

# Papel señalizador de compuestos volátiles producidos por *Rhizobium*

M<sup>a</sup> JOSE SOTO MISFFUT, VIRGINIA CUÉLLAR MALDONADO, LYDIA M<sup>a</sup> BERNABÉU-RODA

Grupo de Genética de Infecciones Fitobacterianas, Departamento de Biotecnología y Protección Ambiental; Estación Experimental del Zaidín, CSIC Granada

✉ [mariajose.soto@eez.csic.es](mailto:mariajose.soto@eez.csic.es)

Los microorganismos son capaces de producir una enorme variedad de compuestos volátiles, compuestos de bajo peso molecular (<300 Daltons), alta presión de vapor y bajo punto de ebullición, lo que facilita su evaporación y difusión. La cantidad y el perfil de volátiles orgánicos e inorgánicos producidos por un microorganismo varía en función de numerosos factores tanto ambientales como genéticos. Hoy está ampliamente reconocido que los volátiles microbianos poseen actividad biológica y desempeñan un importante papel como infoquímicos en la interacción con otros microorganismos y con organismos eucariotas (Gámez-Arcas *et al.* 2022; Netzker *et al.* 2020; Weisskopf *et al.* 2021).

Los efectos de los volátiles microbianos sobre los microorganismos son muy diversos. Algunos poseen efecto antimicrobiano, inhibiendo el crecimiento de hongos y/o bacterias. Otros son capaces de alterar la movilidad, capacidad de formar biofilm, la virulencia, o la resistencia a estreses y antibióticos de los microorganismos sobre los que actúan. Sin embargo, el conocimiento sobre cómo los microbios perciben y responden a estos compuestos sigue siendo bastante limitado. Los volátiles microbianos son especialmente conocidos por los efectos beneficiosos que generan en las plantas. A través de distintos mecanismos, estos metabolitos pueden estimular el crecimiento vegetal y aumentar la resistencia de las plantas a estreses abióticos, características que podrían aprovecharse para el desarrollo de alternativas ecológicas que ayuden a sustituir pesticidas y fertilizantes (Cellini *et al.* 2021).

Las bacterias del suelo englobadas con el nombre genérico de *Rhizobium* son conocidas por su capacidad de inducir la formación de nódulos fijadores de nitrógeno en plantas leguminosas. El



**Miembros del grupo.** De izquierda a derecha: Virginia Cuéllar Maldonado, Lydia M<sup>a</sup> Bernabéu Roda, M<sup>a</sup> José Soto Misffut, Cristina Carvia Hermoso.

establecimiento de la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa es un proceso muy complejo que se inicia en la rizosfera con un elaborado intercambio de señales entre planta y bacteria. Sorprendentemente, y aunque *Rhizobium* probablemente sea el microorganismo mejor conocido de la microbiota vegetal, es muy poco lo que se sabe sobre los compuestos volátiles producidos por estas rizobacterias y sus funciones biológicas. Resultados recientes han puesto de manifiesto que los volátiles de *Rhizobium* (VR) pueden actuar como infoquímicos tanto en bacterias como en plantas y pueden influir en el establecimiento de interacciones planta-bacteria (Soto *et al.* 2021) (**Figura 1**). Así, la exposición de plantas no leguminosas al cóctel de volátiles o volatiloma producido por el simbionte de alfalfa *Sinorhizobium meliloti* estimula el crecimiento vegetal y activa la expresión de genes de captación de hierro y de genes de defensa (Hernán-

dez-Calderón *et al.* 2018). Sin embargo, se desconoce la influencia del volatiloma de los rizobios en el establecimiento de simbiosis con leguminosas o en resistencia frente a microorganismos patógenos.

El grupo de Genética de Infecciones Fitobacterianas (GIF) ha contribuido a incrementar el conocimiento sobre los VR. Durante el estudio de las bases moleculares que regulan el movimiento en superficie de *S. meliloti* y su influencia en la colonización de plantas de alfalfa, pusimos de manifiesto que la bacteria produce varias metilcetonas volátiles. La acumulación de la metilcetona 2-tridecanona (2-TDC) asociada a un mutante que presentaba mayor capacidad de translocación en superficie pero menor capacidad de formar biofilm y de colonizar raíces de alfalfa, nos permitió demostrar que la 2-TDC es una molécula señalizadora en bacterias capaz de alterar específicamente el movimiento

bacteriano en superficie y la formación de biofilm (Amaya-Gómez *et al.* 2015; López-Lara *et al.* 2018; Soto *et al.* 2002). Además, la aplicación de 2-TDC dificulta el establecimiento de asociaciones planta-bacteria reduciendo la capacidad colonizadora del microorganismo (López-Lara *et al.* 2018), una característica que podría ser empleada en la protección de cultivos. Entender las bases moleculares responsables de la actividad biológica de la 2-TDC en bacterias, los mecanismos que regulan su producción en *S. meliloti*, así como evaluar posibles respuestas desencadenadas en la planta por los VR, forman parte de las investigaciones actuales del grupo.

Los escasos datos disponibles claramente invitan a seguir profundizando en el papel de los VR en la comunicación a distancia con plantas y con otros microorganismos. Investigaciones futuras permitirán descifrar si estos metabolitos, actuando como mezclas volatílicas o como compuestos individuales, son elicitores de la inmunidad vegetal o si pueden facilitar el establecimiento de simbiosis con leguminosas induciendo respuestas en la planta que atraigan al microsimbionte y/o activando la ruta de señalización simbiótica. Teniendo en cuenta la demanda en hierro que conlleva el mantenimiento de un nódulo fijador de N, será importante determinar si la activación de mecanismos de captación de hierro inducida por volátiles del microsimbionte, asegura la eficiencia de la simbiosis. Y no menos importante será desvelar la influencia de estos metabolitos en la composición y funcionamiento de la microbiota vegetal tan importante en la salud de las plantas. El conocimiento adquirido contribuirá al empleo de *Rhizobium* y sus volatílicos como fuente de nuevas soluciones de biocontrol y bioestimulantes en Agrobiotecnología.

*Las investigaciones del grupo GIF se realizan en el marco de los proyectos PY20\_00225 financiado por PAIDI 2020, y PGC2018-096477-B-I00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/ y por FEDER Una manera de hacer Europa.*

## Referencias

Amaya-Gómez CV, Hirsch AM y Soto MJ. (2015). Biofilm formation assessment in *Sinorhizobium meliloti* reveals interlinked control with surface motility. BMC Microbiol 15: 58 DOI 10.1186/s12866-015-0390-z.

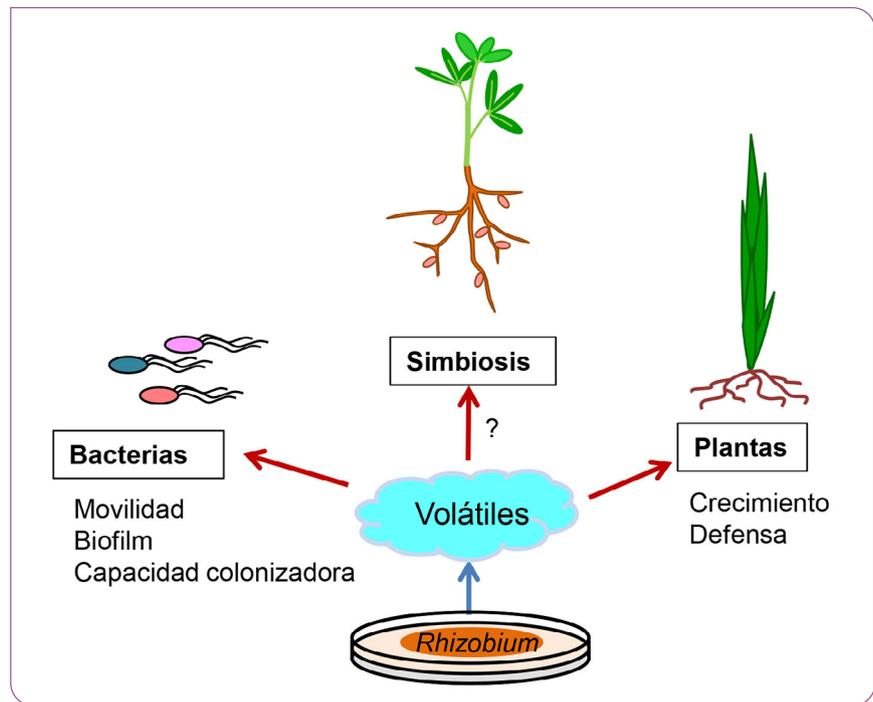


Figura 1. Actividades biológicas de compuestos volátiles producidos por *Rhizobium*.

Cellini A, Spinelli F, Donati I, Ryu CM y Kloepper JW. (2021). Bacterial volatile compound-based tools for crop management and quality. Trends Plant Sci 26: 968-983 DOI: 10.1016/j.tplants.2021.05.006.

Gámez-Arcas S, Baroja-Fernández E, García-Gómez P, Muñoz FJ, Almagro G, Bahaji A, Sánchez-López AM y Pozueta-Romero J. (2022). Action mechanisms of small microbial volatile compounds in plants. J Exp Bot 73: 498-510 DOI: 10.1093/jxb/erab463.

Hernández-Calderón E, Aviles-García ME, Castulo-Rubio DY, Macías-Rodríguez L, Montejano Ramírez V, Santoyo G, López-Bucio J y Valencia-Cantero E. (2018). Volatile compounds from beneficial or pathogenic bacteria differentially regulate root exudation, transcription of iron transporters, and defense signaling pathways in *Sorghum bicolor*. Plant Mol Biol 96: DOI: 291-304 10.1007/s11103-017-0694-5.

López-Lara IM, Nogales J, Pech-Canul A, Calatrava-Morales N, Bernabéu-Roda LM, Durán P, Cuéllar V, Olivares J, Alvarez L, Palenzuela-Bretónes D, Romero M, Heeb S, Cámara M, Geiger O y Soto MJ. (2018). 2-Tridecanone

impacts surface-associated bacterial behaviours and hinders plant-bacteria interactions. Environ Microbiol 20: 2049-2065 DOI: 10.1111/1462-2920.14083.

Netzker T, Shepherdson EMF, Zambri MP y Elliot MA. (2020). Bacterial volatile compounds: Functions in communication, cooperation, and competition. Annu Rev Microbiol 74: 409-430 DOI: 10.1146/annurev-micro-011320-015542.

Soto MJ, Fernández-Pascual M, Sanjuán J y Olivares J. (2002). A *fadD* mutant of *Sinorhizobium meliloti* shows multicellular swarming migration and is impaired in nodulation efficiency on alfalfa roots. Mol Microbiol 43: 371-382.

Soto MJ, López-Lara IM, Geiger O, Romero-Puertas MC y van Dillewijn P. (2021) Rhizobial volatiles: Potential new players in the complex interkingdom signaling with legumes. Front Plant Sci 12: 698912 DOI: 10.3389/fpls.2021.698912.

Weisskopf L, Schulz S y Garbeva P. (2021). Microbial volatile organic compounds in intra-kingdom and inter-kingdom interactions. Nat Rev Microbiol 19: 391-404 DOI: 10.1038/s41579-020-00508-1