

## Rizorremediación: cuando plantas y microorganismos se convierten en aliados en la recuperación del ambiente

**Sofía Vite Velázquez**

Universidad La Salle México

[sofiavite@lasallistas.org.mx](mailto:sofiavite@lasallistas.org.mx)

**Ricardo Solís Olivier**

Universidad La Salle México

[Ricardo.solis@lasallistas.org.mx](mailto:Ricardo.solis@lasallistas.org.mx)

**Alejandro Islas García**

Universidad La Salle México

[alejandro.islas@lasalle.mx](mailto:alejandro.islas@lasalle.mx)

**Vanessa Flores Mercado**

Universidad La Salle México

[vanessaflores@lasallistas.org.mx](mailto:vanessaflores@lasallistas.org.mx)

### Resumen

Con el desarrollo de la sociedad, los niveles de contaminación en el planeta han aumentado significativamente, lo que impacta gravemente a las diferentes matrices ambientales. Frente a este problema, la ciencia se encuentra en constante búsqueda de soluciones sostenibles y eficientes. Una de estas estrategias de solución es la rizorremediación, proceso natural que utiliza la actividad conjunta de las raíces de las plantas y los microorganismos del suelo en la zona conocida como rizosfera para degradar los contaminantes presentes en el medio. A continuación se exponen los fundamentos de la rizorremediación y se abordan de manera breve algunas aplicaciones exitosas documentadas.

### Palabras clave

Rizorremediación, suelo y rizosfera.

### Abstract

With the development of society, levels of pollution on the planet have significantly increased, severely impacting different environmental aspects. Faced with this problem, science is constantly searching for sustainable, efficient solutions. One of the strategies employed is rhizoremediation, a natural process which uses the joint activity of plant roots and soil microorganisms in the zone known as rhizosphere to degrade pollutants present in the medium. The following section develops the fundamentals of rhizoremediation, followed by a brief overview of some documented successful applications.

### Key words

Rhizoremediation, soil, rhizosphere.

---

APA: Flores, V., Solís, R., Vite, S. e Islas, A. (2025). Rizorremediación: cuando plantas y microorganismos se convierten en aliados en la recuperación del ambiente. *Azcatl*, 5, 33-38. DOI: [10.24275/AZC2025B001](https://doi.org/10.24275/AZC2025B001)

## Introducción

A medida que nuestra sociedad se ha desarrollado, los niveles de contaminación en nuestro planeta han ido incrementado de forma significativa, lo que afecta gravemente a las diferentes matrices ambientales. En particular, el suelo está cada vez más expuesto a derrames de hidrocarburos, descargas de residuos industriales y al uso excesivo de pesticidas o sustancias químicas que lo degradan, siendo todas éstas las principales causas de contaminación del suelo. Estas acciones no sólo reducen su fertilidad y capacidad de sustentar cultivos, sino que también pueden tener consecuencias en la salud humana y animal al facilitar la entrada de sustancias tóxicas en la cadena alimentaria y en los cuerpos de agua cercanos.

Frente a este problema, la ciencia ha buscado soluciones con enfoques sostenibles y eficientes como la fitorremediación, la cual implica la acción de varios procesos que involucran plantas y a sus microorganismos asociados para remediar ambientes contaminados, especialmente suelo y agua. Una de las ramas de la fitorremediación de ecosistemas contaminados es la rizorremediación, la cual consiste en el aprovechamiento de la relación simbiótica entre plantas y organismos del suelo ubicados en la zona de las raíces, área denominada rizosfera (Figura 1). La rizosfera es el volumen del suelo directamente influenciado por las raíces de la planta, en esta zona se observa un aumento en la cantidad de microorganismos en comparación con el resto del suelo, esto se conoce como *efecto rizosférico* (Hartmann *et al.*, 2007). Este método de remediación, además de ser ecológico, resulta aplicable en distintas técnicas de restauración ambiental y puede considerarse como una alternativa con una relación costo-beneficio efectiva frente a otras tecnologías.

## Fundamentos de la rizorremediación

Este microambiente constituye una zona altamente dinámica, en donde ocurren complejas interacciones físico-químico-biológicas entre las raíces, los microorganismos y el suelo. Siendo los microorganismos los que participan activamente en diversas actividades como la descomposición de materia orgánica, la solubilización de nutrientes y la producción de compuestos que favorecen

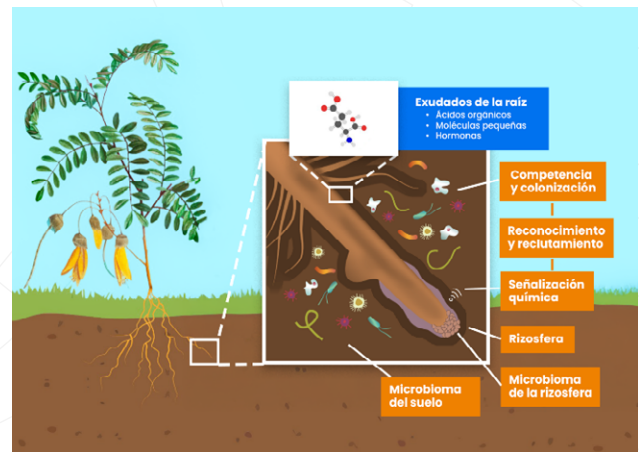


Figura 1. Representación de la rizosfera.

Nota: Adaptada de Collec Tara, 2021.

el crecimiento vegetal o protegen a la planta de agentes patógenos. En estos entornos se forma una red trófica microbiana, capaz de regular los procesos esenciales como el pH del suelo, la disponibilidad de nutrientes y la estabilidad de las biopelículas (Loera y Caamal, 2023).

De esta forma, las plantas pueden aprovechar las capacidades degradativas que poseen los microorganismos, mientras que éstos aprovechan los exudados radiculares (compuestos liberados por las raíces de las plantas) como fuente nutricional (Figura 1) (Holguín, 2008).

Ciertos tipos de exudados, como los carbohidratos, los ácidos carboxílicos y los aminoácidos, ayudan a la estimulación de los microorganismos presentes, lo que mejora la degradación de algunos contaminantes orgánicos. De esta manera, es en la rizosfera donde se encontrará toda la carga fitoquímica liberada por la planta, la zona donde se presenta la máxima actividad ejercida por los compuestos, o ejercida sobre ellos, como es el caso de la biodegradación. Así es el área que está siendo estudiada en búsqueda de los agentes verdaderamente activos (Oliveros *et al.*, 2009).

Los factores más importantes involucrados en la estimulación son la cantidad de oxígeno que reciben las raíces, la porosidad y permeabilidad del suelo, así como la liberación y tipo de los exudados radiculares de la planta (Massot, 2018).

La interacción entre el contaminante y los microorganismos dependerá del metabolismo y las enzimas que tengan en su sistema, presentándose desde la degradación, la volatilización o la fotooxidación de éstos, proceso que contribuyen en el ciclo de nutrientes que se lleva a cabo en el medio (Rodríguez, 2011).

### Tipos de rizorremediación

Dentro de la rizorremediación existen diferentes tipos según la planta y los microorganismos que actúan sobre los contaminantes (Figura 2). El más común es la degradación, en la cual la raíz de la planta produce exudados que sirven como fuente de energía para los microorganismos del suelo, estimulando así su metabolismo. Estos

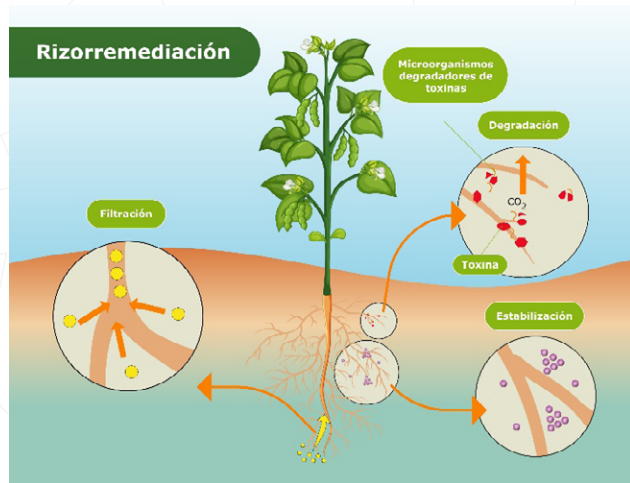


Figura 2. Representación de los tipos de rizorremediación.

microorganismos emplean rutas enzimáticas específicas capaces de degradar compuestos orgánicos complejos, transformándolos en sustancias menos tóxicas o inofensivas. Además, dependiendo del tipo de contaminante y de las condiciones del entorno, las comunidades microbianas locales pueden adaptarse y desarrollar mecanismos metabólicos que favorecen la descomposición de hidrocarburos, pesticidas u otros compuestos persistentes (Dary, 2015).

Otra forma en la que se ocupa la rizorremediación es la estabilización, en la cual las plantas y sus microorganismos inmovilizan los contaminantes en el suelo, reduciendo su movilidad y biodisponibilidad. Este proceso ocurre mediante la adsorción, precipitación o formación de complejos con compuestos orgánicos o inorgánicos, producto de la actividad microbiana y del intercambio iónico en la rizosfera. En este caso, los microorganismos utilizan su metabolismo para modificar el pH o liberar sustancias que provocan la precipitación del contaminante, manteniéndolo en una forma estable y evitando que sea absorbido por las raíces o se disperse hacia otras zonas del suelo o el agua (Parra, 2017).

### Ejemplos de sistemas biológicos que ayudan a limpiar el ambiente

En la actualidad, se han realizado diversos estudios para observar la interacción de la rizosfera con la remediación ambiental, en la Tabla 1 se pueden encontrar algunos ejemplos de microorganismos y los contaminantes que degradan. De igual forma, a continuación, se presen-

Tabla 1. Bacterias asociadas a la rizosfera y contaminantes que degradan.

Especie	Contaminante	Porcentaje de degradación y tiempo de tratamiento	Referencia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> . <i>Gordonia amicalis</i> .	Hidrocarburos totales de petróleo.	93.28 a 95.71 % y 60 días.	Bhuyan y Pandey, 2022.
<i>Bacillus licheniformis</i> . <i>Bacillus mojavensis</i> .	Hidrocarburos aromáticos policíclicos.	78 a 91 % y 90 días.	Eskandary <i>et al.</i> , 2017.
<i>Bacillus safensis</i> .	Plaguicida nicotinoide.	50.98 a 57.86 % y 80 días.	Oke y Zunjarrao, 2023.
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Bacillus cereus</i> (consorcio).	Plaguicida organofosforado.	50 a 60 % y 4 días.	Mol, 2023.
<i>Microbacterium sp.</i>	Plaguicida organoclorado.	82.7 ± 1.79 % y 15 días.	Singh y Singh, 2019.

tan casos más específicos que se han llevado a cabo tanto nacional como internacionalmente.

Uribe *et al.* (2022) analizan el uso de dos tipos de pasto: *Megathyrus maximus* y *Brachiaria decumbens* para la rizorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo (PHC). Los resultados demostraron que la comunidad microbiana de la rizosfera incrementó a los seis meses, además de la fertilidad del suelo, la porosidad, el fósforo disponible y la capacidad de intercambio catiónico. Aparte, se determinó que las plantas promovieron el desarrollo de las rizobacterias. Asimismo, se identificaron las interacciones entre las rizobacterias y los cambios que se presentaron en el suelo contaminado.

Mientras que en el artículo de Hidalgo *et al.* (2022) se expone que combinaron tres tratamientos: rizorremediación con *Brassica napus*, nanoremediación con nZVI (Zero-valent iron particles) y bioestimulación con desechos orgánicos para el tratamiento de suelos contaminados con Lindano y zinc metálico, dando como resultados una mayor cantidad de biomasa, actividad microbiológica y biodiversidad en el suelo, además de mejorar la salud del mismo.

De igual forma, Molina *et al.* (2021) identificaron que el trébol blanco (*Trifolium repens*) con la bacteria *Novosphingobium sp.* HR1a tienen la capacidad de remediar suelos contaminados con fenantreno, a partir de los exudados generados de la raíz del trébol como nutrientes.

Por otro lado, Zahid *et al.* (2015) investigaron el potencial de microorganismos nativos de suelos contaminados por derrames de petróleo en las raíces de la planta *Cannabis sativa* para la degradación de benceno. Se identificaron diversas especies de bacterias como *Pseudomonas aeruginosa*, siendo ésta la mejor con 85 % de degradación en 72 horas; además de reportarse por primera vez a *Acinetobacter junii* como degradador.

Finalmente, un estudio en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla evaluó la posibilidad de remediar un suelo contaminado con petróleo crudo empleando el nopal verdura (*Opuntia spp.*) con bacterias fijadoras de nitrógeno del género *Azospirillum spp.*, obteniéndose que la *Opuntia ficus* se puede adaptar y crecer en suelos con

presencia de petróleo crudo con la posibilidad de degradar más del 70 % de éste (Severiano, 2022).

## Ventajas y limitaciones de la rizorremediación

La rizorremediación es una técnica eficaz para eliminar compuestos orgánicos dañinos y contaminantes como el petróleo o hidrocarburos. Esto sucede gracias a que los microorganismos presentes en la rizosfera degradan estos compuestos en partículas pequeñas y fáciles de remover del suelo.

Otra ventaja es que no se necesita agregar alguna sustancia para tratar la zona contaminada y, a largo plazo, mientras la rizosfera esté activa habrá un reciclaje continuo de nutrientes, así la eliminación de sustancias tóxicas continuará sin generar costos adicionales (Noor, 2023).

Sin embargo, esta técnica puede presentar algunas limitaciones. El proceso puede llegar a ser lento, especialmente donde la concentración de contaminantes es muy alta, por lo que la toxicidad también aumenta y puede dañar a los organismos involucrados en el proceso. Asimismo, puede existir el riesgo de que los contaminantes entren en la cadena alimentaria (Peralta y Volke, 2012.).

## Conclusiones

La rizorremediación es presentada como una nueva alternativa viable para la recuperación de suelos contaminados a través de la interacción entre los microorganismos presentes en la rizosfera y las raíces de las plantas.

A diferencia de otros métodos de remediación que pueden llegar a ser más invasivos y costosos, esta estrategia utiliza a su favor los procesos que ocurren de manera natural, promoviendo la diversidad microbiana, destacando algunas especies con gran capacidad de adaptación y fomentando el uso de especies nativas.

Cabe mencionar que para lograr esto de manera eficiente se requieren de diversos estudios, ya que es de suma importancia no afectar de manera negativa los ecosistemas. Además, la actividad microbiana cambia a lo largo del tiempo, viéndose influida por factores como los tipos de plantas, disponibilidad de nutrientes, concentra-

ción de contaminantes, entre otros, para lo cual se requiere de monitoreo antes de implementar esta estrategia.

En este sentido, se sugiere realizar más investigaciones y estudios para entender el comportamiento de este proceso de remediación en diferentes ambientes, así como de estrategias complementarias para su aplicación.

## Referencias

- Bhuyan, B. y Pandey, P. (2022). Remediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil using hydrocarbonoclastic rhizobacteria, applied through *Azadirachta indica* rhizosphere. *International Journal of Phytoremediation*, 24(13), 1444-1454. <https://doi.org/10.1080/15226514.2022.2033689>
- Collec Tara. (2021). *Productos microbiológicos para cultivos*. <https://collectara.com/>
- Dary, M. (2015). *La simbiosis rizobio-leguminosa como bioherramienta para la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados* [Tesis doctoral]. Universidad de Sevilla. <http://hdl.handle.net/11441/34233>
- Eskandary, S., Tahmourespour, A., Hoodaji, M., y Abdollahi, A. (2017). The synergistic use of plant and isolated bacteria to clean up polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soil. *Journal of environmental health science and engineering*, 15(12). <https://doi.org/10.1186/s40201-017-0274-2>
- Hartmann, A., Rothballer, M. y Schmid, M. (2007). Lorenz Hiltner, a pioneer in rhizosphere microbial ecology and soil bacteriology research. *Plant and Soil*, 312, 7-14. [10.1007/s11104-007-9514-z](https://doi.org/10.1007/s11104-007-9514-z).
- Hidalgo, J., Anza, M., Epelde, L., Becerril, J. M., y Garbisu, C. (2022). Zero-valent iron nanoparticles and organic amendment assisted rhizoremediation of mixed contaminated soil using *Brassica napus*. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102621. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186422001808?via%3Dihub>
- Loera, A. y Caamal, M. G. (2023). Biopelículas en la rizosfera y su papel en la producción de compuestos antimicrobiales en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 41. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1733>
- Massot, F. (2018). *Estrategias de rizadorremediación de glifosato en suelos bajo explotación agrícola intensiva* [Tesis doctoral]. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Farmacia y Bioquímica. <http://hdl.handle.net/11336/80306>
- Mol, S. R. (2023). Role of rhizosphere associated bacteria in biodegradation. *ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts*, 4(2), 3613-3624. <https://doi.org/10.29121/shodhkosh.v4.i2.2023.3839>
- Molina, L., Udaondo, Z., Montero, M., Wittich, R., García, A. y Segura, A. (2021). Clover root exudates favor *Novosphingobium* sp. HR1a. Establishment in the rhizosphere and promote phenanthrene rhizoremediation. *mSphere*, 6(4). <https://journals.asm.org/doi/10.1128/msphere.00412-21>
- Noor, H. (2023). *What is rhizoremediation? Methods, benefits and drawbacks*. ENVPK. <https://www.envpk.com/what-is-rhizoremediation-methods-benefits-and-drawbacks/#:~:text=Benefits%20of%20Rhizoremediation%3A,easily%20removed%20from%20the%20soil.>
- Oberai, M. y Khanna, V. (2018). Rhizoremediation—plant microbe interactions in the removal of pollutants. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(1), 2280-2287. <https://www.ijcmas.com/abstractview.php?ID=6226&vol=7-1-2018&SNo=276>
- Oke, R. S. y Zunjarrao, R. (2023). Degradation of imidacloprid from polluted soil by rhizosphere microflora, *Bacillus safensis* isolated from sunflower (*Helianthus annuus*). *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 10(12), 776-783. [https://www.researchgate.net/publication/367619431\\_Degradation\\_of\\_Imidacloprid\\_from\\_Polluted\\_Soil\\_by\\_Rhizosphere\\_Microflora\\_Bacillus\\_safensis\\_Isolated\\_from\\_Sunflower\\_Helianthus\\_annuus](https://www.researchgate.net/publication/367619431_Degradation_of_Imidacloprid_from_Polluted_Soil_by_Rhizosphere_Microflora_Bacillus_safensis_Isolated_from_Sunflower_Helianthus_annuus)

- Olguín, G. (2008). La comunicación entre bacterias y plantas. *Ciencia*, 59(2), 72-78. [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/59\\_2/PDF/10-516-72-.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/59_2/PDF/10-516-72-.pdf)
- Oliveros, A. J., Macías, F. A., Fernández, C. C., Marín, D. y Molinillo, J. M. G. (2009). Exudados de la raíz y su relevancia actual en las interacciones alelopáticas. *Química Nova*, 32(1), 198-213. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422009000100035>
- Parra, F. (2017). *Rizofiltración de aguas de riego agrícola contaminados por metales pesados en comunidades del municipio de Atlixco, Puebla* [Tesis de maestría]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla <https://hdl.handle.net/20.500.12371/967>
- Peralta, M. R. y Volke, T. L. (2012). La defensa antioxidante en las plantas: una herramienta clave para la fitorremediación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11(1), 75-88. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-27382012000100006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382012000100006&lng=es&tlng=es)
- Rodríguez, S. C. (2011). *Potencial de las bacterias del suelo en la rizorremediación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)* [Tesis doctoral]. Universidad de Granada. Facultad de Microbiología. <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/19425/19957063.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Severiano, B. (2022). *Rizorremediación en suelo contaminado con petróleo crudo utilizando nopal verde (Opuntia spp.)-Azospirillum spp.* [Tesis de licenciatura]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/5b447718-80c1-4d62-8533-71f124165452>
- Singh, T. y Singh, D. K. (2019). Rhizospheric *microbacterium sp.* P27 showing potential of lindane degradation and plant growth promoting traits. *Current Microbiology*, 76(7), 888-895. <https://doi.org/10.1007/s00284-019-01703-x>
- Uribe, M., Peñuela, G. A. y Pino, N. J. (2022). *Megathyrus maximus* and *Brachiaria decumbens* improve soil characteristics and select promising rhizobacteria during rhizoremediation of petroleum hydrocarbons. *Rhizosphere*, 22, 100517. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452219822000477>
- Zahid, M. S. B., Iqbal, A. y Arshad, M. (2015). Benzene degradation with bacterial strains isolated from rhizosphere of *Cannabis sativa* being irrigated with petroleum refinery wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 57(37), 17579-17584. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1944398624031345?via%3Dihub>
- Zehfuss, G. H. (2008). La comunicación entre bacterias y plantas. *Ciencia-Academia Mexicana de Ciencias*, 59(2), 72-78. <https://biblat.unam.mx/es/revista/ciencia-academia-mexicana-de-ciencias/articulo/la-comunicacion-entre-bacterias-y-plantas>