

# BACTERIAS PARA LA SUSTENTABILIDAD

Fotografía: Shutterstock



**Luis David Alcaraz**  
UNAM  
lalcaraz@iecologia.unam.mx  
**Mariana Peimbert**  
UAM  
mpeimbert@correo.cua.  
uam.mx



Las bacterias son clave en el ambiente, comenzando por la importancia de las mismas interacciones entre ellas, hasta el hecho de que sean las responsables de los ciclos biogeoquímicos del planeta. El estudio de la diversidad microbiológica, mediante herramientas genómicas, nos permite identificar genes clave involucrados en interacciones biológicas, como lo son el comensalismo, simbiosis y patogénesis. Las reservas de microorganismos (bacteria y *archaea*) en el suelo son enormes. Se estima que por un

gramo de suelo podemos encontrar  $10^{11}$  microorganismos, que pueden ser clasificados entre 30 mil hasta  $10^4$  especies, lo que hace del suelo uno de los ecosistemas conocidos más biodiverso.

El estudio de las bacterias se ha auxiliado de las nuevas tecnologías de secuenciación masiva de ADN, que junto con la libertad de no depender exclusivamente de cepas cultivables ha permitido tratar de entender a las comunidades bacterianas a través de sus genes. Gracias al desarrollo de herramientas tecnológicas y analíticas para los metagenomas, ahora es común hacer estudios de microbiomas. Este concepto se refiere a la comunidad microbiana asociada a un organismo y sus elementos genéticos e interacciones que tiene repercusiones en la salud y productividad de sus hospederos.

Los microorganismos desempeñan un papel fundamental en los ciclos biogeoquímicos de

nutrientes y materia orgánica, mejoran el desempeño de las plantas y mantienen la calidad del suelo, atributos clave para la sustentabilidad de los agroecosistemas.

### Biodiversidad de las bacterias y su importancia

El microbioma de la raíz de una planta se compone del total de la comunidad bacteriana asociada con las raíces. Los elementos genéticos de las bacterias y las interacciones entre la planta y los microorganismos tienen repercusiones en la salud de la planta y su productividad. Con lo que conocemos ahora, parece que el suelo y su microbioma son la principal fuente de la comunidad microbiana que coloniza la planta, aunque su genotipo particular también juega un papel al dejarse colonizar solo por ciertos microorganismos. En nuestro laboratorio estamos evaluando tanto distintos suelos y plantas para probar las principales variables que estructuran una comunidad de microorganismos, así como en la productividad y salud de la planta hospedera.

Se sabe que los microorganismos son esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas; para el caso de las plantas se ha llegado a proponer que una parte sustantiva de la diversidad vegetal está condicionada a los microbios del suelo, que son los que dirigen la diversidad y productividad de los ecosistemas terrestres.

Además estamos en busca de comunidades de microorganismos que repercutan positivamente en las plantas (mayor talla o más frutos). A largo plazo nos gustaría generar comunidades sintéticas, guiadas por el conocimiento de los muestreos y los experimentos, para ser inoculadas como biofertilizantes, reducir la incorporación de agentes químicos y que el ciclo de nutrientes sea dominado por microorganismos. El estudio de los microbiomas de plantas tiene impactos importantes ante escenarios de cambio climático y seguridad alimentaria, los microorganismos pueden jugar un papel importante en mantener el rendimiento, calidad y continuidad en la producción agrícola.

### Reducción de desastres y biorremediación

La minería es una actividad inseparable de las sociedades modernas. En nuestro país se tiene estimado que ésta siga al alza por los siguientes años, al ser una importante fuente de ingresos. En el norte del territorio nacional, en los estados de Sonora, Chihuahua, Zacatecas y Coahuila, se concentra más de la mitad de la actividad minera de México. Por el carácter extractivo de la minería abierta no resulta una actividad ambientalmente sustentable y se hacen afectaciones sustantivas del paisaje. Posterior a la extracción de los minerales de interés se generan desechos

conocidos de forma general como jales mineros, que se caracterizan por tener altas concentraciones de metales pesados, sales, pH ácido y bajo contenido de materia orgánica, cuando se encuentran en zonas áridas, muestran intensos procesos de erosión que representan un riesgo ambiental y de salud pública.

La serie de estrategias para la mitigación del daño se conocen como biorremediación, para la que se utilizan microorganismos y plantas en la remediación de ambientes contaminados; cuando se combinan ambos tipos de organismos se denomina fitorremediación, que puede ser por fitoextracción o por fitoestabilización.

Los microorganismos tienen relevancia determinante en la fitoestabilización, en múltiples procesos: promoción del crecimiento vegetal, la inmovilización de los metales mediante proteínas especializadas como las metalotioneínas, precipitación reductora, producción de moléculas quelantes, biosorción, entre otros. El éxito de la fitoestabilización depende de la interacción de la planta con sus microorganismos, ya que los microbios fomentan el crecimiento vegetal, ciclan nutrientes y estabilizan a los metales, mientras que las plantas proporcionan a las bacterias fuentes de carbono que son inexistentes de otra forma. El estudio de los microbiomas de plantas capaces de sobrevivir en jales mineros abre las puertas a estrategias de fitoestabilización, que en nuestro país son urgentes.

### Monitoreo ambiental genómico

En el caso particular de los microorganismos, los datos genómicos tienen un gran potencial para monitorear al medio ambiente; éstos responden de forma rápida y sensible ante las perturbaciones

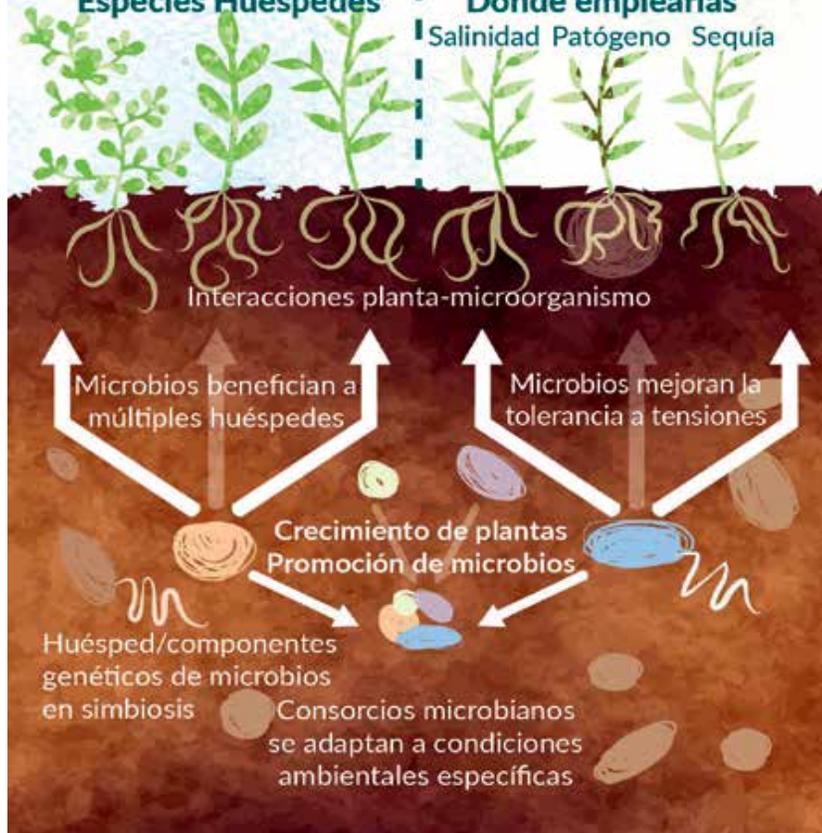
El uso de bacterias para recuperar suelos y generar mejoras agrícolas representa grandes ahorros económicos y beneficios ambientales



## POTENCIALES USOS DEL MICROBIOMA TERRESTRE

El estudio de los microorganismos que habitan los suelos ayudan a entender su papel en el crecimiento de plantas y cómo podrían emplearse en la agricultura.

**Especies Huéspedes** | **Dónde emplearlas**  
Salinidad Patógeno Sequía



cambiando la expresión de sus genes y modificando su tasa de reproducción, lo que lleva a un cambio de abundancia de cada especie en la comunidad; al mismo tiempo los microorganismos poseen la capacidad de ser resilientes, es decir, resistir perturbaciones (incendios, inundaciones, derrames químicos, etcétera) y en muchos casos regenerarse.

Si bien los microorganismos pueden ser resilientes, las perturbaciones ambientales se medirían por cambios en sus frecuencias en la comunidad; dichas frecuencias se pueden monitorear indirectamente mediante la abundancia de genes marcadores. En algunos lugares han surgido estrategias de monitoreo de la diversidad a largo plazo, la novedad es incorporar datos genómicos de los microorganismos. Con dichos monitoreos será posible identificar perfiles taxonómicos y metabólicos, que se puedan asociar a estados de salud y enfermedad ambiental.

En Estados Unidos es obligatorio liberar los datos genómicos generados con recursos públicos en bases de datos como GenBank. En México sería ideal poder tener sistematizada la información ge-

nómica nacional que se genere y esto puede ser de interés a diversas instituciones como: Conacyt, Secretaría de Salud, Semarnat, Conabio o Sagarpa. Ya existen bases de datos que tratan de sistematizar y hacer accesible al público general la diversidad biológica como el gran esfuerzo de Conabio, en Naturalista (<http://www.naturalista.mx/>); se puede pensar en incorporar información genómica generada en instituciones públicas de México a dichas bases de datos. Con tecnologías de secuenciación de ADN cada vez más accesibles, económicas e inclusive portátiles (<https://goo.gl/bEX7D2>) no está lejano el día en utilizar esfuerzos de ciencia ciudadana para el monitoreo genómico ambiental. Ya hay ejemplos exitosos como el *Global Ocean Sampling Day* (<https://goo.gl/HoNgFq>).

Estudiando los microbiomas de plantas y suelos podemos contribuir a los siguientes temas de las metas de la Organización de Naciones Unidas para el desarrollo sostenible (<http://www.un.org/>): biodiversidad, seguridad alimentaria, reducción de desastres, monitoreo ambiental y cambio climático. Para cubrir las metas de desarrollo sostenible es prioritario utilizar la información derivada de este tipo de estudios e integrar grupos transdisciplinarios (científicos, sociedad y gobierno) para traducir la información generada y buscar solucionar problemas socioambientales.

El estudio de los microbiomas de plantas es una transición continua desde la ciencia básica hasta la búsqueda de soluciones de sistemas complejos y no se puede descuidar ningún aspecto. ↻

### Agradecimientos

LDA agradece el apoyo a los proyectos Conacyt CB 0237387 y DGAPA-PAPIIT-UNAM TA200117.

### Referencias

- L. F. W. Roesch et al., 2007, *ISME J.* 1, 283–90.
- N. Weinert et al., 2011, *FEMS Microbiol. Ecol.*, 75, 497–506.
- J. M. Raaijmakers, et al., 2008, *Plant Soil*, 321, 341–361.
- D. Bulgarelli, et al., Annu., 2013, *Rev. Plant Biol.* 64, 807–838.
- M. G. A. van der Heijden, M. Hartmann, 2016, *PLOS Biol.* 14, e1002378.
- M. G. A. van der Heijden et al., 2008, *Ecol. Lett.* 11, 296–310.
- INEGI, 2013, "La minería en México".
- M. O. Mendez, R. M. Maier, Environ. 2008, *Health Perspect.* 116, 278–83.
- J. Paz-Ferreiro et al., 2014, *Solid Earth*, 5, 65–75.
- H. Alij, E. Khan, M. A. Sajad, 2013, *Chemosphere*, 91, 869–881.
- M. Rajkumar, et al., 2012, *Biotechnol. Adv.* 30, 1562–1574.
- M. Valls, V. de Lorenzo, 2002, *FEMS Microbiol. Rev.* 26, 327–338.
- O. U. Mason et al., 2014, *ISME J.* 8, 1464–75.
- N. Davies et al., 2014, *Gigascience*, 3, 2.
- N. Davies, D. Field, T. G. O. 2012, *Network, Nature*, 481, 145.