



Bacterias amigas: esenciales para la salud vegetal y la productividad agrícola

doi:10.25009/pc.vi17.323

Oscar Ceballos Luna,
Alex Amir López Márquez y
Héctor Santiago Hernández Navarro

Como sabemos, la agricultura en México es una de las actividades fundamentales del sector económico, ya que además de ser una forma de subsistencia para las familias mexicanas, se producen productos alimenticios que se comercializan, tanto a nivel nacional como internacional; sin embargo, esta actividad se ha visto amenazada con la aparición de diversos organismos fitopatógenos, debido a que estos afectan la salud de las plantas, poniendo en riesgo la producción.

Algunos de los fitopatógenos que comúnmente ocasionan enfermedades en las plantas son los hongos, organismos que habitan en casi cualquier ecosistema, dada su gran capacidad de reproducción y su resistencia.

Dentro de los géneros de hongos patógenos vegetales se encuentran los siguientes: *Fusarium*, *Lasiodiplodia*, *Colletotrichum*, *Rhizoctonia* y *Botrytis*, mismos que se identifican al provocar diversas patologías, como la pudrición de raíces, hojas, tallos o frutos, pudiendo observarse semanas después de la infección, según sea el hospedero.

El manejo y control de los hongos fitopatógenos en el campo se da, sobre todo, a través del empleo de productos fitosanitarios químicos, también llamados sintéticos; no obstante, se ha demostrado que estos productos causan daños, tanto a nuestra salud como al ambiente, por lo que se sugiere el uso de una estrategia alternativa y eficiente, capaz de combatir a dichos agentes infecciosos con bajo costo ambiental. Una de las propuestas para combatir a estos fitopatógenos es el uso de bacterias como agentes de control biológico. Este enfoque se basa en procesos naturales y busca reducir el uso de pesticidas químicos, promoviendo una agricultura más sostenible y sustentable.

Bacterias

Una bacteria es un organismo unicelular procariota; es una de las primeras formas de vida en la tierra y de los microorganismos más resilientes a los cambios multifacéticos del planeta; su clasificación es compleja y, a medida que los avances tecnológicos continúan, se genera más información acerca de su origen. Las clasificaciones que encontramos sobre bacterias se basan en la taxonomía común, tinción, tamaño de colonias, formas, necesidad de oxígeno o composición genética. Además, hay bacterias que crecen en ambientes inhóspitos u hostiles, lo que resulta de especial interés para su uso biotecnológico por las grandes cualidades de resistencia a estos sitios.

La búsqueda de microorganismos extremófilos se ha vuelto cada vez más frecuente, y de mayor interés, debido a que son ampliamente utilizados en la industria con diferentes fines como farmacéuticos, cosmetológicos, químicos, etcétera, ya que poseen capacidades adaptativas y genéticas únicas, como la especie *Thermophilus aquaticus*, usada en biología molecular; proteobacterias como *Alcanivorax pacificus*, empleada en la biorremediación de derrames de hidrocarburos, o el uso de psicrófilos, para tratar aguas residuales. Por otro lado, también se ha investigado el potencial de las bacterias extremófilas en el sector agrícola, para producir bienes que se traducen en la producción y mejoramiento de los cultivos.

El control biológico

El control biológico es un término utilizado por primera vez en el año de 1919 por el fitopatólogo estadounidense Erwin Frink Smith, quien se refirió específicamente a las acciones de parásitos, depredadores y patógenos para contener la densidad de otro organismo; es decir, utilizar organismos vivos o sus partes para regular las poblaciones de plagas y enfermedades en cultivos. El presente escrito se enfoca principalmente al uso de bacterias para combatir hongos fitopatógenos que afectan a los cultivos.

Amigas y aliadas

Algunos de los géneros más importantes de las bacterias combatientes de hongos son: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Stenotrophomonas*, *Brevibacillus*; estas tienen un potencial antagónico, ya que afectan el crecimiento y desarrollo de los hongos fitopatógenos (Figura 1). Muchos de estos microorganismos se han logrado aislar de diferentes nichos o sustratos, por ejemplo: del suelo, de manera endófito de los vasos vasculares de las plantas, rizósfera de plantas, frutos y algunos cuerpos de agua. Sin embargo, también los podemos encontrar en lugares inhóspitos o difíciles para la supervivencia; a estos organismos se les denomina *extremófilos*, pues crecen, se desarrollan, reproducen y soportan condiciones adversas no aptas para cualquier microorganismo.





Figura 1. Bacteria del género *Bacillus*, aislada de la zona Páramo del Cofre de Perote, Veracruz, a una altura de 4,152 msnm. Autoría propia.

Estudios han comprobado el uso efectivo de las bacterias amigas para el control de hongos.

Recientemente se publicó una investigación en la que se encontraron las bacterias de la especie *Bacillus subtilis* y *Bacillus amyloliquefaciens*, las cuales redujeron el crecimiento de los fitopatógenos de diferentes especies como *Phytophthora cinnamomi* (tristeza del aguacate), la cual se presenta como una defoliación y muerte parcial del árbol, *Fusarium oxysporum* (marchitez vascular), que se presenta en las primeras etapas de la plántula, ocasionando un ahorcamiento del tallo y *Colletotrichum sp.* (antracnosis), el cual se presenta como una pudrición del tejido; estos organismos generan daños en los cultivos de aguacate, tomate, vainilla, entre otros, impactando a nivel económico.

Mecanismos de acción

Las bacterias cuentan con diversas cualidades que utilizan para defenderse, ejerciendo un control sobre los fitopatógenos y, por ende, protegiendo a las plantas del ataque de organismos patógenos que producen enfermedades en ellas, a estas capacidades se les denomina *mecanismos de acción*.

Entre los principales mecanismos que tienen las bacterias para ejercer control destacan los siguientes:

- **Competencia por espacio y nutrientes.** Es un mecanismo de acción que se produce debido a la competencia por macro y micronutrientes esenciales, tales como carbohidratos, nitrógeno, oxígeno, hierro, entre otros, presentes en el medio en donde crecen tanto el hongo fitopatógeno como la bacteria; aquí es donde existe una competencia directa para la obtención de los mismos, generando una batalla entre las bacterias y los fitopatógenos. Estos nutrientes son esenciales para el crecimiento y desarrollo de ambos organismos, en consecuen-

cia, las bacterias obtienen los nutrientes, evitando que estén disponibles para los hongos fitopatógenos y así restringen su crecimiento.

- **Antibiosis.** Otro de los mecanismos utilizados por las bacterias para el control de fitopatógenos es la producción de compuestos antifúngicos y antibióticos, a través de los que se logra la lisis o ruptura de la pared celular. Un claro ejemplo es la producción de lipopéptidos, moléculas que se forman cuando se combinan un péptido y un lípido y pueden tener propiedades antibióticas, hemolíticas y detergentes.

El género más estudiado en la producción de estas moléculas es *Bacillus*.

Cabe destacar que este cuenta con más de 80 subespecies y es sugerente para la investigación, ya que en muchas de estas especies se ha detectado la capacidad de generar compuestos como fengicina, subtenolín, bacitracina, entre otros, los cuales, de acuerdo con estudios transcriptómicos, participan en la biosíntesis de proteínas y señalización de rutas metabólicas para la defensa de la planta.

Algunas de las moléculas en mención, se han evaluado en confrontaciones directas *in vivo* (invernadero) e *in vitro* (condiciones controladas de laboratorio), en especial contra hongos de importancia agrícola como *Fusarium oxysporum*, *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Alternaria alternata*, *Sclerotinia sclerotium*, *Botrytis cinerea*, etcétera, y, como resultado se ha obtenido inhibición de entre el 70% y 90%, además de mejorar la resistencia hacia estos fitopatógenos (Figura 2).

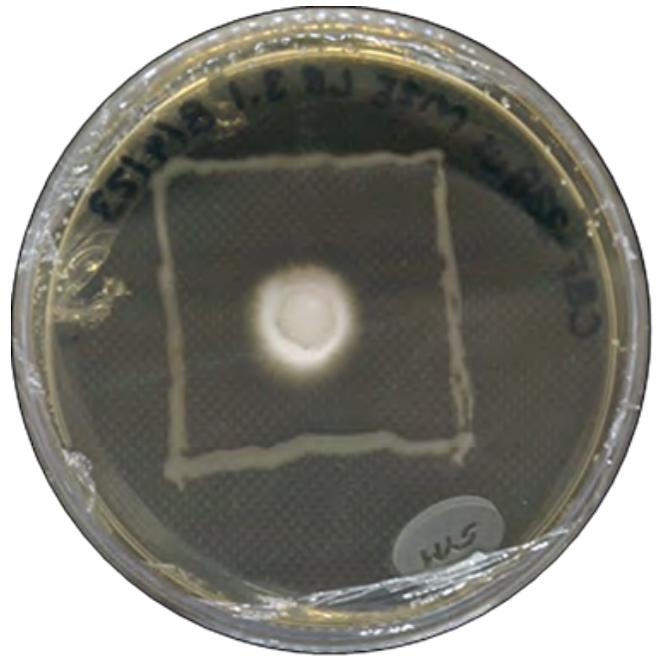
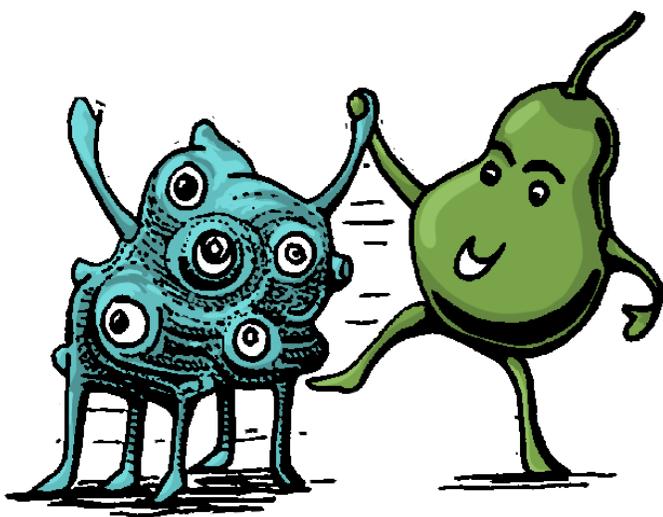


Figura 2. Estriado de confrontación de una bacteria del género *Bacillus*, aislada de un estromatolito de la laguna de Alchichica en Puebla contra el hongo patógeno *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*. Aautoría propia.

- **Inducción de la resistencia sistémica en plantas.** Otra de las estrategias que utilizan las bacterias para reducir el crecimiento de los hongos y proteger a los cultivos es la inducción de resistencia en plantas, entendida como un proceso por el cual la planta activa sus defensas (su sistema inmune) en respuesta a la presencia de un patógeno.

Esta estrategia se da a través de moléculas llamadas metabolitos secundarios producidos por bacterias y hongos; este proceso es fundamental en la defensa y protección de las plantas contra infecciones, ya que permite a las plantas prepararse para enfrentar futuras amenazas, incluyendo mecanismos de inducción de resistencias como la producción de proteínas defensivas, en donde las plantas pueden producir diferentes proteínas, tales como quitinasas y proteasas inhibidoras, que reducen el crecimiento de los hongos. Esta protección también puede dar lugar a la síntesis de las llamadas fitoalexinas, sustancias antimicrobianas que las plantas producen en respuesta a la infección causada por los patógenos como los hongos y que ayudan a limitar el crecimiento de estos mismos reduciendo así su ataque.

Actividad bioestimulante, mejora de la productividad y salud del suelo

Como hemos visto, el uso de microorganismos (bacterias) como agentes de control biológico no es un enfoque nuevo. Sin embargo, su implementación en la agricultura es cada vez más frecuente, debido a que no solo combaten a los fitopatógenos que amenazan a las plantas, sino que también estimulan el crecimiento y desarrollo vegetativo. Esto se debe a la capacidad de producir o solubilizar hormonas vegetales, también conocidas como fitohormonas; algunos ejemplos son: auxinas, giberelinas y citoquininas, las cuales intervienen en el desarrollo de las raíces, el crecimiento del tallo y la germinación de las semillas. Esta interacción parece compleja, pero, ambos organismos se benefician mutuamente; la planta obtiene protección y la bacteria alimento.

Las bacterias brindan servicios ecosistémicos en la captura del nitrógeno atmosférico, que una vez captado, lo hacen asimilable para su metabolización y aprovechamiento.

Conclusión

Utilizar este tipo de microorganismos permite que se reduzca el uso de fertilizantes sintéticos, productos que dañan gravemente la microbiota del suelo (comunidad diversa de microorganismos, entre los que se incluyen bacterias, hongos, arqueas, virus y protozoos) y ponen en riesgo su fertilidad. Actualmente existen productos comerciales a base de microorganismos benéficos que se aplican a las semillas, a las plantas o al suelo y son llamados *bioestimulantes*, ya que funcionan como acarreadores de elementos indispensables necesarios para el desarrollo y crecimiento de las plantas (Figura 3).

En resumen, la productividad agrícola en México se ha visto perjudicada debido a numerosos agentes fitopatógenos que dañan los cultivos; esto provoca que disminuya el rendimiento y calidad de la producción. Para enfrentar este problema, se propone el uso de bacterias extremófilas como una de las mejores estrategias de control biológico de hongos fitopatógenos y por su probable papel como bioestimulantes y, sobre todo, por ser una estrategia amigable con el ambiente, ya que usa enemigos naturales de los hongos para contrarrestar su actividad antagónica en los cultivos. Sin duda, de esa manera, mejorará la calidad de los alimentos y se obtendrá mejor rendimiento productivo.



Figura 3. Prueba de promoción del crecimiento vegetal en jitomate utilizando diferentes dosis de bacterias bioestimulantes en un sistema hidropónico. Autoría propia.



Referencias

- An, B., Du, D., Huang, Z., Pu, Z., Lv, J., Zhu, L., Liu, S., Zhang, L., Chen, G. & Lu, L. (2024). Biocontrol of citrus fungal pathogens by lipopeptides produced by *Bacillus velezensis* TZ01. *Frontiers in Microbiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1471305>
- Ansari, W. A., Krishna, R., Kashyap, S. P., Al-Anazi, K. M., Abul Farah, M., Jaiswal, D. K., Yadav, A., Zeyad, M. T. & Verma, J. P. (2025). Relevance of plant growth-promoting bacteria in reducing the severity of tomato wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. Sp. *Lycopersici* by altering metabolites and related genes. *Frontiers in Microbiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1534761>
- Dios Ávila, N. D., Ríos Velasco, C., Luna Esquivel, G., Cambero Campos, O. J., Camberro Ayón, C. B. & Estrada Virgen, M. O. (2020). Identificación y actividad antagónica in vitro de aislados de bacterias contra hongos de importancia agrícola. *Revista Bio Ciencias*, 7. <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e803>
- Khan, M. R. & Khedher, N. B. (2023). Competition for nutrients and space: A crucial mechanism for biological control agents in agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1012345. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1012345>
- Martínez Ruiz, F. E., Cervantes Díaz, L., Aíl Catzím, C. E., Hernández Montiel, L. G., Sánchez, C. L. D. T. & Rueda Puente, E. O. (2016). Hongos fitopatógenos asociados al tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) En la zona árida del noroeste de México: La importancia de su diagnóstico. *European Scientific Journal*, 12(18), 232. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n18p232>
- Zhang, X. & Li, J. (2023). Induction of plant defense responses by microbial metabolites: Mechanisms and applications in agriculture. *Plant Pathology*, 72(2), 678-690. <https://doi.org/10.1111/ppa.13510>