



## Microbios en acción: La batalla subterránea contra la contaminación

Héctor Alejandro Reza-Solis<sup>1</sup>  
Gustavo Montes-Montes<sup>1</sup>  
Andrea Zepeda-Mestre<sup>1</sup>  
Zilia Yanira Muñoz-Ramírez<sup>2</sup>  
Román González-Escobedo<sup>1\*</sup>

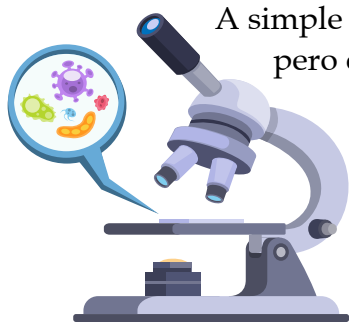
<sup>1</sup>Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua, Periférico Francisco R. Almada km 1, Chihuahua, Chih., México, CP 31453.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Campus II Circuito Universitario s/n, Chihuahua, Chih., México, CP 31125.

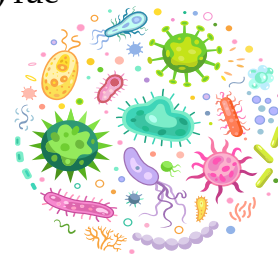
\*Autor para correspondencia: rgescobedo@uach.mx

**Los microorganismos habitan todos los rincones del planeta, incluidos aquellos suelos que han sido severamente contaminados. Entre ellos, bacterias, hongos y arqueas forman comunidades capaces de resistir metales tóxicos y ayudar a eliminarlos del ambiente. En sus raíces, las plantas albergan a estos pequeños aliados, que la ciencia estudia tanto cultivándolos en el laboratorio como a través del análisis genético directo del suelo. Así, lo invisible bajo nuestros pies podría ser clave para restaurar los suelos y proteger el futuro del planeta.**

### Introducción



A simple vista, el suelo puede parecer solo un conjunto de partículas inertes, pero en realidad esconde un universo de vida microscópica esencial para el equilibrio del planeta. Durante mucho tiempo se asumió que era un medio estático y sin actividad biológica, hasta que los avances científicos demostraron lo contrario: el suelo es un ecosistema complejo y dinámico. La invención del microscopio, hace unos 500 años, transformó nuestra percepción del mundo natural. Aunque ya se sospechaba la existencia de organismos diminutos, fue Robert Hooke quien en 1665 observó estructuras microscópicas, y poco después, en la década de 1680, Antonie van Leeuwenhoek describió por primera vez bacterias en movimiento. Estos descubrimientos dieron origen a la microbiología, una ciencia que abrió las puertas al estudio del vasto y diverso mundo microbiano del suelo.





Algunos microbios  
tienen la capacidad  
de transformar  
metales tóxicos en  
compuestos menos  
peligrosos

La percepción de los microorganismos ha evolucionado con el tiempo. Si bien muchos de ellos han sido históricamente asociados con enfermedades, como *Yersinia pestis*, la bacteria causante de la peste negra, o los hongos del género *Candida*, responsables de infecciones oportunistas como la candidiasis, a partir de mediados del siglo XX la ciencia comenzó a descubrir que estos diminutos seres también podían ser aliados para resolver problemas ambientales.

A finales de la década de 1960, los microbiólogos demostraron por primera vez que ciertos microorganismos podían degradar hidrocarburos en el mar, dando origen al campo de la biorremediación, es decir, el uso de seres vivos para eliminar contaminantes del ambiente. Esta estrategia se consolidó en los años 70 como una solución sustentable y rentable para restaurar sitios afectados por la actividad humana, siempre y cuando los contaminantes fueran biodegradables y las condiciones ambientales permitieran el crecimiento de los microorganismos encargados de su transformación (Atlas & Bartha, 2002).

Uno de los entornos donde estas funciones microbianas se intensifican naturalmente es la rizósfera, la zona del suelo que rodea las raíces de las plantas (Figura 1). Allí convergen minerales, agua, nutrientes y una diversidad de microbios que cumplen un papel clave en la salud del suelo y el desarrollo vegetal. Dependiendo del tipo de organismos involucrados y las condiciones del entorno, estas interacciones pueden favorecer o afectar negativamente a las plantas. En zonas contaminadas, la rizósfera adquiere especial relevancia, ya que alberga bacterias, hongos y arqueas capaces de resistir condiciones extremas y contribuir activamente a la recuperación del ecosistema.



Figura 1. Rizósfera del suelo de una planta.



## Contaminación del suelo y biorremediación: un desafío urgente

**Pb** La acumulación de metales pesados y metaloides como plomo, cadmio, zinc y arsénico en el suelo constituye una de las formas más duraderas de contaminación ambiental, representando un riesgo tanto para los seres humanos como para los ecosistemas. Estas sustancias tóxicas se acumulan por actividades industriales, mineras y del uso intensivo de productos químicos. Esta situación es especialmente preocupante porque el suelo alberga una enorme diversidad de organismos, desde microbios hasta plantas, que son esenciales para la vida en el planeta. Los metales pesados pueden detener el crecimiento vegetal, alterar la cadena alimentaria y afectar a quienes consumen productos cultivados en suelos contaminados. Ante esta situación, la biorremediación se presenta como una opción viable y respetuosa con el medio ambiente. Este enfoque emplea microorganismos capaces de transformar o inmovilizar los contaminantes y representa una solución menos invasiva en comparación con los métodos tradicionales. Por ello, organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas han propuesto reducir la degradación del suelo como una meta prioritaria dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para el año 2030 (NU, 2015).



La biorremediación  
es una alternativa  
sustentable que imita  
y potencia procesos  
naturales

## Estrategias verdes para limpiar el suelo

Para enfrentar la contaminación por metales pesados, la ciencia ha desarrollado estrategias inspiradas en la naturaleza, que ha llevado a cabo estos procesos desde siempre, de forma silenciosa y eficaz. Hoy en día, se realizan investigaciones que buscan potenciar y acelerar estos mecanismos naturales para hacer frente a la creciente degradación del suelo. Dos enfoques destacados son la fitorremediación y la biorremediación microbiana. En el primero, se utilizan plantas capaces de absorber metales pesados a través de sus raíces; en el segundo, los microorganismos transforman o inmovilizan los metales, reduciendo su toxicidad. Estas estrategias pueden aplicarse mediante bioaumentación, que consiste en añadir microbios seleccionados al suelo, o bioestimulación, que mejora las condiciones ambientales para favorecer a los microbios ya presentes. En ambos casos, la ciencia no inventa procesos nuevos, sino que coopera con mecanismos que la vida ha perfeccionado durante millones de años.





## Microbios que limpian el suelo: pequeños aliados contra la contaminación

**En sitios altamente contaminados hay vida microbiana activa, adaptada y con potencial biotecnológico**

Aunque muchas veces se asocian con enfermedades, algunas bacterias y hongos tienen habilidades sorprendentes: pueden vivir en suelos contaminados con metales pesados y contribuir a su descontaminación. Gracias a su capacidad para tolerar, transformar o acumular metales tóxicos, estos microbios contribuyen a reducir el daño ambiental y a restaurar la salud del suelo. Por esta razón, hoy se les reconoce como elementos clave en la biotecnología ambiental, un campo dedicado a desarrollar soluciones sostenibles para proteger los ecosistemas.

Existen tres mecanismos principales con los que enfrentan los metales pesados:

1. Biosorción: Los microbios retienen los metales en sus superficies celulares, reduciendo su concentración en el entorno.
2. Bioacumulación: Algunas especies los absorben y almacenan en su interior, aislándolos del medio externo.
3. Biotransformación: Los microbios alteran químicamente los metales, volviéndolos menos tóxicos o insolubles, lo que favorece su inmovilización en el suelo.

Comprender cómo actúan estos microorganismos es solo el primer paso. Para aprovechar su potencial, se requiere aislarlos, identificarlos y estudiar sus capacidades específicas. Esto cobra especial relevancia en sitios contaminados, donde muchos han desarrollado mecanismos únicos para sobrevivir en condiciones adversas. Conocer qué especies están presentes y cómo interactúan con su entorno permite diseñar estrategias de biorremediación más efectivas, basadas en microbios ya adaptados a esos desafíos.

### Buscando aliados bajo tierra

El proceso comienza con lo inesperado: plantas que sobreviven en suelos contaminados (Figura 2). A partir de ellas, se recolecta el suelo adherido a sus raíces, un entorno rico en microorganismos especializados.

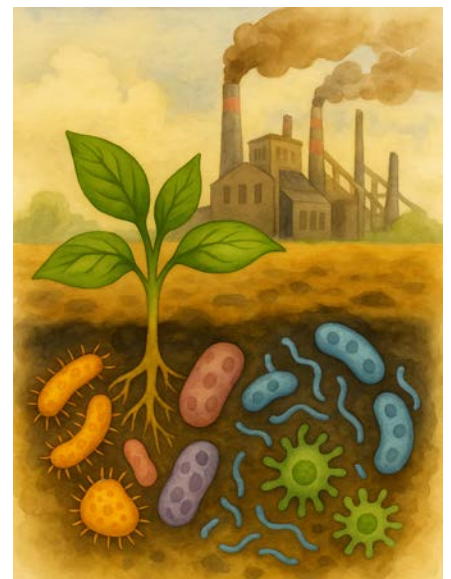


Figura 2. Suelo contaminado.



La  
**metagenómica**  
permite  
descubrir  
miles de  
microbios que  
antes eran  
invisibles  
para la ciencia

En el laboratorio, ese suelo se procesa para liberar bacterias y hongos, que se cultivan en medios con concentraciones controladas de metales pesados. Solo aquellos microorganismos con mecanismos de resistencia logran crecer, dando inicio a la verdadera exploración científica.

¿Y por qué es tan importante aislarlos? Porque muchos de estos microorganismos no solo sobreviven, sino que neutralizan los metales tóxicos, los inmovilizan o incluso los extraen del suelo. Algunos van más allá: producen sideróforos, que capturan hierro y otros metales, o fitohormonas, que estimulan el crecimiento de las plantas y fortalecen la resistencia al estrés ambiental.

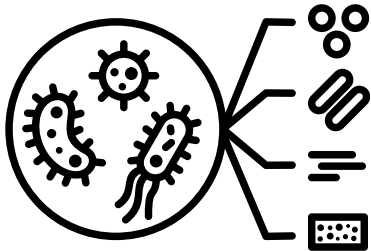
Existe una frase clásica en microbiología ambiental que lo resume bien: “Todo está en todas partes, pero el ambiente selecciona”. Esto implica que los microorganismos con las capacidades adecuadas se desarrollan justo donde más se requieren. Por ello, los sitios contaminados no solo representan un problema, sino también una oportunidad para hallar soluciones en los propios microbios que allí habitan.

### **Metagenómica: una ventana al subsuelo**

En la vanguardia de la investigación ambiental, los avances en el estudio de microbiomas en sitios contaminados han sido impulsados por la metagenómica, una disciplina que revela la diversidad genética y funcional de comunidades microbianas complejas en apenas unos gramos de suelo. Un ejemplo claro es el análisis del microbioma rizosférico en suelos contaminados por metales pesados, como los de la antigua planta fundidora de Ávalos, en Chihuahua, México (Figura 3; Montes-Montes et al., 2025).



**Figura 3.** Antigua planta fundidora de Ávalos, Chihuahua, México.



A pesar del impacto de décadas de actividad metalúrgica, este sitio reveló, gracias a la metagenómica, una notable diversidad de bacterias, arqueas y hongos adaptados a condiciones extremas. Se identificaron más de 2,000 géneros microbianos, muchos de ellos conocidos por su capacidad de resistir y transformar metales como plomo, arsénico, cadmio y zinc. Estos hallazgos confirman que, incluso en ambientes altamente tóxicos, la vida microbiana no solo sobrevive, sino que despliega estrategias especializadas para adaptarse y contribuir a la recuperación del ecosistema.

### Conclusiones

La naturaleza ha resuelto problemas complejos durante millones de años y los microorganismos del suelo son una de sus herramientas más poderosas. Lejos de ser enemigos invisibles, bacterias, hongos y arqueas poseen un enorme potencial para enfrentar desafíos ambientales como la contaminación del suelo.

Comprender y aprovechar sus capacidades no significa imponerse a la naturaleza, sino trabajar en conjunto con ella. La biorremediación nos invita a observar con humildad, aprender de los procesos que ya funcionan en silencio bajo nuestros pies y aplicar ese conocimiento para construir soluciones sostenibles. El futuro de la remediación está en manos de quienes reconozcan el valor de los microbios como aliados clave para restaurar el equilibrio de nuestro entorno.



### Literatura recomendada

Atlas, R. M., & Bartha, R. (2002). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. Madrid: Pearson Educación, S. A.

Montes-Montes, G., Muñoz-Ramírez, Z. Y., Cortes-Palacios, L., Carrillo-Campos, J., Ramírez-Sánchez, O., Ortiz-Aguirre, I., Muñoz-Castellanos, L.N., & González-Escobedo, R. (2025). Microbial diversity and heavy metal resistome in slag-contaminated soils from an abandoned smelter in Chihuahua, Mexico. *Soil Systems*, 9(2), 30.

Naciones Unidas (NU). (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Naciones Unidas. Recuperado de <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/page/objetivos-de-desarrollo-sostenible>.

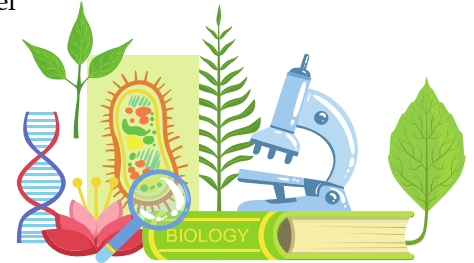




## Semblanzas de autor

**M.C. Héctor Alejandro Reza-Solis.** Estudiante de doctorado en la Facultad de Zootecnia y Ecología, UACH, con interés en biotecnología, ficología y biorremediación. Ha publicado en revistas internacionales y memorias de congresos nacionales. Su trabajo se enfoca en la conservación de recursos naturales, especialmente del suelo, promoviendo el desarrollo sustentable de zonas áridas con ayuda de la ciencia.

**Q.B.P. Gustavo Montes-Montes.** Estudiante de maestría en la Facultad de Zootecnia y Ecología, UACH, enfocado en bioinformática y ciencias ómicas. Ha publicado dos artículos científicos y fue reconocido en 2024 con el Premio a la Responsabilidad Medioambiental, reflejo de su compromiso con la ciencia, la sostenibilidad y la generación de conocimiento en favor del ambiente.



**Andrea Zepeda-Mestre.** Estudiante de Ingeniería en Ecología en la Facultad de Zootecnia y Ecología, UACH. Su formación académica se ha orientado al área de biorremediación. Ha sido reconocida con el Premio a la Responsabilidad Medioambiental en 2023 y 2024 en los proyectos “Educación rodante” y “Biorremediación ambiental mediante el aprovechamiento de microorganismos del suelo”.

**Dra. Zilia Yanira Muñoz-Ramírez.** Profesora investigadora de la Universidad Autónoma de Chihuahua. SNII nivel 1 y miembro internacional del Proyecto Genoma de *Helicobacter pylori* (HpGP). Sus proyectos se enfocan en el estudio de microorganismos de interés ambiental y clínico desde una perspectiva bioinformática basada en el análisis de grandes cantidades de datos ómicos.

**Dr. Román González-Escobedo.** Profesor investigador de la Universidad Autónoma de Chihuahua. SNII nivel 1 y perfil PRODEP. Miembro del Cuerpo Académico “Biotecnología microbiana en sistemas agropecuarios y ambientales”. Su línea de investigación se enfoca en el estudio de la diversidad, función e interacción de comunidades microbianas en distintos ecosistemas. Ha sido distinguido con el Premio a la Responsabilidad Medioambiental 2024 en la categoría de proyectos de investigación.

