



Núm. 405

Octubre 2017

Depósito Legal: V-2869-1981 / ISSN 0211-2728

Resistencia a fungicidas en el oídio de cucurbitáceas

El oídio es una de las enfermedades fúngicas más importantes de los cultivos de cucurbitáceas, debido a las grandes pérdidas económicas que conlleva. La estrategia más empleada para combatirlo es el control químico, concretamente los fungicidas sistémicos. Sin embargo, el uso incorrecto de este tipo de control puede provocar la selección de cepas de oídio resistentes a los fungicidas que se estén empleando. Se realizaron estudios de resistencia en aislados de oídio provenientes del sur de España para varias materias activas de 4 grupos distintos de fungicidas. En el caso de las estrobilurinas, se observaron aislados resistentes para el azoxistrobin, kresoxim-metil y trifloxistrobin, además de resistencia cruzada. No se encontraron aislados resistentes al miclobutanil, pero sí un perfil de resistencia cuantitativo al triadimenol y fenarimol, para los inhibidores de la biosíntesis de esteroides. No se detectaron aislados resistentes al quinoxifen ni al bupirimate, aunque sí al metil tiofanato. La resistencia a los diferentes grupos es muy variada entre las zonas de producción estudiadas, existiendo altos niveles de resistencia a los fungicidas QoI en Murcia, Córdoba y Ciudad Real, y a los inhibidores de la biosíntesis de esteroides, en concreto el fenarimol, en Almería y Badajoz.

PALABRAS CLAVE: cucurbitáceas, oídio, *Podosphaera xanthii*, resistencia, fungicidas.

A. Vielba-Fernández¹, D. Fernández-Ortuno^{1,2}, A. de Vicente², A. Pérez-García², J.A. Torés¹

¹ Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea "La Mayora". Universidad de Málaga. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IHSM-UMA-CSIC). Estación Experimental "La Mayora". Algarrobo-Costa (Málaga).

² IHSM-UMA-CSIC. Dpto. de Microbiología. Facultad de Ciencias. Málaga.

El cultivo de las cucurbitáceas posee una gran importancia en España. En el año 2016, se cultivaron más de 60.000 hectáreas, de las cuales el 50% se encuentran en Andalucía. Los cultivos más extendidos en España son el melón y la sandía, con 20.686 y 19.156 hectáreas en 2017, respectivamente (Anónimo 2017).

Dentro de las enfermedades fúngicas que afectan a las cucurbitáceas, el oídio o ceniza es una de las más importantes, tanto al aire libre como en invernadero. Presenta síntomas muy característicos basados en la aparición de manchas blanquecinas de aspecto pulverulento que, conforme va avanzando la enfermedad, se van uniendo hasta cubrir la superficie de la hoja y otras partes de la planta (**Fig. 1**). Esto genera grandes pérdidas económicas al disminuir la capacidad fotosintética, y provocan la muerte de la hoja, malformaciones, disminuciones en su contenido de azúcar, aumento de los costes derivados de su control, etc.

El oídio es un hongo biotrofo epifítico, lo que significa que crece sobre la superficie de la hoja, en el exterior de la planta, y requiere de un huésped vivo para desarrollarse. Cuando una espora se deposita sobre la hoja de una planta compatible, germina. A partir de esta espora empezará a crecer un tubo germinativo, que luego formará una hifa, que es una fila de células envueltas por una pared celular de quitina; el conjunto de hifas recibe el nombre de micelio, que constituye el cuerpo del hongo. Para fijarse a la epidermis se forman unas estructuras conocidas como apresorios. Las hifas superficiales forman unas estructuras que penetran en la planta y forman lo que se llaman haustorios, órganos especializados en absorber nutrientes. El hongo desarrolla el micelio repitiendo el proceso de formación de hifas, apresorios y haustorios y se extiende por la superficie de la planta. Cinco días después de la infección a una temperatura ambiental de 22 °C, los conidióforos emergen de las hifas en forma vertical (**Fig. 2**). En su extremo se forman

varias esporas ovaladas en cadena que se dispersan por medio del viento y completan el ciclo de vida del oídio (Pérez-García *et al.*, 2009). Esta enfermedad puede ser producida por dos especies de hongos, *Podosphaera xanthii* o *Golovinomyces orontii*; sin embargo, en la mitad sur de España sólo se ha identificado a *P. xanthii* como agente causal desde hace 20 años, igual que ha ocurrido en el norte de África, Israel y EEUU.

Para poder controlar esta enfermedad existen distintas estrategias:

- Control por mejora genética.

Se basa en el empleo de variedades resistentes a las diferentes razas de oídio que atacan a cucurbitáceas, mejorando el rendimiento del cultivo y retrasando la aparición de la enfermedad. Sin embargo, esto no garantiza un cultivo libre de oídio ya que a largo plazo estamos seleccionando razas del hongo capaces de vencer el gen de resistencia.

- **Control biológico.** Se frena el desarrollo del patógeno mediante el empleo de organismos vivos que actúan como agentes antagonistas. Pueden competir por el mismo nicho o nutrientes, producir compuestos antifúngicos, parasitar al oídio o incluso inducir la propia resistencia de la planta. El principal inconveniente radica en las condiciones ambientales concretas que necesitan los agentes del control biológico para actuar.

- **Control químico.** El empleo de fungicidas es la estrategia más empleada en el oídio en cucurbitáceas, controlándose a *P. xanthii* con aplicaciones a lo largo del cultivo. El oídio se desarrolla externamente en la superficie de la planta, actuando el fungicida con gran eficacia al poder entrar en contacto directo con las hifas. Sin embargo, *P. xanthii* es un organismo muy propenso a desarrollar resistencia a estos productos (Anónimo 2013).

Los fungicidas se pueden clasificar como fungicidas de contacto o sistémicos. Los fungicidas de contacto actúan directamente en el patógeno en distintos puntos de actuación, dificultando así la aparición de resistencia. Suelen ser muy efectivos como preventivos en los puntos de entrada del patógeno. Los fungicidas sistémicos son absorbidos por la planta y translocados a otras partes de la misma. Su modo de acción se centra en puntos específicos del metabolismo del oídio, por lo que la aparición de resistencia es muy frecuente. Sin embargo, como el oídio es un patógeno epifítico, los dos tipos de fungicidas actúan directamente sobre él. Por tanto, hablaremos de los distintos fungicidas de acuerdo a su modo de acción:

Fungicidas multisitio. Poseen un amplio espectro de acción, no un modo específico. Tienen un riesgo bajo de aparición de resistencia y no se ha descrito resistencia cruzada entre distintos grupos. Estos fungicidas se deben emplear con precaución en invernadero y evitar las horas de más calor. El azufre y el mancozeb

(grupo de los ditiocarbamatos) son ejemplos de fungicidas de este tipo.

Inhibidores de la respiración (fungicidas Qol). Estos fungicidas de origen natural derivan del ácido β -metoxiacrílico producido por hongos basidiomicetos. Están formados por las estrobilurinas (la clase más numerosa), la fenamidona y la famoxadona, todos con el mismo mecanismo de acción. Las estrobilurinas fueron introducidas en el mercado en 1996, siendo uno de los fungicidas agrícolas más vendidos en todo el mundo. En España hay 4 fungicidas Qol (estrobilurinas) registrados contra el oídio de las cucurbitáceas, los cuales son: azoxistrobin, kresoxim-metil, trifloxistrobin y piraclostrobin. Inhiben la germinación de esporas, el crecimiento micelial y la esporulación. Tienen el inconveniente que la resistencia a estos fungicidas es cruzada; esto quiere decir que la cepa del hongo que resiste a uno de ellos, es también resistente a todos los demás (Fernández-Ortuño *et al.*, 2008).

Inhibidores de la demetilación de esteroides (fungicidas DMI). Se empezaron a emplear en la década de los sesenta tanto en medicina, por su baja toxicidad para los mamíferos, como en agricultura. Este grupo es una de las clases más potentes disponibles, siendo nueve de las veinticuatro sustancias activas recogidas en el Registro Oficial de Productos Fitosanitarios para su uso frente al oídio de cucurbitáceas. Estos nueve fungicidas son: ciproconazol, difenoconazol, fenbuconazol, flutriafol, miclobutanil, penconazol, tebuconazol, tetraconazol y triadimenol y no se ha observado resistencia cruzada (López-Ruiz *et al.*, 2010).

Metil benzimidazol carbamatos (fungicidas MBC). Fueron los primeros fungicidas sistémicos de diana única y los primeros en reportarse aislados resistentes, poco después de su introducción en los años 60. Su modo de acción se basa en la inhibición de la síntesis de β -tubulina, impidiendo la división celular. Su riesgo de aparición de resistencia es alto y la única materia activa registrada es el metil tiofanato.

Aza-naftalenos. La única materia activa registrada en España es el quinoxifén. Se sabe que este grupo de acción afecta a la transducción de señal durante la germinación del oídio, pero el sitio de acción exacto es desconocido. Poseen un riesgo medio de aparición de resistencia.

Hidroxi-(2-amino-) pirimidinas. Estos fungicidas inhiben la síntesis de ácidos nucleicos y poseen un riesgo medio de aparición de resistencia. La única sustancia activa registrada es el bupirimato.

Con una colección de aislados monospóricos, realizada a lo largo de varias campañas de muestreo y de diferentes localidades y hospedadores, se analizaron los niveles de resistencia a diferentes materias activas. Se calcularon tres parámetros: concentración mínima inhibitoria (CMI), la concentración efectiva 50 (EC₅₀) y el factor de resistencia (FR). La CMI es la concentración mínima de fungicida a la que se inhibe el crecimiento y depende de cada individuo. La EC₅₀ es la dosis que inhibe el crecimiento de la población al 50%, la más usada al representar una característica del fungicida. El FR es el cociente entre el valor EC₅₀ de los aislados resistentes y el valor EC₅₀ de los aislados sensibles. Si el FR es igual a 2, esto significa que habrá que incrementar el doble la concentración de los fungicidas para que actúe en los aislados resistentes. De este modo se analizaron las siguientes materias activas: azoxistrobin, kresoxim-metil y trifloxistrobin (Qol); fenarimol, triadimenol y miclobutanil (DMI); metil tiofanato, (MBC), bupirimato (hidroxi-(2-amino-) pirimidinas) y quinoxifén (aza-naftalenos).

Para el caso de las estrobilurinas, se detectaron aislados con una resistencia de tipo cualitativa (poblaciones sensibles y tolerantes claramente diferenciadas). Además, se observó resistencia cruzada entre los tres fungicidas, de tal manera que la resistencia a uno de ellos también se encontraba en los otros dos (Fernández-Ortuño *et al.*, 2006). El caso de los DMI fue más variable: en presencia

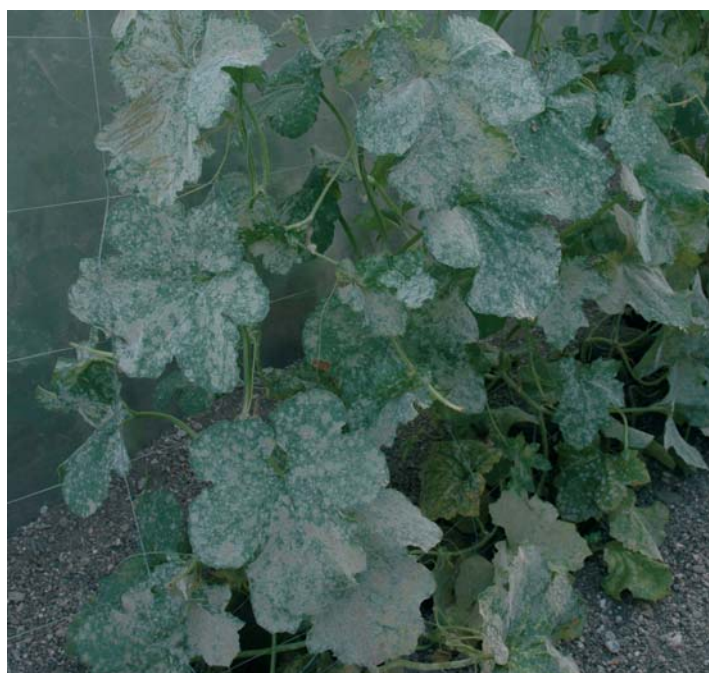


Figura 1. Planta de melón con un fuerte ataque de *Podosphaera xanthii*.

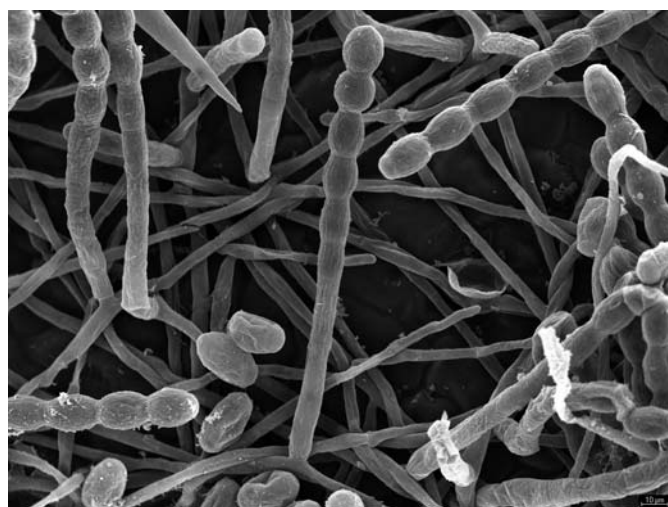


Figura 2. Fotografía de microscopía electrónica de barrido en la que se observa el micelio de *Podosphaera xanthii*, conidios y conidióforos.

de fenarimol se observaban un conjunto de aislados sensibles, otro con diversos niveles de tolerancia y un grupo de aislados resistentes, presentándose un perfil de resistencia de tipo cuantitativo. El triadimenol siguió un patrón ligeramente similar al fenarimol pero con una mayor presencia de los aislados sensibles y no se detectaron aislados resistentes al miclobutanil (López-Ruiz *et al.*, 2010).

El metil tiofanato, al pertenecer a la primera familia de fungicidas comercializada, los MBC, presentó un alto nivel de resistencia en los aislados analizados. A bupirimato la frecuencia de resistencia fue muy baja; sin embargo para quinoxifén no se detectaron cepas resistentes (Bellón-Gómez *et al.*, 2015).

Se analizó la distribución de las resistencias a estos fungicidas del sur de España (Almería, Badajoz, Ciudad Real, Córdoba, Murcia, Valencia y Málaga, concretamente). En la **Tabla 1** vienen representados datos parciales obtenidos en una serie de años y zonas de muestreo diversas con el fin de ilustrar la situación del desarrollo de resistencia a las materias activas estudiadas.

Tabla 1. Número de aislados resistentes frente al número de aislados totales observados en poblaciones de *P. xanthii* en 7 áreas diferentes del sur de España y en dos periodos de muestreo.

Provincia	2002-2004				2002-2011		
	Fungicidas QoI	Triadimenol	Fenarimol	Miclobutanil	Bupirimato	Quinoxifén	Metil tiofanato
Almería	7/67*	11/68	33/68	0/68	0/58	0/58	58/58
Badajoz	0/35	2/35	11/35	0/35	0/40	0/40	35/40
Ciudad Real	17/39	0/39	1/39	0/39	1/56	0/56	56/56
Córdoba	20/39	0/39	3/39	0/39	0/5	0/5	5/5
Murcia	34/46	5/44	9/44	0/44	2/64	0/64	58/64
Valencia	3/24	0/25	0/25	0/25	0/6	0/6	6/6
Málaga	-	-	-	-	0/8	0/8	8/8

* a/b indica aislados resistentes / aislados totales.

AFEPASA
PALLARÈS SULPHUR
SINCE 1893

**Soluciones
integrales
para combatir
oídio en
cucurbitáceas.**

**125
AÑOS**
ESPECIALISTAS
EN AZUFRE

- Azufre Micronizado 98,5 % y 80% DP
- Azufre mojabable 80% WG
- Azufre líquido 80% SC
- Azufre 80% + Ciproconazol 0,8% WG
- Azufre 80% + Permanganato potásico 0,5% DP
- Azufre 60% + Oxiclورو de cobre 4% DP

En ella observamos la gran resistencia que existe frente al metil tiofanato, el cual será retirado del mercado en el año 2017 (Bellón-Gómez *et al.*, 2015). El triadimenol presenta niveles algo superiores (alrededor del 15%) en Almería y Murcia. Para el caso del fenarimol, el cual no se comercializa ya, los niveles más superiores, del 30-50%, se encuentran en Almería y Badajoz, seguidos de Murcia con un 20,4% (López-Ruiz *et al.*, 2010). Los fungicidas QoI presentan niveles muy altos de resistencia, con un 70%, en Murcia, 51% en Córdoba y 43,6% en Ciudad Real (Fernández-Ortuño *et al.*, 2006). Para resto de materias activas (miclobutanil, bupirimato y quinoxifén) no se han observado aislados resistentes, siendo por ello buenas candidatas a la hora de planificar un control químico del oídio (Bellón-Gómez *et al.*, 2015) (López-Ruiz *et al.*, 2010). Es interesante destacar la diferencia de resistencia a la misma sustancia activa en las diferentes regiones estudiadas, debido al uso preferente de unas sobre otras. Por ejemplo, mientras que los fungicidas QoI ya no son una opción para el control del oídio en Murcia, con 34 aislados resistentes de 46 aislados totales, en Almería aún siguen siendo viables debido a la poca presencia de resistencia detectada (7 aislados de 67 totales).

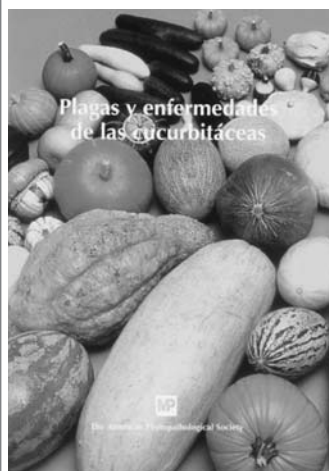
Como acabamos de observar, el uso incorrecto de un fungicida puede provocar la aparición de resistencia al mismo. Para evitar esta situación, a continuación, daremos unas pautas a

tener en cuenta a la hora de planificar el tipo de control que queremos aplicar en el cultivo (Delp, 1988):

1. *Emplear un control integrado que incluya métodos no químicos*. El uso de variedades resistentes, agentes de control biológico, prácticas culturales como la rotación de cultivos, además de los fungicidas, es un buen método de reducción de la resistencia.
2. *Emplear las dosis recomendadas en el producto*. Las dosis subletales, incluso en mezclas, favorecen la aparición de resistencia.
3. *No usar exclusivamente un grupo de fungicidas con el mismo modo de acción*. Es aconsejable emplear al menos tres mecanismos de acción distintos en el control. Si se necesita emplear un fungicida con un alto riesgo de desarrollo de resistencia, emplearlo una única vez en la temporada y preferentemente mezclado con un fungicida multisitio.
4. Restringir el número de tratamientos aplicados por temporada, y aplicarlos únicamente cuando sea estrictamente necesario. Emplear otros fungicidas con distintos modos de acción antes y después.

REFERENCIAS

- Anónimo.** 2013. Pathogen risk list of the Fungicide Resistance Action Committee (FRAC; http://www.frac.info/docs/default-source/publications/pathogen-risk/pathogen-risk-list.pdf?sfvrsn=669d419a_8).
- Anónimo.** 2017. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Estadística agraria (<http://www.fao.org/statistics/es/>).
- Bellón-Gómez D., Vela-Corcía D., Pérez-García A., & Torés J. A.** 2015. Sensitivity of *Podosphaera xanthii* populations to anti-powdery-mildew fungicides in Spain. *Pest Management Science*, 71: 1407-1413.
- Delp C.J.** 1988. Strategies for preventing or delaying the onset of resistance to fungicides and for managing resistance occurrences. Fungicide Resistance in North America. St. Paul, Minnesota: APS Press. Capítulo 6 página 14.
- Fernández-Ortuño D., Pérez-García A., López-Ruiz F., Romero D., De Vicente A., & Torés J. A.** 2006. Occurrence and distribution of resistance to QoI fungicides in populations of *Podosphaera fusca* in south central Spain. *European Journal of Plant Pathology*, 115 : 215-222.
- Fernández-Ortuño D., Torés J.A., De Vicente A., & Pérez-García A.** 2008. Mechanisms of resistance to QoI fungicides in phytopathogenic fungi. *International Microbiology*, 11:1-9.
- López-Ruiz F.J., Pérez-García A., Fernández-Ortuño D., Romero D., García E., de Vicente A., & Torés J.A.** 2010. Sensitivities to DMI fungicides in populations of *Podosphaera fusca* in south central Spain. *Pest Management Science*, 66: 801-808.
- Pérez-García A., Romero D., Fernández-Ortuño D., López-Ruiz F., De Vicente A., & Torés J. A.** 2009. The powdery mildew fungus *Podosphaera fusca* (synonym *Podosphaera xanthii*), a constant threat to cucurbits. *Molecular Plant Pathology*, 10: 153-160.



Plagas y enfermedades de las cucurbitáceas

Autor: The American Phytopathological Society. 88 pag. (2004)

INDICE: Introducción. ENFERMEDADES INFECCIOSAS. Enfermedades fúngicas de las partes subterráneas. Fusariosis. Enfermedades fúngicas de las partes aéreas. Enfermedades causadas por bacterias. Enfermedades causadas por un fitoplasma. Enfermedades causadas por virus. Podredumbres precosecha y postcosecha del fruto. Enfermedades causadas por nematodos. Plantas parásitas de las semillas. DESORDENES NO INFECCIOSOS. Desórdenes fisiológicos. Daños causados por artrópodos. Insectos. ENFERMEDADES DE ETIOLOGÍA INDETERMINADA. MANEJO POSTCOSECHA. IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO DE DIVERSAS ENFERMEDADES DE CUCURBITACEAS CON UNA LUPA. GLOSARIO. ÍNDICE ALFABÉTICO. FOTOS EN COLOR.

P.V.P. 24 €- IVA Incluido (+ gastos de envío).
EDICIONES L.A.V., S.L. Tel.: 96/ 372 02 61 - pedidos@edicioneslav.com