



# Comunicación y señales químicas producidas por los microorganismos del suelo

Eduardo Valencia-Cantero<sup>1</sup>  
Lourdes Macías-Rodríguez<sup>1\*</sup>

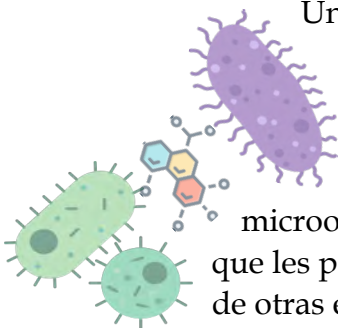
<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. México.

\*Autor para correspondencia: lourdes.macias@umich.mx

**Los microorganismos del suelo son una alternativa para una agricultura sustentable y el manejo de cultivos orgánicos. Estos microorganismos producen distintos tipos de moléculas que son liberadas al ambiente favoreciendo la nutrición, el rendimiento y la adaptación de las plantas a distintos tipos de estrés. Además, son percibidas por los animales, entre ellos los insectos modificando su comportamiento ya sea de oviposición o alimenticio, lo que resulta conveniente en programas de control biológico de insectos herbívoros.**

## Introducción

Una señal química es una molécula producida por un organismo que desencadena una respuesta en otro organismo. El organismo que produce la molécula es el organismo emisor, y el organismo en el que se desencadena la respuesta es el organismo receptor u “organismo blanco”; esto es válido también en organismos unicelulares. Los microorganismos del suelo son capaces de liberar señales químicas al ambiente que les permiten intercambiar información con individuos de la misma especie o de otras especies. Parece extraño, pero los microorganismos producen estas señales como una forma de comunicación elemental mediante la cual coordinan actividades como población. Interesantemente, muchas de estas señales son propias de un grupo de microorganismos en particular, lo que permite que el reconocimiento y la comunicación sean “específicos”. Esto es posible porque una vez liberados los compuestos señal, pueden viajar y entrar en contacto con muchos tipos de organismos; para que la señal sea percibida y surta efecto, el “organismo blanco” debe de contar con el aparato molecular adecuado para captar la señal, que usualmente es un conjunto de proteínas especializadas que se llaman proteínas receptoras.

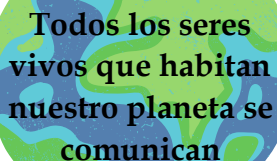




La capacidad de emitir señales está grandemente afectada por la nutrición, fase de crecimiento y el tipo de metabolismo del microorganismo, entre otros factores. Entonces podemos afirmar, en un contexto ecológico, que los microorganismos del suelo se comunican con otros microorganismos, con las plantas y con los animales, y que son participantes cruciales para el correcto funcionamiento de un agroecosistema.

### **Hay señales químicas microbianas que van a donde las lleve el viento**

Las señales químicas que participan en la comunicación de los microorganismos con su entorno derivan principalmente del metabolismo secundario, es decir, que no son realmente vitales pero que tienen un alto valor adaptativo y suelen producirse en condiciones de agotamiento de nutrientes en el entorno, o bien, en momentos clave del ciclo de vida en las que son importantes, tales como la formación de esporas y las transformaciones que las células llevan a cabo para especializarse. Por supuesto, la estructura molecular de las señales químicas es diversa, y depende en buena medida de la ruta metabólica de la cual derivan. Entre las señales químicas producidas por los microbios se encuentran moléculas pequeñas que están en estado gaseoso a temperatura ambiente, por lo tanto, pueden ser transportadas por el viento y ser detectadas a kilómetros de distancia de la fuente emisora. Por lo que son esenciales en las relaciones dentro de las especies (intraespecíficas), o bien, entre las especies (interespecíficas) de un ecosistema, recibiendo así el nombre genérico de compuestos orgánicos volátiles (COV).



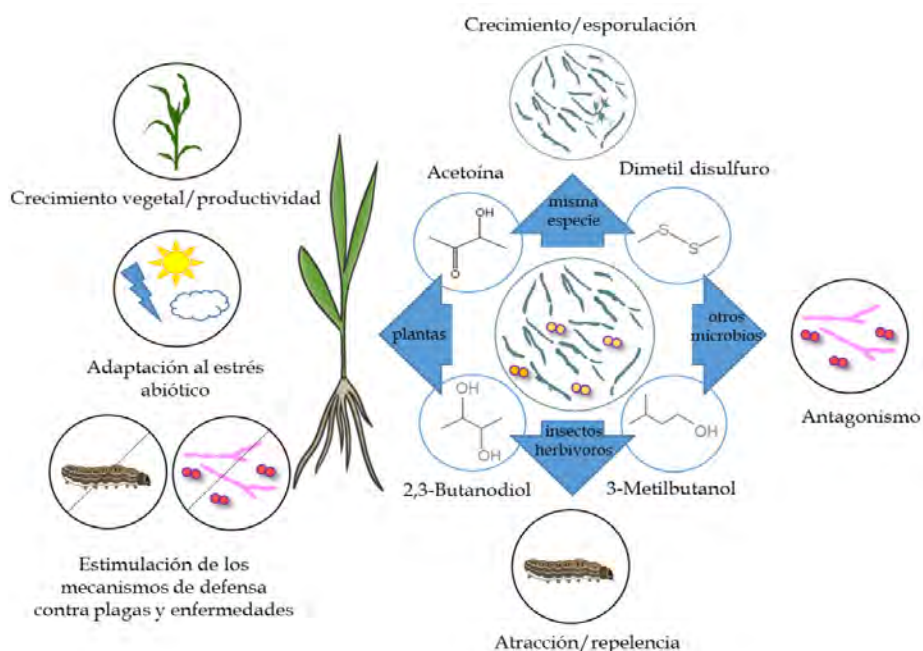
**Todos los seres vivos que habitan nuestro planeta se comunican**

Quando hablamos de comunicación, estamos acostumbrados a pensar en la comunicación humana, que es compleja, y que abarca distintas formas de intercambio de información complementarias al de las palabras tal como los gestos, las posturas, o el olor característico que emana una persona. Quizás por ello, resulte extraño utilizar la palabra “comunicación” en la naturaleza, pero el término en sí refiere al intercambio de información entre dos o más participantes. Por lo tanto, todos los seres vivos que habitan nuestro planeta se comunican, porque la comunicación es una necesidad para alimentarse, reproducirse, adaptarse o evitar la depredación. Como se ha mencionado, dicha comunicación se lleva a cabo al menos en parte mediante los COV.

A lo largo de la historia, el ser humano ha aprovechado la habilidad de los microorganismos para producir compuestos con olores característicos, y los ha utilizado durante la elaboración de alimentos y bebidas.



Actualmente, es de interés el estudio de aquellos compuestos microbianos que puedan tener alguna aplicación en agroecología. En este punto debemos hacer un paréntesis para hablar acerca de las denominadas “rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal”, también conocidas como “PGPR” (por sus siglas en inglés). Los criterios para definir a un grupo bacteriano como PGPR han variado desde su primera definición por Joe Kloepper (~1976), pero en general son aquellas bacterias que colonizan activamente la rizósfera, sobreviven, se multiplican, compiten con la microbiota y promueven el crecimiento de la planta mediante distintos mecanismos, tal como, la adquisición incrementada de nutrientes, la producción de fitohormonas, la inducción de mecanismos de resistencia a patógenos y la antibiosis directa contra fitopatógenos (Figura 1).



**Figura 1.** Ejemplos de compuestos orgánicos volátiles producidos por microorganismos del suelo y sus funciones biológicas durante la comunicación microbiana o bien con plantas e insectos.

En 2003, se describió por primera vez que la PGPR *Bacillus subtilis* GB03 emite los COV 3-hidroxi-2-butanona (acetoína) y 2,3-butanodiol, que son reconocidos por las plantas estimulando su crecimiento y desarrollo. A partir de ese momento han surgido diversos estudios que relacionan a los COV microbianos con la activación de los mecanismos vegetales que participan de la toma de nutrientes del suelo, la estimulación de la inmunidad y la tolerancia al estrés del tipo biótico (de origen biológico) o abiótico (de origen ambiental), entre otros.



Por ejemplo, *Arthrobacter agilis* UMCV2, una PGPR aislada de la rizósfera de maíz, produce el compuesto *N,N*-dimetilhexadecilamina que estimula el crecimiento vegetal e inhibe el crecimiento de hongos patógenos de plantas, o sea, fitopatógenos como *Botrytis cinerea* que es causante del moho gris (Tabla 1). Otro ejemplo de la función biológica de los COV microbianos en la naturaleza, es durante la interacción de microorganismos con insectos. Dicha interacción puede ser mutualista (si ambos organismos se benefician) o patogénica (si uno infecta al otro), como el caso de los microorganismos entomopatógenos. Los insectos perciben aromas en concentraciones extremadamente bajas, en el orden de un billonésimo de gramo (pg) por metro cúbico de aire en lapsos de milisegundos, para algunos compuestos en específico. Esto los convierte en organismos altamente sensibles a moléculas aromáticas. De esta forma, los insectos se crean una percepción global de su entorno. Esta capacidad constituye una parte importante en su supervivencia, utilizándola para encontrar fuentes de alimento, sitios de refugio, para la búsqueda de pareja, la evasión de potenciales amenazas y para la selección de sitios de anidamiento.

Así pues, se reporta que diversos COV microbianos actúan como atrayentes, repelentes, modulan patrones de alimentación y postura de sus huevos (oviposición), entre otros. Esto sucede, por ejemplo, en la relación mutualista de la polilla de la manzana (*Cydia pomonella*) con las levaduras del género *Metschnikowia*. La polilla de la manzana es una plaga de gran importancia económica y su interacción con la levadura es esencial para su supervivencia, pues las larvas de *C. pomonella* se alimentan de las levaduras, promoviendo el desarrollo y reduciendo la mortalidad del insecto. A su vez, las levaduras proliferan a causa de la presencia del insecto que propicia su diseminación en el fruto. Además, las hembras adultas de la polilla son atraídas por los COV emitidos por las levaduras y prefieren ovipositar en manzanas inoculadas con la levadura.

**Los insectos perciben aromas en concentraciones extremadamente bajas, en el orden de un billonésimo de gramo (pg) por metro cúbico de aire en lapsos de milisegundos**

Una de las cosas que llama mucho la atención es que frecuentemente, en una relación de patogénesis tal como la de los hongos entomopatógenos que se especializan en parasitar y consumir a diferentes grupos de artrópodos, entre ellos a los insectos, se observa que los hongos entomopatógenos tienen la capacidad de alterar la conducta reproductiva de sus huéspedes insectos, lo que facilita la dispersión de los hongos en el ambiente.



Por una parte, el patógeno hace que el insecto infectado resulte más atractivo para otros insectos sanos por el cambio en la huella de COV que emite, o bien, modifica la conducta del huésped infectado al incrementar su frecuencia de cópula o el tiempo que le toma el acto. Esto ha sido observado como una estrategia de propagación de la infección por el entomopatógeno *Entomophthora muscae*, que produce el compuesto etil octanoato que estimula a los machos sanos la actividad de copular con los cadáveres de hembras de moscas infectadas.

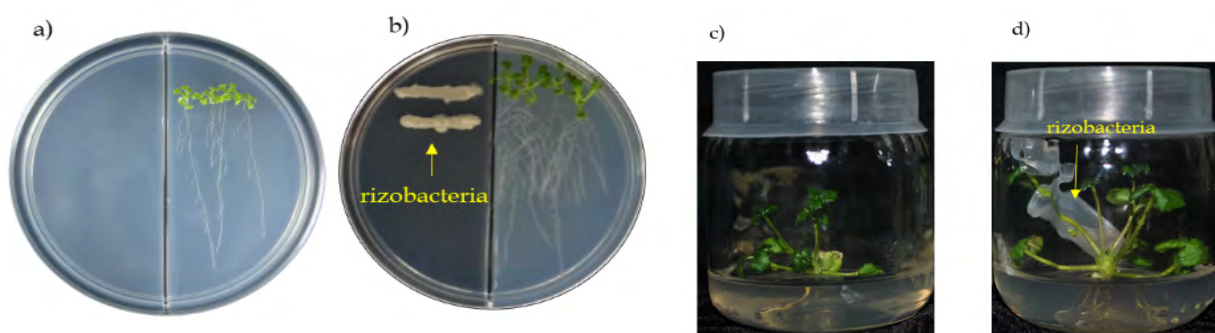
**Tabla 1.** Ejemplos de señales químicas producidas por algunos microorganismos con actividad biológica

Microorganismos	Señal química	Organismo receptor	Efecto
<b>Bacterias</b>			
<i>Bacillus subtilis</i> GB03	Acetoína	Plantas	Promotor del crecimiento vegetal y activación de los mecanismos de defensa en plantas
		Microorganismos	Antimicrobiano
<i>Arthrobacter agilis</i> UMCV2	N,N-Dimetilhexadecilamina	Plantas	Promotor del crecimiento vegetal y activación de los mecanismos de defensa en plantas
<b>Hongos</b>			
<i>Trichoderma atroviride</i> IMI 206040	6-Pentil-piran-2-ona	Plantas	Promotor del crecimiento vegetal y activación de los mecanismos de defensa en plantas
		Microorganismos	Antimicrobiano
		Artrópodos herbívoros	Disuasivo sobre el forrajeo, atracción de enemigos naturales de los artrópodos
<i>Beauveria bassiana</i> AI2	3-Metilbutanol	Artrópodos herbívoros	Modulación de la oviposición de sus hospederos



### ¿Cómo se estudian los COV microbianos?

Para estudiar la función biológica de los COV microbianos, se utilizan sistemas con compartimentos separados donde los microbios del suelo se comunican con otros organismos exclusivamente mediante la emisión de COV. Ejemplos de estos sistemas experimentales pueden observarse en la Figura 2, que ilustra cajas de Petri con una división y frascos para el cultivo in vitro de plantas con un pequeño frasco adentro, que fueron utilizados para conocer el efecto de los compuestos emitidos por la *Bacillus methylotrophicus* M496 (PGPR) en la promoción del crecimiento en plantas de *Arabidopsis thaliana* y de fresa (*Fragaria x ananassa*).

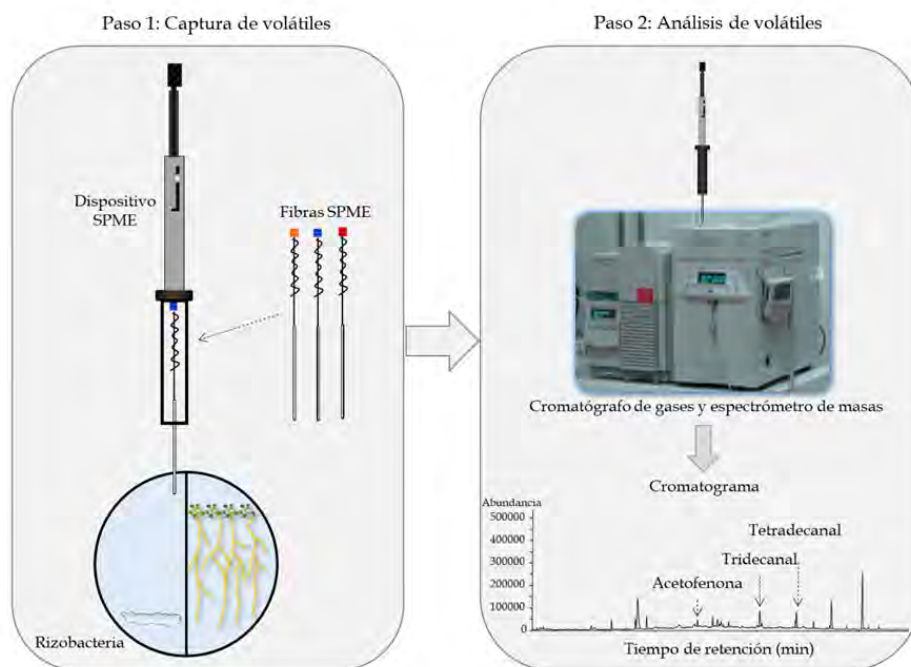


**Figura 2.** Efecto de los compuestos orgánicos volátiles producidos por la rizobacteria *Bacillus methylotrophicus* M496 sobre el crecimiento y desarrollo de plantas. a) Plantas de *Arabidopsis* crecidas en cajas de Petri con una división física. b) Plantas de *Arabidopsis* estimuladas en su crecimiento y desarrollo por los compuestos bacterianos. c) Plantas de fresa crecidas en frascos de vidrio. d) Plantas de fresa estimuladas en su crecimiento y desarrollo por los compuestos bacterianos. La figura muestra que los compuestos producidos por la bacteria estimulan la acumulación de biomasa foliar y radicular en ambos tipos de plantas en comparación al control sin inóculo bacteriano.

Actualmente, existen diversas estrategias para el análisis de COV microbianos, sin embargo, la técnica más revolucionaria ha sido quizás la microextracción en fase sólida (SPME, por sus siglas en inglés). Esta técnica tiene la ventaja de que no emplea disolventes para la extracción y no es necesario un manejo de muestra previo, lo cual es altamente deseable. La técnica de SPME fue desarrollada por Arthur y Pawliszyn en 1990 y simula una jeringa. Al interior de la aguja se encuentra una fibra de núcleo de sílice fundida (aproximadamente 1 cm en longitud) recubierta con un adsorbente que captura los COV. Posteriormente, los COV son desorbidos térmicamente de la fibra en el puerto de inyección de un cromatógrafo de gases (equipo para análisis de gases, Figura 3).



El cromatógrafo de gases, es una maravilla moderna, permite separar las moléculas que componen una muestra (mezcla) al hacerlas pasar por lo que podemos describir como un tubo sumamente estrecho de unos 30 m de longitud llamado columna y con base a las diferencias en las propiedades físicas y químicas de las moléculas, unas se desplazan y salen más rápido del tubo que otras. Finalmente, se analizan ya “puras” por un detector que da información sobre la identidad química de los COV.

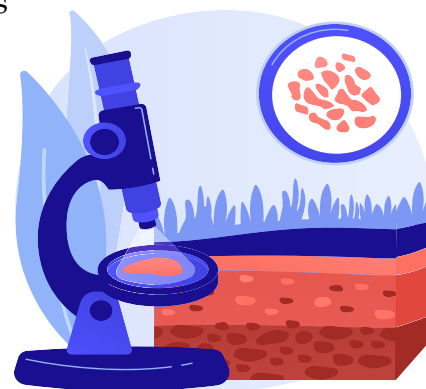


**Figura 3.** Pasos para el análisis de compuestos orgánicos volátiles (COV) por la técnica de microextracción en fase sólida (SPME) durante la interacción planta-microorganismo en un sistema de caja de Petri con división. El paso 1 consiste en la introducción de la fibra de SPME previamente activada con calor al interior de la caja de Petri. Al cabo de un tiempo aproximado de 30 min, se retira el SPME y durante el paso 2, se introduce la fibra en el puerto de inyección de un cromatógrafo de gases con un detector de espectrometría de masas, donde los compuestos capturados serán desorbidos con temperatura y analizados. El software del equipo proporciona un gráfico conocido como cromatograma. Cada señal que sale del detector en el tiempo, representa a un compuesto identificado. Como ejemplo se menciona a la acetofenona, tridecanal y tetradecanal, cuya identidad se corrobora con compuestos puros que se adquieren de forma comercial.

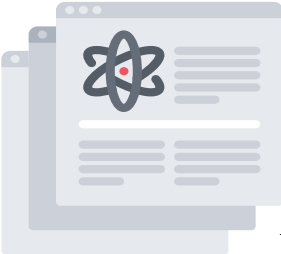


## Conclusiones

La funcionalidad y regulación de un ecosistema depende en buena medida de la comunicación entre sus miembros. Este es un evento altamente coordinado que involucra el intercambio de diferentes señales químicas, algunas de ellas volátiles. Definitivamente, las señales químicas producidas por los microorganismos del suelo son cruciales, contribuyen al equilibrio en el ambiente y suelen ser específicas hacia un receptor, lo que vuelve más eficiente el canal de comunicación con el paso de las generaciones. Con el tiempo, la cantidad de metabolitos microbianos reportados ha ido en aumento. En la literatura se reportan más de mil metabolitos, lo que va de la mano con el aumento en el conocimiento de la diversidad microbiana que existe en la naturaleza. Estudiar la actividad biológica de todas estas moléculas requiere de un trabajo exhaustivo. Sin embargo, actualmente se trabaja en el diseño de estrategias biotecnológicas viables para su aplicación en el campo y como complemento al uso de bioinoculantes en beneficio del ambiente y manejo integrado de los cultivos.



## Literatura recomendada



Velázquez-Becerra, C., Orozco-Mosqueda, M.C., Macías-Rodríguez, L., Flores-Cortez, I., Santoyo-Pizano, G. & Valencia-Cantero E. (2011). La planta leguminosa *Medicago truncatula* y la rizobacteria *Arthrobacter agilis* se perciben mutuamente por medio de sus compuestos orgánicos volátiles. *Ciencia Nicolaita* 54, 41-54.

Macías-Rodríguez, L. (2016). Contribución de la química analítica al estudio de la interacción planta-microorganismo. En Santoyo-Pizano, G. & Reyes de la Cruz, H. (Eds.). *Avances en las ciencias químico biológicas* (pp. 105-110). Fontamara, México.

Macías-Rodríguez, L. & Valencia-Cantero, E. (2020). *Arthrobacter agilis* UMCV2: Múltiples mecanismos de promoción del crecimiento vegetal. En Orozco-Mosqueda, M.C. & Santoyo-Pizano, G. (Eds.). *Bacterias promotoras del crecimiento vegetal. Aspectos básicos y aplicaciones para una agricultura sustentable* (pp. 169-182). Fontamara, México.





### Semblanzas de autores



**Dr. Eduardo Valencia Cantero.** Es Biólogo por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, cuenta con estudios de Maestría en Ciencias con especialidad en Biotecnología y Doctorado en Ciencias con especialidad en Biotecnología de Plantas por Cinvestav-IPN. Su especialidad se centra en ecología microbiana. Es miembro del SNII, nivel III.

**Dra. Lourdes Macías-Rodríguez.** Es Químico Farmacobiólogo por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, cuenta con estudios de Maestría en Ciencias y Doctorado en Ciencias con especialidad en Biotecnología de Plantas por Cinvestav-IPN. Su especialidad se centra en química analítica, metabolómica e interacción planta-microorganismo. Es miembro del SNII, nivel II



Envía tus contribuciones científicas a la revista **Terra Latinoamericana**, órgano de difusión de la SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, A. C.

**Terra Latinoamericana** es de publicación continua y publica artículos científicos originales de interés para la comunidad de la ciencia del suelo y agua.

**TERRA**  
Latinoamericana



ISSN Electrónico 2395 - 8030

<https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra>