

La función de los endófitos en plantas ^φ

Ramiro Hernández-Santiago

Introducción

Las plantas no viven aisladas, sino que se asocian estrechamente con organismos en su entorno y especialmente con aquellos que viven en su interior (Rosenberg *et al.* 2009). Tales organismos, cuyo estilo de vida es endófito, juegan un papel relevante para el desarrollo, crecimiento y diversificación de las plantas (Hardoim *et al.* 2015) ya que proporcionan información sobre la complejidad del microbioma de la planta.

La naturaleza de las interacciones planta-endófito pueden ser desde mutualismo hasta la patogenicidad (Hardoim *et al.* 2015). Esta relación depende de un conjunto de factores abióticos y bióticos, incluido los genotipos de la planta y microorganismos, las condiciones ambientales y la red dinámica de interacciones dentro del bioma de la planta (Hardoim *et al.* 2015). El objetivo de este trabajo es describir el concepto de endófito y sus interacciones con la planta hospedante.

¿Qué son los endófitos?

Los endófitos experimentan parte de su ciclo de vida dentro de las plantas. La definición de endófito ha cambiado en los últimos años y se ha referido comúnmente para hongos que viven dentro de las plantas (Fig. 1), pero las plantas también pueden ser colonizadas por bacterias (Fig. 2) (Hallmann *et al.* 1997).

^φ Investigador independiente. Avenida aeropuerto s/n, 41300 Tlapa de Comonfort, Guerrero, México. ramirohs2023@gmail.com
DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.6626>



Copyright © The authors.
ISSN: 2007-431X

Los endófitos comunes se clasifican en comensales, mutualistas y antagonistas (Hallmann *et al.* 1997). En la simbiosis planta-microbio, grupos de bacterias y hongos interactúan con las plantas superiores. Se han encontrado vínculos genéticos entre la asociación de plantas con hongos micorrízicos arbusculares (HMAs) y en la simbiosis con bacterias en nódulos de raíces (Kanamori *et al.* 2006). Esto sugiere que al menos segmentos de poblaciones endófitas bacterianas y fúngicas coevolucionaron entre sí y con su hospedante (Hardoim *et al.* 2015).

“Los endófitos comunes se clasifican en comensales, mutualistas y antagonistas.”

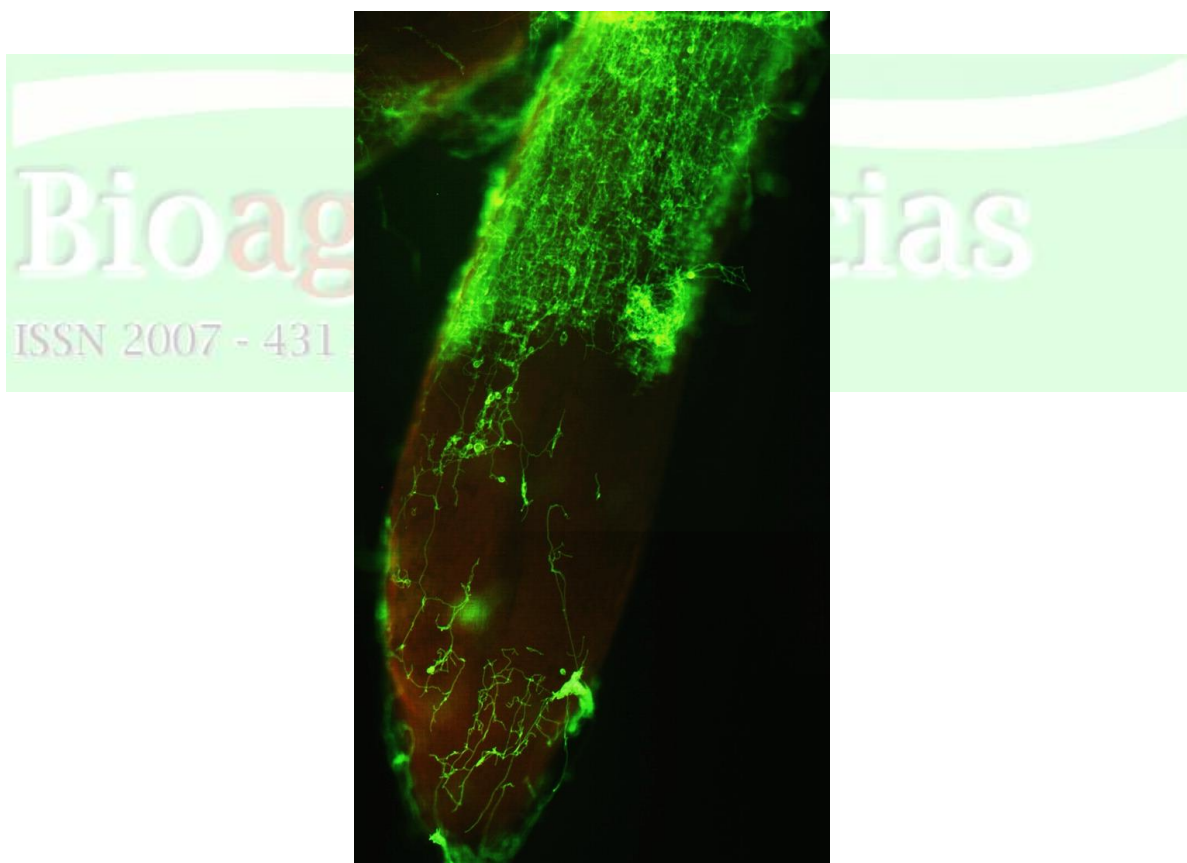


Figura 1. Hongo endófito *Piriformospora indica* en raíz de cebada (Fuente: Deshmukh *et al.* 2006)

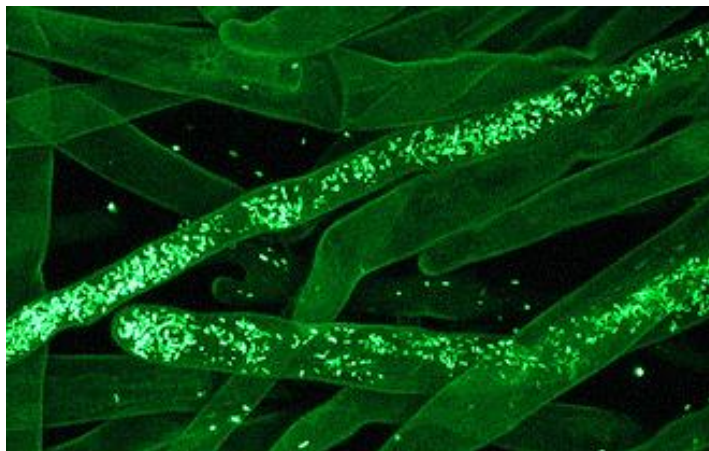


Figura 2. Bacteria endófitas (*Pseudomonas fluorescens*). Colonización interior de dos pelos radiculares en raíz del olivo cv. Manzanilla (Fuente: Prieto *et al.* 2011).

Diversidad, estilo de vida y colonización de endófitos

Más del 96% de secuencias procarióticas endófitas se distribuyen en cuatro Phyla bacterianos: Proteobacteria (54%), Actinobacteria (20%), Firmicutes (16%) y Bacteroidetes (6%) (Bulgarelli *et al.* 2013). Por otro lado, los endófitos eucariotas pertenecen a hongos de los grupos Glomeromycota (40%), Ascomycota (31%), Basidiomycota (20%), Phyla no identificados (8%), y Zygomycota (0,1%) (Hardoim *et al.* 2015). Recientemente, también se han reportado virus endófitos en maíz en dos órdenes (Caudovirales y Herpesvirales) que dominaron el sitio donde se realizaron prácticas agrícolas con aplicación de fertilización orgánica y a nivel de clase se encontraron Microviridae, Phycodnaviridae, Podoviridae y Poxviridae (Fadiji *et al.* 2022).

Los endófitos pueden estar estrictamente vinculados a las plantas y completar una parte importante, o incluso todo su ciclo de vida en ellas. Los que requieren de tejidos vegetales para completar su ciclo de vida se clasifican como “obligados”. Por otra parte, están los “oportunistas” que prosperan fuera de los tejidos vegetales (epífitas) y esporádicamente ingresan a la planta (Hardoim *et al.* 2008).

“Más del 96% de secuencias procarióticas endófitas se distribuyen en cuatro Phyla bacterianos: Proteobacteria (54%), Actinobacteria (20%), Firmicutes (16%) y Bacteroidetes (6%).”

Función de los endófitos

Un grupo intermedio que comprende la gran mayoría de los microorganismos endófitos se denominan endófitos “facultativos”, que consumen los nutrientes proporcionados por las plantas, lo que de hecho reduciría la aptitud ecológica de la planta hospedante. Estas categorías deben ser consideradas “puntos de referencia” dentro de las estrategias de colonización existentes entre los endófitos. Independientemente de la clase, las especies microbianas que prosperan en tejidos vegetales son ecológicamente aptas para sobrevivir y proliferar en las condiciones locales del interior de la planta (Hardoim *et al.* 2015).

La colonización exitosa por endófitos depende de variables, como el tipo de tejido vegetal, el genotipo de la planta, el taxón microbiano y tipo de cepa, y las condiciones ambientales bióticas y abióticas (Carroll 1988). Los endófitos bacterianos se originan en el entorno de la rizósfera que atrae a los microorganismos debido a la presencia de exudados de raíces y rizodepósitos (Compant *et al.* 2010). Mercado-Blanco y Prieto (2012) sugirieron que la entrada de endófitos bacterianos a las raíces se produce por la colonización de los pelos radiculares. Hasta cierto punto, la superficie de tallos y hojas también produce exudados que atraen a los microorganismos; sin embargo, la luz ultravioleta, la falta de nutrientes y la desecación generalmente reducen la colonización en superficies (aéreas) de las plantas, y sólo bacterias adaptadas pueden sobrevivir y entrar en la planta a través de estomas, heridas e hidátodos (Compant *et al.* 2010). Los “endófitos comensales” no tienen efectos sobre el rendimiento de la planta pero viven de los metabolitos producidos por el hospedante. Otros endófitos confieren efectos beneficiosos a la planta (Fig. 3), como protección contra patógenos y herbívoros (artrópodos), ya sea a través de antibiosis, o resistencia inducida, y promoción del crecimiento de la planta (Scortichini y Loreti 2007). Un tercer grupo afecta a la planta al ser patógenos latentes o al disminuir la eficiencia fotosintética en condiciones de sequía (Scortichini y Loreti 2007).

Los endófitos pueden inducir reacciones de defensa (RSI), lo que conduce a una mayor tolerancia a patógenos. Las cepas bacterianas de *Pseudomonas* y *Bacillus* pueden considerarse los grupos más comunes que inducen RSI (Kloepper y Ryu 2006). Mientras que la mayoría de los endófitos descritos protegen a la planta del estrés biótico, algunos endófitos también pueden proteger a la planta contra diferentes tipo de estrés abióticos. Por ejemplo, las cepas fúngicas de *Neotyphodium* spp. son capaces de aumentar la tolerancia a la sequía en pasto y protegerlas contra la falta de nitrógeno y el estrés hídrico (Ravel *et al.* 1997). El hongo endófito de la raíz *Piriformospora indica* induce tolerancia a la sal en la cebada y tolerancia a

sequía en plantas de col china (Sun *et al.* 2010). En ambos casos, los aumentos en los niveles de antioxidantes fueron los mecanismos propuestos para la elevación de tolerancia al estrés.

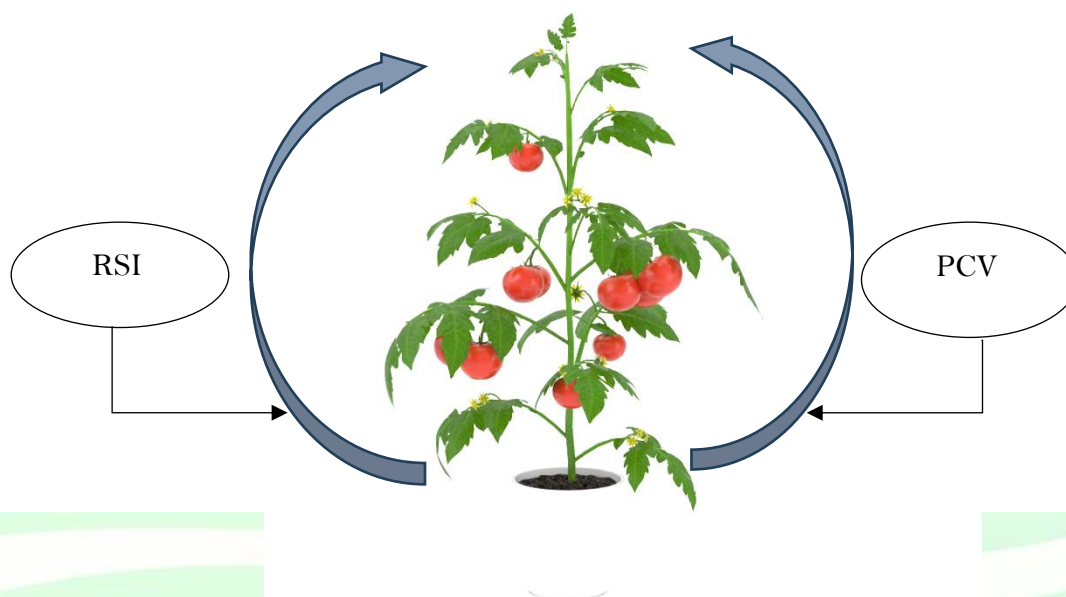


Figura 3. La inducción de defensa en las plantas por medio de la resistencia sistémica inducida (RSI) y promoción del crecimiento vegetal (PCV) (Fuente: Elaboración basada en Scortichini y Loreti 2007).

Los endófitos fúngicos son mejor conocidos por su capacidad para producir compuestos que tienen actividades inhibitoras del crecimiento de patógenos de plantas y herbívoros. Estos compuestos comprenden alcaloides, esteroides, terpenoides, péptidos, policetonas, flavonoides, quinoles, fenoles y compuestos clorados (Tejesvi *et al.* 2011). En cuanto a la estimulación del crecimiento vegetal, algunos endófitos estimulan el crecimiento de las plantas y los balances de costo-beneficio son al menos neutrales o positivos, lo que sugiere que la mayoría de los endófitos deben ser beneficiosos para su hospedante (Hardoim *et al.* 2015).

La producción de hormonas por endófitos es probablemente el mecanismo de promoción del crecimiento vegetal (Long *et al.* 2008). La obtención de nutrientes para las plantas a través de la fijación de nitrógeno es otro mecanismo detrás de la promoción del crecimiento. Varios endófitos de raíces fijan nitrógeno (*e.g.*, *Acetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum* spp. y *Azoarcus* spp.) (Reinhold-Hurek y Hurek 1998).

“Los endófitos fúngicos son mejor conocidos por su capacidad para producir compuestos que tienen actividades inhibidoras del crecimiento de patógenos de plantas y herbívoros.”

Conclusiones

Los endófitos realizan diversas funciones beneficiosas para la planta hospedante. Algunas de ellas son la promoción del crecimiento vegetal, la protección contra estrés bióticos y abióticos, la producción de metabolitos secundarios y la fijación de nitrógeno. Los endófitos son organismos que establecen interacciones dentro y fuera de la planta hospedante.

Referencias

- Bulgarelli D, Schlaeppi K, Spaepen S, van Themaat EVL y Schulze-Lefert P. 2013. Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annual Review of Plant Biology* 64:807-838. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120106>.
- Carroll G. 1988. Fungal endophytes in stems and leaves: from latent pathogen to mutualistic symbiont. *Ecology* 69(1):2-9. <https://doi.org/10.2307/1943154>.
- Compant S, Clement C y Sessitsch A. 2010. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology and Biochemistry* 42(5):669-678. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.11.024>.
- Deshmukh S, Hüchelhoven R, Sächsafer P, Imani J *et al.* 2006. The root endophytic fungus *Piriformospora indica* requires host cell death for proliferation during mutualistic symbiosis with barley. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(49):18450-18457. <https://doi.org/10.1073/pnas.0605697103>
- Fadiji AE, Galeemelwe O y Babalola OO. 2022. Unravelling the endophytic virome inhabiting maize plant. *Agronomy* 12(8):1867. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081867>.
- Hallmann J, Quadt HA, Mahaffee WF y Kloepper JW. 1997. Bacterial endophytes in agricultural crops. *Canadian Journal of Microbiology* 43(10):895-914. <https://doi.org/10.1139/m97-131>.
- Hardoim PR, van Overbeek LS, Berg G, Pirttilä AM, Compant S, Campisano A, Döring M y Sessitsch A. 2015. The hidden world within plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 79(3):293-320. <https://doi.org/10.1128/mmb.00050-14>.
- Hardoim PR, van Overbeek LS y van Elsas JD. 2008. Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. *Trends in Microbiology* 16(10):463-471. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2008.07.008>.

- Kanamori N, Madsen LH, Radutoiu S, Frantescu M, Quistgaard EM *et al.* 2006. A nucleoporin is required for induction of Ca^{2+} spiking in legume nodule development and essential for rhizobial and fungal symbiosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(2):359-364. <https://doi.org/10.1073/pnas.0508883103>.
- Kloepper JW y Ryu CM. 2006. Bacterial endophytes as elicitors of induced systemic resistance. In Schulz BJE, Boyle CJC y Sieber TN (eds.). *Microbial root endophytes*. Springer-Verlag. Berlin. Pp. 33-52. https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-33526-9_3.
- Long HH, Schmidt DD y Baldwin IT. 2008. Native bacterial endophytes promote host growth in a species-specific manner; phytohormone manipulations do not result in common growth responses. *PloS One* 3(7):e2702. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002702>.
- Mercado-Blanco J y Prieto P. 2012. Bacterial endophytes and root hairs. *Plant and Soil* 361:301-306. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1212-9>.
- Prieto P, Schilirò E, Maldonado-González MM, Valderrama R, Barroso-Albarracín JB, Mercado-Blanco J. 2011. Root Hairs Play a Key Role in the Endophytic Colonization of Olive Roots by *Pseudomonas* spp. with Biocontrol Activity. *Microbial Ecology* 62(2):435-445. <https://doi.org/10.1007/s00248-011-9827-6>
- Ravel C, Courty C, Coudret A y Charmet G. 1997. Beneficial effects of *Neotyphodium lolii* on the growth and the water status in perennial ryegrass cultivated under nitrogen deficiency or drought stress. *Agronomie* 17(3):173-181. <https://doi.org/10.1051/agro:19970304>.
- Reinhold-Hurek B y Hurek T. 1998. Life in grasses: diazotrophic endophytes. *Trends in Microbiology* 6(4):139-144. [https://doi.org/10.1016/S0966-842X\(98\)01229-3](https://doi.org/10.1016/S0966-842X(98)01229-3).
- Rosenberg E, Sharon G y Zilber-Rosenberg I. 2009. The hologenome theory of evolution contains Lamarckian aspects within a Darwinian framework. *Environmental Microbiology* 11(12):2959-2962. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2009.01995.x>.
- Scortichini M y Loreti S. 2007. Occurrence of an endophytic, potentially pathogenic strain of *Pseudomonas syringae* in symptomless wild trees of *Corylus avellana* L. *Journal of Plant Pathology* 89(3):431-434. <https://www.jstor.org/stable/41998426>.
- Sun C, Johnson JM, Cai D, Sherameti I, Oelmüller R y Lou B. 2010. *Piriformospora indica* confers drought tolerance in Chinese cabbage leaves by stimulating antioxidant enzymes, the expression of drought-related genes and the plastid-localized CAS protein. *Journal of Plant Physiology* 167(12):1009-1017. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.02.013>
- Tejesvi MV, Kajula M, Mattila S y Pirttilä AM. 2011. Bioactivity and genetic diversity of endophytic fungi in *Rhododendron tomentosum* Harmaja. *Fungal Diversity* 47:97-107. <https://doi.org/10.1007/s13225-010-0087-4>.

Hernández-Santiago R. 2026. La función de los endófitos en plantas. *Bioagrociencias* 19 (1): 1-7.
DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.6626>