

LAS BACTERIAS COMO MICROORGANISMOS ALIADOS PARA MEJORAR LA AGRICULTURA

José Luis Ávila Oviedo*, Francisco Javier Campos Mendoza, Vicente Montejano Ramirez

Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas, laboratorio de Ecología Microbiana. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

*Contacto: 1355646g@umich.mx



Las bacterias como microorganismos aliados para mejorar la agricultura

RESUMEN

¿Qué te imaginas cuando escuchas la palabra bacteria? Seguramente asocias el término con eventos desfavorables, esta percepción se debe a que algunas bacterias son microorganismos que ocasionan infecciones graves a los seres humanos y a otros organismos tanto animales como vegetales. Sin embargo, existe otro tipo de bacterias de las cuales obtenemos beneficios, por ejemplo, en agricultura, las bacterias promotoras de crecimiento (PGPBs por sus siglas en inglés) son utilizadas para mejorar la nutrición, crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, protegen a las plantas de enfermedades ocasionadas por otros microorganismos perjudiciales llamados fitopatógenos.

Palabras claves:
BACTERIAS, AGRICULTURA, PLANTA

¡La agricultura se encuentra comprometida!

Se estima que para el 2050 la población incrementará a 9.7 millones de personas, por lo que la producción agrícola deberá incrementar hasta un 60 % si se desea mantener el abasto de alimentos [1]. Aunado a esto, los cultivos agrícolas son susceptibles a diferentes factores como: variaciones en las propiedades químicas del suelo, cambios climáticos, y microorganismos patógenos de plantas (fitopatógenos) (Fig. 1). Si bien, los tratamientos químicos son los más utilizados para controlar dichas afectaciones, su aplicación constante genera repercusiones graves a los ecosistemas y a la salud humana [2]. Una alternativa para disminuir el uso de estos productos, es la aplicación de bacterias promotoras de crecimiento (PGPBs) las cuales mediante diferentes mecanismos favorecen la nutrición desarrollo e inmunidad de las plantas y mantienen la fertilidad de los suelos [3].

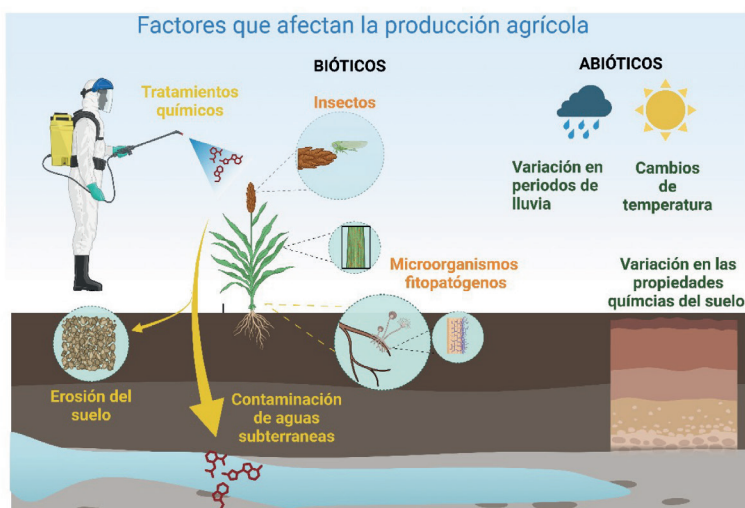


Figura1. Factores que condicionan las prácticas agrícolas. La imagen representa factores perjudiciales para las plantas (variación en las condiciones climatológicas, propiedades químicas del suelo, ataque de microorganismos fitopatógenos e insectos). Los tratamientos químicos como alternativa y sus efectos secundarios (erosión del suelo y contaminación de aguas subterráneas). Autoría propia. Elaborada con BioRender.

Colonización de bacterias en las plantas

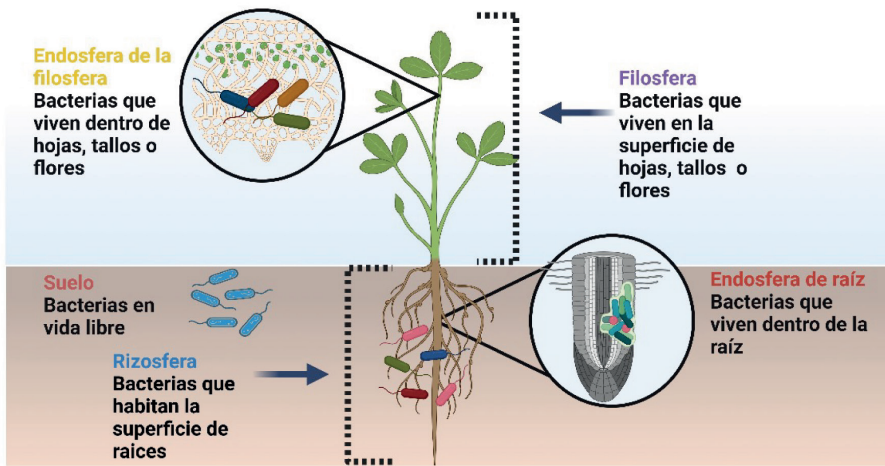


Figura 2. Partes de la planta colonizadas por bacterias. La imagen muestra los sitios de interacción planta-bacterias. Autoría propia. Elaborada con BioRender.

¿Dónde podemos encontrar las bacterias PGPBs?

En el suelo existe una amplia diversidad de estos microorganismos, los cuales se asocian con las plantas para mantener interacciones a través de la superficie de las raíces, hojas, e incluso dentro de los tejidos vegetales (Figura 2). Pero... ¿Cómo ocurren estos procesos de asociación? Encontrar respuesta a esta interrogante ha sido el objetivo de varias áreas de investigación, si bien aún no quedan completamente dilucidados los mecanismos de interacción, actualmente ya se conocen algunos procesos que han contribuido al aprovechamiento de las bacterias en agricultura [3].

¿Cómo hacen las bacterias PGPBs para favorecer el crecimiento de las plantas?

Las plantas, al igual que los seres humanos, requieren de nutrientes esenciales para crecer. A pesar de que su fuente primaria de nutrientes la encuentran en el suelo, debido al estado químico en el que se encuentran algunos nutrientes, no están disponibles para las plantas; sin embargo, las bacterias localizadas en el suelo, mediante distintos mecanismos, transforman estos nutrientes a formas asimilables para las plantas. Un ejemplo, es el proceso de fijación de nitrógeno por la actividad de las bacterias asociadas con leguminosas. Las bacterias se acumulan en las raíces de la planta y forman nódulos (Figura 3), mediante estas estructuras se fija el nitrógeno que se encuentra en el aire (N_2); en una primera etapa las bacterias transforman el nitrógeno a nitrato (NO_3^-) y en una reacción posterior a amonio (NH_4^+) y estos iones de nitrógeno nutren a la planta [4].

Otro ejemplo es el del fósforo, la mayor cantidad de fósforo en el suelo se encuentra como fosfato de calcio, magnesio o hierro que no son asimilables por las plantas. Las bacterias por otra parte, producen enzimas que solubilizan o mineralizan el fósforo a formas que las plantas pueden asimilarlo como el ácido fosfórico ($\text{HPO}_4\text{-}2$), el resultado de esta descomposición genera otros subproductos como el fósforo de hierro (FeP), cálcico (CaP) o de magnesio (MgP), los cuales son aprovechados como micronutrientes por las plantas [5]. El hierro es otro elemento nutritivo con baja solubilidad, la mayor parte del hierro en el suelo se encuentra como hierro férrico (Fe^{3+}) o ferroso (Fe^{2+}), existen bacterias que

producen compuestos llamados sideróforos, estos compuestos capturan el hierro y posteriormente lo van a solubilizar, es decir, van a cambiar su conformación para que pueda ser transportado y después liberado como hierro libre, de esta forma puede ser aprovechado por las plantas [6].

Adicionalmente, las plantas requieren de hormonas para su crecimiento, a las cuales se les denominan fitohormonas, las más comunes son: auxinas, giberelinas, citoquininas y etileno (Figura 3). Existen bacterias que producen o inducen la producción de fitohormonas, tal es el caso del ácido indol acético (IAA por sus siglas en inglés) dicha fitohormona promueve el crecimiento vegetal [3] (Figura 3).

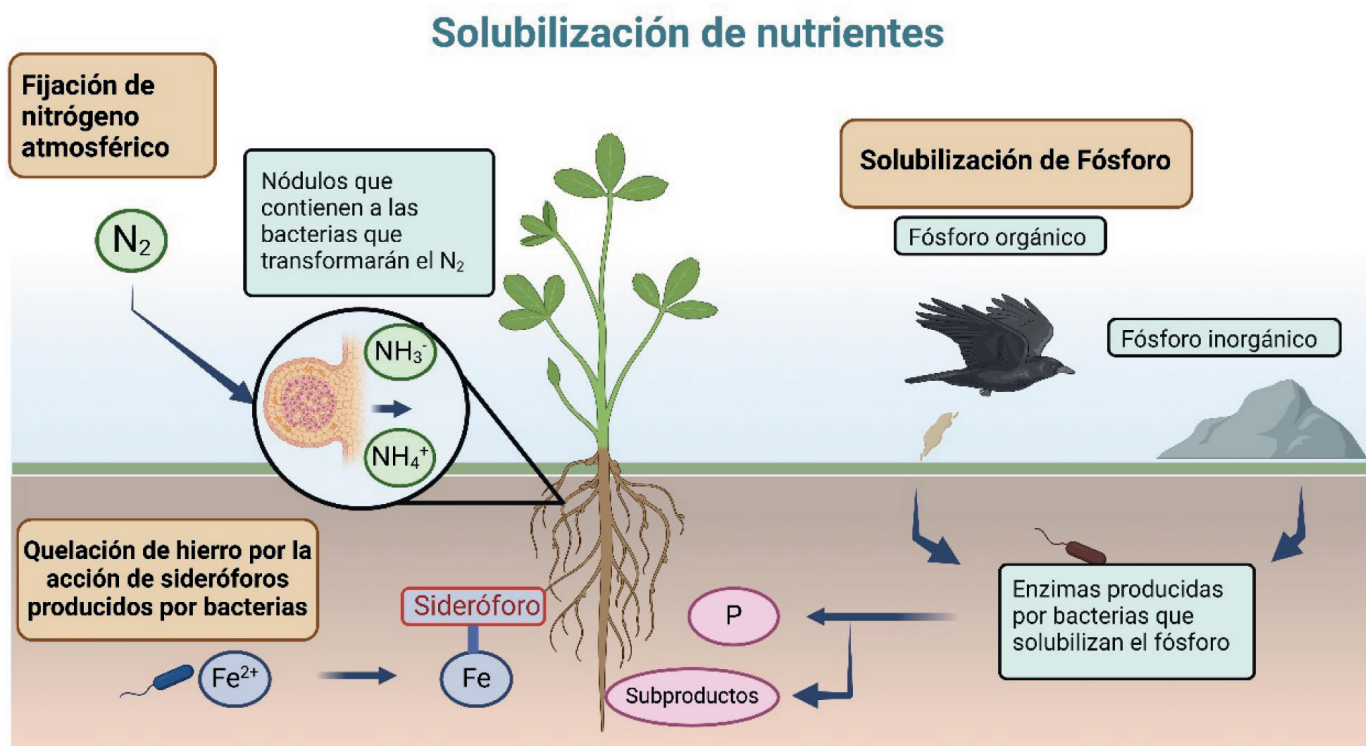


Figura 3. Contribución de las bacterias en la nutrición y desarrollo de las plantas. La imagen muestra el proceso de fijación de nitrógeno por PGPBs y sus diferentes etapas; nitrógeno atmosférico (N_2) es transformado a nitrato (NH_3) y amonio (NH_4^+). Solubilización de fósforo; inicia con la degradación de compuestos de fósforo (P) de una fuente orgánica o inorgánica a moléculas menos complejas. Fuente de hierro; las bacterias producen sideróforos los cuales cambian la conformación del óxido de hierro (Fe^{2+}) a una molécula asimilada por la planta. Autoría propia. Elaborada con BioRender.

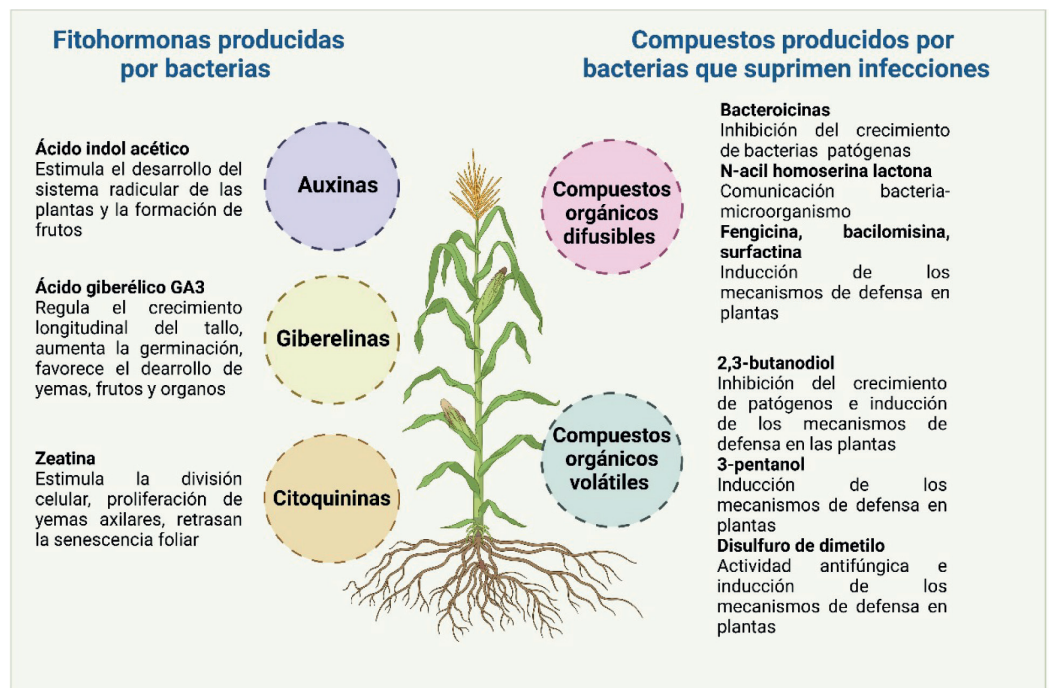
Bacterias PGPBs defensoras de las plantas

Los seres vivos somos vulnerables a microorganismos perjudiciales. El ejemplo más reciente es la última pandemia ocasionada por el virus SARS-CoV-2. Las plantas no son la excepción; ya que desarrollan enfermedades ocasionadas por nematodos, hongos, virus y algunas bacterias; como consecuencia se generan pérdidas productivas parciales o totales. Algunas PGPBs producen un amplio arsenal de compuestos que combaten microorganismos perjudiciales de plantas, a este mecanismo se le conoce como antibiosis [7]. Estos compuestos pueden ser de naturaleza difusible o volátil; la diferencia radica en que los difusibles se van a encontrar difusos y acumulados en el medio en donde crece la bacteria, mientras que los volátiles se encuentran en estado gaseoso, por lo que están asociados a la comunicación planta-bacteria a larga distancia. La naturaleza química de ambos compuestos pertenece a diferentes familias químicas: alcoholes, aldehídos, cetonas, alcanos, alquenos, alquinos y terpenoides, etc. [7]. Dada esta diversidad en su estructura, generan diferentes afectaciones en los microorganismos perjudiciales. Por ejemplo, en hongos, se pueden dañar estructuras como las hifas o afectar la formación de estructuras reproductivas [8].

No obstante, estos compuestos también pueden fungir como un estímulo para que la planta se alerte y active sus mecanismos de defensa contra su amenaza. Algunos compuestos producidos por PGPBs como el 2,3-butanodiol y disulfuro de dimetilo, inducen la activación de la defensa en plantas lo que reduce la enfermedad ocasionada por hongos como *Rhizoctonia solani* y *Botrytis* respectivamente [7]. Los beneficios que las bacterias proporcionan a la agricultura son prometedores. Algunos casos de éxito es la aplicación de las bacterias *Pantoea ananatis*, *Enterobacter* sp. y *Piriformospora*; las cuales aumentaron los rendimientos productivos en cultivos de arroz hasta un 32% [9]. Adicionalmente *Bacillus subtilis* FZB 24 aplicado a plantas de algodón incrementó los rendimientos un 30% [10].

Finalmente, la aplicación de bacterias en campo abierto presenta limitaciones que incluyen: bajas tasas de supervivencia de las bacterias, la competencia por espacio y nutrientes con otros microorganismos que habitan el mismo nicho ecológico y la baja compatibilidad que puedan tener con las variedades de plantas de interés [3]. Además, a largo plazo no se tienen reportes precisos de los efectos que ocasionan en las comunidades microbianas nativas. En este sentido, se debe seguir investigando para encontrar estrategias que mejoren el éxito del uso de PGPBs en agricultura, con la finalidad de disminuir el uso de productos químicos y, a su vez, mantener el abasto de alimentos sin comprometer los ecosistemas.

Figura 4. Producción de hormonas o compuestos secundarios involucrados en el desarrollo e inmunidad de la planta. La imagen muestra ejemplos de las principales fitohormonas producidas por bacterias, y de compuestos volátiles o difusibles involucrados en la inmunidad de la planta. Autoría propia. Elaborada con BioRender.



Referencias bibliográficas

- [1] FAO. (2017). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2017. <https://www.fao.org/3/a-l7695s.pdf>.
- [2] Mesnage, R., & Séralini, G. E. (2018). Toxicity of pesticides on health and environment. *Frontiers in public health*, 6, 268. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00268>.
- [3] Etesami, H., & Maheshwari, D. K. (2018). Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicology and environmental safety*, 156, 225-246. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.013>.
- [4] Halbleib, C. M., & Ludden, P. W. (2000). Regulation of biological nitrogen fixation. *The Journal of nutrition*, 130(5), 1081-1084. <https://doi.org/10.1093/jn/130.5.1081>.
- [5] Tamad, Maas, A., Hanudin, E., & Widada, J. (2021). The mechanism of phosphate bacteria in increasing the solubility of phosphorus in Indonesian Andisols. *Journal of Water and Land Development*, 49, 188-194. <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.137111>.
- [6] Saha, M., Sarkar, S., Sarkar, B., Sharma, B. K., Bhattacharjee, S., & Tribedi, P. (2016). Microbial siderophores and their potential applications: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 3984-3999. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4294-0>.
- [7] Montejano-Ramírez, V., Ávila-Oviedo, J. L., Campos-Mendoza, F. J., & Valencia-Cantero, E. (2024). Microbial volatile organic compounds: Insights into plant defense. *Plants*, 13(15), 2013. <https://doi.org/10.3390/plants13152013>.
- [8] Chávez-Avilés, M. N., García-Álvarez, M., Ávila-Oviedo, J. L., Hernández-Hernández, I., Bautista-Ortega, P. I., & Macías-Rodríguez, L. I. (2024). Volatile organic compounds produced by *Trichoderma asperellum* with antifungal properties against *Colletotrichum acutatum*. *Microorganisms*, 12(10), 2007. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12102007>.
- [9] Bakhshandeh, E., Pirdashti, H., Shahsavarpour Lendeh, K., Gilani, Z., Yaghoubi Khanghahi, M., & Crecchio, C. (2020). Effects of plant growth promoting microorganisms inoculums on mineral nutrition, growth and productivity of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 43(11), 1643-1660. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1739297>.
- [10] Yao, A. V., Bochow, H., Karimov, S., Boturov, U., Sanginboy, S., & Sharipov, A. K. (2006). Effect of FZB 24® *Bacillus subtilis* as a biofertilizer on cotton yields in field tests. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 39(4), 323-328. <https://doi.org/10.1080/03235400600655347>.