

Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos utilizando el hongo *Pleurotus*

Bioremediation of contaminated soils with aromatic hydrocarbons by the *Pleurotus* fungus

Johoselyn Paola Fernandez Mora¹, Elsa Sulay Mora Muñoz², Gualberto Gerardo León Revelo³, Julio Amilcar Pineda Insuasti⁴, Astrid Stefanía Duarte Trujillo⁵, Claudia Patricia Soto Arroyave⁶, Camilo Alejandro Pineda Soto⁷, Luis Adalberto Chamorro Ortega²

¹ Universidad Católica del Ecuador (PUCE), Ibarra, Ecuador.

² Universidad Técnica del Norte (UTN), Ibarra, Ecuador.

³ Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC), Tulcán, Ecuador.

⁴ Centro Ecuatoriano de Biotecnología y Ambiente (CEBA), Ibarra, Ecuador.

⁵ Universidad de los Llanos (UNILLANOS), Villavicencio, Colombia.

⁶ Universidad Católica de Oriente (UCO), Rionegro, Colombia.

⁷ Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia: gualbertoleon@hotmail.es

Recibido: octubre 15 de 2018

Aceptado: diciembre 26 de 2018

RESUMEN

Todas las actividades que están envueltas en la exploración y explotación del petróleo provocan impactos potencialmente negativos al suelo, lo que representa una problemática importante tanto a nivel nacional como internacional. Una de las alternativas que ha tomado fuerza en los últimos años es la biorremediación, que utiliza microorganismos para la remediación de ambientes; dentro de los microorganismos empleados se destacan los Hongos de Pudrición Blanca (HPB), tales como *Pleurotus ostreatus*.

PALABRAS CLAVE: enzimas, Hongos de Pudrición Blanca, lacasas, peroxidases.

ABSTRACT

All the activities that are involved in the exploration and exploitation of oil cause potentially negative impacts on the soil, which represents an important problem both nationally and internationally. One of the alternatives that has taken force in recent years is bioremediation, which uses microorganisms for the remediation of environments; White Rot Fungi (WRF), such as *Pleurotus ostreatus*, stand out among the microorganisms used.

KEYWORDS: enzymes, White Rot Fungi, laccases, peroxidases.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo social del hombre ha provocado, en igual magnitud, la contaminación del aire, suelo y agua. Las tecnologías desarrolladas no han tenido presente, en su gran mayoría,

mermar las cargas contaminantes a estos sistemas, por lo que, el incremento de la contaminación está fuertemente relacionado con el progreso social (Falcón, 2017). Los

problemas de contaminación en el ámbito local, nacional e internacional son parte de la vida cotidiana; con el tiempo han ido degradando los ecosistemas del planeta, y los suelos terrestres no son la excepción (Prado *et al.*, 2011).

Desde el inicio de la actividad petrolera, el medio ambiente se ha visto afectado por numerosas intervenciones que han dañado severamente el ambiente circundante.

Todas las actividades que ceñidas a la exploración y explotación del petróleo generan impactos potencialmente negativos al medio ambiente, la extracción, transporte y procesamiento de crudo generan grandes volúmenes de desechos como ripios, lodos petrolizados, agua de perforación y petróleo crudo, constituido básicamente por compuestos orgánicos aromáticos, poliaromáticos, derivados de hidrocarburos, compuestos inorgánicos y metales, los cuales son difíciles de degradar de manera natural, por la complejidad de su estructura y pueden actuar como contaminante orgánico persistente (COP) si no se maneja de forma adecuada (Fernández *et al.*, 2008).

En la actualidad existe un gran número de técnicas para disminuir la contaminación por hidrocarburos en el suelo, sin embargo, la biorremediación es una técnica innovadora, considerada como la vía más efectiva para la remediación, la cual ha sido aplicada exitosamente en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos, se caracteriza por ser de bajo costo de operación y trabajar con microorganismos que degradan las sustancias tóxicas (Ventura, 2009). La biorremediación enfrenta el reto de convencer a las compañías y a los organismos oficiales de su alto potencial. Hace algunos años, la biorremediación fue una técnica poco reconocida y relegada, pero hoy en día, se ha convertido en una verdadera industria con diversas líneas interdisciplinarias (Delgado y Montoya, 2009).

Por lo tanto, este artículo pretende abordar teóricamente los diferentes avances de la biorremediación por hongos, centrando su atención en un Hongo de Pudrición Blanca (HPB) ampliamente cultivado a escala mundial.

HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS

Los hidrocarburos reciben este nombre por el hecho de estar compuestos fundamentalmente por carbono e hidrógeno; los compuestos derivados del anillo bencénico reciben el nombre de “aro-máticos” debido a que tienen el olor característico del benceno; y los compuestos formados por varios anillos reciben el nombre de “policíclicos”. Lo anterior explica la procedencia del término “Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos” (Agudo, 2009).

Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) son compuestos orgánicos derivados de la combustión del material orgánico, principalmente conformados de al menos dos anillos aromáticos. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha considerado al menos a 16 de los HAP's como “contaminantes prioritarios” debido a su amplia distribución en el ambiente y sus propiedades mutagénicas, carcinogénicas y teratogénicas (Ortiz *et al.*, 2012).

Según Ortiz y colaboradores (2012), los HAPs se clasifican según su origen en: biogénico, petrogénico y pirogénico. Los HAPs biogénicos son producto del metabolismo de organismos macroscópicos y microscópicos, tales como las plantas y las termitas, que aportan al suelo, naftaleno y perileno. Los HAPs petrogénicos son derivados del petróleo, sus principales compuestos incluyen homólogos alquilados (con radicales) y no sustituidos de naftalenos, fluorenos, fenantrenos, dibenzotiofenos y crisenos, donde los homólogos alquilados son más abundantes. Generalmente ingresan al ambiente en fase gaseosa (por evaporación-depositación) y en fase líquida (derrames de

crudo) principalmente. Los HAP's pirogénicos son producto de la combustión incompleta de todo material orgánico, incluyendo, hidrocarburos y carbón mineral.

Durante muchos años, se cuestionó el efecto tóxico de los hidrocarburos del petróleo en el suelo y las plantas, de modo que algunos autores consideraron favorecedora su presencia a bajas concentraciones (Martínez y López, 2001). Plice (1948) encontró que el crudo, agregado en proporción de 0,75% a un suelo arenoso, estimulaba el crecimiento de la soya, pero si esta proporción se aumentaba al 4% las plantas morían.

BIORREMEDIACIÓN

La biorremediación es una técnica que usa microorganismos o plantas para fraccionar, neutralizar o reducir los contaminantes en el ambiente, y es considerada una alternativa viable para el tratamiento de la tierra y los efluentes (Menezes *et al.*, 2017). Esta técnica se empezó a implementar en la década de los 70, aprovechando los productos metabólicos y las características físico químicas de la estructura celular de microorganismos como bacterias y hongos, que permitían renovar los suelos afectados (Torres y Casagua, 2013).

Según Delgado y Montoya (2009), la biodegradabilidad de una mezcla de hidrocarburos presente en un suelo contaminado depende de diversos factores, entre ellos, los medioambientales, los físicos, los químicos y los microbiológicos. Los factores medioambientales son aquellos que proporcionan las condiciones óptimas para el crecimiento de los microorganismos que llevan a cabo la recuperación del suelo, tales como, la temperatura, el pH, la disponibilidad de nutrientes y oxígeno, y la humedad. Los factores físicos de mayor importancia son la biodisponibilidad, la presencia de agua y la provisión de un aceptor de electrones adecuado como el oxígeno; mientras el factor químico más importante es la estructura molecular del contaminante, la cual varía

conforme con la solubilidad, el grado de ramificación, el grado de saturación y la naturaleza y el efecto de los sustituyentes. El factor microbiológico es el más importante en la Biorremediación, consiste en la transformación biológica de los compuestos orgánicos catalizada por acción específica de las enzimas. Frecuentemente, los microorganismos que tienen las enzimas para degradar están presentes en el suelo.

MICROORGANISMOS UTILIZADOS EN LA BIORREMEDIACIÓN

Las bacterias son las más empleadas en el proceso de biorremediación, aunque también se han empleado otros microorganismos como hongos, algas, cianobacterias y actinomicetos para la de-gradación de compuestos tóxicos en el suelo (Kanaly y Harayama, 2010; Mesa *et al.*, 2006).

Los contaminantes recalcitrantes, tales como los bifenilos, los compuestos orgánicos aromáticos, los hidrocarburos aromáticos policíclicos, los plaguicidas clorados y los plaguicidas organofosforados, son efectivamente mineralizados a CO₂ por varias especies de hongos lignocelulolíticos (también conocido como Hongos de Pudrición Blanca), cuya especificidad enzimática permite degradar mezclas complejas de contaminantes (Herrera *et al.*, 2006). Los hongos tienen muchas ventajas que facilitan su aplicación en la biorremediación, tales como, la ubicuidad, la producción de enzimas extracelulares y la facilidad de colonización del suelo contaminado gracias a su estructura de hifas. Los hongos son, además, muy buenos en la acumulación de metales pesados como cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc (Potin *et al.*, 2004).

DEGRADACIÓN POR HPB

La tasa de degradación microbiana de hidrocarburos en suelos está condicionada por parámetros fisicoquímicos como: presencia de nutrientes (Nitrógeno, Fósforo), contenido de

oxígeno (O₂), presión parcial (P_v) de gases, temperatura (T), pH, contenido de sales, tamaño (Diámetro) y distribución de partículas (Tamices), capacidad reguladora del suelo, solubilidad y concentración de viales, cantidad y biodisponibilidad de contaminantes, entre otros (Ramírez *et al.*, 2012).

Hay dos tipos principales de metabolismo fúngico para la degradación de los hidrocarburos aromáticos policíclicos: no-lignocelulolítico y lignocelulolítico. Los hongos que no crecen sobre madera tienen metabolismo no-lignocelulolíticos, y por consiguiente no requieren mediación del peróxido de hidrógeno; mientras que los hongos lignocelulósicos como *Phanerochaete chrysosporium* y *Pleurotus ostreatus* pueden producir ambos tipos de enzimas, no-lignocelulolíticas y lignocelulolíticas, pudiendo trabajar con o sin mediación de enzimas productoras de peróxido de hidrógeno (Bamforth y Singleton, 2005).

Según Cazar (2016), los HPB invaden los tejidos vegetativos, secretando enzimas que degradan la lignina y diferentes componentes de la madera, o distintos sustratos, estas enzimas son: Manganese-Peroxidasas (MnP), Lignin-Peroxidasas y lacasas.

CHAMPIÑÓN OSTRA

Pleurotus ostreatus es un hongo comestible perteneciente al grupo de HPB, normalmente llamado champiñón ostra. Es útil en la biorremediación porque puede colonizar la tierra contaminada fácilmente y degradar HAP's. Este hongo puede producir niveles altos de lacasa enzima extracelular y tiene el potencial para mineralizar HAP's

completamente. *Pleurotus ostreatus* es un hongo con gran potencial debido a su amplia explotación comercial a nivel mundial (Matthew Gacura 2009).

Las tecnologías de utilización del hongo *Pleurotus ostreatus* para biorremediación no se encuentran completamente desarrolladas, se encuentran en la fase experimental por lo cual requieren mayor investigación para aplicarse a nivel industrial. En la literatura se encontraron 6 investigaciones donde se empleó el hongo *Pleurotus ostreatus* como microorganismo para la biorremediación de diferentes contaminantes (Cazar, 2016; Matthew Gacura 2009; Miele *et al.*, 2010; Novotny *et al.*, 2001; Rigasa *et al.*, 2005), de las cuales tan sólo 2 corresponden a remediación de suelos contaminados con HAP's (Cazar, 2016; Matthew Gacura 2009).

CONCLUSIONES

La actividad petrolera ha provocado la contaminación de los suelos por la presencia de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's), lo que en la actualidad constituye un problema ambiental de primer orden. La perspectiva de esta problemática a futuro no es tan abrumadora, ya que hoy en día se cuenta con novedosas técnicas para la recuperación de suelos, tales como la Biorremediación. Las investigaciones de hoy en día han centrado todo su esfuerzo por intensificar el porcentaje de degradación de especies de hongos como *Pleurotus ostreatus*, sin embargo, la principal limitante de aplicación es el escalamiento desde el laboratorio a la industria, por lo que se recomienda mayor investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudo, A. (2009). *Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) acercamiento a su problemática como riesgo laboral* España
- Bamforth, S. y Singleton, I. (2005). Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons: current knowledge and future directions. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 80, 723–736.

- Cazar, C. S. (2016). *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de la parroquia taracoa en francisco de orellana, mediante el hongo Pleurotus ostreatus*. Ingeniero, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba.
- Delgado, K. T. y Montoya, T. Z. (2009). *Biorremediación De Suelos Contaminados Por Hidrocarburos*. Ingeniería Universidad Nacional De Colombia, Medellín
- Falcón, J. A. F. (2017). Propuesta de metodología para la recuperación de suelos contaminados. *Revista centro azúcar*, 44, 53-60.
- Fernández, C., Llobregat, M., Jimènez, B., Altomare, V. y Labrador, H. (2008). Biodegradación de asfalteno y resinas por microorganismos presentes en suelo contaminado con hidrocarburo. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 23, 7-15.
- Herrera, O. F., Huerta, E. R., López, I. V. y Hernández, J. O. (2006). Enzimas Ligninolíticas Fúngicas Para Fines Ambientales. *Mensaje Bioquímico*, XXX, 29-55.
- Kanally, R. A. y Harayama, S. (2010). Advances in the field of high-molecular-weight polycyclic aromatic hydrocarbon biodegradation by bacteria. *Microbial Biotechnology*, 3, 136–164.
- Martínez, V. y López, F. (2001). Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. *Terra Latinoamericana*, 19, 9-17.
- Mastandrea, C., Chichizola, C., Ludueña, B., Sánchez, H., Álvarez, H. y Gutiérrez, A. (2005). Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Riesgos para la salud y marcadores biológicos. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 39, 27-36.
- Matthew Gacura (2009). *Effect of Pleurotus ostreatus on Bioremediation of PAH Contaminated River Sediment* Master of Science Youngstown State University EE. UU.
- Menezes, G. d. S., Carvalho, T. A. d., Almeida, W. d. S., Sussuchi, E. M., Viégas, P. R. A. y Marino, R. H. (2017). Bioremediation potential of filamentous fungi in methylene blue: Solid and liquid culture media. *Ciência e Agrotecnologia*, 41, 526-532.
- Mesa, J. B. L. d., Quintero, G., Vizcaíno, A. L. G., Cáceres, D. C. J., Riaño, S. M. G. y García, J. M. (2006). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *Nova - Publicación Científica*, 4, 82-90.
- Miele, A., Giardina, P., Sannia, G. y Faraco, V. (2010). Random mutants of a *Pleurotus ostreatus* laccase as new biocatalysts for industrial effluents bioremediation. *Journal of Applied Microbiology*, 108, 998–1006.
- Novotny, C., Rawal, B., Bhatt, M., Patel, M., Sasek, V. y Molitoris, H. P. (2001). Capacity of *Irpex lacteus* and *Pleurotus ostreatus* for decolorization of chemically different dyes. *Journal of Biotechnology*, 18, 113–122.
- Ortiz, R., Cram, S. y Sommer, I. (2012). Hidrocarburos aromáticos policíclicos (haps) en suelos de la llanura aluvial baja del estado de tabasco, méxico. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 28, 131-144.
- Plice, M. (1948). Some effects of crude petroleum on soil fertility. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 14, 413-416.
- Potin, O., Rafin, C. y Veignie, E. (2004). Bioremediation of an aged polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)-contaminated soil by filamentous fungi isolated from the soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 54, 45-52.
- Prado, A. M., López, E. P., Espinoza, J. P., Nevárez, B. G. y Rodríguez, A. O. (2011). Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 27, 241-252.
- Ramirez, O. A., Rivera, A. R., Marin, L. A., Rojano, B., Ruiz, O. y Gallo, S. C. (2012). Biorremediación de un suelo con diésel Mediante el uso de microorganismos autóctonos *Gestión y ambiente*, 15, 27-40.

- Rigasa, F., Dritsa, V., Marchant, R., Papadopoulou, K., Avramides, E. y Hatzianestis, I. (2005). Biodegradation of lindane by *Pleurotus ostreatus* via central composite design. *Environment International*, 31, 191– 196.
- Torres, G. V. y Casagua, J. D. (2013). Importancia de la biorremediación para mejorar las condiciones del suelo afectado con derrames de hidrocarburos y el medio ambiente en Colombia del 2002 al 2012. *Gerencia de instituciones de salud y gestión ambiental*, 1, 112-137.
- Ventura, A. P. (2009). *Biorremediación de suelos contaminados con gasolina utilizando estiércol de caballo, en Torreón, Coahuila*. Ingeniero Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" Unidad Laguna Mexico.