

Simbiontes mutualistas: interacciones de bacterias y hongos con plantas

La simbiosis mutualista es un asombroso ejemplo de cooperación en la naturaleza, donde los organismos interactúan para beneficio mutuo. En estas relaciones, las bacterias y los hongos del suelo juegan un papel destacado, al mejorar la fijación y la capacidad de absorción de nutrientes por parte de las plantas. Se presentan ejemplos de simbiosis mutualista entre bacterias fijadoras de nitrógeno, cianobacterias y hongos con plantas.

Palabras clave: *Anabaena*, *Boletellus*, *Rhizobium*, simbiosis, suelo

DANIEL DE JESÚS VÁSQUEZ, MA. GUADALUPE RIVAS-ACUÑA*, SILVIA CAPPELLO GARCÍA Y MANUEL ANTONIO GARCÍA-GARCÍA

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

División Académica de Ciencias Biológicas, Herbario UJAT.
Carretera Villahermosa-Cárdenas, Km. 0.5 S/N Entronque a Bosques de Saloya. C.P. 86150, Villahermosa, Tabasco, México.

*mgrivasa@hotmail.com

Introducción

La vida en la Tierra es compleja y su evolución se basa en la interacción dinámica entre el ambiente y los organismos, por lo que las relaciones entre las diversas especies son esenciales para mantener el equilibrio ecológico. De acuerdo con Thajuddin y colaboradores (2015), una asociación simbiótica puede influir en el éxito evolutivo de las plantas vasculares y, por lo tanto, en la composición de las comunidades vegetales. Por lo anterior el presente trabajo tiene como objetivo describir algunas de las interacciones simbióticas mutualistas que ocurren entre bacterias y hongos con las plantas.

¿Qué es la simbiosis y cuántos tipos existen?

Simbiosis significa “vivir juntos”, para autores como Pianka (1982) el término se refiere a organismos que conviven sin dañarse uno al otro. Las relaciones simbióticas son interacciones ecológicas entre distintos organismos que podemos observar en la naturaleza; las cuales han evolucionado a lo largo de millones de años. De acuerdo con Moriana (2021), existen tres tipos principales de simbiosis en sentido amplio: el comensalismo, en el cual, una de las especies que interactúan se beneficia sin afectar negativamente a la otra; el parasitismo, en el que una especie se beneficia al perjudicar a otra, y finalmente el mutualismo, en donde dos especies obtienen beneficios recíprocos para sobrevivir (Figura 1). Por otro lado,



Figura 1 Diferentes interacciones biológicas. **A.** Comensalismo: Bromelias sobre mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) L. **B.** Parasitismo (centro): Moniliasis en cacao (*Theobroma cacao* L.); **C.** Mutualismo (derecha): Cianobacterias en raíces de cícadas. (Fotografías A. Ma. Guadalupe Rivas Acuña; B. Magdiel Torres de la Cruz; C. sin restricción de uso. Universidad de Guam).

dependiendo de la relación espacial entre los organismos simbiotes, es decir, de si uno de ellos vive en el interior o no del otro, se pueden clasificar en endosimbiosis y ectosimbiosis respectivamente.

Simbiosis de bacterias con plantas

En el suelo se encuentran una gran diversidad de organismos que incluyen a las bacterias, hongos, algas y protozoos, entre otros. De ellos, las bacterias son los organismos más comunes, esto es debido a su rápido crecimiento y empleo de diferentes sustancias como fuentes de carbono y nitrógeno. Además, se pueden encontrar en vida libre asociadas a las partículas del suelo o formando agregados. Algunas bacterias interactúan de manera específica con las raíces de las plantas, estableciendo una región del suelo conocida como rizosfera, que facilita numerosas interacciones, en esta zona la concentración de microorganismos es mayor que en el resto del suelo (Azcón-Bieto y Talón 2008, Montaña Arias *et al.* 2010).

Las bacterias, juegan un papel crucial en el crecimiento de las plantas, y se pueden clasificar en dos tipos generales: las que viven libremente en el suelo,

y las que forman una relación simbiótica dentro de las raíces de las plantas; las últimas forman nódulos en los cuales las bacterias no solo fijan el nitrógeno atmosférico, sino que también solubilizan el fósforo y producen fitohormonas (Thajuddin *et al.* 2015).

La mayor parte del nitrógeno gaseoso (N_2) se encuentra en la atmósfera constituyendo aproximadamente el 78 % de su volumen total (Pacheco-Ávila *et al.* 2002). Es un elemento esencial encontrado en forma orgánica e inorgánica, aunque en la atmósfera no está disponible para la mayoría de los organismos. Durante el ciclo del nitrógeno, existen procesos extrínsecos relacionados con las plantas, que permiten que este elemento se transforme gracias a la acción de las bacterias en compuestos inorgánicos como iones nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+), que pueden ser asimilables por las raíces. El nitrógeno es componente de proteínas y del ADN, los cuales representan más del 50 % de la masa vegetal (Fassbender y Bornemisz 1987, Orchardson 2020).

La fijación biológica del nitrógeno atmosférico es el principal mecanismo de aporte en los ecosistemas naturales, y se lleva a cabo mediante microorganismos simbióticos. Un ejemplo común son las



Figura 2. Detalle de raíces de *Inga jinicuil* Schtdl. (Fabaceae), con nódulos bacterianos (Fotografía: Vargas y Pire *Inga jinicuil* árbol multiusos UJAT 2017, (<https://pcientificas.ujat.mx/index.php/pcientificas/catalog/view/13/8/52>))

bacterias del género *Rhizobium* Frank, que realizan la fijación biológica de nitrógeno en las leguminosas (Fabaceae), aumentando la disponibilidad de este elemento para la planta, la cual de manera recíproca les proporciona azúcares producidos durante la fotosíntesis (Figura 2). Otros géneros que también hacen simbiosis con raíces de plantas leguminosas son *Bradyrhizobium* Jordan, *Mesorhizobium* Jarvis et al., *Sinorhizobium* Chen et al., y *Azorhizobium* Dreyfus et al. Además, existe una variedad de árboles y arbustos no leguminosos, de diversa taxonomía, que fijan el nitrógeno mediante simbiosis con actinomicetos filamentosos del género *Frankia* Brunchorst y algunas cianobacterias en árboles tropicales (Baca et al. 2000, Sinha 2004, Azcón-Bieto y Talón 2008).

Dentro de las bacterias existe un grupo cosmopolita denominado cianobacterias, ellas son capaces de realizar fotosíntesis en presencia de oxígeno gra-

cias a sus pigmentos fotosintéticos. Además, tienen células especializadas para la fijación de nitrógeno. Un ejemplo notable es el género *Anabaena* Bory de Saint-Vincent & Flahault, que realiza simbiosis con el helecho acuático *Azolla* Lam. (Sevillano-García 1986). Otro género es *Nostoc* Vaucher ex Bory de Saint-Vincent & Flahault, que se encuentra en las raíces de cícadas como *Macrozamia* Miq. (Schmidt 2012), y en briofitas del grupo de los antocerotes, como *Dendrocero* Nees (Da Silva et al. 2021) (Figura 3).

Simbiosis de hongos con plantas

Las micorrizas son asociaciones simbióticas mutualistas entre los hongos y las raíces de las plantas, cuya función principal es el intercambio de nutrientes: En esta relación, las plantas le proporcionan al hongo carbono obtenido a través de la fotosíntesis, mientras que el hongo le ofrece a la planta principalmente nitrógeno y fósforo (Smith y Read 2010, Carrillo-Saucedo et al. 2022). La conexión entre las raíces de las plantas micorrizadas no solo facilita el intercambio de nutrientes, sino que también aumenta la resistencia a la infección por patógenos, mejor tolerancia al estrés, además promueven la retención de humedad y la conservación del suelo (Pérez-Moreno y Read 2004).

En sentido amplio pueden ser de dos tipos: endomicorrizas cuando se localizan entre y dentro de las células corticales como el caso del género *Glomus* Tul. & C. Tul. y ectomicorrizas cuando forman una densa cubierta en la parte exterior de las raíces como la especie *Boletellus ananas* (M.A. Curtis) Murrill (Camargo-Ricalde et al. 2012), que hace simbiosis con encinos (*Quercus oleoides* Schltdl. & Cham.) (Figura 4).

Conclusiones

La complejidad de la naturaleza es enorme y existen muchos tipos de interacciones entre diferentes especies, las simbióticas mutualistas particularmente de bacterias y hongos con las plantas ilustran la capacidad de estos organismos para establecer vínculos mutuamente beneficiosos, que sustentan la biodiversidad y mantienen la estabilidad de los ecosistemas. Al comprender estas relaciones simbióticas, podemos apreciar la importancia de la coevolución de los organismos, la cooperación en la naturaleza, y analizar su aplicación en prácticas agrícolas sostenibles como son los agroecosistemas



Figura 3. *Dendroceros crispus* (Sw.) Nees (Fotografía: Jack Bindernagel, Costa Rica por bajo licencia CC BY 4.0).
<https://www.inaturalist.org/photos/294268525>

orgánicos, la rotación de cultivos y la agricultura de subsistencia, para reducir la erosión, mejorar la calidad del suelo y favorecer su conservación.



Figura 4. *Boletellus ananas* en encinar tropical (Fotografía: Silvia Cappello García).

Agradecimientos

A la Dra. Georgina Vargas Simón por la imagen de *Inga jinicuil*, al Dr. Magdiel Torres de la Cruz por la imagen de Moniliasis en cacao y a los estudiantes Laura Isabel Torres León y Christopher Guzmán García por su apoyo.

Referencias

- Azcón-Bieto J. y Talón M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. 2ª. Edición. Mc Graw Hill Interamericana. España. 651 p.
- Baca B.E., Soto Urzúa L. y Pardo Ruiz M.P.A. 2000. Fijación biológica de nitrógeno. *Elementos: Ciencia y Cultura* 7(038): 43-49.
- Carrillo-Saucedo S.M., Puente-Rivera J., Montes-Recinas S. y Cruz-Ortega R. 2022. Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta botánica mexicana* 129: e1932.
<https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>
- Camargo-Ricalde S.L., Montañó N.M., De la Rosa-Mera C. y Montañó A.S. 2012. Micorrizas; una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria* 15(7).
<https://revista.unam.mx/vol.13/num7/art72/art72.pdf>
- Da Silva A.S.M., Da Costa D.P., Allen N.S., Salino A. y Viveros R.S. 2021. *Dendroceros* Nees (Dendrocerotaceae, Anthocerotophyta): revisão sub-genérica, tolerância à dessecação e interação com *Nostoc* sp. Tesis de doctorado, Universidad Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.
- Fassbender H.W. y Bornemisza E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Edit. IICA. Costa Rica 420 p.
- Montañó Arias N.M., Sandoval Perez A.L., Camargo Ricalde S.L. y Sánchez Yáñez J.M. 2010. Los microorganismos: pequeños gigantes. *Elementos: Ciencia y Cultura* 17(77): 15-23.
<https://www.redalyc.org/pdf/294/29411989003.pdf>
- Moriana L. 2021. Qué es simbiosis en ecología con ejemplos. *Ecología Verde*.
<https://www.ecologiaverde.com/que-es-simbiosis-en-ecologia-con-ejemplos-1444.html> (consultado: 03 Julio 2024).
- Orchardson E. 2020. El nitrógeno en la agricultura. CIMMYT.
<https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-nitrogeno-en-la-agricultura/> (consultado: 25 noviembre 2024).
- Pacheco-Ávila J., Pat Canul R. y Cabrera-Sansores A. 2002. Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*

Revista Académica 6(2): 73-81.

Pérez-Moreno J. y Read D.J. 2004. Los hongos ectomicorrízicos, lazos vivientes que conectan y nutren a los árboles en la naturaleza. *Interciencia* 29: 239-247.

Pianka E.R. 1982. Ecología evolutiva. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. 365 pp.

Schmidt C. 2012. La incipiente ciencia de la BMAA: ¿contribuyen las cianobacterias a las enfermedades neurodegenerativas? *Salud Pública de México* 54(4): 442-457.

Sevillano García F., Subramaniam P. y Claudino R.B. 1986. La asociación simbiótica fijadora de nitrógeno atmosférico *Azolla-Anabaena*, pp. 233-

252. Centro de Edafología y Biología Aplicada, C.S.I.C. Salamanca.

Sinha R.K. 2004. Modern Plant Physiology. Alpha Science International Ltd. India. 620 p

Smith S. y Read D. 2010. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd. ed. Elsevier. London, UK. 803 pp.

<https://10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6>

Thajuddin N., Muralitharan G., Dhanasekaran D. y Muhammad Ilyas M.H. 2015. Microbial Symbionts of Plants. In: Bahadur B., Venkat Rajam M., Sahijram L., Krishnamurthy K. Eds. Plant Biology and Biotechnology, pp. 281–306. Springer, New Delhi. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2286-6_11

Desde el Herbario CICY, 17: 1-5 (2-enero-2025), 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. 110, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Rodrigo Duno de Stefano, Patricia Rivera Pérez y Lilia Lorena Can Itzá. 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: 2 de enero de 2025. 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.