

El metabolismo secundario, no es tan secundario

Las plantas se adaptan a su entorno mediante actividades como respiración, nutrición, transporte y formación de compuestos que en su conjunto forman el *metaboloma*. Existe un grupo de moléculas que no se consideran estar directamente relacionadas con el desarrollo y sin una aparente función vital, identificadas como *metabolitos secundarios*, actualmente denominadas *metabolitos especializados*. Una planta reconocida en la medicina tradicional para la atención de problemas de la piel, intestinales, del sistema circulatorio, la diabetes, es el cardo santo o chicalote (*Argemone mexicana* L.) en cuyo metabolismo secundario se reconoce un diverso metaboloma que, además, cumple una función relevante en sus relaciones con su ambiente.

Palabras clave: defensa,
ecología, metaboloma,
Papaveraceae

ARMANDO MUÑOZ-SANCHEZ* Y FELIPE VÁZQUEZ-FLOTA

Unidad de Biología Integrativa, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Calle 43 # 130 x 32 y 34, Colonia Chuburná de Hidalgo. CP. 97205, Mérida, Yucatán, México

* arms@cicy.mx

Las plantas desarrollan mecanismos altamente sofisticados y eficientes para poder percibir y responder a los cambios ambientales. En condiciones ambientales adversas, el metabolismo de las plantas enfrenta situaciones difíciles y para ello ejecutan la señalización y activación fisiológica necesarias para ensamblar una respuesta defensiva. Como organismos vivos, las plantas utilizan sus procesos de reproducción, crecimiento y supervivencia apoyándose en su metabolismo. Eso depende del funcionamiento de una compleja maquinaria bioquímica que incluye vías de producción metabólica y reacciones enzimáticas que constituyen algo similar a “semáforos fisiológicos”. Al igual que el tráfico vehicular, estos semáforos funcionan regulando el flujo de formación y modificación de compuestos dentro de la red de vías metabólicas internas. El conjunto total de los metabolitos de un organismo se identifica como el metaboloma (Figura 1). El estudio del metaboloma permite observar el estatus metabólico de un sistema biológico, como si se generara una radiografía en movimiento de un organismo vivo. En todos esos procesos se involucran finos ajustes en las vías metabólicas de aminoácidos, carbohidratos y otros compuestos esenciales, esto se ha estudiado por medio de la metabolómica, logrando un acercamiento sistemático de todos los metabolitos presentes, permitiendo ampliar el conocimiento sobre el funcionamiento de las complejas redes metabólicas que interactúan entre sí, y además de cómo éstas son modificadas para adaptarse a los factores estresantes del medio ambiente.

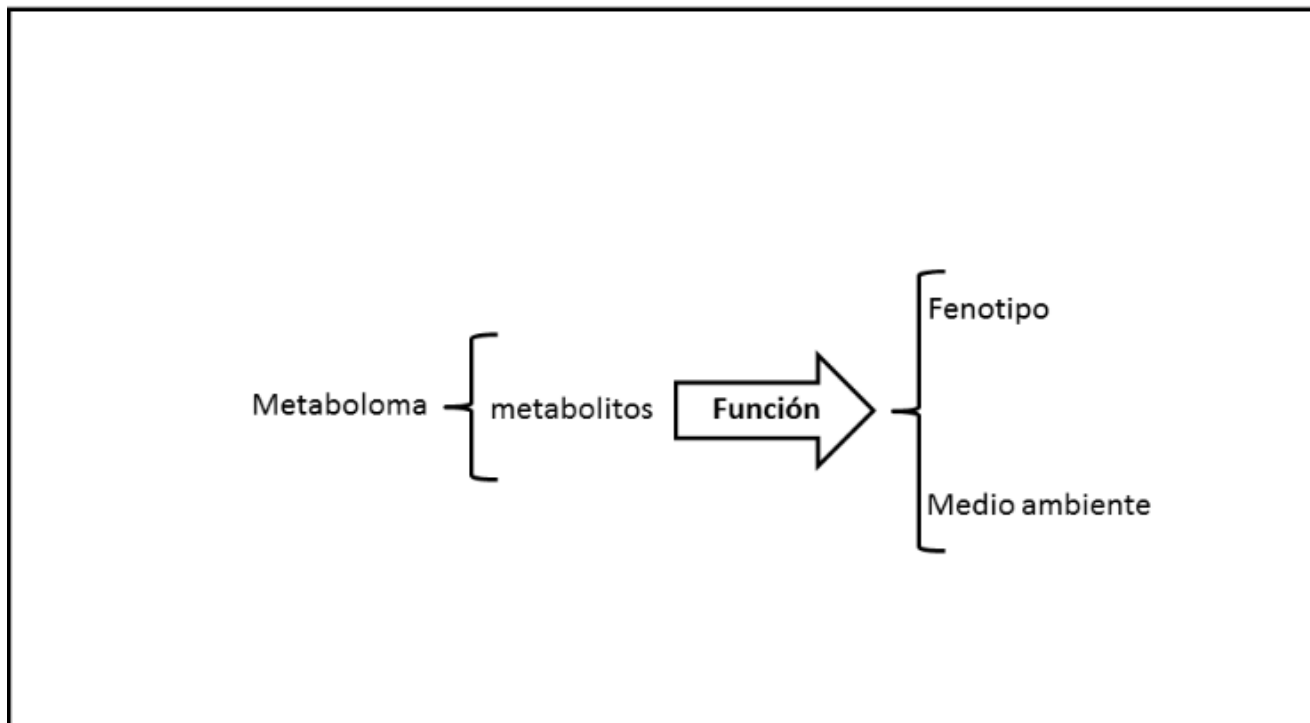


Figura 1. Metaboloma funciona para desarrollo de la planta y su impacto ambiental. (Imagen de Armando Muñoz Sanchez).

Argemone mexicana L. es una especie ampliamente distribuida en el continente americano y en el contexto popular se le llama de distintas maneras, como por ejemplo chicalote, adormidera mexicana o cardo santo (Vibrans 2009). Es originaria de las Antillas y Sudamérica (Vibrans 2009). Lineo en el siglo XVIII conocía sus propiedades medicinales y el nombre genérico hace referencia a las cataratas oculares (del griego; ἀργεμον, argemon; cataratas oculares. Se le describe como una maleza que puede alcanzar una altura de 1 metro, con un tallo de aspecto glauco y espinoso, con hojas sésiles marcadas por líneas azul brillante y con divisiones espinosas y presenta flores grandes (hasta 7 cm), de color amarillo brillante (Figura 2).

Se propaga por medio de las semillas, de las cuales produce una gran cantidad y posee la característica de crecer en áreas abiertas, con ambiente de selva baja caducifolia y áreas perturbadas. Tienen un período de floración anual, que va de febrero hasta abril. De manera interesante, la observamos germinar y crecer en espacios comunes como patios caseros, en grietas de suelos empedrados y entre rendijas de paredes a medio construir. *Argemone mexicana* L. también es una de esas especies que posee esta

capacidad de re-establecer el uso de carbono, nitrógeno y de energía para la síntesis de diversas moléculas orgánicas que, en apariencia no cumplen con una función vital para el desarrollo de la planta. Las moléculas producidas en consecuencia de estos procesos metabólicos son reconocidas como metabolitos secundarios o productos naturales (alcaloides, terpenos, fenilpropanoides y glucósidos). Los cuales presentan la característica de que se producen en pequeñas cantidades, así como de manera restringida en solo algunas especies (Figura 3).

¿Y para qué les sirven estos metabolitos secundarios a las plantas? Las plantas aplican dos estrategias principales para su defensa frente a condicionantes de estrés, ya sea por otros organismos vivos (biótico) o por las condiciones físicas del ambiente (abiótico). Una de estas respuestas es más obvia y visible ya que involucra la formación de estructuras físicas como espinas, tricomas, pelos glandulares, etc. La otra estrategia es menos visible ya que involucra procesos bioquímicos y se trata de la producción de metabolitos secundarios. El objetivo clave de esta fina estrategia biológica se deposita principalmente en las actividades que estos metabolitos tienen como antioxidantes, antifúngicas, an-



Figura 2. Imagen completa de *Argemone mexicana* L (Papaveraceae). **A.** Planta, **B.** Flores y **C.** Semilla. (Fotografías: Armando Muñoz Sanchez).

tibacterianas, nematocidas, etc.

En las plantas, la síntesis de los metabolitos secundarios se inicia en respuesta a las agresiones que sufren, como heridas por la actividad forrajera de artrópodos o vertebrados. Por ejemplo, si el ganado se alimenta de *Argemone mexicana* (planta y semillas) puede intoxicarse, por lo que generalmente estos animales han aprendido a evitarla (Vibrans 2009). Por otra parte, estos metabolitos también pueden inducirse por la infección por virus, bacterias u hongos.

¿En qué radica la importancia de los compuestos que esta planta produce? En años recientes, los metabolitos secundarios han sido considerados como elemento prioritario en la producción orgánica de cultivos. Desde el luego, esto les otorga un significativo valor económico. *Argemone mexicana* tiene verdadera importancia por el beneficio para el ser humano, que se basa principalmente en su uso en la medicina tradicional. Entre otros compuestos, esta planta produce el alcaloide berberina que pertenece al grupo de los alcaloides bencilisoquinolínicos, del cual se ha registrado su uso para aliviar trastornos digestivos, así como también reticulina y sanguinarina los cuales pertenecen al grupo de las benzofenantridinas, compuestos con potencial antihipertensivo.

Desde el punto de vista etnobotánico, *A. mexicana* se registra como una especie medicinal y se usa para un amplio abanico de tratamientos en enfermedades de la piel, como emético, expectorante, diurético, demulcente, para afecciones intestinales (disentería, úlceras), coadyuva para mejorar los niveles de coles-

terol y la circulación sanguínea. También se le han descubierto otros usos de gran importancia. Por ejemplo, su aceite se utiliza en la elaboración de jabón. Por otra parte, también se utiliza como materia prima en la elaboración de biofungicidas. Adicionalmente, una especie relacionada, *Argemone subfusiformis* se estudia por su capacidad en la bioremediación de suelos contaminados con cobre (Rodríguez y Padilla 2013) y para el control de mosquitos (artrópodos) (Vidal *et al.* 2009). *Argemone mexicana* también tiene componentes con actividad contra protozoarios, como *Plasmodium berghei* (Carrillo y Díaz 2005).

Dentro del interés actual hacia los aspectos de impacto ambiental, la capacidad de las plantas para condicionar lo que sucede en su entorno está reconocida. Las interacciones biológicas entre plantas y herbívoros se desarrollan continuamente, a través de un primer plano de interacción las plantas responden a múltiples factores ambientales, pero al mismo tiempo este tipo de organización mutua les otorga la capacidad de influir en los cambios de su entorno ambiente, y finalmente les permite a las plantas sobrevivir.

En el metaboloma de *Argemone mexicana* se incluyen a diversos metabolitos especializados, los cuales tienen una importante función en el establecimiento de la relación planta-ambiente. Y precisamente por su participación en este tipo de interacciones, estos metabolitos son objeto de interés de algunas ramas científicas como la Ecología Química.

La formación de moléculas orgánicas con funciones especiales le otorga a *Argemone mexicana* un pa-

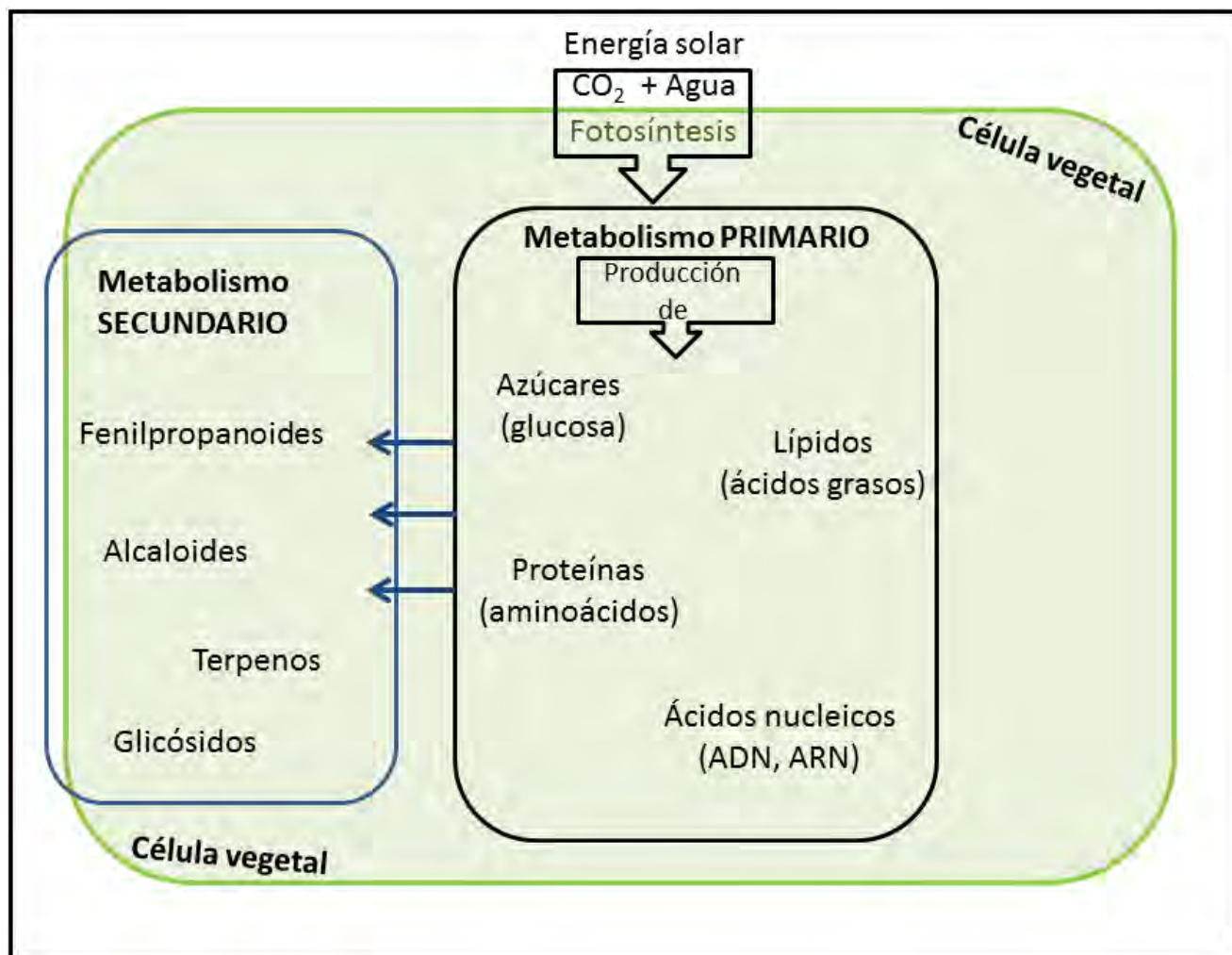


Figura 3. Esquema del flujo metabólico en las plantas para producir los productos naturales (metabolitos) a partir de factores ambientales. (Imagen de Armando Muñoz Sanchez).

pel de incidencia ambiental que ocurre a distintos niveles. Uno a nivel fisiológico y otro a nivel ecológico. Desde el nivel fisiológico, se entiende que los metabolitos producidos se pueden formar como estructuras químicas complejas, a partir de unidades más simples formadas inicialmente en el metabolismo primario. Este es un nivel base en la organización de las interacciones de la planta con los agentes vivos de su entorno. Esto es, que permite el origen de las interacciones a nivel ecológico; donde los metabolitos se pueden considerar como letras básicas de un lenguaje químico desarrollado entre las plantas y el ambiente, proporcionando fundamentos para encaminarlo hacia el objetivo de los seres vivos, que sería el equilibrio de los ecosistemas. ¿Cuáles son

las repercusiones del metaboloma en la fisiología integral de la planta? En un primer nivel, se puede hablar de su influencia en la calidad de los productos agrícolas, como sus cualidades organolépticas (color, olor, sabor y textura), ya que algunos metabolitos tienen propiedades aromáticas por sus funciones como atrayentes o repelentes. También pueden verse un impacto en el color, como los pigmentos que le dan color a flores y frutos.

En un siguiente nivel, hablando de interactividad entre organismos, existe una repercusión importante de los metabolitos en la protección contra plagas y enfermedades. Además, estos metabolitos influyen en la relación de las plantas con los polinizadores (reproducción) y con dispersores de semillas por los ani-

males que los como alimento. Además, también cumplen una función protectora frente a depredadores (en forma de pesticidas naturales).

Otros ejemplos en los que se puede reconocer la capacidad de estos metabolitos de incidir en el entorno ambiental. En el caso de gusanos marinos (poliquetos) el metabolismo secundario activa la producción de metabolitos implicados en el estrés químico generado por aceites contaminantes. Esto ofrece la posibilidad de monitorear las condiciones de los ecosistemas marinos (Fernández y Londoño 2015). La posible utilización del metaboloma en beneficio del monitoreo de los escenarios ambientales terrestres aún está en las primeras etapas o intentos para su desarrollo y, desde luego, su futura implementación se proyecta con gran potencial en el biomonitoreo ambiental. Tomando en cuenta que inicialmente los metabolitos secundarios eran descritos como productos de desecho de las plantas, se puede resaltar el enorme avance que la investigación ha alcanzado.

Ahora la visión hacia metabolitos secundarios es muy diferente y más cercana a su realidad. Por ello, existe una tendencia para cambiar su designación de metabolitos secundarios a metabolitos especializados y deben seguirse estudiando desde una perspectiva integrativa, por su participación dentro del funcionamiento total que implica el desarrollo y adaptación de las plantas hacia su entorno, incluyendo factores ambientales o elementos biológicos como los organismos herbívoros. La multifuncionalidad es un rasgo de los metabolitos especia-

lizados secundarios que ya es reconocida, y eso le da una clara condición de factor regulatorio de su desarrollo tanto interior (regulador en el metabolismo, precursores de componentes en el metabolismo primario o en mecanismos de defensa) como exterior (mecanismos de defensa, interacción planta-herbívoros). En este medio exterior se define su papel ecológico en donde, de manera definitiva, marcan una influencia sobre su medioambiente.

Referencias

- Carillo R.T. y Díaz de Ramírez A. 2005.** Actividad antimalárica de extractos crudos de plantas en ratones infectados con *Plasmodium berghei*. *Revista de Facultad de Farmacia* 47(1): 2-9.
- Fernández R.V. y Londoño M.M.H. 2015.** Poliquetos (*Anélida: Polychaeta*) como indicadores biológicos de contaminación marina: casos en Colombia. *Gestión y Ambiente* 18(1): 189-204
- Rodríguez-Dávila C. y Padilla-Sagastegui S. 2013.** Efecto bioremediador de *Argemone subfusiformis* en suelos contaminados con cobre en condiciones de laboratorio. *Sagatiguiana* 1(1): 51-56.
- Vibrans H. 2009.** Malezas de México. CONABIO. *Argemone mexicana*. www.conabio.gob.mx (Consultado: septiembre 2022).
- Vidal J., Carbajal A., Sisniegas M. y Bobadilla M. 2009.** Efecto tóxico de *Argemone subfusiformis* Ownb. y *Tagetes patula* Link sobre larvas del IV estadio y pupas de *Aedes aegypti* L. *Revista Peruana Biológica* 15(2): 103-109.

Desde el Herbario CICY, 16: 239-243 (21-noviembre-2024), 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: 21 de noviembre de 2024. 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 total mente a los autores de los ensayos.