



## Las feromonas como herramienta de control de plagas en una agricultura ecorracional

La agricultura vive actualmente una transición hacia un modelo productivo más sostenible ambientalmente y que integra los valores que demanda el mercado con el respeto al ecosistema. Desde el punto de vista de la protección de cultivos, la Unión Europea está limitando el número de materias activas de síntesis por los efectos directos que tienen sobre aplicadores, consumidores y organismos no diana. Pero, además de esto efectos directos, cada vez se tienen más en cuenta los efectos sobre el ecosistema, tanto en la producción de los insumos como en el mantenimiento de los equilibrios ecológicos entre especies. Debemos considerar que un ecosistema equilibrado evita la explosión incontrolada de plagas y favorece el control de las mismas. Por ello, las restricciones de la legislación europea han dejado de ser el único motivo para limitar el uso de plaguicidas. La creciente sensibilización social que demanda alimentos más seguros, producidos de una forma más respetuosa con el medio ambiente y de calidad, está provocando cambios en el modelo productivo hacia una agricultura más sostenible y ecorracional.

Si nos ceñimos a la protección de cultivos, las alternativas que tienen los productores para el control de

plagas pasan por la utilización de métodos biológicos y biotecnológicos que reemplacen la aplicación de fitosanitarios de amplio espectro y perfil ecotoxicológico no aceptables actualmente. El desarrollo de nuevas estrategias para el control biológico y la mejora de los sistemas productivos y de liberación de agentes de control biológico han llevado a incrementar la eficacia de estos métodos. En ese sentido, la globalización ha provocado la diseminación de muchas especies invasivas, cuyo control depende de una actuación rápida para restablecer el equilibrio mediante la introducción de agentes de control o el aumento de los agentes existentes en la zona.

Entre los métodos biotecnológicos más utilizados para el control de plagas, se incluyen la obtención de variedades más resistentes, el desarrollo de bioplaguicidas y la aplicación de nuevas técnicas de control basadas en semioquímicos. Un semioquímico es una sustancia producida por un organismo que transmite información a otro organismo. Con esta definición tan amplia, es bastante intuitivo deducir que la comunicación mediante semioquímicos es una de las más habituales en la naturaleza. Esta comunicación se puede

producir entre individuos de distintas especies o entre individuos de la misma especie, como es el caso de las feromonas. Si conocemos las sustancias que participan en dicha comunicación, podemos utilizarlas en nuestro beneficio para alterar, suprimir o simular dicha comunicación, lo que supone una herramienta de gran potencial para el control de plagas.

La lucha contra plagas mediante feromonas y otros atrayentes supone una alternativa por las características particulares que tiene:

- 1. las feromonas son sustancias naturales de baja toxicidad**, lo que supone una gran ventaja ambiental y para los aplicadores;
- 2. son sustancias muy específicas**, ya que cada insecto tiene una feromona propia, por lo que permite actuar sobre una plaga sin afectar a otras especies;
- 3. no generan resistencias**, ya que, al ser propias de la especie, no existen mecanismos de detoxificación ni cambios en el lugar de acción;
- 4. actúan a concentraciones extremadamente bajas**, por lo que se pueden desarrollar métodos de control con pequeñas cantidades de dichas sustancias.

En resumen, podríamos decir que, utilizando pequeñas cantidades de feromona, podemos interferir específicamente a una plaga de forma sostenible sin provocar alteraciones sobre el medio ambiente ni resultar peligrosos para los aplicadores o los consumidores finales. Actualmente, hay descritos más de 3.500 semioquímicos de insectos, que pueden consultarse en la base de datos *The Pherobase: Database of pheromones and semiochemicals*. La mayoría de las feromonas que se producen en el mundo se sintetizan químicamente para disponer de cantidades suficientes de producto para actuar sobre las plagas. Sin embargo, algunas de ellas se sintetizan a partir de sustancias de origen natural con rutas biosintéticas similares a las que utilizan los propios insectos para producir las feromonas. Este camino de las rutas biosintéticas está siendo cada vez más estudiado.

En la actualidad, ya existen empresas que están produciendo feromonas a partir de sustancias producidas por plantas y microorganismos.

**Figura 1.** Dispositivos para el seguimiento de poblaciones  
A. *Tuta absoluta*  
B y C. *Bactrocera oleae* (hembras y machos)  
D. *Aonidiella aurantii*  
E. *Chilo suppressalis*  
F. *Drosophila suzukii*



## MÉTODOS DE CONTROL BASADOS EN FEROMONAS

Los principales métodos de lucha basados en feromonas se clasifican en tres grupos: la detección de plagas, la confusión sexual y la atracción-afectación.

### LA DETECCIÓN DE PLAGAS (Figura 1)

Aunque no es un método de control directo de plagas, resulta muy efectivo para el manejo de las mismas. Debemos tener en cuenta que la detección de plagas permite realizar los seguimientos de las poblaciones de insectos, planificar tratamientos, establecer umbrales de tratamiento, detectar la aparición de nuevas plagas e incluso diferenciar algunas poblaciones de insectos de una forma sencilla debido a la especificidad de las feromonas. En España, en la actualidad, este sistema se utiliza por ejemplo para seguir y planificar tratamientos de plagas de cuarentena, como la mosca del Mediterráneo *Ceratitis capitata* Wiedemann; para detectar posibles introducciones de plagas invasivas, como *Bactrocera dorsalis* (Hendel), y para la detección temprana de la introducción de plagas en nuevas zonas, como ocurre con *Delotococcus aberiae* (De Lotto). En plagas establecidas, las trampas cebadas con feromonas permiten seguir las dinámicas poblacionales y, por lo tanto, saber cuál es el momento idóneo o la necesidad de tratamiento o de suelta de agentes de control biológico.



La confusión sexual, el método de control de plagas basado en feromonas más utilizado, se basa en el uso de feromonas sexuales, que son las emitidas por un género de la especie para atraer al otro género.

### LA CONFUSIÓN SEXUAL (Figura 2)

Es el método de control de plagas basado en feromonas más utilizado en el mundo. Está basado en el uso de feromonas sexuales, que son las emitidas por un género de la especie para atraer al otro género —normalmente, las hembras a los machos—. Este método consiste en emitir al ambiente una concentración de feromona sexual de la especie en cantidad suficiente para impedir, dificultar o simplemente retrasar el apareamiento, provocando una disminución de la población en las siguientes generaciones de la plaga. Este método de control se utilizó a principios de los años setenta con lepidópteros como la lagarta de la encina o el gusano rosado del algodón, pero ha sido en los últimos 15 años cuando ha tenido un importante auge en otros órdenes de insectos, como los hemípteros. En 2006, ya se trataban en el mundo con confusión sexual más de 600.000 hectáreas (Witzgall y col. 2008) y, en 2018, se superaron las 800.000 (Benelli y col. 2019), aproximándose en la actualidad al millón de hectáreas. La feromona se distribuye en campo colocando difusores pasivos —llamados emisores— o nebulizadores. En cualquier caso, la distribución de estos emisores debe ser homogénea para cubrir toda la superficie y, como norma general, se debe aplicar antes de que empiece el ciclo de apareamiento del insecto y mantenerse activa durante todos los períodos de cópula del insecto. Un inconveniente de este sistema es el elevado precio de síntesis de algunas de estas feromonas, factor que puede llegar a hacer inviable su utilización. Finalmente, cabe señalar que esta técnica no es aplicable en pequeñas parcelas, ya que el efecto de invasión en los bordes de estas es muy elevado. Por ejemplo, en *Lobesia botrana* Denis & Schiffermüller, se recomienda que la superficie a tratar sea mayor de cinco hectáreas para que la técnica proporcione buenos resultados. Como norma general, la técnica de confusión sexual resulta más eficaz cuanto mayor sea la superficie tratada.

**Figura 2.** Difusores comerciales de feromona para confusión sexual. Difusores pasivos para A. *Aonidiella aurantii* y B. *Lobesia botrana*. Nebulizador para C. *Chilo suppressalis* (EPA).



La única forma de alcanzar una agricultura sostenible es logrando que los sistemas de producción sean rentables y, en este aspecto, los métodos de control biotecnológicos deben competir económicamente con los métodos de producción convencional.

### LA ATRACCIÓN-AFECTACIÓN (Figura 3)

Consiste en atraer selectiva y eficazmente a un organismo hasta un dispositivo donde afectarlo, de forma que podamos actuar sobre el mismo, su descendencia u otros organismos de su misma especie. Los tres métodos de atracción-afectación más habituales son la atracción y muerte, la atracción-contaminación y la atracción-esterilización. En los dispositivos de atracción y muerte, se suele utilizar un insecticida o una trampa física —agua, pegamento, laberinto— que haga que el insecto que llega hasta la trampa muera. Esos dispositivos se están utilizando con gran eficacia sobre plagas de importancia económica como moscas de la fruta, picudos de las plataneras y plagas de almacén (Navarro-Llopis y col. 2017). Sin embargo, en los dispositivos de atracción contaminación y de atracción esterilización, se pretende que el organismo que alcance el dispositivo se vea contaminado por un agente de control microbiológico o esterilizado por un agente químico y escape para que transmita esa contaminación o esa condición de esterilidad a otros organismos de su misma especie (Navarro-Llopis y col. 2015).

La principal ventaja de los sistemas de atracción y muerte es el cambio de paradigma de la aplicación del insecticida. En este caso, el insecto es atraído de una forma específica hasta un dispositivo donde el insecticida actuará sobre él. Es decir, el insecto es atraído al insecticida y no es el insecticida el que tiene que alcanzar al insecto (foto p. 36), lo que supone una aplicación de mucha menor cantidad de tóxicos, más específicos, sin residuos, poco peligrosa para el aplicador y sin afectación de organismos no diana.

En el caso de los dispositivos de atracción y muerte, el insecticida se mantiene confinado en el dispositivo, lo que permite utilizarlo a una concentración mucho menor, ya que el contacto es directo. Dado que la aplicación se realiza de forma tan dirigida, es posible la utilización de sustancias activas que, de otra forma, no deben utilizarse por su persistencia o características como la bioacumulación. Finalmente, la ventaja de estos sistemas de atracción-afectación con respecto a los de confusión sexual es la menor cantidad de feromona necesaria para su aplicación, ya que no se trata de confundir a los insectos en una nube de feromona, sino de atraerlos específicamente a un lugar determinado.

Uno de los pocos problemas que pueden tener estos sistemas de atracción y muerte es la generación de resistencias, ya que se aplican de forma continuada en el tiempo y la exposición puede ser subletal en el caso de contactos leves. Es por ello que es necesaria la alternancia de insecticidas con modos de acción diferentes.

**Figura 3.** Dispositivos de atracción-afectación. A. Picusan® modificada para atracción infección de *Rhynchophorus ferrugineus*, dispositivos de atracción y muerte B. Magnet-MED®, C. Servatray®, D. Decis® trap y dispositivo de atracción esterilización para *Ceratitidis capitata*.







Machos pegados en un dispositivo de atracción y muerte.

## APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL BASADOS EN FEROMONAS

La utilización de las técnicas basadas en feromonas ya resulta económicamente competitiva en algunos cultivos, como ocurre en los casos de la polilla de la vid en viña, la carpocapsa de la manzana, el gusano del algodón y los minadores de los brotes en frutales.

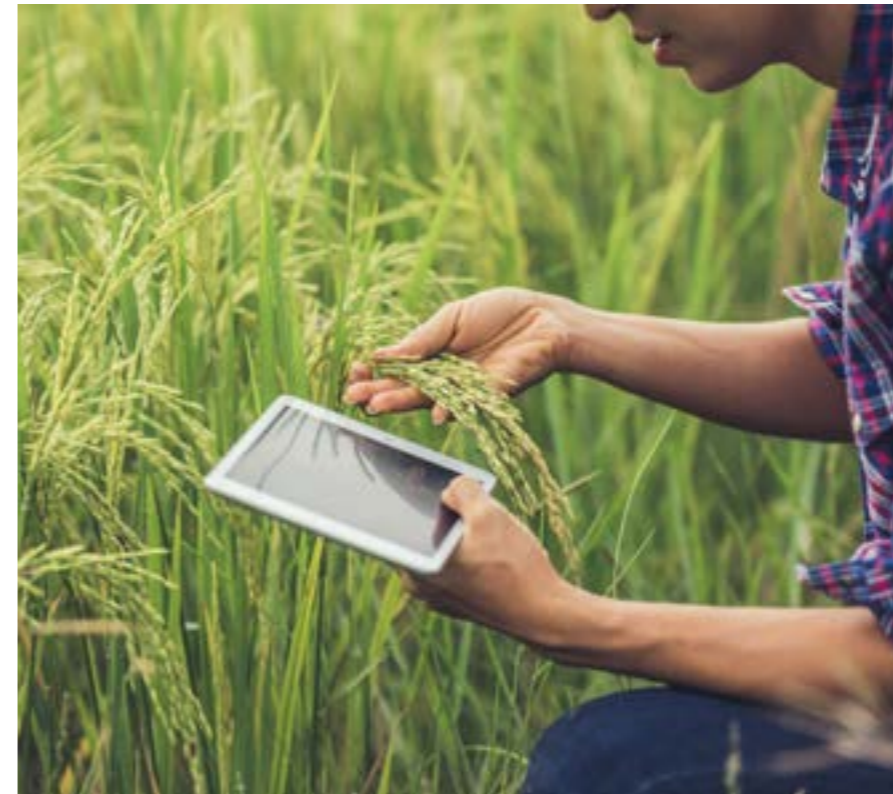
La rentabilidad de estos métodos de control se está logrando gracias a varios factores:

1. la eliminación de agroquímicos de perfil toxicológico no aceptables actualmente;
2. la optimización de los sistemas de aplicación;
3. el menor coste de síntesis de feromona derivado de su mayor utilización y por lo tanto de la economía de escala;
4. la mayor concienciación ambiental y toxicológica de los compradores que se traslada a los mercados;
5. la contabilización en los costes de los efectos secundarios de los plaguicidas de amplio espectro;
6. la diferenciación en el mercado de los productos ecológicos.

El primer ejemplo de aplicación de esta técnica en España corresponde a un cultivo con especiales requerimientos, por realizarse en zonas sensibles y protegidas, como

es el arroz. Desde los primeros años en que se utilizó en la década de los años ochenta hasta la actualidad, la aplicación de la confusión sexual contra el barrenador del arroz, *Chilo suppressalis* Walker, ha experimentado una continua mejora, reduciendo sus costes de aplicación y optimizando su dosis de aplicación y época de emisión. Tras esta evolución, la confusión sexual de *C. suppressalis* ha pasado de ser una técnica que solo se justificaba por criterios medioambientales, debido a su elevado coste, a ser la técnica de referencia en los arrozales españoles afectados por esta plaga, por su coste competitivo y su gran eficacia.

Como ya se ha mencionado, el uso de feromonas, especialmente por medio de confusión sexual, tiene su máximo exponente en plagas de lepidópteros. Sin embargo, en las últimas décadas, se están destinando esfuerzos considerables para el desarrollo de la técnica de confusión



sexual aplicada a otros órdenes de insectos, como el de los hemípteros. El ejemplo más representativo lo encontramos en el diaspino *Aonidiella aurantii* Maskell, el piojo rojo de California, contra el que ya se utiliza la confusión sexual (Vacas y col. 2010) en miles de hectáreas de cítricos en España. Y el número va en aumento. El caso de *A. aurantii* supone un paradigma para el desarrollo de métodos de control basados en semioquímicos en nuestro país, ya que la feromona de esta especie (Rescalure) ha sido la primera materia activa registrada en Europa por una empresa española sin participación extranjera.

La viabilidad futura de estas técnicas depende de su competitividad económica, independientemente de sus ventajas ambientales. La única forma de alcanzar una agricultura sostenible es logrando que los sistemas de producción sean rentables y, en este aspecto, los métodos de control biotecnológicos

deben competir económicamente con los métodos de producción convencional. Sin embargo, se ha de tener en cuenta los costes ambientales que tienen los sistemas de producción basados en la aplicación intensiva de agroquímicos, tanto sobre el medio ambiente como sobre la salud de las personas. Hemos de tener en cuenta que la aplicación intensiva y repetida de fitosanitarios provoca desequilibrios en la fauna auxiliar y, por lo tanto, la aparición de plagas inducidas, cuyo coste de tratamiento también debería contabilizarse en los costes del tratamiento inicial.

Independientemente del modelo productivo, los métodos de control de plagas basados en feromonas se están aplicando cada vez más por su eficacia y su coste cada vez más competitivo, lo que facilita el camino hacia una agricultura ecorracional.

Debemos considerar que un ecosistema equilibrado evita la explosión incontrolada de plagas y favorece el control de las mismas.

## REFERENCIAS

Benelli, G., Lucchi, A., Thomson, D., & Ioriatti, C. (2019). "Sex Pheromone Aerosol Devices for Mating Disruption: Challenges for a Brighter Future". *Insects*, 10(10), 308.

Navarro-Llopis, V., Sanchis, J., Primo-Millo, J., & Primo-Yúfera, E. (2007). "Chemosterilants as control agents of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in field trials". *Bulletin of entomological research*, 97(4), 359-368.

Navarro-Llopis, V., Primo, J., & Vacas, S. (2013). "Efficacy of attract-and-kill devices for the control of *Ceratitis capitata*". *Pest management science*, 69(4), 478-482.

Navarro-Llopis, V., Ayala, I., Sanchis, J., Primo, J., & Moya, P. (2015). "Field Efficacy of a *Metarhizium anisopliae*-Based Attractant-Contaminant Device to Control *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae)". *Journal of economic entomology*, 108(4), 1570-1578.

Vacas, S., Alfaro, C., Navarro-Llopis, V., & Primo, J. (2010). "Mating disruption of California red scale, *Aonidiella aurantii* Maskell (Homoptera: Diaspididae), using biodegradable mesoporous pheromone dispensers". *Pest management science*, 66(7), 745-751.

Witzgall, P., Stelinski, L., Gut, L., & Thomson, D. (2008). "Codling moth management and chemical ecology". *Annu. Rev. Entomol.*, 53, 503-522.

### >Autores del artículo:

Vicente Navarro-Llopis, Aitor Gavara y Sandra Vacas

Instituto Agroforestal del Mediterráneo, Centro de Ecología Química Agrícola, Universitat Politècnica de València. [vinallo@ceqa.upv.es](mailto:vinallo@ceqa.upv.es)