes de remoción que van por encima del 50%); sin embargo, se reconocieron efectos negativos, por lo que es necesario realizar un mayor número de estudios referentes a esta área, los cuales deberán incluir información específica en cuanto a magnitudes y sustancias químicas requeridas [15].

Por otra parte, el estudio realizado en suelos no saturados en la Patagonia demostró la eficiencia de remoción de compuestos recalcitrantes, pero se encontró que los puentes salinos de fosfato de amonio utilizados para aumentar el flujo de electrones, pueden alterar el pH del suelo después de 60 días [16].

Otros casos más frecuentes son los realizados a menor escala, es decir, aquéllos llevados a cabo en laboratorios o reactores donde es posible controlar las condiciones. Uno de estos casos fue el realizado en Reino Unido, donde se descontaminó un suelo que contenía cadmio y arsénico, utilizando las técnicas de electrorremediación y fitorremediación [17].

A nivel nacional, la técnica de electrobiorremediación ha sido un foco de importancia ya que puede realizarse incluso si el presupuesto es bajo; una actividad económica que ha mostrado una gran necesidad de atención por la contaminación de suelo que ocasiona, es la minería, según lo dispuesto en la NOM-138-SEMARNAT-2003. Esta actividad es una de las más destacadas por su gran influencia en el porcentaje de producto interno bruto de los

países; y es por las razones comentadas que se han llevado a cabo algunos estudios de dicha técnica, principalmente en el estado mexicano de Durango [18].

Es importante señalar que se evaluó la capacidad de la electrobiorremediación como tratamiento integral, llegando a la conclusión de que esta técnica, es más noble tanto para el suelo como para el agua residual, al ser combinado con otro tratamiento posterior, como la bioaumentación; lo anterior con el propósito de obtener concentraciones menores al límite máximo permisible por la norma mencionada [19].

### DISCUSIÓN

Existen varias herramientas para remediar el suelo contaminado, pero específicamente, la electrobiorremediación ofrece éxito en su implementación de acuerdo a los siguientes resultados: 1) degrada los contaminantes; 2) aumenta la disponibilidad de nutrientes y facilita que los microorganismos los aprovechen; 3) propicia la migración de los contaminantes; y 4) no requiere de gran inversión financiera.



Es importante mencionar que hay limitaciones en la tecnología de electrobiorremediación que deben superarse, tales como: a) la solubilidad del contaminante y su desorción de la matriz del suelo, b) la disponibilidad del tipo de microorganismos en el sitio de la contaminación, c) la relación entre las concentraciones de iones, d) el requisito de un fluido para la movilización de contaminantes, e) la heterogeneidad o anomalías encontradas en los sitios, como grandes cantidades de hierro u óxidos de hierro, grandes rocas o grava, y f) los efectos tóxicos en el metabolismo microbiano, ruptura de la membrana celular o cambios en las propiedades físico-químicas de la superficie de células microbianas.

Sin embargo, es crucial señalar que la electrobiorremediación puede combinarse con alguna otra técnica de limpieza de suelo y así alcanzar mejores resultados.

## CONCLUSIONES

La electrobiorremediación es una técnica híbrida para limpieza de suelo contaminado con un gran potencial de explotación, por lo que se debe impulsar su estudio y desarrollo; es de gran importancia que se busque la manera de disminuir los impactos negativos que conlleva su aplicación e investigar los organismos biológicos que pueden desarrollarse en presencia de la corriente eléctrica; así como también, continuar las investigaciones respecto al sinergismo que se puede lograr al trabajar en conjunto dos o más técnicas de remediación.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Romaniuk R., Brandt J. F., Ríos P. R. y Giuffré L. Atenuación natural y remediación inducida en suelos contaminados con hidrocarburos. *CI Suelo (Argentina)*. 25(2): 139-149. 2007.
- 21) Volke T., Velasco J.A. y De la Rosa D.A. Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. México: SEMARNAP, Instituto Nacional de Ecología. 2005.
- 3) INEGI. Estadísticas a propósito del día mundial del medio ambiente [en línea] Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/contenidos/estadisticas/2010/ambiente10.asp?s=inegi&c=2761&ep=36>. 2010.
- 4) Ortiz Bernad I., Sanz García J., Dorado Valiño M., Villar Fernández S. Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Informe de Vigilancia Tecnológica mi+d, 6, 6-7. 2007.
- 5) Martínez M.A., Unzueta J., and Pérez M.E. Electrobioremediation as a hybrid technology to treat soil contaminated with total petroleum hydrocarbons. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13(1), 113-127. 2014.
- 6) Wick L. Y., Lei S. and Hauke H. Electro-bioremediation of hydrophobic organic soil-contaminants: a review of fundamental interactions. Elsevier. *Electrochimica Acta*, 52(10), 3441-3448. 2007.
- 7) Mena E., Villaseñor J., Cañizares P. and Rodrigo M. A. Effect of a direct electric current on the activity of hydrocarbon-degrading microorganism culture used as the flushing liquid in soil remediation processes. Elsevier. *Separation and Purification Technology*, 124, 217-223. 2014.
- 8) De La Rosa D. A., Teutli L. M., Margarita M., y Ramírez M. E. Electroremediación de suelos contaminados, una revisión

- técnica para su aplicación en campo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 23(3), 129-138. 2007.
- 9) Virkutyte J., Sillanpää M. and Latostenmaa P. Electrokinetic soil remediation-critical overview. *Science of the Total Environment*, 289 (1), 97-121. 2002.
  - 10) Tingting L., Shuhai G., Bo W., Fengmei L., Zhixin N. Effect of electric intensity on the microbial degradation of petroleum pollutants in soil. *ScienceDirect. Journal of Environmental Sciences*. 22 (9) 1381-1386. 2010.
  - 11) Mallavarapu M., Balasubramanian R., Kadiyala V, Nambrattil S., Ravi N. Bioremediation approaches for organic pollutants: a critical perspective. Elsevier. *Environment International*. 37(8), 1362-1375. 2011.
  - 12) Acuña A. J., Tonin N., Pucci G. N., Wick L., and Pucci, O. H. Electrobioremediation of an unsaturated soil contaminated with hydrocarbon after landfarming treatment. *Portugaliae Electrochimica Acta* 28(4), 253-263. 2010.
  - 13) López R., Alonso J., Cañizares P., León M. J., Navarro V., Rodrigo M. A. Electroremediation of a natural soil polluted with phenanthrene in a pilot plant. *Journal of Hazardous Materials*, 265(0), 142-150. 2014.
  - 14) Volke T. y Velasco J. A. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. México: SEMARNAT, Instituto Nacional de Ecología. 2002.
  - 15) González H. H. R., Bustillos L. G. T., Fernández I. M., Cortés, J. D. J. B. y Moroyoqui, P. G. Efectos de los surfactantes en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Química Viva*, 9(3), 120-145. 2010.
  - 16) Pucci G.N., Acuña A.J., Wick L.Y., and Pucci, O.H. Electrobioremediation of Patagonian Soils Contaminated with Hydrocarbons. *Portugaliae Electrochimica Acta* 30(5), 361-370. 2012.
  - 17) O'Connor C. S., Lepp N. W., Edwards R. and Sunderland G. The Combined Use of Electrokinetic Remediation and Phytoremediation to Decontaminate Metal-Polluted Soils: A Laboratory-Scale Feasibility Study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 84(1-2), 141-158. 2003.
  - 18) Secretaría del Medio Ambiente Y Recursos Naturales. NOM-138-SEMARNAT/SS-2003. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación. 2003.
  - 19) Shuhai G., Ruijuan F., Tingting L., Niels H., Fengmei L. and Xuelian Y. Synergistic effects of bioremediation and electrokinetics in the remediation of petroleum-contaminated soil. *Chemosphere* 109, 226-233. 2014.

