

Bioplaguicidas. Seguridad, mitos y realidades

Emilio Montesinos (Catedrático de Producción Vegetal (Patología Vegetal). Instituto de Tecnología Agroalimentaria INTEA-CIDSAV. Universitat de Girona. Email: emilio.montesinos@udg.edu).

El desarrollo de la Agricultura ha venido marcado en muchas ocasiones por observaciones y experiencias de campo que han acabado implementándose en la práctica. Existen numerosos ejemplos que tarde o temprano han ido formando parte de técnicas para mejorar la productividad de las plantas, como es el uso de suelos supresores del mal del pie del trigo y cebada, la rotación de los cultivos, las observaciones de entomólogos sobre enfermedades infecciosas que afectan a los insectos, o el uso de la medicina herbal china en agricultura. Tras el conocimiento científico asociado al uso de estas técnicas, se ha desarrollado toda una nueva generación de productos para el control de plagas y enfermedades de los cultivos, que hoy conocemos como bioplaguicidas.

Se denomina bioplaguicidas a plaguicidas de origen biológico, incluyendo extractos complejos o ingredientes activos obtenidos a partir de seres vivos (microorganismos, plantas, animales) o bien microorganismos vivos (virus, bacterias, hongos). En sentido amplio, quizás también deberían incluirse los organismos auxiliares clásicos en entomología agrícola como son los insectos beneficiosos (depredadores).

Porqué necesitamos bioplaguicidas?

Las pérdidas de productividad de los seis cultivos principales en el mundo se han evaluado en un 43%, a pesar de las medidas de control ejercidas actualmente (Oerke 2006), y se estiman en un 71% sin dichas medidas. Es decir, un 28% de las pérdidas potenciales se previenen con los tratamientos fitosanitarios y otras medidas de control.

La necesidad de descartar materias activas con un perfil eco-toxicológico inaceptable o que han dejado de ser efectivas por desarrollo de resistencia en las plagas, ha conllevado a una reducción del número de productos fitosanitarios, y aconseja dedicar esfuerzos en desarrollar nuevas materias activas, como los bioplaguicidas. Por otro lado, los distintos escenarios previstos debido al cambio climático global, aconsejan un uso sostenible de la energía derivada principalmente de los combustibles fósiles, y por lo tanto se debería tender a la producción de plaguicidas con bajos insumos y de bajo riesgo/impacto. Además, desde la perspectiva regulatoria en la UE que implementa el uso sostenible de productos fitosanitarios, se plantea también la necesidad de una alternativa/complemento a los productos fitosanitarios de síntesis, que refuerza el papel de los bioplaguicidas en el futuro.

Tipos de bioplaguicidas

Una clasificación generalmente aceptada de los bioplaguicidas consiste en agruparlos según su naturaleza de modo que se pueden clasificar en microbianos (p.e. *Bacillus amyloliquefaciens*, baculovirus) y bioquímicos (extractos o compuestos de origen biológico).

Los bioplaguicidas microbianos consisten en células de microorganismos vivos que ejercen su actividad contra la plaga o patógeno mediante diversos mecanismos de acción, incluyendo metabolitos (antimicrobianos, insecticidas,



Figura 1. Jarrón chino del siglo XVII de la dinastía Qing expuesto en el Museo Nacional de China en Pekín. Pueden apreciarse los melocotones afectados probablemente por cribado (*Coryneum beijerinckii*). La medicina tradicional china ya describía el uso de extractos de plantas para el control de diversas plagas domésticas y agrícolas hace más de dos mil años (Foto: Emilio Montesinos).

etc.). Los bioplaguicidas bioquímicos consisten en extractos más o menos purificados obtenidos a partir de plantas o algas (p.e. laminarina, aceite de cacahuete), productos de origen animal (p.e. quitosano), de origen microbiano/fermentación (p.e. espinosad), o biotecnológicos (p.e. harpinas).

Bioplaguicidas microbianos

Se trata de cepas de numerosas especies microbianas que incluyen virus, bacterias, hongos y levaduras, que se obtienen de la propia microbiota de las plantas

o de insectos o nematodos infectados por patógenos. En la actualidad, gracias a los avances en el conocimiento de los mecanismos de acción y sobre todo de la genética de estos microorganismos beneficiosos, se han desarrollado herramientas moleculares (p.e. PCR) que permiten realizar una selección rápida y eficiente de los mejores candidatos, asistida por marcadores moleculares. Esto es muy importante en el proceso de desarrollo tecnológico de este tipo de bioplaguicidas ya que la probabilidad de encontrar una cepa líder en una colección de aislados de una especie microbiana concreta es muy baja (generalmente 1 entre 1.000).

En la actualidad el espectro de microorganismos útiles en el control de plagas y enfermedades es enorme, incluso sólo teniendo en cuenta los que forman parte como materias activas en productos comerciales. Microorganismos con actividad bactericida se pueden citar *Aureobasidium pullulans*, *Streptomyces lydicus* o *Bacillus subtilis*, pero la mayoría exhiben actividad fungicida como *Ampelomyces quisqualis*, *Bacillus pumilus*, *B. amyloliquefaciens*, *Candida oleophila*, *Coniothyrium minitans*, *Gliocladium catenulatum*, *Phlebiopsis gigantea*, *Pseudomonas chlororaphis*, diversas especies de *Trichoderma* y *Verticillium albo-atrum*. Otros microorganismos presentan actividad insecticida o nematocida como cepas de granulovirus y baculovirus, *Bacillus firmus*, *B. thuringiensis*, *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium muscarium*, *Paecilomyces fumosoroseus* y *Paecilomyces lilacinus*.

Las cepas de estos microorganismos se producen mediante procesos de fermentación en líquido (bioreactor) o en sólido, concentrando las células y/o los metabolitos de fermentación, y preparando finalmente formulaciones líquidas o sólidas (producto deshidratado) para aumentar su vida útil (viabilidad celular). La viabilidad del producto es uno de los aspectos más críticos en esta tecnología, y puede malograrse tras conservación o exposición a condiciones adversas (temperatura, radiación solar, humedad extremas), ya que se trata de organismos vivos. Los métodos de aplicación son similares a los de los productos convencionales (pulverización, drenaje, dispersión activa por insectos, etc.), pero son incompatibles con algunos ingredientes y materias activas presentes en productos fitosanitarios convencionales (p.e. hongos con fungicidas, productos cúpricos).

Los mecanismos de acción son muy diversos, desde competencia con el patógeno o plaga por los recursos, a actividad antagonista (producción de antimicrobianos, insecticidas, enzimas, etc.). Sin embargo, la mayoría de los productos comerciales que han tenido éxito presentan al menos un mecanismo de acción basado en la producción de antimicrobianos o toxinas, que pueden ser relativamente específicas para la plaga o patógeno. Por eso, con frecuencia se añaden los metabolitos de fermentación al producto formulado, y este aspecto hace que el perfil toxicológico de los bioplaguicidas microbianos no siempre sea inocuo.

Un aspecto importante en el futuro para un mejor uso de esta tecnología es la necesidad de disponer de métodos analíticos específicos para la cepa en concreto del microorganismo que forma el ingrediente activo del bioplaguicida, que permitan realizar controles de trazabilidad y residuos en el medio ambiente y alimentos, como si de un plaguicida sintético se tratara. Otro aspecto a considerar está relacionado con la capacidad de algunos microorganismos beneficiosos para presentar de forma natural resistencia a antibióticos, aspecto preocupante como en el caso de los probióticos en epidemiología clínica o veterinaria.

Bioplaguicidas botánicos

Se trata de plaguicidas que se obtienen a partir de algas o plantas, y que contienen principios activos antimicrobianos o insecticidas/nematocidas, o sim-

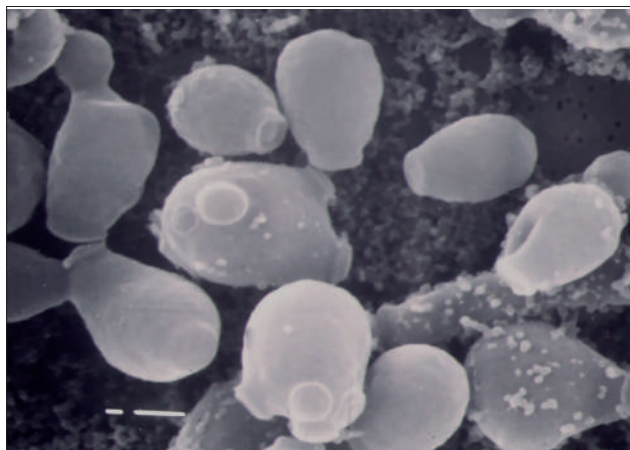


Figura 2. Células de *Saccharomyces cerevisiae*, la levadura del pan, vino y cerveza, que puede llegar a ser un bioplaguicida microbiano en la UE si se aprueba el registro de una cepa como biofungicida (Foto: Emilio Montesinos).

plemente son repelentes.

Existe un número enorme de plantas con principios activos que han sido utilizadas por diversas culturas en la Antigüedad para fines medicinales, y que tienen potencial como plaguicidas. Sin embargo, los procedimientos de extracción varían considerablemente, y de ellos depende la riqueza y el producto final obtenido, su eficacia y toxicidad.

Como insecticidas botánicos que se obtienen de plantas que presentan compuestos activos de interés se pueden destacar los obtenidos de algunas especies de cítricos (limoneno), crisantemo (piretroides), labiadas (carvona, camfona, geraniol, mentol, etc.), tabaco (nicotina), *Lonchocarpus* (rotenona), *Melia* (tosendanina), cebadilla (sabadina), riania (rianodina), *Anona* (asimicina), neem (azadiractina) y *Adenia* (volkensina). Como fungicidas botánicos se destacan los obtenidos de *Allium* (allicina), orégano (carvacrol), *Santolina* (santorina), *Berberis* (berberina), comino (carvona), cúrcuma (curcumina), pimentero (piperina), *Angelica* (ostol), y *Sanguinaria* (sanguinarina).

Al ser obtenidos a partir de plantas productoras, la riqueza de los principios activos y el tipo suele variar en función de las condiciones de cultivo y sobre todo del clima. Para la obtención de los principios activos, las materias primas se someten a un procesado por homogeneización y extracción con solventes acuosos u orgánicos, seguidos de purificación parcial o completa, y finalmente a un proceso de formulación para su uso como bioplaguicida. Esta etapa es bastante crítica por el manejo de disolventes orgánicos, aunque se puede optimizar mediante extracción con CO₂ supercrítica, pero es muy costosa. En realidad estas tecnologías proceden de las desarrolladas en la industria farmacéutica.

Un aspecto muy interesante es que el mecanismo de acción de las materias activas no difiere excesivamente del de muchos insecticidas sintéticos. Por ejemplo muchos insecticidas botánicos actúan a nivel de las neuronas en los artrópodos, como los aceites esenciales y nicotina que son inhibidores de los receptores de acetilcolina u octopamina, los piretroides que inhiben la bomba de sodio/potasio y la rianodina que afecta al canal de calcio en las mitocondrias. Otros como la azadiractina producen un desequilibrio hormonal en el insecto que afecta a su metamorfosis. Sin embargo, no todos los bioplaguicidas botánicos actúan directamente sobre la plaga o patógeno, algunos como la laminarina obtenida de algas marinas y el heptamaloxilóglicano obtenido de manzana, poseen actividad elicitora de defensas en las plantas.

Aunque la demanda de los bioplaguicidas botánicos va en aumento, sobre todo en producción ecológica, todavía existen numerosas limitaciones y necesidades futuras de investigación para un desarrollo tecnológico óptimo. Es necesario un mejor conocimiento de la naturaleza de los componentes activos, en especial en cuanto a su toxicología completa ya que algunos ingredientes son tóxicos para animales no diana y plantas, así como también es necesario desarrollar metodologías de caracterización y estandarización adecuadas, debido a que son mezclas complejas de materias activas. El proceso industrial usado en muchos casos para la obtención de los componentes activos no es sostenible (en la mayoría de los casos solventes orgánicos). Además, se deben desarrollar formulaciones adaptadas específicamente a su naturaleza ya que algunos componentes activos se degradan rápidamente tras la extracción. Finalmente, son escasos los ensayos en condiciones de campo, ya que la mayoría de estudios se han realizado solamente *in vitro*, y las materias primas pueden contener residuos no deseados de plaguicidas (por accidente o residuo del programa de control de plagas en el cultivo que sirve de materia prima).

Otros bioplaguicidas

Los extractos procedentes de cultivos o células microbianas también constituyen una gama de materias activas, aunque en muchos casos se trata en realidad de extractos complejos ricos en antibióticos, enzimas o toxinas insecticidas/nematicidas, que ejercen una actividad inhibitoria sobre plagas o patógenos. Un ejemplo de este tipo de bioplaguicida son los insecticidas espinosad o

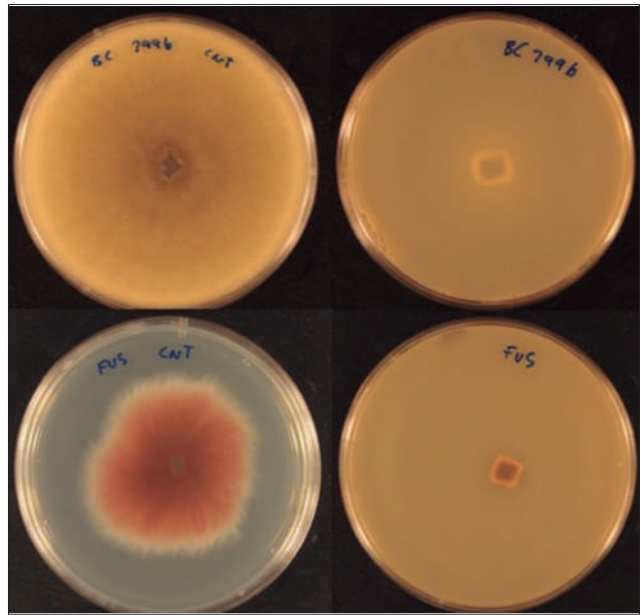


Figura 3. Inhibición del crecimiento del micelio en *Botrytis cinerea* y *Fusarium oxysporum* por un fungicida botánico (derecha) en comparación con un control no tratado (izquierda) (Foto CIDSAV).

Combate a los insectos y ácaros de la manera más natural

Las piretrinas naturales son insecticidas y acaricidas con una rápida acción de contacto, un amplio espectro y sin residuos.

KENPHYR es un **producto totalmente natural**, obtenido de flores secas de Pelitre (*Crysanthemum cinerariifolium*), con una riqueza de un 4% DE PIRETRINAS y formulado con una **base de aceites vegetales**, principalmente aceite de soja, **que incrementan su actividad insecticida**.

Se recomienda su utilización para el control de mosca blanca, trips, pulgones, cochinillas, orugas, escarabajos, hormigas y ácaros **en hortalizas y ornamentales**.

Apto para cultivo ecológico



INSCRITO EN EL REGISTRO OFICIAL DE PRODUCTOS Y MATERIAL FITOSANITARIO CON EL N° 25.297/19

EXTRACTO DE PELITRE

KENPHYR

PIRETRINAS NATURALES

C/ Jaime I, 8
Polígono Industrial del Mediterráneo - 46560 Massalfassar (Valencia)
Tel.: 961 417 069 | Fax: 961 401 059
e-mail: biagro@biagro.es
www.biagro.es



BIAGRO

Bioestimulantes Agrícolas que respetan la naturaleza

avamectina obtenidos a partir de ciertos actinomicetos, o los cerevisanos, procedentes de levaduras, y enzimas glucanasas obtenidas a partir de hongos como *Trichoderma*.

Algunos bioplaguicidas son de origen animal, como es el caso del quitosano que se obtiene del exoesqueleto de ciertos crustáceos y que es un elicitador de respuesta defensiva en plantas. En este sentido vale la pena destacar que la industria de subproductos de origen animal tiene un enorme potencial para generar materias bioplaguicidas, y que su potencial no está suficientemente explotado.

Los bioplaguicidas biotecnológicos se producen mediante clonación y expresión heteróloga de genes de interés obtenidos de diversas fuentes. Estos genes se expresan generalmente en microorganismos biofactoría (p.e. *E.coli*, *Bacillus*, *Pichia*), de los cuales tras su multiplicación en bioreactor, se extrae el producto de expresión, que finalmente se formula. Un ejemplo de este tipo de productos es la materia activa elicitadora de defensa harpina, que es la responsable del reconocimiento específico de muchas bacterias fitopatógenas por su planta huésped, y que se comercializa como un producto promotor del crecimiento de las plantas.

Seguridad de los bioplaguicidas

Como con todas las sustancias que entablan un riesgo, en los bioplaguicidas hay que tener en cuenta las propiedades intrínsecas (peligro), la vía de exposición, y la susceptibilidad del receptor no diana. Es lo que se denomina el triángulo del riesgo.

Resulta evidente, que un producto o ingrediente, aunque sea de origen natural, no significa que sea no tóxico o seguro. Por eso en la evaluación de microorganismos como bioplaguicidas se tienen en cuenta antecedentes clínicos, aunque sean ocasionalmente infecciones oportunistas, y la producción de metabolitos con potencial toxigeno o genotóxico. Además, hay que considerar que también pueden existir efectos adversos sobre organismos no diana, como pueden ser los insectos beneficiosos en el caso de bioinsecticidas como *Beauveria bassiana*, rotenona o sabadilla.

La evaluación del riesgo de los bioplaguicidas, como en los otros plaguicidas es realizada en la Unión Europea por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA). EFSA a petición de la Comisión determina la seguridad y el nivel de riesgo de una materia activa o producto según un sistema riguroso (Qualified Presumption of Safety, QPS, en especial para microorganismos).

Como conclusión respecto a la bioseguridad de los plaguicidas se puede afirmar que natural no significa necesariamente seguro, ecológico no tiene por que ser no tóxico, y sintético no es equivalente de muy tóxico. En este sentido, cabe recordar la frase de Paracelso en su libro "La naturaleza de las cosas" donde sabiamente dice "...todo es veneno, nada es sin veneno. Sólo la dosis hace el veneno". Puestos a exagerar, hasta un exceso de agua puede ser mortal, tal y como resulta evidente por los casos documentados de hiperhidratación fatal en algunos deportistas.

Registro y comercialización de bioplaguicidas en Europa

La comercialización de los bioplaguicidas está sometida a la misma normativa en la UE que afecta a otros productos fitosanitarios, y por lo tanto en el marco de la Regulación (EC) No 1107/2009 y Directiva 2009/128/EC. Con independencia de que se trate de microorganismos, o extractos y materias activas de origen biológico debe presentarse un dossier con la información sobre identificación de la materia activa, propiedades biológicas, métodos analíticos, residuos y trazabilidad en el medio ambiente, eficacia y efectos adversos. Además, dependiendo de si existen antecedentes conocidos o no se consideran aplicables, las autoridades pueden eximir de algunos de estos estudios.

La situación actual es la siguiente. En cuanto a fungicidas, bactericidas y antivirales microbianos se han aprobado 46 microorganismos (19 insecticidas, 21 fungicidas, 3 fungicidas y bactericidas, 2 nematocidas), 8 están pendientes de resolución, y 9 no han sido aprobados por diferentes motivos. En cuanto a materias activas de origen vegetal o animal, se han aprobado 22 botánicos (4 fungicidas, 4 insecticidas, 9 repelentes, 2 elicidores), 3 de origen animal, y existen 10 botánicos pendientes, no habiéndose aprobado 37 productos por diversos motivos.

Resumen

El conocimiento de los beneficios de los extractos botánicos en la protección de los cultivos y de ciertas prácticas agrícolas que hoy sabemos que estimulan la actividad de microorganismos beneficiosos para las plantas, se remonta a la Antigüedad. No obstante, el desarrollo de una tecnología de bioplaguicidas basada en ingredientes activos de origen biológico, que proporcione productos fitosanitarios eficaces en el control de plagas y enfermedades, es relativamente reciente. Salvo algunas excepciones, se considera a los bioplaguicidas productos de bajo riesgo, y por lo tanto tienen una buena aceptación en programas de control integrado de plagas y en producción ecológica. Sin embargo, aunque sean de origen biológico, su uso en protección de cultivos está regulado y debe ser sometido a una evaluación rigurosa, para descartar riesgos para la salud y el medio ambiente. La relativamente corta experiencia de campo con este tipo de productos ha demostrado que su eficacia es en general algo inferior a la de los plaguicidas de síntesis, y está sometida a una mayor variabilidad por influencia de las condiciones agroclimáticas. Actualmente cerca del 15% de las materias activas aprobadas en la UE corresponden a bioplaguicidas (46 de tipo microbiano, 22 botánicos y de otros orígenes), y se espera un incremento significativo en el futuro según lo previsto en la Directiva de uso sostenible de productos fitosanitarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Caballero, P., Ferré, J. Bioinsecticidas: Fundamentos y Aplicaciones de *Bacillus thuringiensis* en el control integrado de plagas. 2001. PHYTOMA España.
- El-Wakeil, N.E. 2013. Botanical pesticides and their mode of action. *Gesunde Pflanzen* 65:125-149.
- Montesinos, E., Bonaterra, A. 2009. Microbial Pesticides. Pp 110-120. En: Schaechter M. (ed.). *Encyclopedia of Microbiology*. Elsevier Inc.
- Starnes, R. L.; Liu, C. Li; Marrone, P. G. 1993. History, Use, and Future of Microbial Insecticides. *American Entomologist*, 39: 83-91.