



El control de las enfermedades de poscosecha y las alternativas a los fungicidas químicos convencionales

Lluís Palou

Laboratori de Patologia, Centre de Tecnologia Postcollita (CTP)-Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA)

1. Análisis de la situación actual

1.1. Las principales enfermedades de poscosecha de los cítricos en España

Las pérdidas económicas ocasionadas por las patologías de poscosecha constituyen uno de los principales problemas del sector de los cítricos en España. La gran mayoría de las enfermedades que se producen desde que los frutos son recolectados hasta que llegan al consumidor son debidas a hongos patógenos causantes de podredumbres. Las pérdidas provocadas por las enfermedades son muy variables y dependen del área productora, la especie y el cultivar, la edad y el estado de los árboles, las condiciones climatológicas durante toda la campaña, la época y la forma de recolección, el manejo de los frutos en poscosecha, las condiciones de almacenamiento y el mercado de destino.

En general, las enfermedades de poscosecha de los cítricos se clasifican en dos grupos diferentes según el momento predominante de la infección: a) enfermedades causadas por infecciones que tienen lugar antes de la cosecha y permanecen latentes o inactivas hasta después de la recolección y b) enfermedades causadas por infecciones que tienen lugar durante o después de la cosecha. Los hongos causantes de las primeras se denominan genéricamente patógenos latentes o quiescentes y los que originan las segundas son los llamados patógenos de herida.

En las condiciones ambientales españolas, con veranos poco lluviosos, destacan las pérdidas producidas por patógenos de herida estrictos como *Penicillium digitatum* o *Penicillium italicum*, causantes respectivamente de las podredumbres verde y azul (Figura 1a). La incidencia de estas

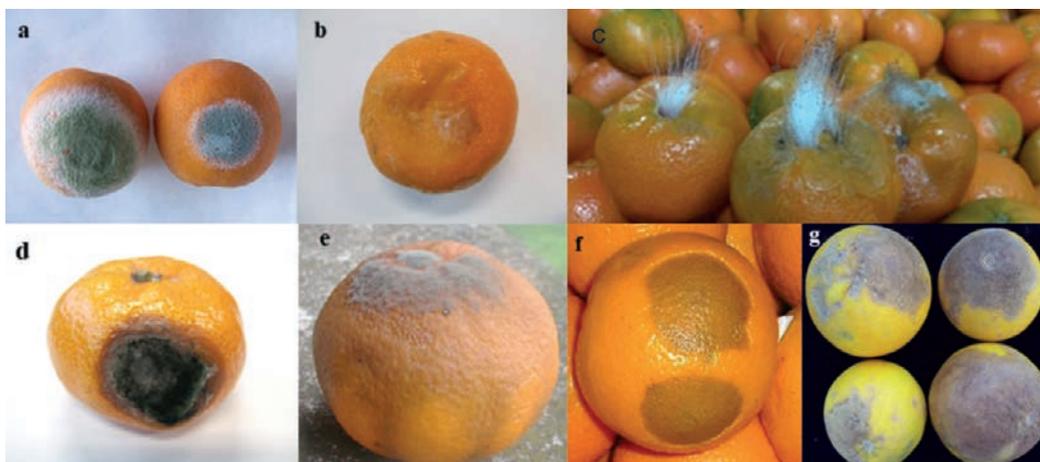


podredumbres es general y elevada (normalmente más del 80 % del total de pérdidas por podridos) y, por tanto, constituyen el eje básico de cualquier estrategia de control de enfermedades de poscosecha de cítricos. La infección del fruto tiene lugar a través de heridas o microheridas producidas en la corteza antes, durante o después de la recolección. Otras podredumbres de herida, que ocasionalmente pueden ser importantes, son la ácida o amarga, causada por *Geotrichum citri-aurantii* (Figura 1b) y la podredumbre por Rhizopus (*Rhizopus stolonifer*) (Figura 1c), que en almacenamientos a temperaturas altas puede causar nidos devastadores de podrido.

Entre las podredumbres de poscosecha causadas por patógenos latentes destacan la podredumbre negra (causada por *Alternaria alternata*) (Figura 1d), la gris (causada por *Botrytis cinerea*) (Figura 1e), la marrón (causada por *Phytophthora citrophthora*) (Figura 1f), la antracnosis (causada por *Colletotrichum gloeosporioides*) (Figura 1g) y otras, cuya incidencia es mucho menor y únicamente pueden resultar importantes económicamente en campañas, zonas o condiciones concretas. Contrariamente a lo que sucede en zonas cítricas más húmedas como Florida o Brasil, la incidencia en España de las podredumbres pedunculares (*Lasioidiplodia theobroamae*, *Phomopsis citri*) es muy baja.

Figura 1.

Podredumbres verde (izquierda) y azul (derecha) en naranja causadas respectivamente por los hongos *Penicillium digitatum* y *Penicillium italicum* (a). Podredumbre ácida en mandarina causada por *Geotrichum citri-aurantii* (b). Nido de podrido en mandarinas causado por *Rhizopus stolonifer* (c). Podredumbre negra en mandarina causada por *Alternaria alternata* (d). Podredumbre gris en naranja causada por *Botrytis cinerea* (e). Podredumbre marrón en naranja causada por *Phytophthora citrophthora* (f). Antracnosis en naranjas desverdizadas causada por *Colletotrichum gloeosporioides* (g)



La incidencia de cualquier enfermedad fúngica depende de una serie de factores epidemiológicos que influyen decisivamente en el ciclo de vida del patógeno y que pueden esquematizarse en el llamado triángulo de enfermedad (Figura 2). Los vértices de este triángulo los constituyen el hongo patógeno, el fruto huésped y las condiciones ambientales. La temperatura y la humedad ambiental determinan, por un lado, la producción y diseminación del inóculo fúngico y la contaminación del fruto y, por otro, la susceptibilidad del fruto contaminado a ser infectado y colonizado. Esto último depende además de factores intrínsecos del propio patógeno, del propio fruto y de su interacción.

En nuestras condiciones, cualquier programa de control de enfermedades de poscosecha de cítricos debe establecer como prioritario, por su importancia económica, el control efectivo de las podredumbres verde y azul causadas por *P. digitatum* y *P. italicum*, respectivamente. En la Figura 2 se ha particularizado el triángulo de enfermedad con fotografías para el caso de la podredumbre verde. Este triángulo determina el ciclo de vida de *P. digitatum*, que en el caso de condiciones ambientales óptimas se ilustra en la Figura 3. Aunque con algunas diferencias, el de *P. italicum* resulta muy similar. La infección del fruto por parte de estos patógenos tiene lugar exclusivamente a través de heridas producidas en la piel, bien mientras los frutos permanecen maduros en el árbol, bien durante la recolección y posterior manipulación. La fuente de inóculo puede encontrarse en el campo, en la central cítrica o en cualquiera de los canales de distribución y venta de la fruta. El inóculo son esporas (conidios) que se producen muy rápidamente y en cantidades masivas en el fruto colonizado y se diseminan muy fácilmente por corrientes de aire, aunque sean débiles. Una nueva generación del hongo se completa tras unos 7-8 días de incubación del fruto infectado a temperaturas óptimas (20-25 °C). Este hecho también contribuye decisivamente a la relativa facilidad con que estos patógenos desarrollan cepas resistentes a los fungicidas. Durante toda la campaña, prácticamente la totalidad de la fruta llega a los almacenes contaminada en mayor o menor medida. A temperatura ambiente, *P. digitatum* suele prevalecer sobre *P. italicum* porque crece más deprisa.

Figura 2.
Triángulo de enfermedad

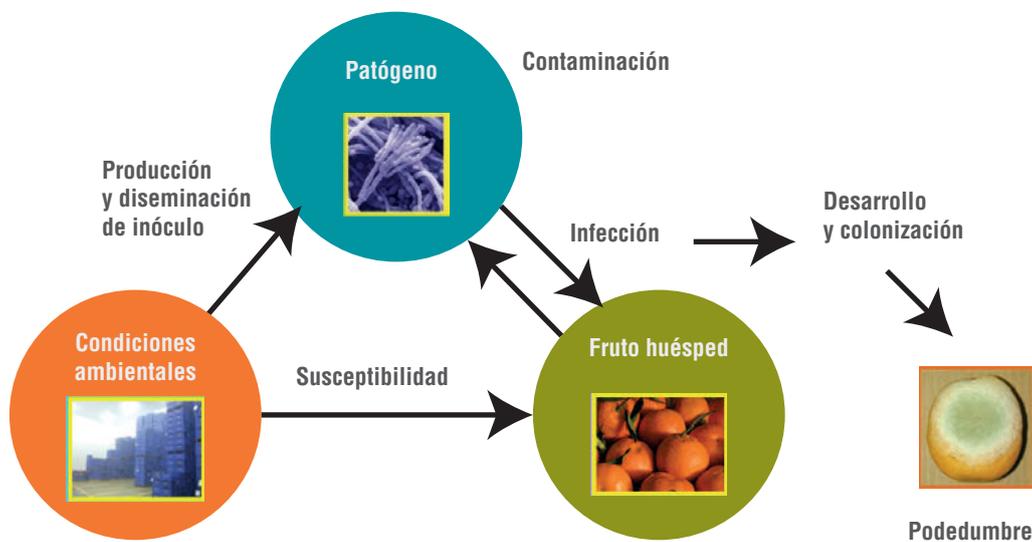
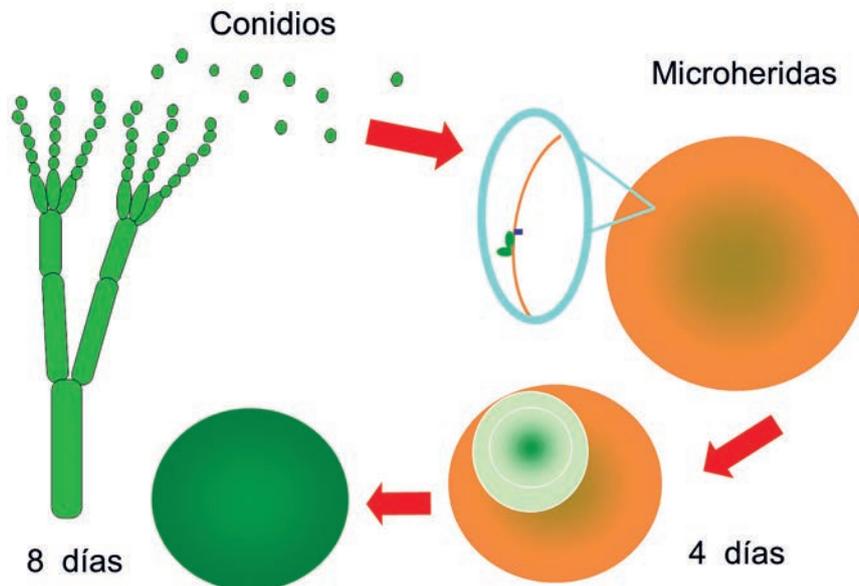




Figura 3.
Ciclo biológico de *Penicillium digitatum*



En el almacén, la fruta sana que ha sido lavada o tratada puede contaminarse fácil e intensamente a partir de muy pocos frutos podridos y esporulados. Esto también puede ocurrir en las cámaras de conservación, puesto que tanto *P. digitatum* como *P. italicum* son capaces de crecer lentamente a temperaturas inferiores a los 5 °C. En cámaras frigoríficas *P. italicum* suele prevalecer sobre *P. digitatum* porque está más adaptado al crecimiento a temperaturas inferiores a los 10 °C. La infección se produce cuando se contaminan heridas de la corteza, que rompen glándulas de aceite esencial o afectan el albedo, y suele ser visible (pequeñas lesiones circulares bien definidas de piel blanda y decolorada) a partir de los 2 días a temperatura ambiental. El hongo crece de forma radial, formando micelio aéreo blanco que aproximadamente a los 4 días ya puede empezar a esporular, adquiriendo la típica tonalidad verde en el caso de *P. digitatum* o azul en el de *P. italicum* (Figura 1a).

Debido a esta vía de infección debe cosecharse en el período adecuado, siempre con tiempo seco y de forma extremadamente cuidadosa, evitando golpes y heridas. El estado de madurez del fruto en el momento de la recolección también es importante porque influye en la resistencia natural a las enfermedades, que de forma general disminuye a medida que el fruto madura.

1.2. El control de podredumbres con fungicidas químicos convencionales

Los fungicidas de síntesis autorizados para su uso en poscosecha de cítricos en España y en el resto de la Unión Europea (UE) están regulados por el Reglamento (CE) 1107/2009, que deroga la Directiva 91/414/CEE. La Tabla 1 refleja el estado actual de los fungicidas que se pueden aplicar y comercializar en la Unión Europea (UE) en poscosecha de cítricos, con los correspondientes límites máximos de residuos (LMR) en fruta.



Tabla 1.
Fungicidas y límites máximos de residuos (LMR) autorizados en la Unión Europea para el tratamiento en poscosecha de frutos cítricos

Fungicida	Inclusión	Caducidad	LMR (mg/kg)
Imazalil ^a	01/01/2012	31/12/2021	5
Propiconazol ^b	01/06/2004	-	9 (naranja) 5 (mandarina, pomelo y limón)
Fosetil-AI	01/05/2007	30/04/2020	75
Ortofenilfenol	01/01/2010	31/12/2021	5
Procloraz	01/01/2012	31/12/2021	10
Pirimetanil	01/06/2007	30/04/2020	8
Metiltiofanato	01/03/2006	31/10/2019	6
Tiabendazol	01/04/2017	31/03/2032	7
Fludioxonil	01/11/2008	31/10/2019	10

^a Nuevo LMR de 4 mg/kg para naranja y pomelo a partir de marzo de 2020. Para mandarina y limón se mantiene en 5 mg/kg.

^b No renovación aprobada en octubre de 2018; máximo período de gracia hasta marzo de 2020.

La aplicación de fungicidas en la central cítrica se realiza mayoritariamente como disolución acuosa a las dosis autorizadas mediante el sistema de ducha (dréncher) tras la recepción de la fruta de campo o bien en balsas o en duchas en la línea de confección. Además, fungicidas como el ortofenilfenol (OPP), imazalil (IMZ) y tiabendazol (TBZ) se pueden aplicar incorporados en ceras, recubriendo la fruta. Algunas materias activas como el IMZ también pueden aplicarse en forma gaseosa mediante botes fumígenos. Las dosis empleadas varían según la forma de aplicación y se fijan en el proceso de registro tras rigurosos estudios de eficacia, y siempre teniendo en cuenta la salud del consumidor y la preservación del medioambiente.

Entre los fungicidas efectivos contra las podredumbres verde y azul destaca por su elevada efectividad y por su actividad tanto curativa y preventiva como antiesporulante, el IMZ, cuyo LMR en la UE se ha revisado recientemente y, aunque se ha mantenido en el caso de mandarina y limón, se ha bajado de 5 a 4 ppm en el de naranja y pomelo (Tabla 1). Otros productos están registrados para su uso contra otras enfermedades, como el Fosetil-AI contra la podredumbre marrón o el propiconazol contra la podredumbre ácida o amarga –únicamente disponible hasta marzo de 2020– (Tabla 1).

Los tratamientos con fungicidas convencionales son típicamente persistentes, con acción curativa frente a infecciones fúngicas establecidas y preventiva frente a posibles infecciones posteriores a la aplicación. Además, algunos presentan acción antiesporulante, que contribuye decisivamente a romper los ciclos de infección en las centrales cítricas. Su efectividad depende de la dosis y del modo de aplicación y, por lo general, es elevada. En España las aplicaciones habituales no sobrepasan los LMR establecidos por la legislación europea.

Sin embargo, la aplicación masiva y continuada de fungicidas químicos en las centrales cítricas está teniendo los siguientes efectos negativos:



- Produce inquietudes en la opinión pública por la generación de un exceso de residuos químicos.
- Aumento de los costes debido a la obligatoriedad del tratamiento de los caldos residuales para evitar la liberación de residuos químicos al medioambiente.
- Proliferación de cepas patogénicas resistentes que reduce o anula la eficacia de los tratamientos.

Por otro lado, aumenta considerablemente el volumen de los mercados de producto ecológico, orgánico o 'verde' en los que se exige no solo la ausencia total de residuos químicos en el producto final sino también la prohibición del uso de fungicidas convencionales durante todo el ciclo de producción.

Paralelamente, importantes supermercados o cadenas alimentarias europeas están exigiendo unilateralmente a los productores el cumplimiento de criterios propios más restrictivos que los LMR establecidos por la legislación. Además, se limita arbitrariamente el número máximo de sustancias activas presentes en la fruta. Se trata de limitaciones no reguladas, independientes en muchos casos de los protocolos de buenas prácticas agrícolas, que suponen una privatización de las políticas de seguridad alimentaria que causan gran confusión e inconveniente a los exportadores.

Adicionalmente, la introducción de nuevos fungicidas de poscosecha en el mercado es muy limitada, puesto que a las empresas fabricantes les resulta poco rentable el desarrollo y registro de nuevas materias activas. Se trata de un proceso muy largo y costoso en comparación con el tamaño relativo del mercado de la poscosecha de fruta fresca.

2. Escenario futuro

La problemática descrita del control químico convencional, tanto a nivel legal como comercial, social y técnico, establece un nuevo paradigma para el futuro cercano y hace evidente la necesidad de encontrar alternativas para el control de enfermedades de poscosecha de cítricos. Los tratamientos antifúngicos de poscosecha no contaminantes alternativos a los fungicidas químicos convencionales pueden ser físicos, químicos de bajo riesgo o biológicos. Siendo no contaminantes, son también poco tóxicos y su actividad es más fungistática que fungicida, por lo cual su efectividad y persistencia son en general limitadas. Por ello, su implementación debe encuadrarse en una estrategia más amplia de control que, en cada caso particular, la coadyuve para minimizar las pérdidas económicas ocasionadas por las enfermedades.

2.1. El control integrado no contaminante de enfermedades de poscosecha (CINCEP)

Esta estrategia, que podemos denominar 'control integrado no contaminante de enfermedades de poscosecha' (CINCEP), implica prestar toda la atención a los factores de precosecha (cultivar,



condiciones climatológicas y de parcela, manejo en campo...), cosecha (momento y modo) y poscosecha (tratamientos antifúngicos no contaminantes, higienización de centrales, diseño de instalaciones, manejo en las líneas de confección, condiciones de conservación y comercialización, mercado de destino...) definatorios del triángulo de la enfermedad y, por tanto, determinantes en cada caso particular de la cantidad, calidad y diseminación del inóculo fúngico, de las vías de infección, de la resistencia de los frutos a la infección y de las condiciones de desarrollo de la podredumbre.

Entre las actuaciones en poscosecha, por supuesto, la más importante es la implementación de tratamientos antifúngicos alternativos. A continuación, se describen los principales en función de su naturaleza.

2.2. Métodos de control alternativos a los fungicidas convencionales

2.2.1. Métodos de control físicos

El calor o las irradiaciones son tratamientos antifúngicos que pueden aplicarse con la finalidad de reducir la incidencia de podredumbres durante la poscosecha. Otros tratamientos físicos no ejercen por sí mismos una actividad fungicida, pero sí una acción fungistática de inhibición o retraso del crecimiento de los patógenos. Este es el caso de la conservación frigorífica o en atmósferas controladas. Además, el almacenamiento en estas condiciones ralentiza la actividad metabólica del fruto y retrasa su entrada en senescencia, ayudando así a mantener su resistencia natural a la infección.

a. Tratamientos con calor: curado y agua caliente

El curado o tratamiento con aire caliente es un procedimiento por el cual los frutos se almacenan a altas temperaturas (> 30 °C) y alta humedad ambiental (> 90 %) durante períodos de tiempo variables (1-3 días). Aunque reduce significativamente la incidencia de las podredumbres verde y azul, el curado de los cítricos no se está utilizando a nivel comercial por el elevado coste que supone calentar grandes cantidades de fruta durante varios días. Además, en casos de aplicación defectuosa, puede influir negativamente en la calidad de la fruta, produciendo pérdidas de peso excesivas o fitotoxidades.

Los tratamientos con agua caliente pueden alcanzar los efectos beneficiosos del curado con una tecnología mucho más simple, práctica y barata. Los baños de poca duración (1-5 min) en agua caliente (> 40 °C) son efectivos contra las podredumbres verde y azul y otras enfermedades de poscosecha de cítricos. Los principales factores limitantes de esta técnica son la poca persistencia del tratamiento y el estrecho margen que existe entre las temperaturas efectivas y las que causan daños irreversibles en la piel de los frutos cítricos. En general, las inmersiones a temperaturas superiores a los 53 °C resultan fitotóxicas.



El sistema *hot water rinsing and brushing* consiste en la aplicación de un cepillado de unos 10-30 s simultáneo a la aplicación de agua caliente a 55-65 °C a presión (pulverización) o sin presión (lavado tipo dréncher).

b. Irradiaciones

La radiación ionizante con rayos γ , rayos β (electrones acelerados) o rayos X se ha evaluado como posible método de control de las podredumbres causadas por *Penicillium* spp. en cítricos, por tratarse de tratamientos efectivos contra la mosca mediterránea de la fruta *Ceratitis capitata*. Estos tratamientos resultan caros y poco prácticos, puesto que se requieren instalaciones especiales. Además, las dosis necesarias para un control efectivo de las podredumbres pueden resultar fitotóxicas y manchar la piel de los frutos. Por último, las dosis efectivas pueden superar la máxima establecida por la legislación para la irradiación de frutas y hortalizas para el consumo en fresco (1 kGy). Una alternativa sería el uso de dosis inferiores en combinación con otros tratamientos complementarios como el calor o el control biológico.

La luz ultravioleta (UV) es altamente energética y puede ser fácilmente absorbida por los organismos vivos. Este principio se ha utilizado para la inactivación de esporas de *P. digitatum* y *P. italicum*. La irradiación a dosis bajas (2-8 kJ m⁻²) de luz UV lejana o de baja longitud de onda (UV-C, entre 100 y 280 nm) sobre los cítricos ya recolectados puede inducir resistencias en la piel del fruto contra diversas enfermedades de poscosecha. Este efecto, conocido como hormesis, no se consigue con luz UV de mayores longitudes de onda (UV-B y UV-A), que es más letal para los patógenos pero induce fitotoxicidades. Distintas empresas están desarrollando prototipos para la integración de forma práctica y económica de sistemas de aplicación de luz UV-C en las líneas de confección de cítricos y otros frutos.

También se han evaluado como tratamientos de poscosecha de cítricos la luz a pulsos, la radiofrecuencia y las microondas.

c. Atmósferas ozonizadas

El ozono es un gas altamente oxidante pero incapaz de controlar infecciones de *Penicillium* spp. establecidas en la piel de los frutos cítricos. Por tanto, no puede considerarse un sustituto de los fungicidas aplicados en dréncher o en la línea de confección. La ozonización continua o intermitente del ambiente de las cámaras a dosis bajas no resulta fitotóxica e inhibe de forma importante el crecimiento aéreo de micelio y la esporulación en cítricos conservados en frío, pudiéndose así reducir la carga de inóculo fúngico presente en los almacenes y evitar la proliferación de cepas patogénicas resistentes a los fungicidas. No obstante, el ozono gaseoso no puede traspasar ni plásticos, ni cartones, por lo que este efecto únicamente se consigue cuando los frutos están almacenados en envases de gran superficie abierta, como cajas o contenedores de campo. Debido a su elevado poder oxidante, el ozono puede resultar dañino para el ser humano, fitotóxico para los frutos y corrosivo para muchos materiales. Por ello es muy importante que, en el caso de que se instale un sistema de generación, se adopten las medidas de seguridad correspondientes y se controle en todo momento la concentración de gas que se genera en el interior de las cámaras frigoríficas.



2.2.2. Métodos de control químicos de bajo riesgo

Los productos químicos alternativos a los fungicidas convencionales deben ser sustancias, naturales o de síntesis, con efectos residuales sobre el medioambiente y toxicológicos sobre personas y animales bien conocidos y muy bajos.

a. Sustancias naturales

Se ha constatado a nivel experimental que un gran número de sustancias naturales presenta cierta actividad antifúngica contra hongos patógenos causantes de podredumbres en poscosecha de cítricos. Este es el caso de distintos extractos de plantas superiores, como los glucosinolatos, producidos por especies de la familia de las crucíferas, o extractos de especies de los géneros *Allium*, *Capsicum*, *Punica*, etc.

Los aceites esenciales de un número importante de especies vegetales de los géneros *Thymus*, *Origanum*, *Salvia*, *Mentha*, *Camelia*, *Myrtus*, *Rosmarinus*, *Cinnamomum*, *Acacia*, *Artemisia*, *Abies*, *Pinus*, *Lavandula*, *Eucaliptus*, etc. han sido evaluados por su capacidad fungitóxica y han sido identificados algunos de los compuestos responsables de esta capacidad, mayoritariamente componentes terpénicos. Entre ellos destacan el timol, el carvacrol, el p-anisaldehído, la L-carvona, el eugenol o la D-limonina.

Distintos componentes naturales del flavedo, preformados o inducidos (fitoalexinas), también presentan actividad antifúngica. Entre ellos destacan algunos terpenos, como el citral, y cumarinas como la limetina, la escoparona o la escopoletina. La actividad de estos metabolitos secundarios disminuye sensiblemente a medida que el fruto envejece. Algunos se han conseguido sintetizar artificialmente e incluso utilizar como tratamientos fungicidas, aunque no a escala comercial.

Ciertos compuestos aromáticos volátiles que se producen durante la maduración de algunos frutos, como el acetaldehído, el hexanal o el benzaldehído también pueden presentar actividad antifúngica.

Distintas plantas y animales pueden producir péptidos y proteínas antimicrobianas como parte de sus mecanismos naturales de defensa. Algunos de ellos, como el hexapéptido PAF19 o las proteínas quitinasa y β -1,3-glucanasa, biosintetizadas por el fruto como respuesta a un tratamiento estresante, han mostrado capacidad inhibidora de la podredumbre verde de los cítricos.

b. Aditivos alimentarios y sustancias GRAS

Los aditivos alimentarios (sustancias con número E en la legislación de la UE) y las sustancias catalogadas como GRAS (*generally recognized as safe* en la legislación de EE. UU.) son compuestos permitidos para su uso en alimentos. El principal interés para su utilización en fruta fresca radica en que no existen LMR. En general, los aditivos alimentarios con actividad antimicrobiana directa forman el grupo de los conservantes. Suelen ser ácidos y sales orgánicas o inorgánicas que pueden sintetizarse fácilmente y cuya acción contra los microorganismos es bastante específica. Entre ellos destacan los acetatos, sorbatos, benzoatos, propionatos, formatos, parabenos, etc., muchos de los cuales se han ensayado como soluciones acuosas para el control *in vivo* de *P. digitatum* en cítricos.



Destacan los resultados obtenidos con el sorbato potásico, benzoato sódico y sales sódicas de parabenos.

Existen otros aditivos no incluidos en el grupo de los conservantes que también presentan cierta capacidad directa o indirecta de inhibir el desarrollo de algunos hongos patógenos. Este es el caso de algunas sustancias clasificadas como agentes depresores de la actividad de agua y de algunos correctores de pH como los carbonatos y bicarbonatos.

En general, baños de 2-3 min en soluciones acuosas calientes (40-50 °C) de estas sales GRAS a concentraciones del 2-3 % reducen significativamente la incidencia de las podredumbres causadas por *P. digitatum* y *P. italicum*, y en la coyuntura actual algunos productos como el bicarbonato potásico o el sorbato potásico se han registrado y se están aplicando a nivel comercial por su efectividad, fácil disponibilidad, sencilla aplicación y bajo precio. No obstante, no ejercen acción preventiva y su eficacia y persistencia no igualan a las de los fungicidas convencionales, por lo cual frecuentemente se han ensayado también en combinación con otros sistemas de control. Actualmente existe un marcado interés en la evaluación de la actividad de este tipo de sales contra *G. citri-aurantii*, ya que no se dispone de fungicidas autorizados para el control de la podredumbre ácida.

c. Sustancias inductoras de resistencia

Ciertos reguladores del crecimiento, como el ácido jasmónico, metil jasmonato, ácido salicílico, ácido acetilsalicílico, acibenzolar o benzotiadiazol (BTH), ácido dicloro isonicotínico (INA) o ácido β -aminobutírico (BABA), entre otros, se han ensayado como tratamientos de poscosecha para inducir o aumentar la resistencia natural de los cítricos a las enfermedades de poscosecha, especialmente a las podredumbres verde y azul.

Algunas sales GRAS como el silicato potásico y el silicato sódico, y otros compuestos como la proteína Harpin (Messenger®), aislada a partir de la bacteria *Erwinia amylovora*, también se han ensayado con este propósito. En general, aunque puede observarse cierta mejora de la capacidad inhibidora de podredumbres, esta no es lo suficientemente sustancial para tener un posible impacto comercial ni justificar el coste y la oportunidad de la aplicación de estos tratamientos de poscosecha.

En cambio, la aplicación de estas sustancias en campo durante las etapas de desarrollo del fruto parece más prometedora, puesto que aparentemente la inducción de resistencia a patógenos en los tejidos vegetales se produce más fácilmente cuando estos se encuentran en plena actividad metabólica.

d. Recubrimientos comestibles antifúngicos

El desarrollo de nuevos recubrimientos comestibles (RC) formulados con compuestos antifúngicos para su aplicación en poscosecha de fruta fresca es una línea de investigación que ha adquirido gran importancia en los últimos años, puesto que se trata de tratamientos que ofrecen simultáneamente:

- Una función fisiológica de regulación de los intercambios de agua y gases, con la consiguiente preservación del fruto y el retraso de su senescencia.



- Una función de reducción de podredumbres sin dejar residuos contaminantes.
- Una función estética de aporte de brillo u otras características deseables al fruto.

Los RC surgen como una opción ideal para reemplazar las ceras convencionales formuladas con fungicidas sintéticos como el IMZ o el TBZ en el tratamiento poscosecha de los cítricos.

Entre los RC naturales destaca el quitosano, que es un polímero que se obtiene de la quitina del exoesqueleto de los artrópodos y que también es un componente estructural de la pared celular de algunos hongos. Asimismo, destacan además los geles de *Aloe vera* u otras *Aloe* spp., que se obtienen directamente de extractos de estas plantas superiores y que poseen una capacidad intrínseca de formar películas y una actividad antimicrobiana también intrínseca.

Los principales componentes que se usan para la preparación de RC sintéticos son los hidrocoloides (polisacáridos o proteínas de muchos tipos y orígenes), los lípidos (ceras, acilglicérols, ácidos grasos, etc.) y las resinas (goma laca, etc.). Los plastificantes (sacarosa, glicerol, sorbitol, propilenglicol, etc.) y emulsificantes (ácidos grasos, polisorbatos, monoestearatos, lecitina, etc.) se añaden a las formulaciones para mejorar la integridad mecánica y facilitar la dispersión de los RC compuestos (formados con lípidos e hidrocoloides) en la fase acuosa y la fase lipídica.

A la matriz de un RC se pueden agregar compuestos antifúngicos como aditivos alimentarios (conservantes o sales GRAS), compuestos naturales (aceites esenciales, extractos naturales de plantas, péptidos y proteínas producidos por plantas, animales o microorganismos) o agentes de control biológico (levaduras, bacterias e incluso algunos hongos filamentosos).

2.2.3. Métodos de control biológicos

El control biológico puede definirse como la manipulación directa o indirecta de los agentes vivos (antagonistas) que de forma natural presentan capacidad de control de los agentes patógenos. La relación biológica entre los antagonistas y los patógenos suele ser bastante específica. Puesto que se trata de una interacción entre organismos vivos, este tipo de control presenta una serie de ventajas importantes respecto a los sistemas físicos y químicos. Básicamente, los factores que determinan las posibilidades de utilización de un antagonista contra patógenos de poscosecha de cítricos son su supervivencia y su efectividad en condiciones ambientales y de frigoconservación. También es muy importante su capacidad de colonizar las heridas de la piel, que son los puntos de inicio de muchas infecciones. Además, el hecho de que la fruta tratada se almacene en condiciones controladas de temperatura y humedad facilita la utilización de agentes de biocontrol, pues estos no se encuentran sometidos a variaciones ambientales.

Normalmente, los antagonistas se aplican sobre los frutos cítricos como suspensiones acuosas en baño o dréncher. Actúan compitiendo por el espacio y/o los nutrientes, secretando antibióticos, interactuando directamente con las estructuras del patógeno o induciendo resistencias en los tejidos del fruto.



Los principales inconvenientes asociados a la utilización de microorganismos antagonistas para el control de enfermedades de poscosecha son la falta de actividad curativa, la alta variabilidad en los resultados obtenidos y la dificultad para desarrollar formulaciones que permitan una comercialización adecuada. Para paliar estos inconvenientes, actualmente se investiga en la modificación genética de los antagonistas, en su producción en medios enriquecidos, o en el uso de mezclas de distintos antagonistas.

Por otro lado, el hecho de que, en general, los agentes de biocontrol tengan buena actividad preventiva hace que posean un gran potencial como tratamientos complementarios a otros físicos o químicos de bajo riesgo. Aunque se han encontrado y patentado numerosas levaduras, bacterias y hongos filamentosos con capacidad antagonista contra las podredumbres verde y azul de los cítricos, las limitaciones descritas, especialmente la inconsistencia de la efectividad, y sobre todo la disponibilidad por el sector de los fungicidas convencionales, más efectivos, consistentes, fáciles de aplicar y baratos han hecho que el número de microorganismos antagonistas comercializados hasta el momento sea anecdótico.

Otro factor que influye notablemente en la implantación del control biológico reside en la dificultad del registro en la UE de microorganismos antagonistas, ya que este se ve obstaculizado por la exigencia de estudios toxicológicos largos y costosos equiparables absurdamente a los necesarios para los pesticidas de síntesis.

2.2.4. Integración de métodos de control

Desafortunadamente, con los diferentes sistemas alternativos ensayados hasta la fecha difícilmente se alcanzan los niveles de efectividad y persistencia que proporcionan los fungicidas químicos convencionales. En general, debido a su carácter no contaminante, son menos tóxicos y, por tanto, menos efectivos y persistentes. Por otro lado, según su mecanismo de acción pueden tener actividad curativa (control de infecciones fúngicas existentes) o preventiva (protección del fruto o inducción de mecanismos de resistencia a la infección) pero, a diferencia de los fungicidas, rara vez presentan ambos tipos de actividad de forma conjunta. Además, debido a su naturaleza, el comportamiento y la capacidad de control de algunos de ellos pueden variar sustancialmente en función de factores externos, por lo que presentan una alta variabilidad de respuesta que dificulta su implementación comercial.

En consecuencia, actualmente se dedican esfuerzos importantes a evaluar la integración de dos o más sistemas compatibles entre sí. En general se buscan tres tipos de efectos:

- Un efecto aditivo o sinérgico, de forma que el tratamiento combinado sea más eficaz y/o persistente que los tratamientos individuales.
- Un efecto complementario, de forma que el tratamiento combinado permita controlar tanto las infecciones producidas con anterioridad al mismo (efecto curativo) como aquellas que puedan producirse con posterioridad (efecto preventivo).



- La posibilidad de implementar comercialmente tratamientos que por sí solos no son coste-efectivos o resultan poco prácticos o demasiado arriesgados (riesgo elevado de producción de fitotoxidades o de efectos adversos en la calidad del fruto tratado).

En general, los métodos de control cuyas características permiten mayores posibilidades de ser aplicados en combinación con otros son el calor y el control biológico.

3. Recomendaciones

La producción convencional y también la integrada (según la legislación española y valenciana vigentes) admiten el uso de fungicidas químicos, pero existe una marcada tendencia a su reducción o eliminación por su problemática y las exigencias de mercado descritos anteriormente.

Los productores que se planteen la utilización de métodos de control de enfermedades de poscosecha alternativos a los fungicidas convencionales deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Discriminar las partidas para tratar solo fruta con una buena calidad de piel y recolectada y manejada con extremo cuidado para evitar la presencia de heridas por las que se inicien infecciones fúngicas.
- Las condiciones de limpieza y desinfección en los almacenes deben ser estrictas y permanentes para evitar una presión de inóculo fúngico elevada.
- Una vez confeccionada la fruta se deben garantizar unas condiciones de conservación y envío óptimas para evitar infecciones secundarias y preservar la buena condición del fruto.
- No extender el periodo de vida poscosecha comercial de la fruta tratada, ya que frecuentemente la persistencia de los tratamientos alternativos es limitada.
- Integrar, dentro de las posibilidades de cada almacén, métodos alternativos de distinta naturaleza.

Con estas actuaciones, propias de una estrategia de CINCEP, los productores podrían acceder a mercados de exportación que, dentro de la producción convencional, pagan un precio más elevado por la fruta carente de residuos de los fungicidas autorizados.

Si bien los métodos alternativos físicos requieren de inversión en equipamiento o ciertas modificaciones en las instalaciones del almacén, los químicos de bajo riesgo pueden aplicarse en las mismas instalaciones que los fungicidas convencionales, es decir, en dréncher, en balsa o en la línea de confección. Actualmente existen en el mercado español distintos productos alternativos basados en aditivos alimentarios o en compuestos naturales como aceites esenciales o extractos vegetales. La autorización y registro de estos productos alternativos requiere el cumplimiento del Artículo 22 (aprobación de sustancias activas de bajo riesgo) o del Artículo 23 (aprobación de sustancias básicas) del Reglamento (CE) 1107/2009 de comercialización de productos fitosanitarios.



4. Agradecimientos

El autor agradece a distintas entidades españolas (IVIA, INIA, AEI) e internacionales (programa FEDER) la financiación de proyectos relacionados con el control de enfermedades de poscosecha de cítricos. A la memoria del Dr. Miguel Ángel del Río (DEP), mentor y amigo.

Referencias bibliográficas

BARKAI-GOLAN, R. (2001): *Postharvest diseases of fruits and vegetables. Development and control*. Países Bajos, Amsterdam. Elsevier Science B.V.

BEN-YEHOSHUA, S. (2005): *Environmentally friendly technologies for agricultural produce quality*. EE. UU., Florida, Boca Raton. CRC Press, Taylor and Francis Group.

PALOU, L. (2014): «*Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* (green mold, blue mold)»; en BAUTISTA-BAÑOS, S., ed.: *Postharvest decay. Control strategies*. Reino Unido, Londres. Academic Press, Elsevier Inc.; pp. 45-102.

PALOU, L.; SMILANICK, J. L. y DROBY, S. (2008): «Alternatives to conventional fungicides for the control of citrus postharvest green and blue molds»; en *Stewart Postharvest Review* 2(2); pp. 1-16.

PALOU, L.; VALENCIA-CHAMORRO, S. A. y PÉREZ-GAGO, M. B. (2015): «Antifungal edible coatings for fresh citrus fruit: a review»; en *Coatings* 5; pp. 962-986.

SMILANICK, J. L.; ERASMUS, A. y PALOU, L. (2020): «Citrus fruits»; en PALOU, L. y SMILANICK, J. L., eds.: *Postharvest pathology of fresh horticultural produce*. EE. UU., Florida, Boca Raton, CRC Press, Taylor and Francis Group; pp. 3-53.

TUSET, J. J. (1987): *Podredumbres de los frutos cítricos*. València, Generalitat Valenciana, Conselleria d'Agricultura i Pesca.

ZACARIAS, L.; CRONJÉ, P. J. R. y PALOU, L. (2020): «Postharvest technology of citrus fruits»; en TALÓN, M., CARUSO, M. y GMITTER Jr., F., eds.: *The genus Citrus*. Reino Unido, Sawston. Woodhead Publishing. Elsevier; pp. 421-446.