



Microorganismos: Pequeños Actores, Grandes Impactos en la naturaleza

Juana Lira Pérez, Juan Carlos Figueroa Estrada, Mayola García Rivero

“Aliados microscópicos en la batalla contra la contaminación ambiental”

El problema de la contaminación en el mundo contemporáneo ha captado la atención de la comunidad científica porque el medio ambiente está experimentando una profunda

crisis. El impacto de los contaminantes se refleja en la generación y consumo de sustancias dañinas a la salud humana además del deterioro de los ecosistemas. En el presente, esto está provocando condiciones hostiles en las que la biodiversidad se ve amenazada, causando consecuencias devastadoras para el desarrollo de cualquier forma de vida. La actual crisis ambiental está alterando profundamente los sistemas ecológicos. Ante este escenario, es de vital importancia combatir y revertir el daño causado por la contaminación en los ecosistemas. Una alternativa prometedora es la biorremediación en la cual se aprovecha la capacidad natural de los microorganismos para la remover y eliminar los contaminantes ambientales.

La biorremediación surge como una rama de la biotecnología a mediados del siglo XX con las primeras investigaciones para estudiar y utilizar las habilidades metabólicas de los microorganismos en la restauración de los ecosistemas mediante operaciones simples, rentables, de baja demanda energética y de escasos requerimientos. Los microorganismos pueden utilizarse de forma individual o en comunidades microbianas, donde se producen interacciones que pueden resultar beneficiosas y ventajosas para la eliminación de contaminantes. Estas interacciones ocurren de forma natural en todos los sistemas ecológicos y resultan esenciales para preservar la diversidad biológica como son las interacciones de las poblaciones microbianas en los suelos, mejorando las propiedades físicas y estructurales del suelo e incrementando la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Los microorganismos en los ecosistemas tienen un rol fundamental y participan en múltiples funciones biológicas (la reutilización de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, entre otros) (Figura 1). Son los responsables de descomponer la materia orgánica del planeta y liberar nutrientes en el suelo para el crecimiento vegetal. Además, poseen habilidades metabólicas que facilitan la eliminación de contaminantes tóxicos, convirtiéndose en potentes herramientas biológicas para combatir la contaminación presente en el medio ambiente.



Figura 1. Algunos microorganismos encontrados en su entorno natural.

Usos de microorganismos en la biorremediación de ecosistemas

Las actividades antropogénicas, incluyendo las prácticas agrícolas, los procesos industriales, y el transporte, tienen un impacto significativo en las interacciones de los microorganismos en las comunidades microbianas naturales. Si bien los microorganismos están presentes en prácticamente todos los ecosistemas, solo algunas especies son capaces de adaptarse, sobrevivir y propagarse en ecosistemas contaminados. Estos microorganismos han desarrollado una variedad de mecanismos metabólicos que les permiten tolerar, transformar y eliminar los contaminantes, para utilizarlos como una posible fuente de nutrientes. Estos microorganismos son esenciales para la recuperación biológica de áreas contaminadas porque han desarrollado estrategias de adaptación únicas mediante regulación genética que les permite modificar gradualmente su tolerancia a los contaminantes.

En la última década, se han desarrollado diversas estrategias de biorremediación que aprovechan la versatilidad metabólica de los microorganismos para transformar contaminantes o eliminarlos totalmente. Las bacterias son los microorganismos más empleados para mitigar el impacto de la contaminación ya que son los más comunes del planeta tierra. Las bacterias más utilizadas en la remoción de contaminantes principalmente pertenecen a los géneros *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Alcaligenes*,

Sphingomonas y *Rhodococcus* entre otros. Además de las bacterias, otros grupos microbianos como hongos, algas, cianobacterias y actinomicetos se han utilizado para eliminar compuestos dañinos en sistemas acuáticos y terrestres contaminados.

Los hongos constituyen una extensa variedad de formas de vida en el planeta, siendo grupos de seres muy variados, desde unicelulares hasta pluricelulares. Pueden ser microscópicos o formar cuerpos fructíferos mediante sistemas subterráneos terrestres que pueden extenderse por kilómetros o incluso hectáreas. Algunas especies de hongos están interrelacionadas con la vegetación, fomentando la salud y fertilidad del suelo, ayudando a las plantas a disminuir el estrés provocado por condiciones climáticas como el aumento de la temperatura y la sequía. Este proceso no sólo mejora la fertilidad del suelo, sino que también los hongos, al consumir la materia orgánica del suelo, contribuyen a reducir el exceso de carbono producido por las actividades humanas, agrícolas e industriales, retrasando los efectos negativos del calentamiento global y protegiendo la diversidad biológica.

Específicamente, los hongos representan un grupo microbiano particularmente prometededor en los procesos de biorremediación debido a sus características distintivas. Estos microorganismos utilizan diversas estrategias, tales como la generación de múltiples enzimas que convierten los compuestos contaminantes en moléculas más sencillas y menos perjudiciales. Estas estrategias les permiten crecer en diversos entornos y eliminar múltiples contaminantes, otorgándoles un papel vital en la recuperación de aguas y suelos contaminados, contribuyendo a la recuperación de ecosistemas dañados.

Micorremediación de ecosistemas

La micorremediación es un método de biorremediación en el que se emplean las estrategias y herramientas específicas de los hongos con el objetivo de remover los contaminantes y restablecer los ecosistemas (Figura 2). Algunos hongos tienen habilidades metabólicas excepcionales para transformar y eliminar contaminantes ambientales persistentes como residuos radioactivos, hidrocarburos, medicamentos, plásticos, plaguicidas, herbicidas, insecticidas, antibióticos, cianotoxinas, tintes, colorantes, entre otros. Los hongos incluso tienen la capacidad de descomponer el poliuretano, un componente esencial de los materiales plásticos aislantes.



Figura 2. Remoción de un contaminante habitual en las aguas residuales de la industria textil (colorante negro reactivo 5) mediante micorremediación.

Interacciones y comunidades fúngicas

Los microorganismos en la naturaleza viven en grupos y forman comunidades donde se producen interacciones entre ellos para crecer, propagarse y mantenerse frente a los cambios climáticos. En las comunidades de hongos (comunidades fúngicas), se pueden establecer conexiones e interacciones beneficiosas que mejoran y aprovechan sus procesos metabólicos para reducir la contaminación del entorno. Evidencias experimentales sugieren que la competencia por espacio y nutrientes entre hongos puede mantener interacciones positivas y constituir una estrategia eficiente para potenciar la remoción de contaminantes (Figura 3). Sin embargo, actualmente no se comprenden completamente estas interacciones en las comunidades fúngicas. Se considera que durante la formación de la comunidad pueden surgir modificaciones genéticas y metabólicas en sus miembros integrantes, lo que podría incrementar sus diferentes herramientas metabólicas y, consecuentemente, potenciar sus aplicaciones en la eliminación de contaminantes.

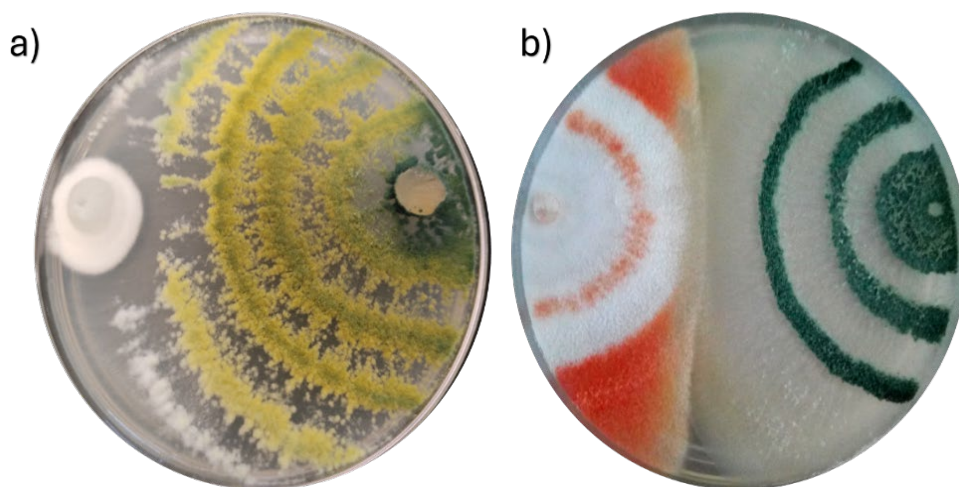


Figura 3. Comunidades de hongos con capacidades para reducir contaminantes. a) *Beauveria bassiana* con *Trichoderma* sp. b) *Pycnoporus sanguineus* con *Trichoderma* sp.

Los hongos, al formar parte de estas comunidades, potencian sus recursos metabólicos para mitigar los efectos de los contaminantes. Se han utilizado comunidades de hongos para eliminar una amplia gama de contaminantes orgánicos, incluyendo fármacos como el ibuprofeno, diclofenaco y celecoxib, además de colorantes y tintas, entre otros. Adicionalmente, se ha logrado utilizar comunidades de hongos y bacterias en instalaciones de tratamiento de aguas residuales para eliminar materia orgánica y nutrientes en las aguas residuales y eliminar contaminantes orgánicos perjudiciales.

Perspectivas futuras

Aunque se han desarrollado varias técnicas de biorremediación, todavía es necesario aplicar estas herramientas biológicas en una amplia variedad de ecosistemas contaminados, donde la micorremediación podría representar una alternativa para la recuperación ecológica. Las estrategias futuras de biorremediación con comunidades de hongos podrían centrarse en investigar las interacciones simbióticas entre hongos y otros organismos (como bacterias o plantas), crear comunidades microbianas para mitigar los daños de la contaminación y desarrollar diversos materiales que faciliten el transporte de microorganismos, con el objetivo de implementar la biorremediación de manera más sencilla y económica.

Se presenta un panorama general de la función de los microorganismos, específicamente hongos y comunidades fúngicas, en la reducción de contaminantes ambientales. Estos organismos ofrecen una alternativa prometedora para disminuir contaminación causada

por residuos radioactivos, pesticidas, herbicidas, sustancias químicas industriales, medicamentos y compuestos tóxicos. Los hongos tienen múltiples capacidades metabólicas que les permiten producir cambios y eliminar contaminantes de los ecosistemas. En este sentido, las comunidades de hongos representan una opción más robusta y duradera en comparación con los cultivos individuales.

La utilización de microorganismos es esencial para la recuperación ecológica, la administración sostenible del suelo y el agua, contribuyendo a la conservación de los recursos naturales y a la fertilidad del suelo en beneficio del medio ambiente. Hoy en día, las comunidades fúngicas representan una oportunidad para desarrollar estrategias y tecnologías sustentables con aplicaciones diversas, desde el ámbito alimentario, farmacéutico y biotecnológico, hasta el ambiental.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología y al TecNM/Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

Literatura sugerida

- Milena et al. 2023. Biorremediación en Aguas Residuales Acuícolas: Una Revisión. Ciencia Latina. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7577
- Barrantes et al. 2023. Micorremediación: el caso de *Pleurotus ostreatus* sobre polímeros sintéticos como el acetato de celulosa. Tecnología en Marcha. <https://doi.org/10.18845/tm.v37i2.64781>



Dra. Juana Lira Pérez

Autora para correspondencia:
juanis_lira@hotmail.com

TecNM/Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec,
División de Ingeniería Química y Bioquímica. Av.
Tecnológico s/n, Estado de México, México
ORCID:0000-0002-1165-665X.

Ingeniera bioquímica con especialidad en alimentos. M en C. en Ing. en Bioquímica con especialidad en biotecnología. Doctora en Ciencias en la Especialidad de Biotecnología del CINVESTAV IPN. Cuenta con experiencia en la manipulación y aplicación de microorganismos para la remoción de diversos contaminantes. Actualmente es Catedrática COMECYT en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, asesora de estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado.