Desde el Herbario CICY
16: 11-16 (25/enero/2024)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

Descifrando la comunicación entre plantas mediada por metabolitos volátiles

Las plantas emiten y perciben una gran variedad de metabolitos volátiles, los cuales juegan diversas funciones. Una de estas es alertar a las plantas del riesgo de ataque por enemigos (e.g., herbívoros), de tal forma que las plantas perciben las emisiones de otras plantas atacadas y en respuesta elevan sus propias defensas. Esta utilización de volátiles como señales frente a atacantes se ha documentado en decenas de especies de plantas, incluyendo variedades cultivadas, abriendo así un vasto campo de estudio abocado a entender los factores que la dictan y sus consecuencias ecológicas.

Palabras clave: defensas químicas, herbivoría, hormigas, néctar extrafloral, señales químicas.

LUIS ABDALA-ROBERTS

Departamento de Ecología Tropical, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, Apartado Postal 4-116, Itzimná, 97000, Mérida, Yucatán, México.
abdala.luis@yahoo.com

Respuestas de las plantas a estímulos ambientales

Las plantas perciben y responden a diversos estímulos en su entorno. Por ejemplo, modifican su crecimiento en función de la disponibilidad de luz, o bien responden a estímulos táctiles de plantas vecinas, alejándose de estas para disminuir o evitar la competencia por recursos (Karban 2021). De igual forma, se ha demostrado que emiten y perciben (de otras plantas) una gran cantidad de metabolitos volátiles (MVs), es decir, compuestos que se volatilizan al entrar en contacto con el aire. Muchos de estos compuestos volátiles (por ejemplo, los terpenos; Rosenkranz *et al.* 2021) les confieren un aroma característico a las especies vegetales (Figura 1A y B). Si bien los MVs han sido tradicionalmente menos estudiados que otros tipos de metabolitos vegetales, innovaciones tecnológicas han potenciado nuestra capacidad para colectarlos (Figura 2), así como cuantificar su abundancia e identificarlos para entender mejor sus propiedades y funciones en la naturaleza (Heil 2014).

Metabolitos volátiles y comunicación entre plantas

Una de las funciones ecológicas que desempeñan los MVs es la de actuar como señales entre plantas (Heil 2014, Karban 2021). Las plantas suelen elevar su producción y emisión de MVs en respuesta al ataque de un herbívoro (e.g., insecto), y estas emisiones son percibidas por otras plantas en las inmediaciones las cuales elevan sus propias defensas (por ejemplo, metabolitos que son tóxicos para insectos herbívoros). Este fenómeno ha sido reportado en decenas de especies de plantas (Karban *et al.* 2014, Turlings y Erb 2018), incluyendo especies cultivadas tales como algodón (*Gossypium hirsutum* L., Malvaceae), tomate (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae)

Editores responsables: Rodrigo Duno de Stefano, Patricia Rivera Pérez y Lilia Lorena Can Itzá

Desde el Herbario CICY
16: 11-16 (25/enero/2024)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

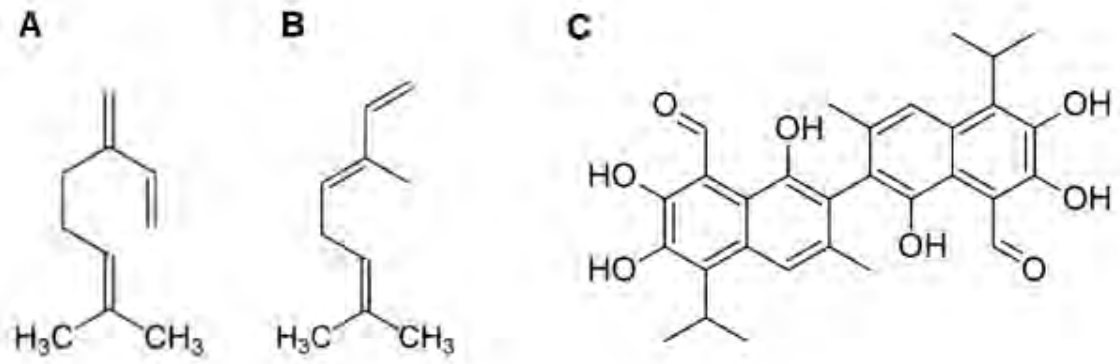

Figura 1. Moléculas de mirceno (A) y ocimeno (B), ambos monoterpenos volátiles presentes en las emisiones de plantas de algodón (*Gossypium hirsutum* L., Malvaceae). (C) Gosipol, un tipo de terpenoide aldehídico que actúa como defensa (i.e., toxina) contra insectos herbívoros, característico de especies del género *Gossypium*, el cual se ha mostrado aumenta en concentración en plantas expuestas a volátiles emitidos por otras plantas atacadas.

y tabaco (*Nicotiana tabacum* L., Solanaceae) (Karban *et al*. 2014). No obstante, se desconoce si este fenómeno implica una comunicación en sentido estricto donde una planta emisora intencionalmente provee información de beneficio para otras, o bien si la emisión de MVs es una respuesta involuntaria usada oportunistamente por otras plantas (Heil y Karban 2010, Karban 2021). En efecto, las interacciones entre plantas mediadas por MVs son altamente variables y se considera pueden ubicarse a lo largo de un continuo desde comunicación "honesta" hasta oportunismo (Kessler *et al*. 2023).

La emisión de MVs por plantas en respuesta a herbivoría y la señalización resultante parecen ser altamente específicas (Moreira y Abdala-Roberts 2019). Por ejemplo, trabajos con especies silvestres han documentado que es efectiva siempre y cuando la planta "emisora" y la "receptora" de los MVs sean atacadas por el mismo herbívoro; cuando son atacadas por diferentes herbívoros no existe señalización, es decir, no resulta en cambios defensivos o resistencia en las plantas receptoras (Moreira *et al*. 2019; Figura 3A). De igual forma, la señalización ha mostrado ser más fuerte cuando la planta emisora y receptora están emparentadas (es decir, descienden de una misma madre o son clones de un mismo individuo), lo cual podría tener implicaciones evolutivas relevantes (Karban *et al*. 2013; Figura 3B).

La señalización por MVs también puede involucrar a depredadores que defienden a la planta en contra de herbívoros. Esto ocurre cuando plantas receptoras expuestas a MVs de plantas emisoras dañadas elevan su producción de rasgos que atraen a depredadores. Un buen ejemplo son estructuras conocidas como nectarios extraflorales (ubicados frecuentemente en la base o envés de las hojas) (Figura 4A), los cuales secretan una solución azucarada que es consumida por insectos depredadores tales como hormigas y avispas (Heil 2015). En el caso de los ibes (*Phaseolus lunatus* L.), parientes del frijol común, se ha demostrado que la exposición a MVs emitidos por plantas dañadas incrementa la producción de néctar extrafloral y por ende la atracción de hormigas depredadoras en plantas circundantes (Heil y Silva-Bueno 2007). A la fecha, sin embargo, son pocos los trabajos que han evaluado los efectos de señalización sobre este y otros rasgos que median la atracción de depredadores, esto a pesar de que dichos rasgos son considerablemente comunes en el reino vegetal (por ejemplo, los nectarios extraflorales están presentes en más de 100 familias de plantas; Weber y Kheeler 2013).

El algodón silvestre: comunicación y estrés ambiental

Las plantas silvestres de *Gossypium hirstutum* L., Malvaceae, la principal especie de algodón cultivada

Figura 2. Instrumentos y metodología de colecta de metabolitos volátiles emitidos por el follaje de una planta de algodón silvestre (*Gossypium hirsutum* L., Malvaceae) mediante bolsas inoloras de nalofán y bombas de absorción conectadas a filtros especiales donde quedan atrapados los compuestos. (Fotografía: Teresa Quijano Medina).

a nivel mundial (incluyendo México), crecen en suelos arenosos y salinos a poca distancia del mar en el matorral costero de Yucatán (Abdala-Roberts *et al*. 2019) y representan un reservorio importante de variación de la especie el cual ha sido poco estudiado. En su estado silvestre, además de producir nectarios extraflorales visitados por hormigas (Figura 4B) (Reyes-Hernández *et al*. 2022), las plantas de algodón emiten una gran variedad de MVs (Clancy *et al*. 2023) (ver Figura 1). En el algodón cultivado, y en buena medida para el silvestre también, las plantas muestran ciclos predecibles de cambios en la cantidad y composición de sus emisiones en respuesta al ataque por insectos herbívoros (McCall *et al*. 1994, Paré y Tumlinson 1997), y se ha demostrado, inicialmente en algodón cultivado, que plantas receptoras expuestas a estos MVs exhiben incrementos en su resistencia a la herbivoría, es decir, son menos preferidas o consumidas (Bruin *et al*. 2012, Zakir *et al*. 2013). Dicho efecto responde a una elevación en la cantidad de metabolitos defensivos (tóxicos a herbívoros) presentes en los tejidos de las plantas expuestas a dichos MVs (Figura 1C).

Los primeros estudios de señalización con plantas silvestres de algodón, en este caso provenientes del matorral costero en Yucatán, demuestran que la señalización tiene efectos sobre la producción de néctar extrafloral. Se ha encontrado que plantas expuestas a MVs de plantas atacadas por herbívoros producen una mayor cantidad de néctar en comparación a plantas expuestas a MVs de plantas no atacadas (Briones-May *et al*. 2023). No obstante, dichos efectos varían en función del contexto ambiental en el cual se encuentran creciendo las plantas. En particular, se ha observado que este efecto de señalización no ocurre cuando las plantas emisoras están sujetas a un incremento en la salinidad del suelo, un factor clave en los sitios costeros donde se encuentra esta especie (Briones-May *et al*. 2023). Se piensa que esto ocurre porque el estrés salino causa una disminución en la emisión de compuestos volátiles que intervienen en la señalización. En la medida que esta disminución en la señalización y respuestas defensivas minen el crecimiento y sobrevivencia de las plantas, estos resultados tendrán implicaciones importantes para esta especie. Esto particularmente bajo el contexto actual de cambio climático en donde los efectos de salinidad se volverán cada vez más frecuentes y severos en regiones costeras, producto del aumento en el nivel medio del mar e intensidad de tormentas (Sweet y Park 2014).

Conclusiones

Las investigaciones muestran que, en especies como el algodón, la señalización por MVs influye sobre diferentes tipos de rasgos defensivos, incluyendo aquellos que favorecen la presencia y actividad de depredadores, y que dichos efectos a su vez dependen de las condiciones ambientales. Este conocimiento podría ser de gran utilidad para iluminar sobre los procesos evolutivos que originan la señalización entre plantas, así como contribuir al mejoramiento y sostenibilidad del manejo de plagas y suelos en cultivos agrícolas.

Figura 3. Estudios con (A) *Baccharis salicifolia* (Ruiz y Pav.) Pers., Asteraceae y (B) *Artemisia tridentata* Nutt., Asteraceae, ambas nativas a California (EUA), han mostrado diferentes facetas de especificidad en la comunicación o uso de metabolitos volátiles inducidos por herbivoría. En el primer caso la especificidad está en función de la especie de herbívoro atacante, y en el segundo del grado de emparentamiento entre plantas emisoras y receptoras. (Fotografías: Wikipedia Commons).

Figura 4. (A) Nectario extrafloral (y secreción) y (B) hormiga visitando uno de estos en una planta de algodón silvestre (*Gossypium hirsutum* L., Malvaceae) *in situ*. (Fotografías: Alexander Suárez Mariño y Biiniza Pérez Niño).

Referencias

Abdala-Roberts L., Quijano-Medina T., Moreira X., Vázquez-González C., Parra-Tabla V., Berny Mier y Terán J.C., Grandi L., Glauser G., Turlings T.C.J. y Benrey B. 2019. Bottom-up control of geographic variation in insect herbivory on wild cotton (*Gossypium hirsutum*) by plant defenses and climate. *American Journal of Botany* 106: 1059–1067. https://doi.org-/10.1002/ajb2.1330.

Briones-May Y., Quijano-Medina T., Pérez-Niño B., Benrey B., Turlings T.C.J., Bustos-Segura C. y Abdala-Roberts L. 2023. Soil salinization disrupts plant-plant signalling effects on extra-floral nectar induction in wild cotton. *Oecologia*. In press. https://doi.org/10.1002/ajb2.1330

Bruin J., Dicke M. y Sabelis M.W. 1992. Plants are better protected against spider-mites after exposure to volatiles from infested conspecifics. *Experientia* 48: 525-529. https://doi.org/-10.1007/BF01928181

Clancy M.V., Mamine M., Flückinger G., Quijano-Medina T., Pérez-Niño B., Abdala-Roberts L., Turlings T.C.J. y Bustos-Segura C. 2023. Terpene chemotypes in wild cotton (*Gossypium hirsutum*) from the Yucatan Peninsula. *Phytochemistry* 205: 113454. https://doi.org-/10.1016/j.phytochem.2022.113454

Heil M. 2014. Herbivore-induced plant volatiles: targets, perception and unanswered questions. *New Phytologist* 204: 297–306. https://doi.org-/10.1111/nph.12977

Heil M. 2015. Extrafloral nectar at the plant-insect interface: A spotlight on chemical ecology, phenotypic plasticity, and food webs. *Annual Review of Entomology* 60: 213-232. https://doi.org-/10.1146/annurev-ento-010814-020753

Heil M. y Karban R. 2010. Explaining evolution of plant communication by airborne signals. *Trends in Ecology and Evolution* 25: 137–144. https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.09.010

Heil M. y Silva-Bueno J.C. 2007. Within-plant signaling by volatiles leads to induction and priming of an indirect plant defense in nature. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 104: 5467-5472. https://doi.org/10.1073/-pnas.0610266104

Karban R. 2021. Plant communication. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 52: 1-24. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-010421-020045

Karban R., Yang L.H. y Edwards K.F. 2014. Volatile communication between plants that affects herbivory: A meta-analysis. *Ecology Letters* 17: 44–52. https://doi.org/10.1111/ele.12205

Karban R., Shiojiri K., Ishizaki S., Wetzel W.C., y Evan R.Y. 2013. Kin recognition affects plant communication and defence. *Proceedings of the Royal Society B* 280: 20123062. https://doi.org/10.1098/rspb.2012.3062

Kessler A., Mueller M.B., Kalske A. y Chautá A. 2023. Volatile-mediated plant-plant communication and higher-level ecological dynamics. *Current Biology* 33: R519-R529. https://doi.org-/10.1016/j.cub.2023.04.025

McCall P.J., Turlings T.C.J., Loughrin J., Proveaux A.T. y Tumlinson J.H. 1994. Herbivore-induced volatile emissions from cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seedlings. *Journal of Chemical Ecology* 20: 3039–3050. https://doi.org-/10.1007/bf02033709

Moreira X., Nell C.S., Katsanis A., Rasmann S., y Mooney K.A. 2018. Herbivore specificity and the chemical basis of plant-plant communication in *Baccharis salicifolia* (Asteraceae). *New Phytologist* 220: 703–713. https://doi.org/-10.1111/nph.14164

Moreira X. y Abdala-Roberts L. 2019. Specificity and context-dependency of plant–plant communication in response to insect herbivory. *Current Opinion in Insect Science* 32: 15–21. https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.09.003

Paré P.W. y Tumlinson J.H. 1997. De novo biosynthesis of volatiles induced by insect herbivory in cotton plants. *Plant Physiology* 114: 1161–67. https://doi.org/10.1104/pp.114.4.1161

Reyes-Hernández M., Quijano-Medina T., Angulo-Pérez D., Moreira X., Parra-Tabla V., y Abdala-Roberts L. 2022. Experimental test of ant effects on insect herbivory and pathogen infection on wild cotton (*Gossypium hirsutum*). *Arthropod-Plant Interactions* 16: 77-86. 10.1007/s11829-021-09876-8

Rosenkranz M., Chen Y., Zhu P., y Vlot A.C.

2021. Volatile terpenes – mediators of plant-to-plant communication. *The Plant Journal* 108: 617–631. https://doi.org/10.1111/tpj.15453

Sweet W.V. y Park J. 2014. From the extreme to the mean: acceleration and tipping points of coastal inundation from sea level rise. *Earth's Future* 2: 579–600. https://doi.org/10.1002-/2014EF000272

Turlings T.C.J. y Erb M. 2018. Tritrophic interactions mediated by herbivore-induced plant volátiles: Mechanisms, ecological relevance, and application potential. *Annual Review of Entomology* 63: 433-452. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043507

Weber M.G. y Kheeler K.H. 2013. The phylogenetic distribution of extrafloral nectaries in plants. *Annals of Botany* 111: 1251-1261. https://doi.org/10.1093/aob/mcs225

Zakir A., Sadek M.M., Bengtsson M., Hansson B.S., y Witzgall P., y Anderson P. 2013. Herbivore-induced plant volatiles provide associational resistance against an ovipositing herbivore. *Journal of Ecology* 101: 410-417. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12041

Desde el Herbario CICY, 16: 11-16 (25-enero-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: 25 de enero 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 totalmente a los autores de los ensayos.