

inventio

La génesis de la cultura universitaria en Morelos

Año 16, núm. 39, julio-octubre 2020

ISSN: 2007-1760 (impreso) 2448-9026 (digital) | DOI: [10.30973/inventio/2020.16.39/6](https://doi.org/10.30973/inventio/2020.16.39/6)

ARTÍCULOS

Plantas y bacterias, un vínculo para la vida

Edgar Dantán González

ORCID: [0000-0002-3973-1244/edantan@uaem.mx](https://orcid.org/0000-0002-3973-1244/edantan@uaem.mx)

Profesor-investigador, Laboratorio de Estudios Ecogenómicos, Centro de Investigación en Biotecnología (CEIB), Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Rebeca Pérez Martínez

ORCID: [0000-0002-6527-2088/rebeca_62533@hotmail.com](https://orcid.org/0000-0002-6527-2088/rebeca_62533@hotmail.com)

Maestría en Biotecnología, CEIB, UAEM

RESUMEN

Las plantas han desarrollado una infinidad de estrategias para colonizar una gran variedad de hábitats, incluso para contender a los efectos tóxicos generados por actividades antropogénicas. La actividad minera produce una gran cantidad de residuos de metales pesados, que representan un riesgo potencial en la salud de los organismos vivos, incluyendo las plantas. Las plantas han establecido una asociación con rizobacterias resistentes a metales pesados y promotoras del crecimiento vegetal que desempeñan un papel vital en la adaptación a condiciones de estrés. Se ha estudiado la relación simbiótica entre plantas leguminosas provenientes de jales mineros y bacterias fijadoras de nitrógeno resistentes a metales pesados. Esta interacción ha resultado una opción prometedora como estrategia de fitorremediación, al reducir no solamente las concentraciones y los efectos tóxicos de los metales, sino también evitar la erosión y generar una mejora paulatina en la fertilidad del suelo.

PALABRAS CLAVE

relaciones simbióticas, bacterias resistentes, metales pesados

La vida es sorprendente: emerge en condiciones imposibles para muchos organismos, incluso en contra de las actividades antropogénicas. En todas sus manifestaciones, ha demostrado el poder de abrirse camino al adaptarse a situaciones adversas e incluso tomar lo adverso para convertirlo en algo favorable. Un claro ejemplo son las plantas. ¿Quién no se ha maravillado cuando, viajando por una carretera, una pequeña planta rompe el pavimento y se manifiesta verde, poderosa, heroica? (Lina D., 2015).

Desde el comienzo de la vida en el planeta, las plantas fueron de los primeros organismos que colonizaron el espacio acuático y, eventualmente, evolucionaron para encontrar su camino hacia la tierra y hacer uso de un entorno completamente nuevo. Este desafío representó un cambio dramático en su estructura, que las llevó a desarrollar pequeños conductos en su interior que les permitieron transportar agua y minerales desde el suelo hasta las hojas, en donde producirían su alimento, lo que conocemos como fotosíntesis, además de asegurar su reproducción, fuera del agua, por medio de la formación de esporas, semillas y frutos (Eguiarte et al., 2003).

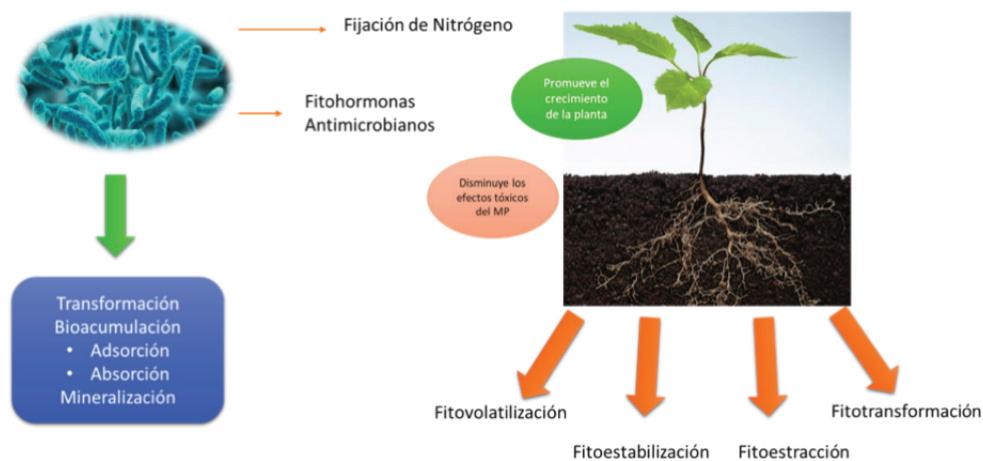
A pesar de ser organismos sésiles (que no se mueven), las plantas colonizaron una gran variedad de hábitats y ambientes inhóspitos mediante el desarrollo de una amplia variedad de estrategias que utilizaron para contender con altas y bajas temperaturas, sequía y salinidad, entre muchas otras adversidades. También han aprendido a responder a los efectos de las actividades antropogénicas que han causado daño en la estructura y funcionalidad del suelo (Wuana y Okieimen, 2011). La contaminación del suelo puede ser causada por una amplia gama de fenómenos globales, como la acelerada industrialización, derrames petroleros o la agricultura intensiva, que van de la mano con el uso indiscriminado de pesticidas, herbicidas y fertilizantes, y de la minería extensiva. Estos contaminantes restringen el crecimiento de las plantas, son las principales causas de pérdida de cultivos y representan graves amenazas para los productos agrícolas.

El suelo es el principal sumidero de metales pesados liberados al medio ambiente por las actividades antropogénicas anteriormente mencionadas y, a diferencia de los contaminantes orgánicos que se oxidan a dióxido de carbono por acción microbiana, la mayoría de los metales no sufren degradación microbiana o química, y su concentración total en suelos persiste tiempo después de su introducción. Por su efecto citotóxico, genotóxico y mutagénico, la presencia de metales en el suelo representa un riesgo potencial para la salud de los organismos expuestos y la estabilidad del ecosistema, debido a la posibilidad de la ingesta directa y, por ende, de su transferencia a través de las cadenas tróficas (suelo-planta-humano o suelo-planta-animal-humano); debido también a los desajustes en los ciclos biogeoquímicos, la escasa disponibilidad de agua, el bajo contenido de materia orgánica, el pH ácido y la salinidad, que generan una condición estresante en el establecimiento de la cubierta vegetal y, con ello, un efecto negativo en la fisiología y crecimiento de plantas.

Las concentraciones excesivas de metales pesados en los tejidos vegetales dan como resultado tasas reducidas de fotosíntesis, clorosis, inhibición del crecimiento, oscurecimiento de las puntas de las raíces, disminución de la absorción de agua y nutrientes y, finalmente, la muerte. A nivel molecular, la toxicidad de los metales se asocia con la formación e interrupción de los enlaces de sulfhidrilo y tiolato metálico, alteraciones en la estructura secundaria de proteínas, cambios en el estado redox de la célula e interferencia en la absorción, transporte y metabolismo de otros elementos minerales (calcio [Ca], magnesio [Mg], hierro [Fe] y fósforo [P]). Además, se producen alteraciones en los procesos de transferencia de electrones (redox) que incrementan la producción de radicales libres, lo que lleva a daños inespecíficos en proteínas, lípidos y otras biomoléculas.

Es por ello que las plantas se han adaptado a un ambiente donde las raíces están expuestas a niveles potencialmente altos de metales pesados, haciendo uso de diversas estrategias intrínsecas y extrínsecas de desintoxicación o tolerancia a éstos (Vangronsveld et al., 2009). Estas estrategias implican varios pasos como la restricción en la entrada del metal biodisponible a la raíz, por medio de la inmovilización o el secuestro de iones metálicos, a través de ligandos peptídicos como las fitoquelatinas o metalotioneínas; la exclusión de metales pesados tóxicos de las células por transportadores selectivos, carga y translocación de iones al xilema, y la compartimentación de los metales en las células, raíces y hojas, o bien en beneficios dados por las asociaciones con microorganismos del suelo (figura 1) (Assunção et al., 2001; Pérez Martínez, 2020).

Figura 1
Estrategia de cooperación entre bacterias y plantas



Diversos estudios han demostrado que algunas comunidades bacterianas están conformadas dinámicamente por factores ambientales, como el suelo y la estación, y por factores del huésped, como el genotipo, la etapa de desarrollo, el estado de salud y el compartimento donde ellas se alojen. Este componente microbiano, denominado microbiota (que comprende todos los microorganismos) o microbioma (que comprende todos los genomas microbianos), tiene funciones importantes que favorecen el crecimiento y la salud de su socio, la planta. Recientemente, las plantas han sido reconocidas como un metaorganismo que posee una microbiota distinta, además de mantener una estrecha relación simbiótica con los microorganismos asociados.

Entre los microorganismos que están involucrados en promover el crecimiento de las plantas se tienen las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (*plant growth promoting rhizobacteria*, PGPR), que favorecen el crecimiento de manera directa, a través de la fijación biológica del nitrógeno atmosférico (diazotrofos) y la producción de fitohormonas, como auxinas, citoquininas y giberelinas, e indirectamente, al inducir la protección de las plantas contra las enfermedades, mediante la producción de antibióticos u otras sustancias que deprimen los patógenos, como los sideróforos y los agentes quelantes. A cambio, las raíces de las plantas proporcionan una gran superficie sobre la cual las bacterias pueden proliferar y transportarse a través del suelo en términos de propagación y profundidad; los exudados de ellas proporcionan una fuente abundante de energía y nutrientes.

Este proceso coevolutivo ha constituido una estrategia adecuada en la adaptación de las plantas a ambientes metalíferos, ya que la interacción con las comunidades microbianas adaptadas a ambientes ricos en metales pesados contribuye a la resistencia de las plantas a través de mecanismos de bioacumulación, al aumentar la biodisponibilidad del metal en el suelo por medio de la acidificación, quelación y reacciones redox, o bien disminuyendo la fitotoxicidad de los metales y estimulando el crecimiento de las plantas mediante la solubilización de nutrientes minerales (nitrógeno, fosfato, potasio y hierro), la producción de sustancias promotoras del crecimiento vegetal o la precipitación, la alcalinización y la formación de complejos que ocasionan la inmovilización de los metales.

Plantas y rizobacterias en acción: uso potencial en la fitorremediación

Las interacciones y el tipo de respuesta que ejercen las plantas con el medio ambiente, en específico en sitios perturbados por actividades antropogénicas, ha sido el foco de estudio de muchos laboratorios interesados en comprender los mecanismos y las estrategias subyacentes que las plantas emplean para tolerar niveles potencialmente tóxicos de metales en el suelo. La generación de conocimiento, resultado de estos trabajos de investigación, ha sustentado las razones para el uso de plantas en la remediación de suelos contaminados. El interés en este concepto, denominado fitorremediación, está impulsado, en parte, por la

creciente conciencia de la comunidad científica sobre la existencia de un número de especies de plantas hiperacumuladoras de metal.

Las primeras familias de plantas reportadas con esta capacidad fueron la *Brassicaceae* y la *Fabaceae*. En la actualidad se han reportado más de cuatrocientas especies que hiperacumulan metales y un número considerable de éstas ha mostrado la capacidad de acumular dos o más elementos. Dentro de la familia *Fabaceae*, sobresale el género *Acacia* sp., constituido por un grupo de arbustos ampliamente distribuidos en México y que habitan en lugares alterados del bosque tropical caducifolio, aunque también son muy abundantes en ruderales. Se sabe que algunas especies de este género se emplean como leña, alimento para ganado y usos medicinales, y que particularmente las especies *Acacia farnesiana*, *A. cochliacantha* y *A. mangium* se han estudiado desde la perspectiva de su utilización para la biorremediación, debido a que se han reportado como especies tolerantes en sitios contaminados por metales pesados y resistentes a elevadas concentraciones de plata (Ag), plomo (Pb), mercurio (Hg), cromo (Cr) y cadmio (Cd), así como de su capacidad para mejorar la fertilidad del suelo, al generar una mayor disponibilidad de nutrientes y por su capacidad de asociarse con bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno y promotoras de crecimiento vegetal.

Teniendo en cuenta esta interacción, en los últimos años se han propuesto métodos mejorados de fitorremediación con base en las interacciones cercanas entre plantas y microorganismos simbióticos de suelos. La aplicación de bacterias que poseen características de desintoxicación de metales junto con propiedades beneficiosas para las plantas hiperacumuladoras es un enfoque de biorremediación rentable y respetuoso con el medio ambiente.

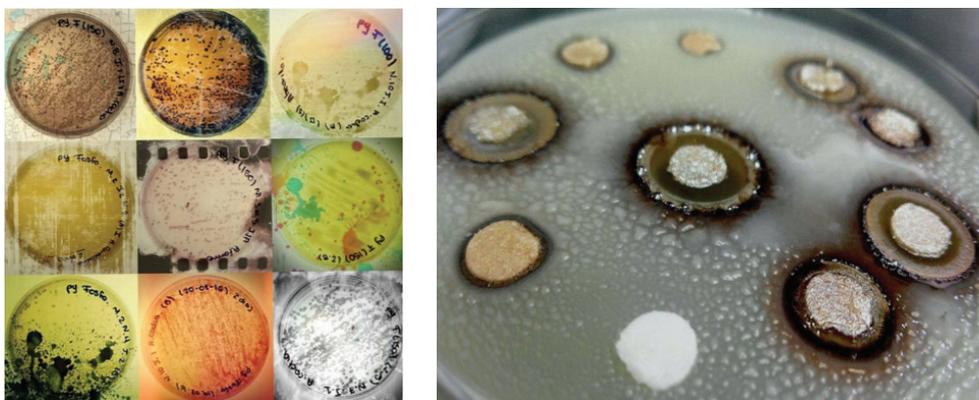
Actualmente, en algunos laboratorios se está estudiando la relación simbiótica entre dos especies de *Acacia* (*Acacia farnesiana*, *A. cochliacantha*) provenientes de jales mineros y bacterias fijadoras de nitrógeno resistentes a metales pesados, específicamente plomo (Pb), cadmio (Cd), manganeso (Mn) y zinc (Zn) (figura 2) (Pérez Martínez, 2017; Wuana y Okieimen, 2011). Este tipo de asociaciones simbióticas son un excelente modelo para comprender el papel que ambos organismos desempeñan para *ayudarse* a contender en condiciones de estrés. En las pruebas, se han aislado más de cien cepas bacterianas, que forman la microbiota de los nódulos de estas *acacias*. Con el objetivo de identificar los posibles elementos génicos y los mecanismos moleculares asociados con la resistencia a metales pesados en rizobacterias, se ha empleado la genómica estructural y técnicas de frontera de biología molecular.

Actualmente se encuentran identificados algunos mecanismos altamente complejos de expulsión y biotransformación de Pb y Cd, además de elementos génicos relacionados con promotores del crecimiento vegetal, la fijación biológica del nitrógeno y las vías de síntesis de moléculas involucradas en la resistencia a sequía, como la trehalosa. También se han descrito genes de resistencia a una gran variedad de antibióticos, lo que ha permitido establecer la relación que existe entre los mecanismos de resistencia a los metales pesados y la

resistencia a antibióticos. Esto ha contribuido al entendimiento y desarrollo de nuevos antimicrobianos, sumamente necesarios ante la creciente resistencia bacteriana a los antibióticos convencionales.

Figura 2

Bacterias simbiotas de *Acacia* sp. aisladas de jales mineros, capaces de crecer en concentraciones altas de plomo (Pb)



Toda esta información sugiere, entonces, que estas rizobacterias podrían ser recomendadas y útiles en aplicaciones biotecnológicas rentables, como la fitorremediación, al ayudar a promover el establecimiento de especies de leguminosas hiperacumuladoras y, con ello, reducir las concentraciones y los efectos tóxicos de los metales, además de evitar la erosión y generar una mejora paulatina de la fertilidad del suelo.

Referencias

- Assunção, A., Martins P., De Folter S., Vooijs R., Schat H. y Aarts, M. G. M. (2001). Elevated expression of metal transporter genes in three accessions of the metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Plant Cell and Environment*, 24 (2), 217-226. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2001.00666.x>
- Eguiarte, L. E., Castillo, A. y Souza, V. (2003). Evolución molecular y genómica en angiospermas. *Interciencia*, 28 (3), 141-147. <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0378-18442003000300005&lng=es&nrm=iso>
- Lina D. (2015). Life finds a way: 24 plants that just won't give up. https://www.boredpanda.com/plants-flowers-versus-concrete-asphalt-pavement/?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=organic
- Pérez Martínez, R. (2017). *Análisis comparativo de bacterias fijadoras de nitrógeno asociadas a Acacia sp. procedentes de los jales mineros de Huautla, Morelos*. (tesis de licenciatura). UAEM, Cuernavaca, Morelos.

- Pérez Martínez, R. (2020). *Genómica estructural y caracterización molecular de bacterias simbiotes resistentes de metales pesados* (tesis de maestría). UAEM, Cuernavaca, Morelos.
- Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet, J., Adriaensen, K., Ruttens, A. y Van der Lelie, D. (2009). Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: Lessons from the field. *Environmental Science and Pollution Research*, 16 (7), 765-794. <https://doi.org/10.1007/s11356-009-0213-6>
- Wuana, R. A. y Okieimen, F. E. (2011). Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *International Scholarly Research Network, ISRN Ecology*, 2011, 1-20. <https://doi.org/10.5402/2011/402647>