

CONTROL DE ENFERMEDADES FÚNGICAS *en cucurbitáceas*

Hoy en día, la producción de alimentos a nivel mundial se encuentra gravemente amenazada por una gran cantidad de plagas, enfermedades y malas hierbas, al afectar negativamente tanto a la productividad de los cultivos como a la calidad de los frutos y vegetales. A este respecto, aunque son muchos los cultivos hortícolas susceptibles al desarrollo de plagas y enfermedades, las cucurbitáceas son, posiblemente, uno de los grupos más severamente afectados, al ser más de doscientas las enfermedades de diversas etiologías capaces de asolar la producción y el rendimiento de estos cultivos (Zitter *et al.*, 1996). Entre ellas, y como uno de los factores limitantes más importantes en el sector hortofrutícola, destaca el oídio; una enfermedad de origen fúngico capaz de reducir la producción hasta en un 50% y en algunos casos, bajo determinadas circunstancias, incluso hasta el 100%.

LAURA RUIZ-JIMÉNEZ^{1,2}, ALEJANDRA VIELBA-FERNÁNDEZ^{1,2}, ALEJANDRO PÉREZ-GARCÍA^{1,2}, DOLORES FERNÁNDEZ-ORTUÑO^{1,2}

¹ Departamento de Microbiología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga (UMA)

² Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea “La Mayora”, Universidad de Málaga, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IHSM-UMA-CSIC), Málaga

Su nombre común ceniza o cenicilla describe perfectamente su sintomatología, caracterizada por la formación de pequeñas manchas blanquecinas de aspecto pulverulento en la superficie de hojas, peciolo, tallos y, ocasionalmente, flores y frutos, que pueden llegar a cubrir por completo la superficie vegetal y, por tanto, afectar así a la capacidad fotosintética de la planta. De modo que, aunque los frutos son raramente atacados por el oídio, éstos pueden sufrir malformaciones, quemarse por el sol, o madurar prematuramente o de forma incompleta, debido a la pérdida de cobertura foliar causada por la senescencia prematura de las hojas infectadas, provocando, en última instancia, grandes pérdidas en la cantidad, calidad y tamaño de los frutos (Pérez-García *et al.*, 2009).

¿SABÍAS QUE...?

En términos generales, la productividad de los cultivos de cucurbitáceas se ve limitada tanto por *Golovinomyces cichoracearum* como por *Podosphaera xanthii*, dos especies de hongos ascomicetos pertenecientes al orden *Erysiphales* y a la familia *Erysiphaceae*. Sin embargo, en las principales regiones productoras de nuestro país, sólo se ha identificado a *P. xanthii* como agente causal de oídio en estos cultivos.

La capacidad de desarrollo de *P. xanthii* depende de factores abióticos, como la temperatura, la humedad relativa y la iluminación; así como de factores bióticos, como la edad

de la planta y la susceptibilidad del cultivo. Al haberse adaptado a zonas cálidas, la temperatura óptima para su desarrollo oscila entre los 20 y los 27°C, aunque puede producirse en un amplio rango de temperatura, que va desde los 10 hasta los 32°C. Asimismo, el valor óptimo de humedad relativa para su desarrollo es del 100%, disminuyendo proporcionalmente la tasa de éxito a medida que disminuye este valor. Del mismo modo, son esenciales ciclos de luz de aproximadamente 12 horas de duración para alcanzar una tasa óptima de desarrollo. Por otro lado, aunque *P. xanthii* es capaz de afectar al rendimiento de los principales cultivos de cucurbitáceas de nuestro país, en los últimos años, se ha observado un mayor grado de susceptibilidad en aquellos cultivos pertenecientes al género *Cucurbita* (calabaza y calabacín), así como un

menor grado en los pertenecientes al género *Cucumis* (melón y pepino). No obstante, considerando la gran importancia de estos cultivos en el sector hortofrutícola, al alcanzar una producción anual de más de 3,5 millones de toneladas y generar una actividad económica de más de 1.400 millones de euros (FAO, 2021), hoy en día, es esencial un manejo eficaz de la enfermedad para mantener los niveles de producción.

Métodos de control

De forma generalizada, las prácticas culturales, junto con el empleo de cultivares resistentes, el uso de organismos antagonistas y la aplicación de fungicidas, son los principales métodos recomendados para el control de enfermedades de origen fúngico, incluyendo el oídio (Figura 1). Las prácticas culturales se basan en todas aquellas acciones que puede llevar a cabo el agricultor para evitar el contacto entre el patógeno y el cultivo, como son la rotación de los cultivos, el saneamiento o el control de las condiciones del suelo. El empleo de cultivares resistentes emplea cultivares optimizados mediante programas de mejora vegetal para evitar la infección por parte del patógeno; los métodos biológicos, usan organismos antagonistas o agentes de biocontrol capaces de reducir la cantidad de inóculo del patógeno; y, por último, el control químico, emplea distintos compuestos con actividad antifúngica que pueden tanto eliminar al patógeno como activar las propias defensas de la planta para combatir la enfermedad. Centrándonos en el oído, y debido a su facilidad de transmisión por el aire y la rapidez de su extensión por el cultivo, los métodos más empleados hoy en día son el control químico y biológico en combinación con ciertos cultivares resistentes.

En este sentido, a pesar de los esfuerzos invertidos en programas de mejora vegetal y de ser una de las opciones más respetuosas con el medio ambiente, el desarrollo de cultivares resistentes no siempre es posible, existiendo únicamente algunas va-



FIGURA 1
Métodos de control disponibles para el manejo de enfermedades fúngicas.

riedades resistentes, sobre todo de melón y de pepino, comercialmente disponibles para el control de la enfermedad (Fukino *et al.*, 2013; Nunes *et al.*, 2017). Además, el empleo de estas variedades no siempre asegura una erradicación total, sino que, en la mayoría de los casos, simplemente retrasa la infección como consecuencia de la aparición de razas de *P. xanthii* capaces de superar la resistencia, dificultando notablemente la mejora de las diferentes variedades.

- Control biológico

Por el contrario, en los últimos años, el uso de organismos antagonistas o agentes de biocontrol se ha con-

vertido en uno de los métodos más empleados para el control del oído de las cucurbitáceas. Por definición, el control biológico se basa en detener el desarrollo del patógeno causante de la enfermedad mediante la utilización de organismos vivos, como bacterias, hongos, nematodos o insectos, que ejercen una acción antagonista sobre el patógeno. En España, dentro de las formulaciones comerciales disponibles para el control biológico del oído de las cucurbitáceas, destacan aquellas que usan diversas especies del género *Bacillus*, sobre todo *B. amyloliquefaciens* y *B. subtilis*, como agentes de biocontrol (Anónimo, 2022). En el caso de *B. amyloliquefaciens*, en-

contramos dos productos comerciales registrados: AMYLO-X® WG (Mitsui Agriscience International, Bélgica; subesp. *plantarum*, cepa D747; n° de registro ES-00346) y TAEGRO® (Novozymes, Dinamarca; cepa FZB24; n° de registro ES-00878). Y en el caso de *B. subtilis*, encontramos tres productos comerciales registrados: FUNGISEI® (Seipasa, España; cepa IAB/BS03; n° de registro ES-01404), MILDOR® (Investigaciones y Aplicaciones Biotecnológicas, España; cepa IAB/BS03; n° de registro ES-01308) y SERENADE® MAX (Bayer Cropscience, España; cepa QST 713; n° de registro 25648). Estos productos se consideran de amplio espectro y presentan un modo de acción múltiple, frenando el desarrollo del patógeno y favoreciendo la activación de las respuestas de defensa de la planta. A pesar de este progreso substancial, el control biológico está lejos de su implementación práctica como único método de manejo del oídio de las

cucurbitáceas, al presentar una serie de inconvenientes relacionados con el uso de organismos vivos, ya que los agentes de biocontrol necesitan unas condiciones ambientales muy específicas para su desarrollo y para que se inicie su actividad biológica.

- Control químico

Por consiguiente, hasta el momento, el control químico, basado en la aplicación de fungicidas, es el método más extendido para el control del oídio de las cucurbitáceas. De hecho, tan solo en el año 2020, de las 43.336 toneladas de plaguicidas utilizadas en España, incluyendo insecticidas, herbicidas y fungicidas, casi tres cuartas partes (32.123 toneladas) fueron fungicidas (FAO, 2021). Atendiendo a sus características, los fungicidas se clasifican en dos grandes grupos: fungicidas de contacto y fungicidas sistémicos (Figura 2). Los fungicidas de contacto, como el azufre, los dinitrofenoles y el quinometionato,

permanecen en la superficie de la planta, sin ser absorbidos por la misma, y presentan un modo de acción múltiple, por lo que el riesgo de que el patógeno desarrolle resistencia a estos compuestos es muy bajo. Al tener múltiples mecanismos de acción, normalmente, los fungicidas de contacto son muy efectivos como agentes preventivos, sin embargo, afectan de forma negativa al medio ambiente, por requerirse dosis muy elevadas para que ejerzan una buena acción. A pesar de ello, al igual que en otros países, el azufre sigue estando autorizado en España para el control del oídio de las cucurbitáceas (Anónimo, 2022). A diferencia de los fungicidas de contacto, los fungicidas sistémicos son absorbidos por la planta y transportados internamente a otras partes de esta, independientemente de su punto de aplicación, y se caracterizan por poseer un modo de acción específico, aumentando en consecuencia el riesgo de desarrollo de resistencia

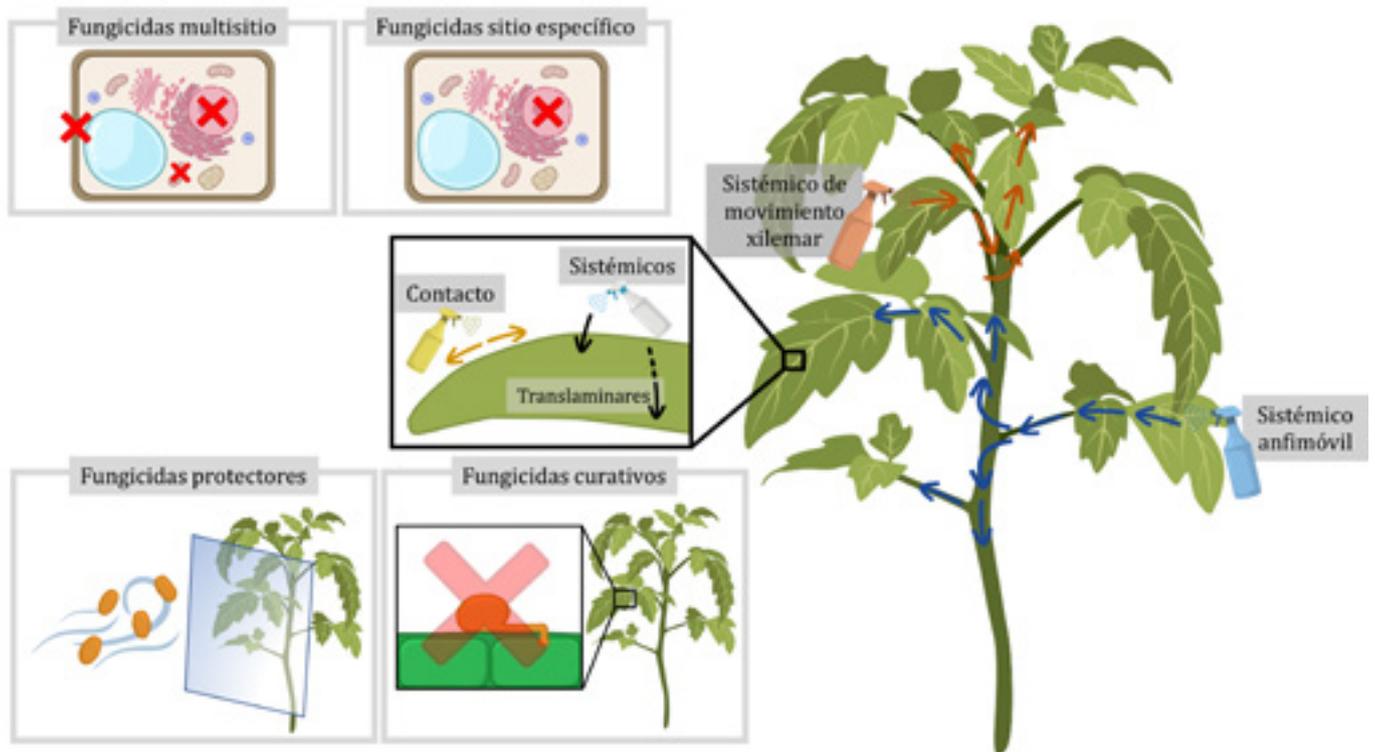


FIGURA 2
Esquema de los diferentes tipos de fungicidas, agrupados según su modo de acción (multisitio o sitio específico), movilidad (contacto o sistémico) y tipo de protección (protector o curativo).

NOVEDAD EDITORIAL

EL RESURGIR DEL AGRO *10 retos*

FRANCISCO MARTÍNEZ ARROYO



15€

Puedes realizar tu pedido en:

Tlf: 91 521 16 33

administracion@editorialagricola.com

libreria.editorialagricola.com

 editorial
agricola

por parte del patógeno. No obstante, gracias a sus propiedades sistémicas y su modo de acción específico, estos compuestos han dominado por completo el mercado fitosanitario, al ser capaces de proteger y prevenir al mismo tiempo que erradican la enfermedad, y al precisar menores dosis y aplicaciones que los fungicidas de contacto para conseguir un mayor índice de efectividad.

Bajo esta premisa, en el caso particular del oídio de las cucurbitáceas, actualmente, los fungicidas sistémicos son los más utilizados para el control químico de la enfermedad. En España, son veintisiete las materias activas registradas y autorizadas, de las cuales veintidós pueden utilizarse solas o mezcladas entre sí, mientras que las cinco materias restantes pueden utilizarse únicamente en mezclas con las anteriores (Anónimo, 2022). Estas materias activas se agrupan en once familias diferentes en función de su mecanismo de acción (FRAC, 2022), siendo las más comercializadas aquellas que presentan un menor grado de toxicidad y un mayor grado de movilidad en la planta y de control de la enfermedad, como son los fungicidas DMI, con 8 materias activas registradas; los fungicidas QoI, con 4 materias activas registradas; y los fungicidas SDHI, con 5 materias activas registradas, siendo ésta última la familia de más reciente incorporación. Aunque hoy en día el empleo de fungicidas es la principal herramienta para el control del oídio de las cucurbitáceas, el impacto del control químico se ha visto condicionado por el uso continuado de fungicidas sistémicos y por la facilidad con la que *P. xanthii* es capaz de sobrevivir a dosis que, en condiciones normales, serían letales (Bellón-Gómez *et al.*, 2015; Vielba-Fernández *et al.*, 2018; 2019; 2021); llegando incluso a ser catalogado por el FRAC (de sus siglas en inglés, *Fungicide Resistance Action Committee*) como un patógeno con alto riesgo de desarrollar resistencia a fungicidas. Además, esta notoria aparición de poblaciones resistentes o pérdida de eficacia de los fungicidas

Actualmente, los fungicidas sistémicos son los más utilizados para el control químico de esta enfermedad

más comúnmente utilizados para el control del oídio de las cucurbitáceas se ha visto recientemente agravada con la incipiente puesta en marcha del Pacto Verde Europeo, a favor de un sistema alimentario más equitativo, saludable y respetuoso con el medio ambiente, al pretender reducir, entre otros, el empleo de fungicidas en un 50 % para el año 2030. Por lo tanto, actualmente existe una necesidad urgente de desarrollar y adoptar nuevas estrategias de protección de cultivos que sean más sostenibles desde un punto de vista económico, social y medioambiental, y evitar así la dependencia excesiva del uso de fungicidas para el control de enfermedades de origen fúngico tan devastadoras como el oídio.

Perspectivas de futuro: fungicidas basados en ARNi

A este respecto, el descubrimiento del ARN interferente (ARNi) entre reinos, un mecanismo de comunicación en el que pequeñas moléculas de ARN se transfieren bidireccionalmente durante la interacción planta-patógeno con objeto de regular la expresión génica a nivel postranscripcional (Cai *et al.*, 2018), alentó el planteamiento de un nuevo enfoque de protección de cultivos mediado por ARNi, el denominado silenciamiento génico inducido por pulverización o SIGS (de sus siglas en inglés, *spray-induced gene silencing*), basado en la aplicación directa

sobre la superficie foliar del cultivo de moléculas de ARN de doble cadena (ARNdc), dirigidas a genes fúngicos esenciales y/o relacionados con el proceso de infección, a fin de “silenciar” la expresión de dichos genes mediante el mecanismo del ARN interferente e inhibir así el desarrollo fúngico y el establecimiento de la enfermedad (Niu *et al.*, 2021).

En los últimos años, este enfoque mediado por ARNi se ha posicionado como una estrategia prometedora para el control eficaz de una amplia gama de enfermedades causadas por hongos, como las producidas por *Colletotrichum truncatum* en soja, *Fusarium asiaticum* en trigo, *Fusarium graminearum* y *Magnaporthe oryzae* en cebada, *Fusarium oxysporum* en tomate, *Rhizoctonia solani* en maíz, *Sclerotinia sclerotiorum* en colza e incluso *Botrytis cinerea* en diversos cultivos de interés agronómico; llegando incluso a reducir considerablemente el uso de fungicidas químicos convencionales. Asimismo, en un estudio reciente se demostró el potencial de SIGS como alternativa al control químico para combatir el oídio de las cucurbitáceas de forma sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Ruiz-Jiménez *et al.*, 2021); constituyendo así un primer paso hacia el desarrollo de una nueva generación de fungicidas basados en ARNi.

No obstante, a pesar de este progreso sustancial, en términos generales, y en el caso particular del oídio de las cucurbitáceas, aún deben abordarse ciertos factores, como la estabilidad del ARNdc, los posibles efectos fuera del organismo diana o la competitividad económica de SIGS frente al uso de fungicidas químicos convencionales, para lograr el uso comercial de SIGS y, poder así, implementar este enfoque mediado por ARNi como una nueva estrategia de protección de cultivos en un sector agrícola cada vez más cambiante y sostenible.

Bibliografía

Queda a disposición del lector interesado en el correo electrónico: redaccion@editorialagricola.com