



Biognosis, 2026. 3 (1), 9-18.

<https://doi.org/10.29267/biognosis.2026.3.1.9-18>



Metabolitos secundarios, un lenguaje químico de las plantas

Secondary metabolites, a chemical language of plants

Yuriana Martínez-Orea*^{ID}, Silvia Castillo-Argüero^{ID}, Yasmin Vázquez-Santos^{ID}, Beatriz Zúñiga-Ruíz, Patricia Guevara-Fefer^{ID}

Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, Ciudad de México, México.

*Autor para correspondencia

Correo electrónico: yurimar29@yahoo.com.mx (Y. Martínez-Orea)

Historial del artículo:

Recibido: 9 Diciembre 2025 / Recibido en forma revisada: 7 Enero 2026 / Aceptado: 12 Enero 2026 / Publicado online: 20 Enero 2026.



"Entre nosotros hay química: Los metabolitos secundarios y las plantas"

Resumen

Los metabolitos secundarios de las plantas han sido estudiados desde hace al menos 100 años y son producto de la evolución de las plantas. Las plantas que los contienen han sido utilizadas con diferentes fines, por ejemplo, en la farmacología para la fabricación de medicamentos, en la agricultura para fabricar insecticidas, y también como conservadores de alimentos, que se derivan de este material vegetal. Este documento tiene como propósito evidenciar la amplia diversidad de plantas que producen metabolitos secundarios utilizados por el ser humano, así como destacar que estos compuestos químicos cumplen funciones esenciales en las interacciones ecológicas: participan en la comunicación entre plantas, en su relación con otros organismos y en su adaptación al entorno físico que las rodea.

Palabras claves: Alelopatía, interacciones ecológicas, metabolitos secundarios.

Abstract

Plant secondary metabolites have been studied for at least 100 years. They are a product of plant evolution. Plants that contain these metabolites have been used for various purposes, such as in pharmacology to produce medicines, and in agriculture to produce insecticides. They have also been used as spices derived from plant material. This document aims to highlight the wide diversity of plants that produce secondary metabolites used by humans. It also emphasizes that these chemical compounds fulfil essential functions in ecological interactions: such as facilitating communication between plants and their relationship with other organisms, as well as their adaptation to their physical surroundings.

Key words: Allelopathy, ecological interactions, secondary metabolites.

Las plantas producen metabolitos secundarios, compuestos químicos que desempeñan funciones esenciales en la naturaleza. Estas sustancias les permiten a las plantas atraer abejas y otros polinizadores hacia sus flores, facilitar la dispersión de sus frutos, disminuir el daño causado por herbívoros y sobrevivir a condiciones ambientales adversas, como la radiación solar intensa. Además, los metabolitos secundarios les otorgan ventajas competitivas frente a otras plantas, ya sean de la misma o de distinta especie.

El estudio de estos compuestos ha revelado su enorme potencial para el ser humano. A partir de ellos se han desarrollado medicamentos, insecticidas naturales y conservadores de alimentos, entre muchas otras aplicaciones. Por ello, los metabolitos secundarios representan un campo fascinante que actualmente constituye una de las áreas de investigación más dinámicas dentro de la ciencia.

Las plantas y sus metabolitos secundarios

En la naturaleza, los seres vivos no existen de manera aislada, todos conviven y se relacionan en una compleja red de interacciones que determinan su sobrevivencia. Las plantas interactúan constantemente con otras plantas, animales y hongos en relaciones que pueden implicar competencia por espacio o por nutrientes, ya sea entre individuos de la misma especie (intraespecífica) o entre especies diferentes (interespecífica). Esta competencia es común que se vea influenciada por la liberación de sustancias químicas denominadas metabolitos secundarios.

Pero, ¿qué son los metabolitos secundarios? Para poder responder esta pregunta, debemos distinguir dos tipos de compuestos que producen las plantas. Primero pensemos en que las plantas producen metabolitos primarios como las proteínas, carbohidratos, ácidos nucleicos, ácidos grasos y lípidos, los cuales están presentes en todas las plantas y participan en la estructuración y funcionamiento de las células (crecimiento, desarrollo y reproducción).

Por otro lado, están los metabolitos secundarios, los cuales no participan directamente en los procesos básicos de la vida de las plantas, sin embargo, son clave para las funciones importantes en sus relaciones con el entorno. Estos compuestos están vinculados con funciones ecológicas que van desde atraer a los polinizadores, dispersores de frutos, hasta ayudar a las plantas a enfrentar distintos tipos de estrés ambiental, como la radiación ultravioleta. Así mismo, los metabolitos secundarios actúan como armas químicas que permiten a las plantas defenderse de patógenos como hongos, herbívoros y otros competidores, incluidas otras plantas; los cuales reciben el nombre de aleloquímicos.

Un ejemplo representativo de la importancia de los metabolitos secundarios se observa en especies del género *Salvia*. En estas plantas, los terpenos (metabolito secundario) desempeñan un papel fundamental en la defensa frente al estrés ambiental, al participar en mecanismos de reparación de daños en los tejidos. Asimismo, estos compuestos son responsables de las fragancias características de las especies, cuya función ecológica consiste en atraer polinizadores. Por otra parte, diversos estudios han reportado que ciertos terpenos presentes en especies de *Salvia* poseen actividades antiinflamatorias, antitumorales, antivirales y antimicrobianas, incluyendo actividad frente a *Mycobacterium tuberculosis* (Ortega *et al.*, 2024). Específicamente, para la chía cimarrona (*Salvia tiliifolia*) se ha aislado el diterpeno tilifodiolide, cuyos efectos antiinflamatorios *in vitro* han sido demostrados previamente (González-Chávez *et al.*, 2018) (Figura 1).

Adicionalmente, algunos metabolitos pueden presentar efectos tóxicos contra herbívoros y patógenos, constituyendo así un sistema de defensa integral en las especies de la familia Lamiaceae, en las cuales se han identificado aproximadamente 315 metabolitos secundarios.



Figura 1. *Salvia tiliifolia* posee una gran variedad de metabolitos secundarios que desempeñan un papel fundamental.

Figure 1. *Salvia tiliifolia* possesses a wide variety of secondary metabolites that play a fundamental role.

Síntesis y función de los metabolitos secundarios de las plantas

Los metabolitos secundarios de las plantas se pueden clasificar de acuerdo a su estructura química o a sus rutas de biosíntesis. De acuerdo con su estructura química, existen tres grupos principales: terpenos, fenoles, y alcaloides, que representan aproximadamente el 90 % de los metabolitos secundarios conocidos. La información disponible señala que metabolitos secundarios como los alcaloides, fenoles y terpenos surgieron en la historia evolutiva de las plantas alrededor del periodo Jurásico, hace unos 200 millones de años. Su papel principal fue convertirse en un escudo contra los herbívoros (Figura 2). Este surgimiento coincidió con los cambios en la dieta de muchos artrópodos, que se alimentaban de varias especies de plantas (polífagos), después prefirieron unas cuantas (oligófagos) y posteriormente, y en algunos casos, sólo una especie de planta (monófagos).

Pero ¿cómo es que la planta detecta que un herbívoro se la quiere comer? La respuesta está en finos mecanismos químicos que no podemos visualizar a simple vista o de manera tan sencilla. Se sabe que en la producción de los metabolitos secundarios de defensa ocurren reacciones enzimáticas desencadenadas por la detección de secreciones orales del herbívoro o en las células dañadas de la planta por éste. Un ejemplo de metabolitos secundarios con actividad insecticida lo constituyen las saponinas. Especies de plantas

como el jaboncillo (*Sapindus saponaria*), muy común en América, las contiene en altas concentraciones en el fruto y las semillas. Datos diversos nos hablan de que no sólo estos metabolitos secundarios de las plantas causan daños a diferentes niveles en sus herbívoros como efectos tóxicos que pueden llevar a su muerte, ¡sino que también pueden atraer depredadores de estos herbívoros! Impresionante ¿verdad?

Los compuestos de defensa que proveen a las plantas protección contra herbívoros y patógenos son un subgrupo de los metabolitos secundarios y su localización en la planta puede depender tanto de la etapa del ciclo de vida, como de sus estadios fenológicos. También pueden variar de acuerdo con la parte de la planta (raíz, tallo, hoja, flor, fruto, semilla). Por ejemplo, la actividad de las enzimas que promueven la síntesis de metabolitos secundarios en las flores ocurre durante el desarrollo de las anteras y los ovarios. Por otro lado, la mayor parte de estos compuestos, cuando tienen actividad antimicrobiana, se encuentran en las cáscaras de los frutos y en las cortezas de los troncos, que son las primeras barreras físicas en las plantas contra los herbívoros y diversos microorganismos. Un ejemplo es la papa (*Solanum tuberosum*), que tiene glicoalcaloides como la alfa-solanina en su cáscara y en otras partes de la planta, el cual es un metabolito secundario que repele a los herbívoros y la infección por hongos patógenos.



Figura 2. Las plantas contienen metabolitos secundarios como alcaloides, terpenos y fenoles como defensas para repeler a los herbívoros y atraer a sus depredadores.

Figure 2. Plants produce secondary metabolites, such as alkaloids, terpenes, and phenols, to defend themselves against herbivores and attract their predators.

Algunos factores ambientales como la temperatura, pH, y contenido de nitrógeno y humedad del suelo, la radiación ultravioleta, dióxido de carbono y ozono atmosféricos, pueden afectar la biosíntesis y la acumulación de metabolitos secundarios en las plantas. Por ejemplo, la temperatura óptima para la síntesis de silimarina es de 25 °C mientras que, temperaturas de 20 °C y 30 °C, reducen su síntesis. La silimarina es un metabolito secundario de tipo flavonoide que se sintetiza en las raíces y semillas del “cardo mariano” (*Silybum marianum*), planta que se ha utilizado en la medicina durante mucho tiempo por su función hepato-protectora.

La síntesis de metabolitos secundarios en una planta también puede estar en función de la etapa de desarrollo en el que se encuentre. Por ejemplo, el inicio de la vida de una planta (etapa de plántula) es crítico, pues en ésta, los metabolitos secundarios pueden marcar la diferencia para su establecimiento y supervivencia, y varios de ellos funcionan como reservas de nitrógeno. En 2013, De la Cruz-Chacón y colaboradores reportaron un análisis de 250 artículos científicos que abarcaba 99 especies de plantas, donde se determinó que cerca de 200 metabolitos secundarios (sobre todo alcaloides) se acumulan en la etapa temprana del ciclo de vida. Así mismo, observaron que el 52% de los metabolitos secundarios se producen directamente en la plántula (se sintetizan *de novo*), mientras que el 48 % restante provienen de las reservas heredadas de la planta madre y son almacenadas en el endospermo de la semilla.

Entre los ejemplos relacionados con los resultados de este análisis se encuentra la nicotina (alcaloide) presente en el tabaco (*Nicotiana tabacum*) que se puede sintetizar *de novo* en la plántula. Así mismo, el ácido clorogénico (fenol) es común que provenga de síntesis por vía materna en el café (*Coffea arabica*), mientras que en esta especie la cafeína (alcaloide) puede ser sintetizada *de novo*, así como encontrarse en reservas maternas. Los metabolitos secundarios contenidos en las semillas del café como la cafeína y el ácido clorogénico incrementan en las etapas tempranas de la germinación y han mostrado tener efectos antioxidantes en el humano.

Batallas químicas invisibles: La alelopatía

En la naturaleza las plantas compiten por luz, agua, nutrientes y espacio, enfrentándose en batallas químicas invisibles a nuestros ojos. Este fenómeno se conoce como alelopatía. La alelopatía está definida como la influencia directa y en general negativa de los metabolitos secundarios liberados por una planta en la germinación, desarrollo y/o crecimiento de otra planta (Figura 3). Esto ya se ha comprobado en numerosos estudios. Un caso claro es el del tabaco, cuyos compuestos químicos pueden inhibir la germinación de semillas y crecimiento de plantas del maíz (*Zea mays*). Los efectos de estas sustancias dependen de la concentración y de la etapa de crecimiento y/o desarrollo de las dos plantas que interactúan. Por ejemplo, un compuesto alelopático para una planta puede también tener efectos estimulantes (positivos) sobre la germinación y/o crecimiento de otra planta, dependiendo de su concentración y de la etapa en la que la otra planta se encuentra. Además, el tabaco produce compuestos secundarios como alcaloides (como la nicotina), flavonoides y terpenos.

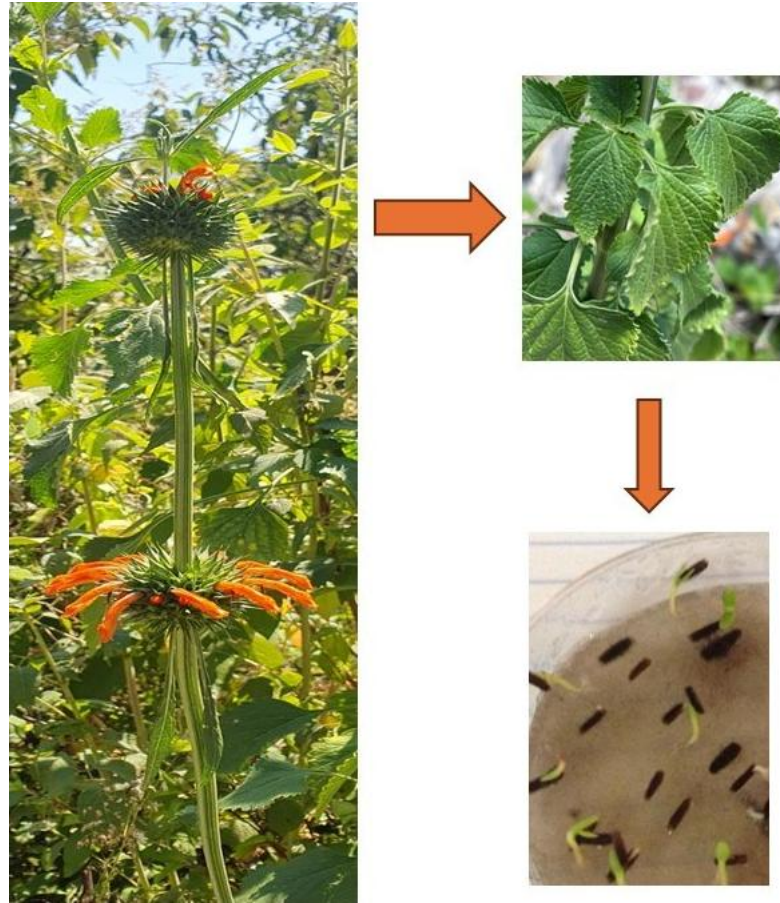


Figura 3. *Leonotis nepetifolia* es una especie africana que contiene metabolitos secundarios en sus hojas y que pueden actuar como alelopáticos afectando negativamente la germinación de semillas de otras especies.

Figure 3. *Leonotis nepetifolia* is an African species that contains secondary metabolites in its leaves that can act as allelopathic agents, negatively affecting the germination of seeds of other species.

La química en las estructuras reproductivas de las plantas

La química presente en las estructuras reproductivas de las plantas desempeña un papel clave en múltiples procesos ecológicos. Los compuestos químicos producidos en flores y frutos actúan como señales que favorecen la polinización al atraer a los polinizadores, así como la dispersión de semillas mediante la interacción con animales. Además, estos metabolitos influyen en la estructuración de las comunidades de microorganismos del suelo, contribuyendo a establecer relaciones que impactan la salud y el desarrollo de las plantas.

La polinización es una de las interacciones cruciales para las plantas y su entorno porque de ella depende la producción de semillas como medio de preservación de una especie. En este proceso, los metabolitos secundarios se encuentran presentes en el néctar y/o en el polen de las flores. De acuerdo a su naturaleza y concentración, estos metabolitos

pueden atraer o repeler a los visitantes florales, e incluso resultar tóxicos para algunos de ellos, de manera que son muy importantes para asegurar el éxito de la polinización (Figura 4).

Las funciones de los metabolitos secundarios presentes en el néctar floral son diversas. Entre ellas destaca la protección que brindan a polinizadores como abejas y abejorros frente a infecciones causadas por patógenos, efecto que se atribuye principalmente a compuestos como los alcaloides. Un ejemplo interesante es la cafeína, un alcaloide presente en el néctar de las flores del café, que los humanos consumimos desde hace siglos y que, en las abejas, mejora su memoria para seguir las pistas de aroma asociadas con las recompensas florales.

Independientemente de cada función en particular, los metabolitos secundarios presentes en las flores de las plantas han tenido un papel importante en el comportamiento de los polinizadores, como filtros químicos y, con ello, asegurar el éxito en la reproducción de las plantas. Otro ejemplo es la alfalfa (*Medicago sativa*) que contiene geraniol, el cual atrae polinizadores como las abejas; y linalool, que es un volátil emitido por las flores para atraer palomillas y abejas polinizadoras, pero puede ser también un repelente para insectos que son considerados plagas.

Tras una polinización exitosa, las plantas producen frutos y semillas. El siguiente paso en la naturaleza es la dispersión, proceso en el que intervienen múltiples factores, entre ellos, los metabolitos secundarios presentes en los frutos regulan el número de visitas de los dispersores a una planta. Según su función, los metabolitos secundarios pueden actuar como atractivos o como señales que indican a los dispersores la calidad del fruto, proporcionando pistas sobre la presencia de recompensas nutritivas o de compuestos tóxicos o repelentes. Además, estos compuestos pueden generar efectos fisiológicos directos en los dispersores, como se ha observado en aves que consumen frutos de algunas especies de la familia Solanaceae, por ejemplo, la hierba mora cimarrona (*Witheringia solanacea*). Otro caso particular son los frutos de la pimienta (*Piper nigrum*), que contienen metabolitos secundarios capaces de atraer aves que los consumen y posteriormente dispersan sus semillas. La atracción de dispersores es fundamental para las plantas ya que, gracias a este proceso, los frutos y semillas transportados por aves y mamíferos permiten la colonización de nuevos ambientes.

Las comunidades de organismos del suelo incluyen diversos tipos de bacterias, como las fijadoras de nitrógeno (género *Rhizobium*); así como hongos micorrizógenos arbusculares, que contribuyen a la absorción de nutrientes esenciales para las plantas como el nitrógeno y el fósforo. De manera similar a su función en la atracción de polinizadores y dispersores, las plantas utilizan metabolitos secundarios para atraer microorganismos del suelo y establecer relaciones simbióticas que resultan beneficiosas para ambas partes. Estos metabolitos se secretan a través de las raíces en forma de exudados y modulan la composición de las especies en su cercanía.



Figura 4. Las flores contienen metabolitos secundarios en su néctar y pueden atraer a polinizadores como abejas y abejorros.

Figure 4. Flowers contain secondary metabolites in their nectar and can attract pollinators such as bees and bumblebees.

Conclusiones

Los metabolitos secundarios representan mucho más que simples compuestos químicos: constituyen un sofisticado lenguaje mediante el cual las plantas interactúan con su entorno. A través de estas moléculas, las plantas se defienden, se comunican, atraen aliados y responden a los desafíos ambientales, revelando una complejidad ecológica que muchas veces pasa desapercibida.

Su estudio no solo permite comprender mejor las dinámicas de los ecosistemas, sino que también abre la puerta al desarrollo de soluciones sostenibles en campos como la medicina, la agricultura y la industria alimentaria. En un contexto global donde la búsqueda de alternativas más amigables con el ambiente es cada vez más urgente, los metabolitos secundarios emergen como una fuente invaluable de innovación.

Agradecimientos

Agradecemos a la M. en Ing. Sofia I. Michaelian Martínez por la elaboración del diagrama. Al QFB. Pierre Gerardin por sus comentarios. A la Biól. Jamilette Flores Sánchez por las fotografías presentes en este artículo.

Referencias

De-la-Cruz Chacón, I., Riley-Saldaña, C. A., & González-Esquinca, A. R. (2013). Secondary metabolites during early development in plants. *Phytochemistry Reviews*, 12(1), 47–64. <https://doi.org/10.1007/s11101-012-9250-8>

Erb, M., & Kliebenstein, D. J. (2020). Plant secondary metabolites as defenses, regulators, and primary metabolites: the blurred functional trichotomy. *Plant Physiology*, 184(1), 39–52. <https://doi.org/10.1104/pp.20.00433>

González-Chávez, M. M., Alonso-Castro, A. J., Zapata-Morales, J. R., Arana-Argáez, V., Torres-Romero, J. C., Medina-Rivera, Y. E., Sánchez-Mendoza, E. & Pérez-Gutiérrez, S. (2018). Anti-inflammatory and antinociceptive effects of tilifodiolide, isolated from *Salvia tiliifolia* Vahl (Lamiaceae). *Drug development research*, 79(4), 165–172. <https://doi.org/10.1002/ddr.21432>

Kessler, A., & Kalske, A. (2018). Plant secondary metabolite diversity and species interactions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 49(1), 115–138. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062406>

Ortega, R., Calzada, F., Fortis-Barrera, Á., Solares-Pascasio, J., & Alarcón-Aguilar, F. J. (2024). Ethnobotanical Medica, Pharmacology and Phytochemistry of the Species *Salvia* del Valle de México: A Review. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 68(4), 774-832. <https://doi.org/10.29356/jmcs.v68i4.2288>

Información del autor



Yuriana Martínez-Orea (Primer autor y autor para correspondencia).

La Dra. Yuriana Martínez-Orea es profesora y técnica académica de la Facultad de Ciencias, UNAM. Realizó sus estudios de licenciatura en Biología, y maestría y doctorado en Ciencias Ambientales en la UNAM. Su línea de estudio incluye la flora y dispersión de semillas de especies de matorral xerófilo y de bosque templado del centro de México. La Dra. Martínez-Orea estudia los efectos alelopáticos de algunas especies de plantas introducidas sobre la germinación de semillas de plantas nativas.