



# Volátiles emitidos por plantas: nueva herramienta de gestión de plagas

## Volatiles released by plants: a new pest management tool

Meritxell Pérez-Hedo<sup>1</sup>, Miquel Alonso-Valiente<sup>1</sup>, Sandra Vacas<sup>2</sup>, Vicente Navarro-Llopis<sup>2</sup>, Alberto Urbaneja<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Centro de Protección Vegetal y Biotecnología, (IVIA), CV-315, Km 10.7, 46113 Moncada, Valencia. e-mail: [mperezh@ivia.es](mailto:mperezh@ivia.es)

<sup>2</sup>Centro de Ecología Química Agrícola – Instituto Agroforestal del Mediterráneo. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia.

### RESUMEN

Cuando una planta es atacada por un herbívoro plaga pone en marcha una serie de mecanismos de defensa para protegerse de esta agresión externa. Entre estos mecanismos se encuentran la emisión de compuestos volátiles que sirven de reclamo a enemigos naturales de la plaga atacante. Además, estos volátiles pueden también alertar plantas sanas que se encuentren en las inmediaciones, las cuales al detectar estos volátiles activan respuestas de defensa para protegerse del inminente ataque. Basados en esta comunicación de alerta entre plantas, en este trabajo se describe una posible nueva estrategia de gestión de plagas que consiste en la liberación y exposición a volátiles sintéticos que inducen respuestas de defensa en las plantas que los detectan.

**PALABRAS CLAVE:** HIPVs, emisores, respuesta defensiva, elicitores.

### ABSTRACT

When a plant is attacked by an herbivorous pest, it triggers a series of defense mechanisms to protect itself from this external aggression. One of these mechanisms is the emission of volatile compounds that attract natural enemies of the attacking pest. In addition, these volatiles can also alert nearby healthy plants which, upon detecting these volatiles, activate defense responses to protect themselves from the upcoming attack. Based on this alert communication between plants, this work describes a possible new pest management strategy that consists in the release and exposure to synthetic volatiles that induce defense responses in the plants that detect them.

**KEYWORDS:** HIPVs, dispenser, defensive response, elicitors.

### INTRODUCCIÓN

En la naturaleza las plantas se encuentran expuestas a continuas interacciones con el ecosistema. La existencia de estreses abióticos, como pueden ser periodos de sequía o inundaciones, salinidad, temperaturas extremas o exceso de luz, han llevado a las plantas a desarrollar medios de defensa que les permiten minimizar el impacto de estas perturbaciones. Estos mecanismos defensivos activan diferentes rutas bioquímicas que inducen la producción de compuestos defensivos o provocan cambios morfológicos en la planta. Cuando las plantas sufren ataques de artrópodos herbívoros y patógenos, también activan sus mecanismos de defensa para repeler estas agresiones (Agrawal 1999). Esta respuesta originada en la planta como estrategia de defensa

frente a artrópodos plaga se puede dividir en dos categorías (**Figura 1**): defensas constitutivas, que existen antes del ataque del artrópodo y defensas inducibles que se producen solo tras el ataque. Las defensas constitutivas, incluye barreras físicas y químicas para los artrópodos herbívoros como pueden ser espinas, ceras o tricomas, mientras que las defensas inducidas pueden dividirse nuevamente en dos grupos: defensas directas y defensas indirectas (Dicke y Hilker 2003; Dicke 2009).

- Las defensas directas incluyen la producción por parte de la planta de compuestos como inhibidores de proteasas (PI), peptidasas, polifenoles o lectinas entre otros, que producen en el herbívoro diferentes efectos contraproducentes, como toxicidad, anti-alimentación y anti-nutricional.



- Las defensas indirectas, incluyen la producción de metabolitos secundarios, de los cuales resulta la emisión de compuestos orgánicos volátiles específicos llamados volátiles vegetales inducidos por herbívoros (del inglés, Herbivore Induced Plant Volatiles, HIPVs). Estos volátiles pueden resultar atractivos para los enemigos naturales, de ahí su nombre de defensas indirectas, ya que recluta enemigos naturales para combatir a los herbívoros que atacan a la planta. Además, también se ha observado como algunos de estos volátiles pueden ser repelentes para algunos herbívoros y además servir a plantas vecinas “sanas” como señal de alerta (priming) (Engelberth *et al.*, 2004; Erb *et al.*, 2009). Las plantas sanas que reciben estos HIPVs pueden inducir defensas y de este modo prepararse defensivamente al inminente ataque que estarían a punto de recibir.

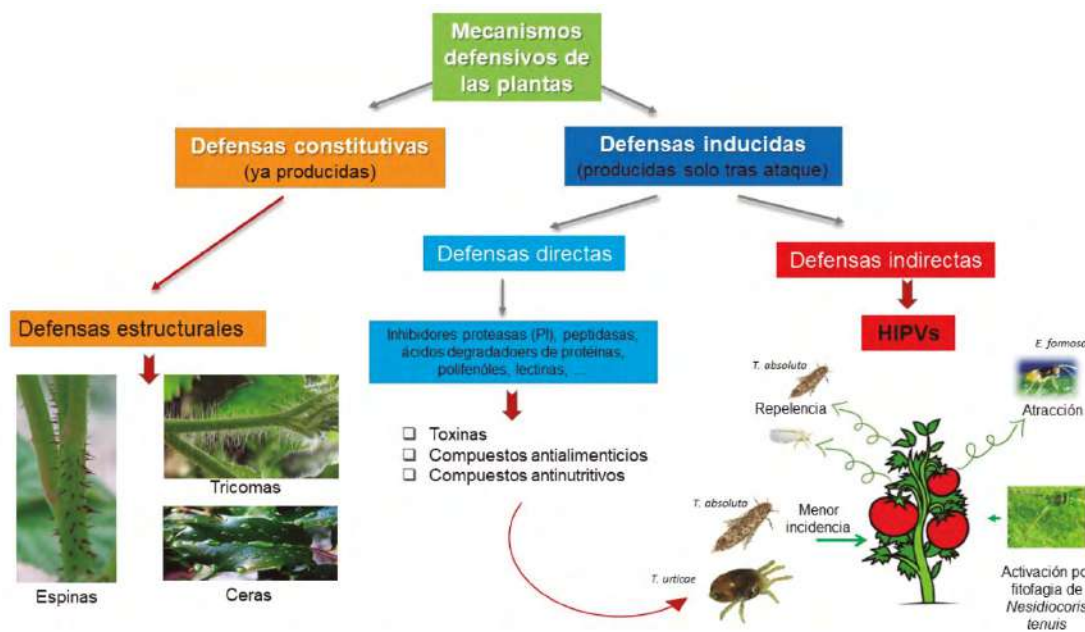
Es ampliamente conocido que las fitohormonas ácido jásmonico (JA), ácido salicílico (SA) y etileno (ET) desempeñan papeles fundamentales en la regulación de las vías de transducción de señales que conducen a la activación de diferentes conjuntos de genes relacionados con la defensa. Sin embargo, aún se necesita más investigación en este campo para aclarar el papel de estas fitohormonas y su interacción con otras como el ácido abscísico (ABA) o las auxinas. Es más, las respuestas de defensa inducidas por herbívoros se activan a través de un complejo entramado bioquímico el cual todavía a fecha de hoy no se ha desgranado totalmente (Adebesin *et al.*, 2017; Aljory y Chen 2018). Lo que sí que está claro, es que las plantas son capaces de emitir señales de aviso/alerta (principalmente HIPVs) que pueden modular la incidencia de organismos agresores, como artrópodos plaga, en aquellas plantas que reciben dichas señales (Dicke, 2009). Por tanto, ¿sería posible aprovechar estas señales volátiles, que median las interacciones tritróficas, para mejorar el control

de plagas? A continuación, se detallan algunas propuestas de cómo poder utilizar los HIPVs en gestión de plagas.

## USO DE HIPVS EN GESTIÓN DE PLAGAS

Desde hace varias décadas, se viene proponiendo la hipótesis de poder utilizar estas señales volátiles, en beneficio de la agricultura y en particular en la mejora de la gestión de plagas. De hecho, en los últimos años se han conseguido algunos éxitos que incentivan a muchos grupos de investigación a continuar profundizando en esta interesante y prometedora línea de investigación. Recientemente, Turlings y Erb (2018) han realizado una completa revisión de como poder aprovechar el uso de HIPVs en la gestión de plagas. A continuación, vamos a resumir las cuatro posibles estrategias que según estos autores pueden utilizarse con los HIPVs en agricultura:

- La aplicación directa de atrayentes o repelentes. El uso de volátiles sintéticos para repeler insectos plaga y atraer artrópodos beneficiosos se ha probado con éxito en varios estudios (Uefune *et al.*, 2012). A modo de ejemplo, campos tratados con metil salicilato (MeSA) han conseguido aumentar el número de depredadores presentes y en particular crisopas (James, 2003). Sin embargo, esta aplicación de atrayentes volátiles, también ha sido cuestionado, ya que según varios autores los enemigos naturales podrían verse confundidos en su búsqueda efectiva de sus presas/hospederos al estar el ambiente saturado de señales de atracción e incluso habituarse a la presencia de estas señales (Kaplan, 2012).
- Plantas más atrayentes para los enemigos naturales. La selección y/o mejora genética enfocada a la búsqueda de variedades de cultivos que sean más atractivas para los



**Figura 1.** Esquema gráfico de los mecanismos de defensa en plantas. Como ejemplo de las defensas inducidas se muestra el caso de la planta del tomate tras la activación defensiva inducida por la fitofagia del mirido depredador *Nesidiocoris tenuis* (adaptado de (Pérez-Hedo *et al.*, 2015). La emisión de volátiles hace la planta de tomate menos atractiva para las plagas *Tuta absoluta* y *Bemisia tabaci* y más atractivas para enemigos naturales como es el caso *Encarsia formosa*. Además, dicha fitofagia induce defensas directas como el incremento de inhibidores de proteasas que parecen estar mediando en una menor incidencia de ataque de *Tetranychus urticae* y de *T. absoluta* (Pérez-Hedo *et al.*, 2018).





enemigos naturales podría ser, tanto por la vía clásica de selección (Degen *et al.*, 2004), como por la transformación genética (Birkett y Pickett 2014), una forma de lograr un mejor control biológico de las plagas. Sin embargo, a día de hoy esta aproximación todavía no es uno de los principales rasgos fenotípicos a fijar en los programas de mejora genética.

3. Plantas acompañantes y la estrategia Push-Pull. Hasta la fecha, el Push-Pull (una posible traducción al español sería repeler, atraer y atrapar) es la estrategia de gestión de plagas, basada en el aprovechamiento de las propiedades defensivas de las plantas, más exitosa y utilizada (Pickett *et al.*, 2014). Esta técnica ha conseguido cambiar la forma de producir cereales, maíz y sorgo, principalmente, en África central. El cultivo de ambos cereales era muy dificultoso y poco productivo debido a la alta presión de ataque que sufría por parte de los barrenadores *Busseola fusca* (Fuller) (Lepidoptera: Noctuidae) y *Chilo partellus* (Swinhoe) (Lepidoptera: Crambidae). De manera resumida, esta estrategia consiste en sembrar plantas del género *Desmodium* (Fabales: Fabaceae) de manera intercalada con el cereal y *Pennisetum purpureum* Schumacher (Poales: Poaceae) en el perímetro del cultivo. Las plantas de *Desmodium* producen de forma natural volátiles que son altamente repelentes para los barrenadores, mientras que *P. purpureum* es una planta muy atractiva para la puesta de los barrenadores, pero a su vez muy tóxica para el desarrollo de sus larvas, lo cual resulta en una trampa mortal. A parte de estos beneficios en el control de barrenadores, ambas plantas acompañantes poseen otros beneficios asociados: *Desmodium* es muy eficaz para suprimir la mala hierba parásita Orobanche, y también es buena para mejorar la fertilidad del suelo a través de la fijación de nitrógeno y su aporte como materia orgánica, mientras que *P. purpureum* proporciona forraje animal de alto valor nutricional. Esta estrategia es utilizada ahora por miles de agricultores en el este de África y ha conseguido aumentar significativamente los rendimientos del maíz, ayudar a controlar las plagas y reducir la dependencia de plaguicidas (Khan *et al.*, 2014). A pesar de este gran éxito el uso de plantas con propiedades defensivas es un campo de investigación con grandes posibilidades y todavía por explotar en la mayor parte de sistemas agrarios de todo el mundo.

4. Tratamiento de plantas con HIPV inductores de defensas. Al tratar las plantas con inductores capaces de inducir defensas podríamos hacer que las plantas fueran más robustas y pudieran evitar la posterior infestación de plagas e infección de enfermedades. Hasta la fecha esta estrategia se ha investigado y aplicado principalmente para combatir patógenos y se ha conseguido demostrar que el tratamiento con algunos inductores aumenta la capacidad de defensa frente a una amplia gama de patógenos. Como ejemplo, se ha demostrado que la pulverización con acibenzolar-S-metilo

puede reducir la infección de varias enfermedades bacterianas como *Erwinia amylovora* (Enterobacterales: Erwiniaceae) en manzano (Brisset *et al.*, 2000) o *Clavibacter michiganensis* ssp. *michiganensis* (Actinomycetales: Microbacteriaceae) en tomate (Baysal *et al.*, 2003). Actualmente en España existen varios productos comerciales basados en inductores de defensas (MAPA, 2020) y al tratarse de un campo de investigación emergente probablemente aparecerán pronto otros en el mercado.

Además de estas cuatro estrategias, en un paso más allá para inducir defensas en plantas mediante el empleo de HIPVs, en los últimos años hemos empezado a investigar las posibilidades de utilizar volátiles como elicitores de defensas, pero aprovechando su capacidad de comunicación entre plantas. En el próximo punto se resumen los fundamentos de esta nueva estrategia de control y se describe como podría ser su utilización práctica.

## EXPOSICIÓN A VOLÁTILES COMO INDUCTORES DE DEFENSA

Como se ha comentado anteriormente, es ampliamente conocido que las plantas se comunican entre sí y que fruto de esta comunicación, y mediante varios procesos fisiológicos la planta, puede prepararse para responder más rápidamente al estrés biótico o abiótico futuro. Existen, por tanto, evidencias teóricas y estudios básicos que apoyan la hipótesis de que es posible inducir defensas en planta, exponiendo a la planta a un determinado HIPV en lugar de rociarlo, pulverizarlo o añadirlo vía riego (Engelberth *et al.*, 2004; Mauch-Mani *et al.*, 2017). En los últimos años, desde el grupo de Entomología del IVIA en colaboración con otros grupos de investigación tanto nacionales como internacionales, se han podido identificar varios compuestos volátiles que son capaces de elicitar defensas en cultivos tan importantes como son tomate, pimiento o cítricos, simplemente mediante su liberación controlada utilizando difusores poliméricos pasivos (**Figura 2**). A modo



**Figura 2.** Detalle de un emisor polimérico pasivo utilizado en un invernadero experimental de tomate donde se han ensayado la difusión de volátiles (HIPVs) como elicitores para la activación defensiva de las plantas.





de ejemplo en el cultivo de tomate hemos podido activar defensivamente plantas de tomate exponiéndolas a volátiles de origen sintético, tanto inducción directa (p.e. aumento de inhibidores de proteasas) como inducción indirecta (p.e. atracción de parasitoides). Además, se ha comprobado que la activación defensiva no ha reducido la cantidad ni la calidad de las cosechas, lo que supone que la planta es capaz de modificar algunas rutas de síntesis con finalidad defensiva sin que se vean alteradas sustancialmente las rutas metabólicas habituales. La aplicación de alguno de los volátiles identificados como inductores de defensas se ha patentado como herramienta para el control de plagas y su aplicación podría llegar a cambiar la gestión que actualmente se realiza de los enemigos naturales (Pérez-Hedo *et al.*, 2020).

## **EPÍLOGO**

Hasta la fecha no existían aplicaciones prácticas basadas en esta hipótesis para su aplicación en protección de cultivos. Se trata de una línea novedosa que puede tener un largo recorrido. La investigación que estamos llevando a cabo está empezando a tener resultados sólidos para poder implementar alguno de estos HIPV como una nueva herramienta sostenible y bioracional de control de plagas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Estas investigaciones presentadas en este trabajo están siendo posible gracias a la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad de España (INIA RTA2017-00073-00), y el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) (IVIA-51916).





## REFERENCES

- Adebisin F, Widhalm JR, Boachon B, Lefèvre F, Pierman B, Lynch JH, Alam I, Junqueira B, Benke R, Ray S, Porter JA, Yanagisawa M, Wetzstein HY, Morgan JA, Boutry M, Schuurink RC y Dudareva N.** 2017. Emission of volatile organic compounds from petunia flowers is facilitated by an ABC transporter. *Science* 356: 1386–1388.
- Agrawal AA.** 1999. Induced responses to herbivory in wild radish: effects on several herbivores and plant fitness. *Ecology* 80: 1713–1723.
- Aljibory Z y Chen M-S.** 2018. Indirect plant defense against insect herbivores: a review. *Insect Science* 25: 2–23.
- Baysal O, Soylu EM y Soylu S.** 2003. Induction of defence-related enzymes and resistance by the plant activator acibenzolar-S-methyl in tomato seedlings against bacterial canker caused by *Clavibacter michiganensis* ssp. *michiganensis*. *Plant Pathology* 52: 747–753.
- Birkett MA y Pickett JA.** 2014. Prospects of genetic engineering for robust insect resistance. *Current Opinion in Plant Biology* 19: 59–67.
- Brisset MN, Cesbron S, Thomson SV y Paulin JP.** 2000. Acibenzolar-S-methyl induces the accumulation of defense-related enzymes in apple and protects from fire blight. *European Journal of Plant Pathology* 106: 529–536.
- Degen T, Dillmann C, Marion-Poll F y Turlings TCJ.** 2004. High genetic variability of herbivore-induced volatile emission within a broad range of maize inbred lines. *Plant Physiology* 135: 1928–1938.
- Dicke M.** 2009. Behavioural and community ecology of plants that cry for help. *Plant, Cell & Environment* 32: 654–665.
- Dicke M y Hilker M.** 2003. Induced plant defences: from molecular biology to evolutionary ecology. *Basic Applied Ecology* 4: 3–14.
- Engelberth J, Alborn HT, Schmelz EA y Tumlinson JH.** 2004. Airborne signals prime plants against insect herbivore attack. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101: 1781–1785.
- Erb M, Flors V, Karlen D, de Lange E, Planchamp C, D'Alessandro M, Turlings T CJ y Ton J.** 2009. Signal signature of aboveground-induced resistance upon belowground herbivory in maize. *Plant Journal* 59: 292–302.
- James DG.** 2003. Synthetic Herbivore-Induced Plant Volatiles as Field Attractants for Beneficial Insects. *Environmental Entomology* 32: 977–982.
- Kaplan I.** 2012. Attracting carnivorous arthropods with plant volatiles: The future of biocontrol or playing with fire? *Biological Control* 60: 77–89.
- Khan ZR, Midega CAO, Pittchar JO, Murage AW, Birkett MA, Bruce TJA y Pickett JA.** 2014. Achieving food security for one million sub-Saharan African poor through push-pull innovation by 2020. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 369: 20120284.
- MAPA.** 2020. Medios de defensa fitosanitaria. Regist. Prod. Fitosanit. (<https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/productos-fitosanitarios/registro/menu.asp>). (último acceso 1 Mayo 2020).
- Mauch-Mani B, Baccelli I, Luna E y Flors V.** 2017. Defense Priming: An Adaptive Part of Induced Resistance. *Annual Review of Plant Biology* 68: 485–512.
- Pérez-Hedo M, Arias-Sanguino ÁM y Urbaneja A.** 2018. Induced tomato plant resistance against *Tetranychus urticae* triggered by the phytophagy of *Nesidiocoris tenuis*. *Frontiers in Plant Science* 9: 1419.
- Pérez-Hedo M, Urbaneja-Bernat P, Jaques JA, Flors V y Urbaneja A.** 2015. Defensive plant responses induced by *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae) on tomato plants. *Journal of Pest Science* 88: 543–554.
- Pérez-Hedo M, Urbaneja A, Alonso Valiente M, Navarro-Llopis V, Vacas González S, Rambla Nebot JL., Granell Richart A.** 2020. Uso de ésteres de (Z)-3-hexenilo y método para proteger plantas frente a plagas. Núm de Solicitud P202030330. OEPM Madrid.
- Pickett JA, Woodcock CM, Midega CAO y Khan ZR.** 2014. Push-pull farming systems. *Current Opinion in Biotechnology* 26: 125–132.
- Turlings TCJ y Erb M.** 2018. Tritrophic interactions mediated by herbivore-induced plant volatiles: mechanisms, ecological relevance, and application potential. *Annual Review of Entomology* 63: 433–452.
- Uefune M, Kugimiya S, Sano K y Takabayashi J.** 2012. Herbivore-induced plant volatiles enhance the ability of parasitic wasps to find hosts on a plant. *Journal of Applied Entomology* 136: 133–138.