

Sección: Microbios

Las bacterias y levaduras: aliadas silenciosas de una agricultura sostenible

Bacteria and yeasts: silent allies of sustainable agriculture

Gabriela Sánchez-Viveros¹

María E. Díaz-Martínez¹

Jesús R. Sánchez-Pale^{2*}

¹Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n. Xalapa, Veracruz, México.

²Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca de Lerdo, Estado de México, México.

*Autor para la correspondencia: jrsanchezp@uaemex.mx

RESUMEN

Las bacterias que interactúan con las plantas tradicionalmente se han considerado organismos patógenos responsables de deformaciones, esterilidad y pérdida de la calidad en cultivos. Sin embargo, entre ellas existe un grupo de microorganismos benéficos conocidos como bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR), cuyo potencial biotecnológico ha tomado relevancia para el desarrollo de una agricultura sostenible. Impulsados por la necesidad de reducir la contaminación ambiental derivada del uso excesivo de fertilizantes químicos y enfrentar el estrés climático, los investigadores han identificado a las PGPR como una alternativa para favorecer una agricultura más eficiente y respetuosa con el ambiente.

Palabras clave: Rizobacterias, biotecnología agrícola, promotoras del crecimiento.

SUMMARY

Bacteria associated with plants have traditionally been regarded as pathogenic microorganisms responsible for crop deformities, sterility, and reductions in crop quality. However, among these microorganisms is a beneficial group known as Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR), whose biotechnological potential has gained increasing recognition for the development of sustainable agriculture. Driven by the need to reduce the environmental pollution resulting from the excessive use of chemical fertilizers and to address the challenges posed by climate change, researchers have identified PGPR as a promising biological alternative for promoting more efficient and environmentally sustainable agricultural production.

Keywords: Rhizobacteria, agricultural biotechnology, growth promoters.

Comúnmente, las bacterias fitopatógenas se asociaban de forma casi exclusiva con daños al crecimiento, deformación severa de órganos vegetales y una drástica reducción de la calidad y el rendimiento agrícola en diversos sistemas de producción. El uso excesivo e indiscriminado de fertilizantes sintéticos de origen nitrogenado ha contaminado cuerpos de agua dulce y acuíferos profundos, desencadenando procesos de eutrofización que dañan irreparablemente los ecosistemas acuáticos. Esta problemática, sumada al cambio climático y al costo de los agroquímicos impulsa la búsqueda de alternativas más sostenibles para la producción agrícola. Entonces, surgen alternativas sostenibles basadas en microorganismos promotores del crecimiento vegetal como las rizobacterias, levaduras y micorrizas. Se proyecta que sustentarán la agricultura de precisión microbiana mediante formulaciones avanzadas como la nanoencapsulación y el uso de metabolitos. Sin embargo, surgen interrogantes fundamentales: ¿cómo responderán estos inóculos ante la variabilidad edáfica, el pH extremo y la heterogeneidad climática en condiciones de campo real?, y ¿cuál es su verdadero nivel de adopción e impacto socioeconómico entre los productores agrícolas?

Rizobacterias

Las bacterias simbióticas pertenecientes al género *Rhizobium* desempeñan un rol crucial al fijar nitrógeno atmosférico en simbiosis con las raíces de leguminosas, reduciendo significativamente la necesidad de aplicar fertilizantes químicos nitrogenados. También, se conocen ampliamente las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR), las cuales actúan directamente como biofertilizantes al solubilizar fósforo inorgánico, mediante la secreción de ácidos orgánicos de cadena corta, haciéndolo disponible para la planta (Figura 1).

La rizosfera es la zona de influencia de la raíz, con un espesor aproximado de 3 mm,

donde ocurre una intensa actividad química, física y biológica impulsada por la liberación de exudados radiculares ricos en carbohidratos, aminoácidos y ácidos orgánicos. Una vez establecidas, las rizobacterias forman comunidades microbianas capaces de limitar el establecimiento de fitopatógenos. Por estas cualidades, las rizobacterias se definen hoy como agentes transformadores esenciales para una agricultura moderna y sostenible. Las PGPR ayudan en la adaptación de las plantas al estrés ambiental, además algunas PGPR tienen la capacidad de producir la enzima ACC desaminasa, una proteína que favorece la tolerancia al estrés salino al disminuir la acumulación de etileno asociado al estrés vegetal [1]. Es importante destacar que la eficiencia de la solubilización de nutrientes varía según las condiciones específicas del suelo, que explica la gran diversidad microbiana y cómo su intervención favorece la fertilidad del suelo.

Otra cualidad destacada de las bacterias es su capacidad de estimular la producción de fitohormonas que regulan el desarrollo vegetal [2]. Entre las principales fitohormonas producidas destacan las auxinas, giberelinas (GAs), citoquininas, ácido abscísico, brasinoesteroides, ácido jasmónico y etileno [1]. Otro mecanismo vital es la adquisición de hierro (Fe^{3+}) vía producción de sideróforos, que son definidos como péptidos de bajo peso molecular que actúan como “moléculas quelatantes de hierro”, enlazándose específicamente al hierro (Fe^{3+}), asegurando la nutrición de la planta [1].

Actualmente, la agricultura moderna incorpora inoculantes biológicos como *Bacillus subtilis* y *Rhizobium* spp. para colonizar la rizósfera. De acuerdo con su función, se clasifican en fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fósforo, captadores de fósforo y promotores del crecimiento, mejorando la fertilidad y el equilibrio biológico del suelo.

El uso de biofertilizantes mantiene la productividad y calidad de las cosechas, fortalece

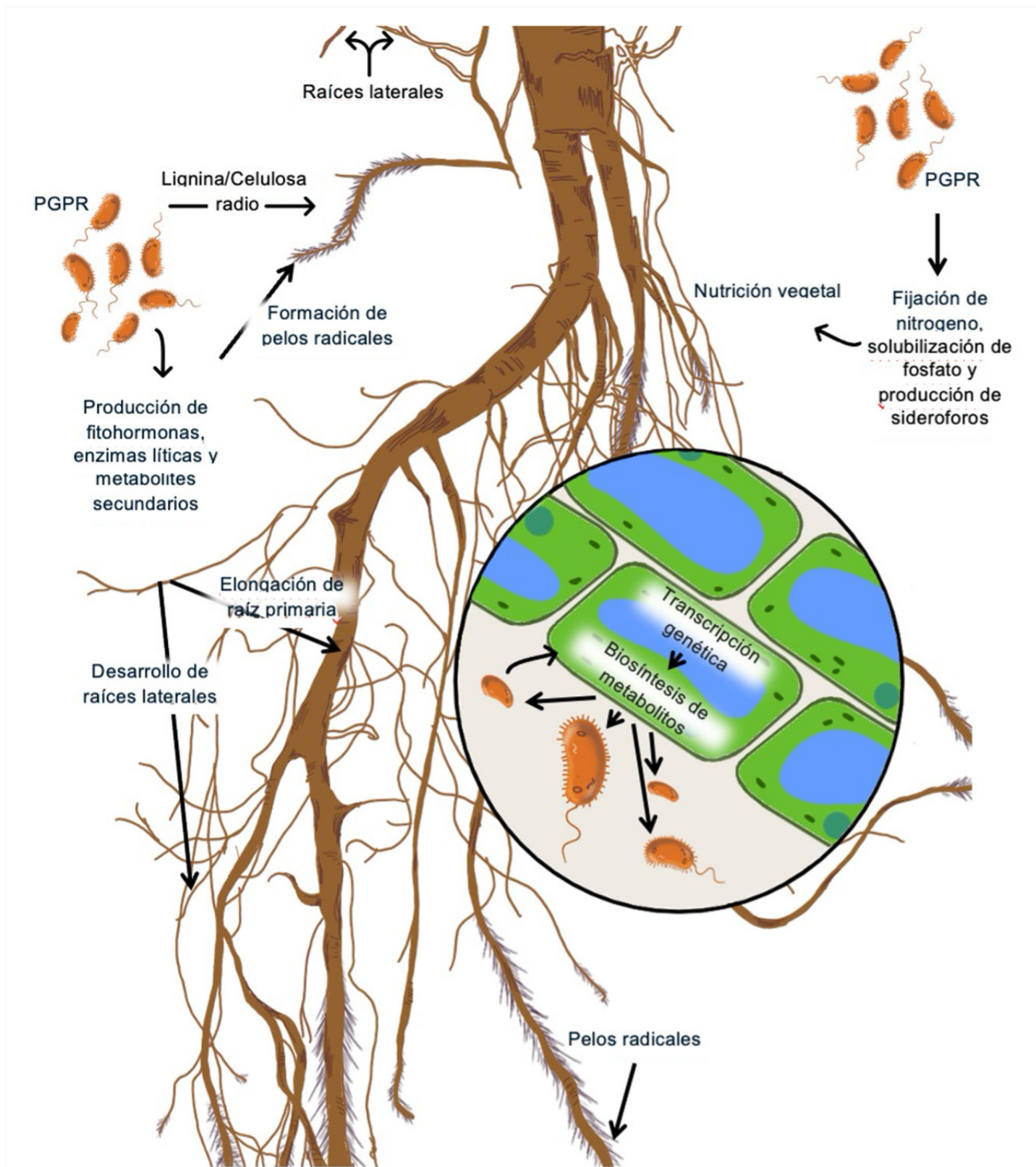


Figura 1. Actividades de las bacterias promotoras de crecimiento (PGPR) en la rizósfera. Ilustración elaborada por Viveros-Sánchez (2026), utilizada con autorización.

la sostenibilidad agrícola y aporta resiliencia frente al cambio climático tras eventos adversos como inundación o escasez de agua. En consecuencia, su implementación puede contribuir al cumplimiento de algunos objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 de la ONU, y presentan una significativa menor huella hídrica y de carbono, ya que su producción y aplicación requiere un consumo mínimo de agua y generan emisiones reducidas de dióxido de carbono que es el causante del calentamiento global.

Se proyecta que reduzcan gradualmente la dependencia de fertilizantes sintéticos. Además, cuando son utilizados conforme a las recomendaciones técnicas y regulatorias, los biofertilizantes representan un bajo riesgo para la salud humana, permitiendo el consumo de frutos poco tiempo después de aplicarlos a las plantas, sin riesgos de toxicidad. Sin embargo hay dudas que deben resolver como es ¿los diferentes tipos de suelo influyen en su colonización?, ¿Qué interacción biológica se da con el bioma nativo?, entre otras. En la Tabla 1 se presentan ejemplos concretos de la utilidad de estas bacterias y levaduras promotores de crecimiento vegetal en la biotecnología agrícola.

Es crucial reconocer que los hongos promotores del crecimiento en plantas incluyen levaduras (hongos unicelulares) y micorrizas que conforman un grupo diverso de microorganismos no patógenos que contribuyen significativamente a la formación y productividad vegetal [1].

Levaduras

Las levaduras están ampliamente distribuidas en los ecosistemas terrestres y tienen su hábitat natural en el suelo. Desempeñan diversas funciones que favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas, además de contribuir al mantenimiento de la estructura del sue-

lo mediante la formación de macro y microagregados. Su actividad influye positivamente en las propiedades químicas, como el pH, el carbono orgánico y el carbono lábil del suelo. Así como en las propiedades biológicas, entre ellas la actividad deshidrogenasa, el carbono de la biomasa microbiana y la producción de sustancias poliméricas extracelulares (EPS). Asimismo, participan en la mineralización del nitrógeno, la solubilización de fosfatos, la liberación de potasio y la oxidación de azufre [7]. Además, pueden producir fitohormonas y sideróforos, que favorecen el crecimiento vegetal y la disponibilidad de nutrientes. Algunas especies presentan capacidad de biocontrol frente a fitopatógenos, lo que resalta su potencial como herramientas biotecnológicas para una agricultura más sostenible.

Micorrizas

Las micorrizas son hongos simbióticos que establecen asociaciones mutualistas con las raíces de las plantas, considerados como biofertilizantes eficaces. Mediante una extensa red de hifas, incrementan la superficie efectiva de absorción de las raíces y exploran un mayor volumen de suelo, lo que favorece la captación de agua, fósforo, nitrógeno y otros elementos. Además, contribuyen a mejorar la tolerancia de las plantas a diferentes factores de estrés ambiental, como la sequía, la salinidad, las temperaturas extremas, los metales y el calor. Las micorrizas producen y estimulan la síntesis de compuestos reguladores, entre ellos diversas fitohormonas, relacionadas con la defensa de las plantas a enfermedades y el fortalecimiento de las paredes celulares. En conjunto, estos mecanismos permiten que las plantas utilicen más eficientemente sus recursos metabólicos, reduciendo los efectos del estrés biótico y abiótico y promoviendo la producción de biomasa, frutos, hojas y raíces [8].

Consortrios microbianos

En las ciencias agrícolas se promueve la sustitución gradual de fertilizantes químicos por biofertilizantes como parte de una gestión más sostenible de los recursos naturales. La integración de rizobacterias y hongos benéficos da origen a los denominados consorcios microbianos, cuya acción sinérgica potencia las acciones benéficas individuales de cada microorganismo para que la planta las aproveche, y aumente tanto el rendimiento como la calidad nutricional de las cosechas. En la actualidad, el diseño de estos consorcios microbianos se enfocan principalmente en aumentar la absorción de nitrógeno y fósforo del suelo para la planta, así como estimular el crecimiento vegetal y suprimir la incidencia de enfermedades e insectos plaga. Un ejemplo de consorcio utilizado en cultivos es la combinación de *Azotobacter* y micorrizas, que ha demostrado mejorar el crecimiento de diversos cultivos.

Se puede concluir que la evidencia dis-

ponible indica que la transición hacia sistemas agrícolas más sostenibles, puede beneficiarse del uso de microorganismos promotores del crecimiento vegetal como complemento de las prácticas convencionales de manejo agrícola. A pesar de los beneficios mencionados hay brechas de investigación por resolver como es la elaboración de formulaciones de larga vida en anaquel; reducir las inconsistencias en los resultados al usarlos en campo; conocer las interacciones biológicas que se desarrollan en el suelo al momento de aplicarlas; en levaduras se requiere conocer los mecanismos moleculares que promueven el crecimiento vegetal; y su efecto a largo plazo en el ambiente por su continua aplicación. Abordar estas limitantes permitirá consolidar a los PGPR no como sustitutos utópicos, sino como aliados sólidos e indispensables para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola. De igual forma se deben superar algunas limitaciones actuales como es la dependencia de un clima idóneo, acelerar su acción ralentizada en las plantas y ampliar su periodo de caducidad.

Tabla 1. Ejemplos de microorganismos promotores de crecimiento vegetal útiles en la biotecnología agrícola..

Microorganismo	Función	Aplicación	Referencia
<i>Candida orthopsilosis</i> (Levadura)	Crecimiento y defensa	Promueve el crecimiento del trigo y defensa contra el hongo patógeno <i>Fusarium</i> .	[2]
<i>Pseudomonas putida</i>	Promoción de crecimiento	Promueve el crecimiento de soya. Disminuye estrés abiótico.	[3]
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Control biológico contra patógenos	Ayuda a las plantas a defenderse de patógenos y promueve el crecimiento.	[4]
<i>Debaryomyces hansenii</i> (Levadura)	Crecimiento y floración	Estimula el crecimiento, la floración y mejora la resistencia a plagas en arroz.	[5]
<i>Pseudomonas tolaasii</i> <i>Pseudomonas yamanorum</i>	Mejora fisiológica y nutricional. Control biológico contra patógenos	Promueve el crecimiento del chile serrano y aumenta la concentración de nutrientes.	[6]
<i>Rhodotorula</i> spp. (Levadura)	Crecimiento y peso	Promueve crecimiento y peso de frutos de jitomate.	[7]

Referencias

- [1] Orozco, M., Glick, B. R., and Santoyo, G. (2020). ACC deaminase in plant growth-promoting bacteria (PGPB): an efficient mechanism to counter salt stress in crops. *Microbiological Research* 235: 126439. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126439>
- [2] Abdel-Kareem, M. M., Zohri, AN. A., and Nasr, S. A. E. E. (2021). Novel marine yeast strains as plant growth-promoting agents improve defense in wheat (*Triticum aestivum*) against *Fusarium oxysporum*. *Journal Plant Disease Protection* 128, 973–988. <https://doi.org/10.1007/s41348-021-00461-y>
- [3] Costa-Gutierrez, S. B., Adler, C., and Espinosa-Urgel, M. (2022). *Pseudomonas putida* and its close relatives: mixing and mastering the perfect tune for plants. *Applied Microbiology and Biotechnology* 106, 3351–3367. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11881-7>
- [4] Iyas, T., Vishwakarma, S. K., Shahid, M., Malviya, D., Kumar, S., Singh, S., Johri, P., Singh, U. B. and Singh, H. V. (2024). Exploring the Potentiality of *Bacillus amyloliquefaciens* as a Prominent Biocontrol Agent: A Comprehensive Overview. In: Mageshwaran, V., Singh, U.B., Saxena, A.K., Singh, H.B. (eds): *Applications of Bacillus and Bacillus Derived Genera in Agriculture, Biotechnology and Beyond*. Microorganisms for Sustainability (pp.133-150). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-8195-3_7
- [5] Núñez-Cano, J., Ruiz-Castilla, F. J., Ramos, J., Romero, F. J., and Lucena, C. (2025). *Debaryomyces hansenii* Enhances Growth, Nutrient Uptake, and Yield in Rice Plants (*Oryza sativa* L.) Cultivated in Calcareous Soil. *Agronomy* 15(7), 1696. <https://doi.org/10.3390/agronomy15071696>.
- [6] Quiroz-Sarmiento, V. F., Almaraz-Suarez, J. J., Sánchez-Viveros, G., Argumedo-Delira, R., y González-Mancilla, A. (2019). Biofertilizantes de rizobacterias en el crecimiento de plántulas de chile Poblano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(8),1733-1745. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1548>.
- [7] Devi, R. P., Yamunasri, P., Balachandar, D. and Muruganathi, D. (2025). Potentials of Soil Yeasts for Plant Growth and Soil Health in Agriculture: A Review. *Journal of Pure and Applied Microbiology* 19(1), 1-18. <https://doi.org/10.22207/JPAM.19.1.10>
- [8] Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in stress tolerance. *Frontiers in Plant Science* 10, 1068. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>