

Bacterias endofíticas en plantas ¿villanas o heroínas?

El cambio climático global y el aumento significativo de la población mundial, hacen necesario encontrar soluciones para proteger y mantener la productividad de los cultivos agrícolas. Debido a su capacidad para fomentar el crecimiento de las plantas y mejorar su tolerancia a diversos factores de estrés tanto bióticos como abióticos, las bacterias endofíticas se convierten en una alternativa a los agroquímicos. Este ensayo pretende mejorar el conocimiento de las bacterias endofíticas y cambiar la mentalidad negativa sobre ellas.

Palabras clave:
Bioestimulantes,
crecimiento,
estrés abiótico,
microorganismos,
promoción de simbiosis.

OSCAR ALEJANDRO VIVEROS-AGUILAR^{1,2}, MIGUEL ÁNGEL HERRERA-ALAMILLO¹ Y LUIS CARLOS RODRÍGUEZ-ZAPATA¹

¹Unidad de Biotecnología, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Calle 43 x 32 y 34, No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, Mérida, Yucatán, 97205, México.

²oscarviveros2155@gmail.com

La población mundial crece a un ritmo alarmante, previéndose cifras de 8.5 billones de habitantes para el año 2030 (United Nations 2022). Esto trae consigo un evidente aumento en la demanda de productos agrícolas para satisfacer las necesidades de todos los habitantes. A la par, el cambio climático en el planeta genera eventos de inundaciones, cambios severos en la temperatura y periodos prolongados de sequía, entre muchos otros, los cuales impactan drásticamente en la productividad de diversos cultivos.

Ante las circunstancias desfavorables que enfrenta el sector agrícola, resulta indispensable y urgente encontrar soluciones para aumentar la producción de los cultivos de importancia económica y para hacer frente a los impactos ambientales que puedan presentarse. En esta búsqueda de estrategias, la solución podría encontrarse donde menos lo esperamos ¿Dónde? Quizás las bacterias tienen la respuesta.

Bacterias y su impacto positivo en plantas: En nuestro día a día hay muchos momentos en los que podemos pensar que nos encontramos solos, porque no vemos a nadie a nuestro alrededor, sin embargo, la mayor parte del tiempo somos acompañados de unos microscópicos organismos unicelulares pertenecientes a los procariotas conocidos como bacterias. De manera habitual, la visión que se tiene de las bacterias es negativa, asociándolas frecuentemente con cuestiones de suciedad y enfermedades, por ejemplo, existen malas prácticas de cultivo en donde se emplea abono o riego contaminado con bacterias que viven en el tracto digestivo de animales y humanos, y al consumir los alimentos provenientes de estos, es cuando pueden causar alguna infección. Y, si bien, existen bacterias que son patógenas para muchos organis-

mos, entre ellos plantas, animales y humanos, surge la pregunta ¿Son todas las bacterias dañinas para los organismos vivos? Lo cierto es que no, en humanos y animales, por ejemplo, la bacteria *Escherichia coli* (Escherich, 1885), forma parte de la flora de un tracto intestinal sano. Otro claro ejemplo de lo anterior lo podemos encontrar en las plantas.

Las plantas son capaces de entablar relaciones simbióticas con microorganismos, aumentando su capacidad de hacer frente al estrés, y facilitando su crecimiento y desarrollo (Woźniak *et al.* 2019). Hablando específicamente de bacterias, aquellas que ejercen efectos positivos en las plantas, son conocidas como bacterias promotoras del crecimiento vegetal y pueden estar presentes en diferentes zonas en contacto con la planta como la rizosfera, la superficie de las raíces y los tejidos de la planta, o en el interior de sus tejidos y órganos. Independientemente de su ubicación, dichas bacterias influyen positivamente en la supervivencia y el desarrollo de las plantas.

Bacterias endofíticas, las heroínas del futuro: Recientemente ha surgido un gran interés en la comunidad científica por el estudio de las bacterias endofíticas. Las bacterias endófitas o endofíticas son aquellas que habitan en el interior de los tejidos y órganos de las plantas sin causar ningún efecto negativo sobre ellas. Su atractivo ha radicado principalmente en dos factores. El primero se relaciona con la seguridad de su uso, puesto que este tipo de microorganismos rara vez representa un riesgo para el consumo humano, ya que la mayor parte de las bacterias que afectan a seres humanos son consideradas oportunistas (organismos que no son un problema para la salud hasta que el sistema inmunológico falla) y para incluirse en este grupo deben cumplir con ciertos criterios, como ser cultivables, atacar a otros organismos, ser muy competitivas, tener versatilidad en su nutrición, formar biopelículas y ser resistentes a los antibióticos (Berg *et al.* 2014), criterios que normalmente no cumplen la mayor parte de endófitos. El segundo factor es que son capaces de establecer relaciones mutualistas con las plantas que habitan, donde los endófitos se benefician de los nutrientes que las plantas ponen a su disposición y, a cambio de esto, las bacterias endofíticas utilizan diversos mecanismos que benefician el desarrollo y el ciclo de vida de la planta (Figura 1), (Guo *et al.* 2017; InnoPlant 2021).

De todos los mecanismos de promoción de crecimiento de las bacterias endofíticas, los más estudiados son tres; solubilización de fosfato, fijación de nitrógeno, y producción de hormonas de origen vegetal. Estos mecanismos facilitan la captación de nutrientes de la planta, permitiéndole un mayor crecimiento, pero también, los endófitos bacterianos brindan apoyo en la aclimatación de las plantas de cultivo en condiciones de estrés abiótico (Figura 2), el manejo de fitopatógenos, y ayudan a activar los genes de respuesta/inducidos por el estrés de las plantas que generalmente no se activan en condiciones de estrés (Verma *et al.* 2021).

¿Cuáles son las diferentes bacterias endofíticas? A partir de una gran variedad de técnicas de biología molecular, microbiología y bioinformática, tales como métodos aislamiento de bacterias, extracción de ADN, microscopía, secuenciación, entre muchas otras, se ha logrado identificar y caracterizar cada vez más bacterias endofíticas con potenciales biotecnológicos. Entre los principales grupos de bacterias endofíticas presentes en plantas encontramos géneros como: *Enterobacter* (Hormaeche & Edwards 1960), *Arthrobacter* (Conn & Dimmick 1947), *Bacillus* (Cohn 1872), *Flavobacterium* (Vergey *et al.* 1923), *Burkholderia* (Burkholder 1942), *Pseudomonas* (Migula 1894), *Serratia* (Bizio 1823), *Stenotrophomonas* (Palleroni & Bradbury 1993), *Micrococcus* (Cohn 1872), *Pantoea* (Gavini *et al.* 1989), *Microbacterium* (Orla-Jensen 1919), *Klebsiella* (Trevisan 1885) y *Herbaspirillum* (Baldani *et al.* 1986), (Xavier *et al.* 2021). Pese a esto, hay mucho por estudiar con respecto a las bacterias endofíticas en diferentes especies de plantas, pues cada una resulta un nuevo mundo por explorar con una biota interna única e interesante.

Potenciales aplicaciones de las bacterias endofíticas: Ante la necesidad de mantener los altos niveles de producción en cultivos y de protegerlos contra diferentes plagas y patógenos, los productores suelen optar por el uso de fertilizantes y pesticidas de origen químico. Sin embargo, el uso de agroquímicos provoca daños a la salud y efectos negativos sobre el medio ambiente (Bezerra *et al.* 2022).

Las bacterias endofíticas han surgido como una alternativa para el desarrollo de una agricultura ecológica y sostenible. Debido a sus diferentes mecanismos de promoción de crecimiento, como la solubilización de fosfato, la fijación de nitrógeno y la pro

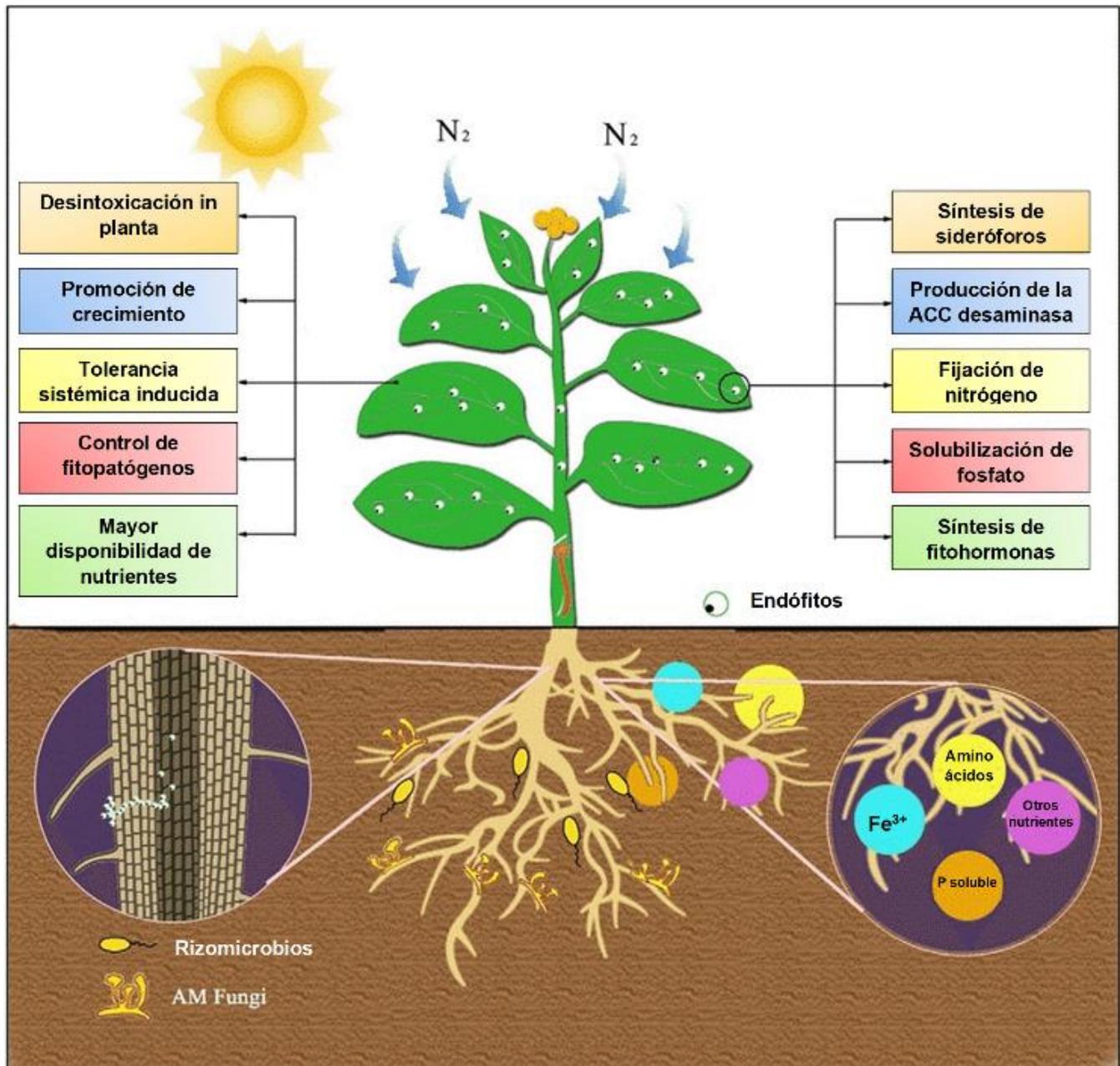


Figura 1. Mecanismos de acción de las bacterias endófitas. Las bacterias endofíticas interactúan con las plantas a partir de muchos mecanismos de promoción de crecimiento, tales como la fijación de nitrógeno, donde las bacterias capturan el nitrógeno atmosférico no asimilable por la planta y lo convierten en formas que pueden aprovechar para su nutrición (Figura tomada y modificada de InnoPlant 2021).

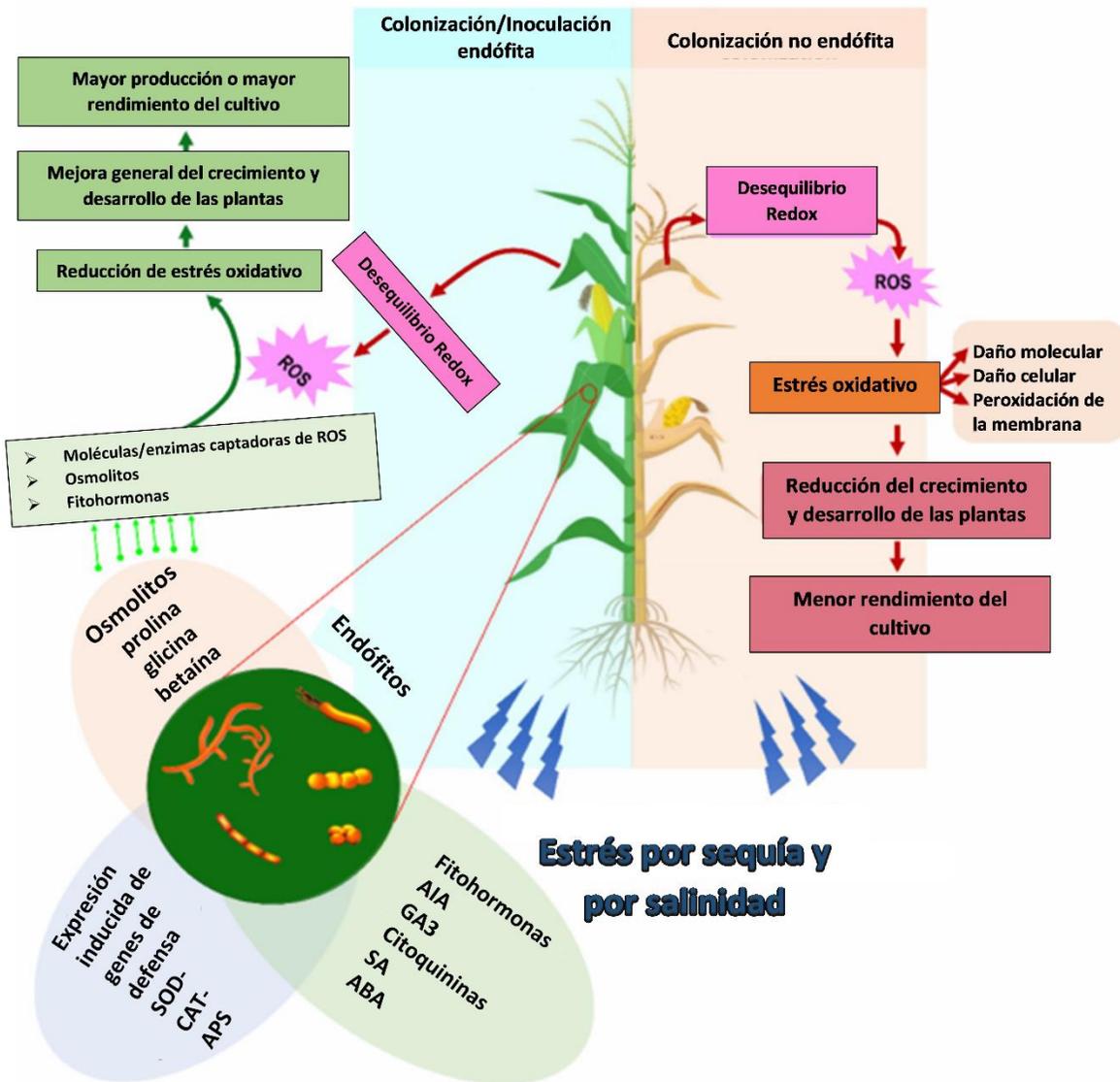


Figura 2. Mecanismos mediados por endófitos para el manejo del estrés por sequía y salinidad. Los endófitos regulan los efectos de estrés en planta de diferentes formas, ya sea induciendo la activación de genes de respuesta a estrés, sintetizando fitohormonas para regular el desarrollo de las plantas en condiciones adversas o produciendo moléculas antioxidantes para la captación de radicales libres generados en exceso ante un evento de estrés (Figura tomada y modificada de Verma *et al.* 2021).

ducción de fitohormonas, estas bacterias presentan usos prometedores en el desarrollo de biofertilizantes, biopesticidas y bioestimulantes. Países como China, Estados Unidos de América, Canadá y Brasil lideran el número de patentes en relación con las bacterias endofíticas, protegiendo cepas bacterianas

principalmente aplicadas en formulaciones de bioinoculantes y bioplaguicidas dirigidos a los cultivos de maíz, soja y caña de azúcar (Xavier *et al.* 2021). Sin embargo, hay mucho campo de estudio para estas bacterias y el potencial económico y ecológico que poseen es sumamente grande.

¿Qué retos presenta el uso de bacterias endofíticas? Si bien, a primera vista las bacterias endofíticas parecen la solución ideal para todos los problemas mencionados con anterioridad, aún existen muchos retos por superar para poder explotar todo el potencial de estos microorganismos, debido a que en ocasiones su alto rendimiento no siempre se mantiene en condiciones de campo. Algunos de los obstáculos que enfrenta el desarrollo de estrategias de implementación de bacterias endofíticas como bioestimulantes en plantas son: 1) Problemas con el diseño de protocolos para la esterilización de superficies y el aislamiento de endófitos, 2) Deficiencias en la obtención de una adecuada formulación para su uso en campo, 3) Diferencia en la interacción planta-bacteria en diferentes especies vegetales (no existe en el mercado un bioestimulante general que promueva el crecimiento en todas las especies de plantas), 4) La respuesta de tolerancia a los tipos de estrés abiótico como biótico está sujeta a la especie, no hay una bacteria o consorcio bacteriano hasta el momento que dé una respuesta uniforme para este fin.

Sin embargo, los cada vez más numerosos estudios enfocados en bacterias endofíticas están permitiendo hacer frente a los retos mencionados permitiendo la aplicación y comercialización de productos formulados a partir de las mismas.

Estudios de bacterias endofíticas en Yucatán: En el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) nos encontramos estudiando las bacterias endofíticas en caña de azúcar y su relación con la tolerancia al estrés abiótico, con el objetivo de generar productos de origen biológico que puedan sustituir a los agroquímicos en la protección y desarrollo del cultivo. En este momento nos encontramos en fase de estandarización de los protocolos de aislamiento, identificación y purificación de dichos microorganismos en diferentes variedades de caña de azúcar. Si bien aún queda mucho por investigar, los avances son prometedores.

Referencias

- Berg G., Erlacher A., Samalla K., Krause R. 2014.** Vegetable microbiomes: is there a connection among opportunistic infections, human health and our “gut feeling”? *Microbial Biotechnology* 76: 487-495.
<https://doi.org/10.1111/1751-7915.12159>
- Bezerra G.A., Takita M.A., Tosta C.D., Ceccato-Antonini S.R., Rosa-Magri M.M. 2022.** Screening of plant growth-promoting bacteria isolated from sugarcane. *Semina: Ciencias Agrarias* 43(4): 1757-1768.
<https://doi.org/10.5433/167959.2022v43n4p1757>
- Guo H., Glaeser S.P., Alabid I., Imani J., Haghghi H., Kämpfer P., Kogel K.H. 2017.** The abundance of endofungal bacterium *Rhizobium radiobacter* (syn. *Agrobacterium tumefaciens*) increases in its fungal host *Piriformospora indica* during the tripartite sebacinal symbiosis with higher plants. *Frontiers in Microbiology* 8: 629.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00629>
- InnoPlant. 2021.** ¿Qué son las bacterias PGPR? InnoPlant. <https://innoplant.es/2021/05/26/que-son-las-bacterias-pgpr/> (Consultado: 22 junio 2023).
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2022.** World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.
- Verma H., Kumar D., Kumar V., Kumari M., Singh S. K., Sharma V. K., Droby S., Santoyo G., White J. F., Kumar A. 2021.** The potential application of endophytes in management of stress from drought and salinity in crop plants. *Microorganisms* 9(8): 1729.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms9081729>
- Woźniak M., Gałazka A., Tyśkiewicz R., Jaroszkiewicz J. 2019.** Endophytic bacteria potentially promote plant growth by synthesizing different metabolites and their phenotypic/physiological profiles in the biolog gen iii microplate™ test. *International Journal of Molecular Sciences* 20(21): 5283.
<https://doi.org/10.3390/ijms20215283>
- Xavier M. L., Bosch A. R., Karp S. G., Soccol C. R. 2021.** Endophytic bacteria: a possible path towards a sustainable agriculture. *Biotechnology Research and Innovation* 5(2): e2021008.
<https://doi.org/10.4322/biori.21050203>

Desde el Herbario CICY, 15: 224-229 (16-noviembre-2023), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 232, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Ivón M. Ramírez Morillo, Diego Angulo y Néstor E. Raigoza Flores. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 16 de noviembre de 2023. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.