

La simbiosis entre hongos y plantas, un ejemplo de colaboración y beneficio mutuo

Luis Gerardo Sarmiento López y Mario Rodríguez Monroy
Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional CEPROBI-IPN, Yauatepec, Morelos, México.

Mario Rodríguez Monroy es Biólogo, realizó sus estudios de Maestría y Doctorado en Biotecnología en el CINVESTAV y en la UNAM, respectivamente. Es investigador Nacional Nivel II, miembro de la Academia de las Ciencias de Morelos. Se desempeña como profesor de tiempo completo en el CEPROBI-IPN y participa en los Programas de Posgrado: Maestría y Doctorado en Desarrollo de Productos Bióticos. Su área de estudio es la Biotecnología Vegetal. Luis Gerardo Sarmiento López es Ingeniero en Industrias Alimentarias, realizó sus estudios de Maestría y Doctorado en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos en el CEPROBI-IPN. Es Profesor docente de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana y actualmente realiza una estancia postdoctoral en biología molecular de plantas e interacciones mutualistas en el CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Todas las plantas tienen la capacidad de obtener minerales a través de sus raíces y utilizarlos en todos sus procesos vitales. Por ejemplo, el fósforo es un elemento muy importante para el desarrollo de los seres vivos, ya que forma parte de las biomoléculas esenciales, como los ácidos nucleicos, las proteínas y es un elemento altamente requerido a nivel estructural en las plantas. Pero a pesar de que los suelos agrícolas contienen hasta 2,000 veces más concentración de fósforo con respecto a lo requerido por las plantas, éstas sufren constantemente la deficiencia de este nutriente. Se piensa que una solución para este problema es el empleo de abonos o fertilizantes para mitigar la deficiencia de fósforo. Sin embargo, lejos de lograrlo, aumenta la acumulación de este elemento en los suelos generando otro problema de contaminación.

De manera interesante, existen microorganismos que interactúan con las raíces de las plantas y que pueden ayudarlas a obtener mayores cantidades de este nutriente. Tal es el caso de los hongos del suelo de la familia Glomeraceae. Estos hongos poseen una asombrosa maquinaria molecular, celular y enzimática que contribuyen a la acumulación y transporte de nutrientes en su forma química más simple con la finalidad de brindárselo a las plantas. Las *Glomeraceae*, conocidas genéricamente como "hongos micorrízicos arbusculares" (HMA), son un grupo heterogéneo de hongos del suelo y que se clasifican en diversos géneros: *Archaeosporales*, *Paraglomerales*, *Diversisporales* y *Glomerales*. Todos se caracterizan por formar asociaciones benéficas para estos hongos y las plantas terrestres, por ejemplo, el frijol, el tomate, el arroz y el maíz,

que son plantas de gran interés económico. A esta interacción benéfica se le conoce como simbiosis, donde los hongos desarrollan la formación de una nueva estructura en el interior de las células corticales de la raíz, llamada *arbusculo*. Gracias a la formación de esta nueva estructura, la planta utiliza los nutrientes suministrados por estos hongos, mejorando principalmente la adquisición de fósforo.

Los hongos a su vez, reciben de la planta moléculas de carbono y ácidos grasos que les sirven para cubrir sus necesidades energéticas para sus funciones vitales, ya que ellos no pueden sintetizar estos nutrientes. Gracias al proceso de absorción y transferencia de fósforo en las plantas que forman micorrizas, se puede evitar el uso de abonos o fertilizantes fosforados para las plantas, reduciendo los problemas ecológicos, ambientales y económicos generados por la aplicación excesiva de estos insumos.

"¿De verdad!"

¿Las plantas y los hongos se comunican?

En la vida diaria, los animales, plantas y microorganismos interactúan, se comunican y conviven entre ellos. Sin embargo, entender como se comunican los individuos que pertenecen a diferentes dominios de la vida, aun sigue siendo un tema de mucho interés en el área científica. Particularmente, las plantas y los hongos intercambian señales químicas, que culminan en el establecimiento de asociaciones muy específicas, como la simbiosis *micorrízica arbuscular* que acabamos de describir.

Este diálogo molecular entre ambos compañeros simbióticos inicia con la liberación de metabolitos secundarios y hormonas por parte de las plantas hacia la *rizosfera*, que es la parte del suelo inmediata a las raíces. Principalmente moléculas llamadas *lactonas terpenoides* como las *estrigolactonas*, que son derivados del metabolismo de los carotenoides, hacen que los HMA sean atraídos específicamente hacia las raíces de las plantas. La cantidad liberada de estas moléculas, así como su composición, varía dependiendo de la especie vegetal que se trate. Así, estas moléculas se convierten en la primera señal por la cual se comunican las plantas y los HMA (Figura 1).

Si el hongo reconoce de manera exitosa esta señal química (*estrigolactona*), se inicia un proceso molecular llamado *transcripción*, en el cual la información genética contenida en el ADN del hongo, se transcribe a ARN mensajero proveniente de los genes de *micorrización* (*genes Myc*). Durante este proceso, la traducción (proceso por el cual el ARN mensajero se traduce a proteínas) de los genes *Myc*, da origen a un grupo de proteínas que trabajan de manera coordinada para sintetizar y secretar los llamados factores de micorrización (*factores Myc*). Los factores *Myc* están modificados químicamente, con lo cual la interacción entre el hongo y la planta se vuelve muy específica y permite establecer la simbiosis *micorrízica arbuscular* con una especie determinada de planta (Figura 1).

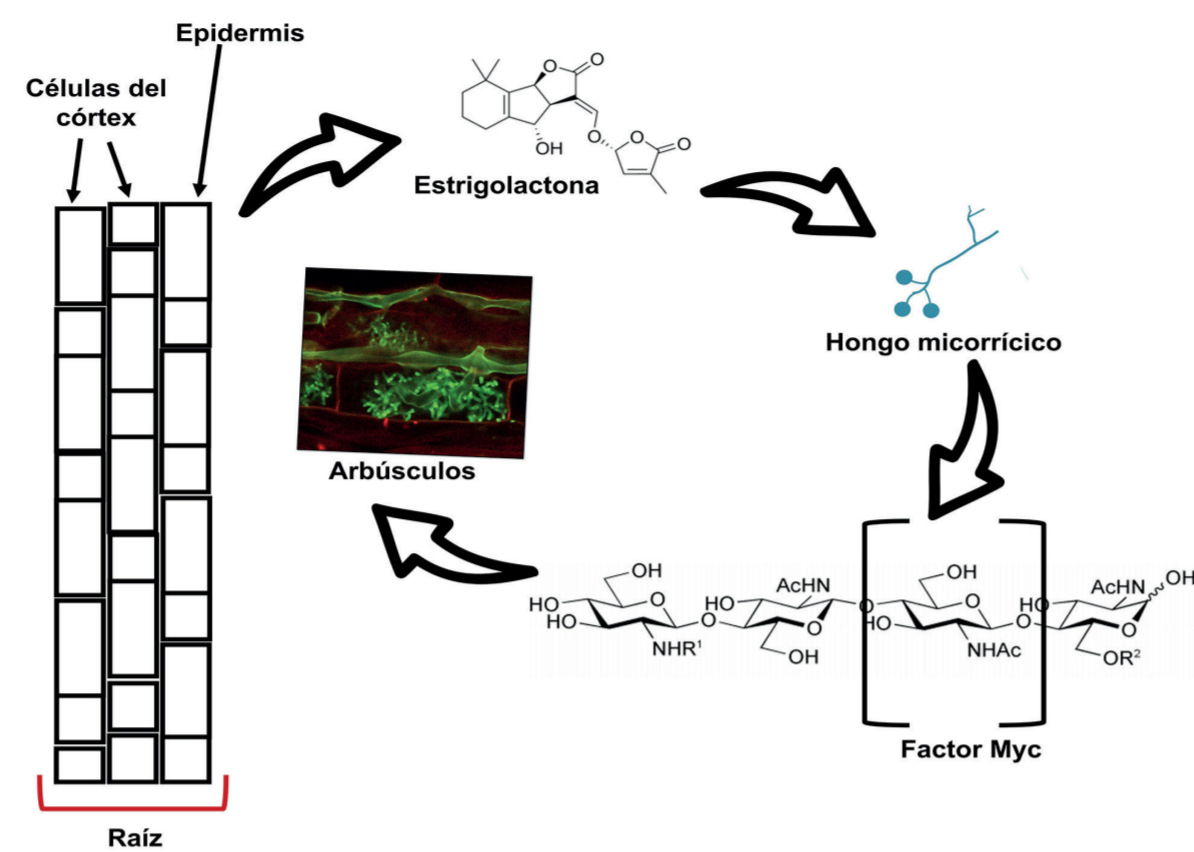


FIGURA 1. ESQUEMA general del intercambio de señales que se establece entre los hongos micorrízicos arbusculares y las plantas.

Como tal, esto nos sugiere que las plantas son altamente selectivas al momento de establecer simbiosis con los diferentes microorganismos. Por lo tanto, las *estrigolactonas* y los *factores Myc* juegan un papel esencial en el establecimiento, desarrollo y funcionalidad de la simbiosis *micorrízica*.

¿Entonces, los hongos viven dentro de las raíces de las plantas?

Para los humanos, el hogar representa un lugar donde se crea un ambiente de seguridad y protección. Al igual que los humanos, los hongos encuentran ese hogar en el interior de las raíces, en unidades anatómicas individuales llamadas *células del córtex*. Posterior al reconocimiento molecular que ocurre entre ambos compañeros simbióticos, los HMA forman estructuras de unión llamadas *apresorios* (estructura fúngica hinchada con forma de pie que se adhiere a la planta), que les permite el acercamiento y adherencia en la capa de células (epidermis) más externa de la raíz (Figura 2). Una vez que el hongo está adherido a la superficie de la raíz, las plantas participan activamente para que encuentre el camino más sencillo y eficiente para llegar a su destino. Para ello, se genera una estructura llamada aparato de pre-penetración (APP) (Figura 2), el cual se forma por el estímulo continuo del hongo y los factores *Myc* que se producen. El APP es una estructura tubular (similar a un túnel de autopista) que se forma con el material de la pared de las células de la raíz, previniendo así, que el hongo interactúe directamente con el citoplasma de la célula vegetal y, en consecuencia, evitando la respuesta de defensa de la planta. Así, una única hifa del hongo se desplaza dentro del PPA en dirección hacia las células más internas de la raíz, llamada células del córtex. Cuando los hongos se encuentran dentro de la célula ve-

getal, sufren diversos cambios morfológicos que son esenciales para la nueva función que han adquirido. Estos cambios incluyen un aumento en el tamaño de las células, la reorganización y compactación de sus organelos y la formación de una nueva estructura llamada *arbusculo* (Figura 2). Los *arbusculos* son estructuras altamente ramificadas producidas dentro de las células huésped y se consideran la estructura clave de los intercambios de nu-

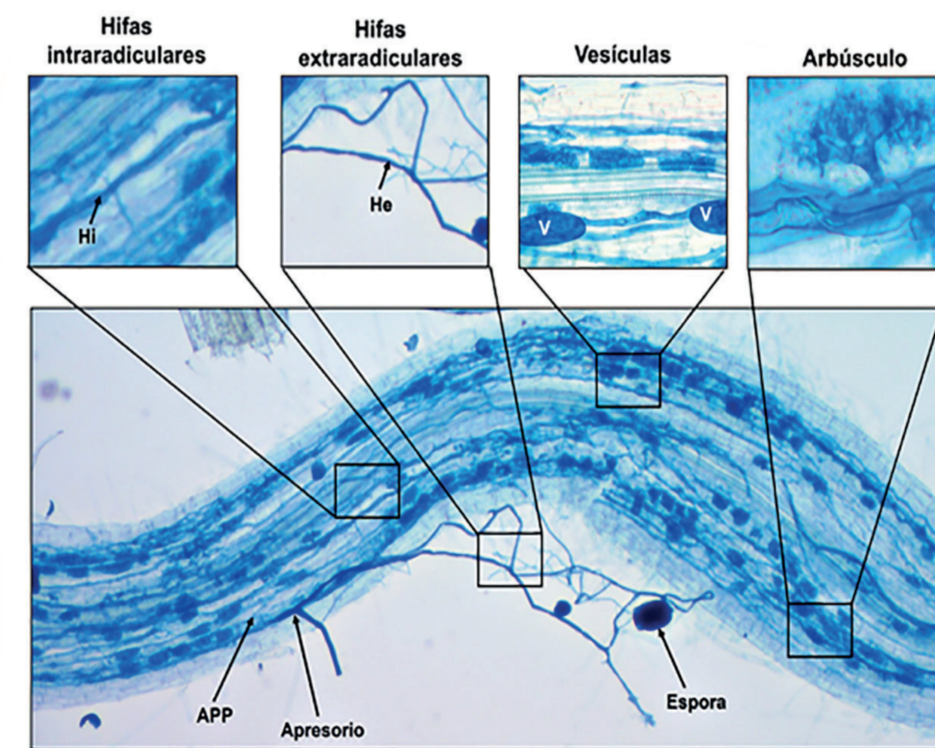


FIGURA 2. COLONIZACIÓN de raíz por hongos micorrízicos arbusculares. El esquema resume las principales características de la simbiosis, así como el desarrollo de las diferentes estructuras simbióticas en la raíz.

trientes entre la planta y el hongo².

Finalmente, tras el establecimiento exitoso de la simbiosis *micorrízica arbuscular*, los HMA producen vesículas (estructuras de almacenamiento de lípidos), las cuales son estructuras ovaladas irregulares que se forman dentro o entre las células de la raíz (Figura 2).

¿A qué plantas les conviene esta simbiosis? El caso de *Stevia rebaudiana*

En el grupo de trabajo (CeProBi-IPN) se han realizado contribuciones importantes en el campo de las asociaciones simbióticas, particularmente sobre los beneficios de la simbiosis *micorrízica arbuscular* en plantas de *Stevia rebaudiana*, que produce el edulcorante conocido como *Stevia*.

S. rebaudiana es una planta arbustiva que pertenece a la familia de las *Asteraceae* y es considerada una planta de importancia económica debido a que en sus hojas se producen una gran diversidad de metabolitos secundarios, que incluyen a los *estilbenos*, *flavonoides* y *ácidos fenólicos*, los cuales a su vez integran a los compuestos fenólicos, metabolitos que tienen propiedades antioxidantes. También producen moléculas de naturaleza terpenica llamados *esteviol glucósidos (SGs)*. El *esteviolósido* y el *rebaudiósido A* son los SGs más conocidos y son compuestos importantes para la salud humana porque son edulcorantes naturales con hasta 320 veces más poder edulcorante con respecto a el azúcar común y son de bajo aporte calórico³.

A la fecha, el grupo de trabajo ha caracterizado el establecimiento de la simbiosis *micorrízica arbuscular* en *S. rebaudiana*, encontrando una relación muy particular y específica entre la cantidad de fósforo utilizada en la

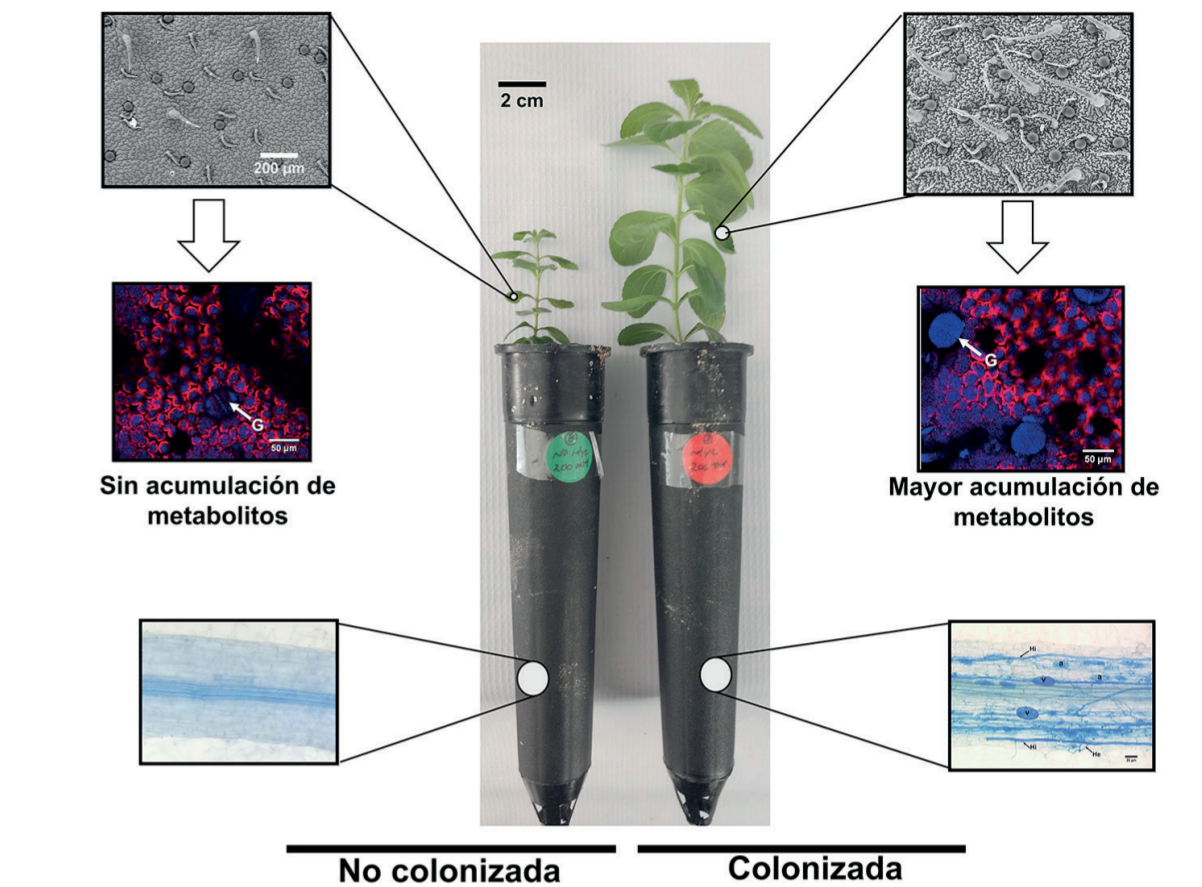


FIGURA 3. REPRESENTACIÓN esquemática de la morfología, desarrollo de tricomas y acumulación de metabolitos en plantas de *S. rebaudiana* en respuesta a la simbiosis *micorrízica arbuscular*.

nutrición de las plantas y su efecto sobre la simbiosis. Lo anterior, permitió observar por primera vez como el uso de bajas y altas concentraciones de fósforo (concentraciones utilizadas en varios cultivos a nivel de campo) puede inducir o inhibir el establecimiento de la simbiosis, así como afectar la formación de las diferentes estructuras simbióticas dentro de la raíz⁴. Estos estudios también han permitido saber si esta simbiosis tiene un efecto positivo para promover el crecimiento vegetal demostrando que hay un incremento sustancial en el crecimiento de las plantas cuando están colonizadas por hongos con respecto a las plantas sin colonizar (Figura 3). Esto ha reforzado la idea de que, para el caso particular de *S. rebaudiana*, le conviene establecer la asociación simbiótica con la finalidad de aumentar la adquisición de nutrientes (particularmente fósforo) otorgados por el hongo, lo que a su vez se refleja en un mejor crecimiento en la planta.

Una parte importante para considerar en plantas de interés económico, como en el caso de *Stevia*, es conocer si la simbiosis modifica la acumulación de metabolitos secundarios en las plantas. Recientemente, se ha optado por usar herramientas como la microscopía para ayudar a resolver estas dudas. Los resultados a la fecha sugieren que, en plantas colonizadas por el hongo, se induce la formación de estructuras de acumulación de metabolitos llamadas *tricomas*⁵ (Figura 3). Consistentemente, se ha observado que en los tricomas de *Stevia* hay acumulación de metabolitos secundarios en respuesta a la simbiosis (Figura 3). Estos resultados indican que la simbiosis

más allá de tener beneficios nutricionales también puede mejorar la síntesis y acumulación de metabolitos de interés en *S. rebaudiana*.

Finalmente, estas investigaciones sugieren que la simbiosis *micorrízica arbuscular* puede ser una herramienta biotecnológica muy importante para el mejoramiento nutricional, fisiológico y metabólico en plantas de *S. rebaudiana*, en donde los HMA actúan como compañeros simbióticos muy convenientes para la planta.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.

ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org.mx

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos?

CONTACTANOS: editorial@acmor.org.mx

Bibliografía

- Choi, J., Summers, W., Paszkowski, U., 2018. Annual review of phytopathology mechanisms underlying establishment of arbuscular mycorrhizal symbioses. *Annu. Rev. Phytopathol* 56, 7–8. Disponible en: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-phyto-080516-035521>
- Schmitz, A.M., Harrison, M.J., 2014. Signaling events during initiation of arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Journal of integrative plant biology* 56, 250–261. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jipb.12155>
- Brandle, J.E., Starratt, A.N., Gijzen, M., 1998. *Stevia rebaudiana*: Its agricultural, biological, and chemical properties. *Can. J. Plant Sci.* 78, 527–536. Disponible en: <https://cdsciencepub.com/doi/10.4141/P97-114>

- Sarmiento-López, L.G., López-Meyer, M., Sepúlveda-Jiménez, G., Cárdenas, L., Rodríguez-Monroy, M., 2020. Photosynthetic performance and steviol concentration are improved by the arbuscular mycorrhizal symbiosis in *Stevia rebaudiana* under different phosphorus concentrations. *PeerJ* 8, e10173. Disponible en: <https://peerj.com/articles/10173/>

- Sarmiento-López, L.G., López-Meyer, M., Sepúlveda-Jiménez, G., Cárdenas, L., Rodríguez-Monroy, M., 2021. Arbuscular mycorrhizal symbiosis in *Stevia rebaudiana* increases trichome development, flavonoid and phenolic compound accumulation. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 31. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878818120319204>

