
Manejo de fungicidas y sales en el control de patógenos postcosecha

Joanna Lado, Elena Pérez, Natalia Besil, Horacio Heinzen, Pablo Varela, Eleana Luque, Pedro Pintos, Oribe Blanco, Fernando Rivas

Programa Nacional de Investigación en Producción Citrícola. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Uruguay.

Contacto: jlado@inia.org.uy

Introducción

El desarrollo de resistencia a diferentes principios activos (P.A.) por parte de los principales patógenos postcosecha, así como los cambios en la reglamentación referente a los principios activos permitidos, en combinación con las nuevas reglamentaciones en inocuidad que establecen la presencia de un número máximo de principios activos sobre la fruta, ha llevado a la necesidad de desarrollar nuevas alternativas para el manejo integrado de patógenos en postcosecha.

Penicillium spp. constituye la principal causa de pérdidas durante la postcosecha de frutos cítricos. A su vez, trabajos anteriores han demostrado la existencia de aislamientos de *Penicillium digitatum* resistentes al imazalil (IMZ) a nivel nacional (Pérez et al., 2011), principal fungicida aplicado para su control en postcosecha. Con el objetivo de analizar esta problemática y brindar alternativas para el manejo de esta situación, el presente trabajo recopila los diferentes avances en la temática a nivel nacional. También se abordará la relación entre el nivel de residuos de los principales fungicidas aplicados en postcosecha de frutos cítricos y su velocidad de disipación o efectividad en el control de patógenos.

Aportes para el manejo integrado de *Penicillium*

Basados en resultados previos, se trabajó con la inoculación de un aislamiento sensible y uno resistente a IMZ según metodología detallada en Pérez et al. (2011), de forma de comparar la efectividad de nuevas alternativas para controlar ambos biotipos, pero especialmente para potenciar el control de aquellas cepas resistentes al IMZ. Durante varios años de trabajo, se han evaluado diferentes alternativas, entre las que destacan principios activos que pueden potenciar el control del IMZ en biotipos resistentes, así como también la adición de sales o altas temperaturas en las diferentes etapas de aplicación de productos. Durante la aplicación de productos en postcosecha, es clave el método de aplicación seleccionado ya que el mismo determina directamente el residuo logrado sobre la fruta y por tanto, la efectividad del control. Los resultados obtenidos indican que la aplicación mediante inmersión es el método más eficiente para maximizar los residuos del producto en la fruta y por lo tanto, el control del patógeno. A su vez, la aplicación mediante cascada ha demostrado ser más eficiente que el método de aspersión, siempre y cuando el caldo re-circulante se mantenga en condiciones adecuadas. De la misma forma, cuando se trabaja con caldos re-circulantes en el drencher, es fundamental la adición de un filtro al sistema, de forma de maximizar la durabilidad de dicho caldo, evitando la presencia de materia orgánica en el mismo.

Nivel de residuos efectivo para el control de patógenos postcosecha y disipación durante el almacenamiento refrigerado

El nivel de residuos del producto logrado sobre la fruta es clave a la hora de maximizar el control del patógeno. El mismo depende de varios factores: 1) Dosis y concentración del caldo/producto; 2) método de aplicación (inmersión>cascada>aspersión para una misma concentración de producto); 3) condiciones de la aplicación (temperatura, adición de sales u otros productos al caldo; presencia de materia orgánica) y 4) variedad o especie cítrica (Naranjas vs. Mandarinas o Limones).

Trabajos realizados indican que es necesario lograr un residuo en la fruta de entre 2 y 3ppm para controlar efectivamente el patógeno sensible al IMZ, mientras que el biotipo resistente no es controlado efectivamente con ningún residuo de este P.A. (Lado et al., 2013). Es más, el control del biotipo sensible no fue eficiente con residuos en fruta de entre 0,60 y 0,89ppm. Sin embargo, sí se logró un control efectivo de este biotipo con los siguientes tratamientos y niveles de residuos en fruta entera:

Tratamiento aplicado en cascada	Residuo inicial logrado en fruta entera
IMZ 1000ppm a 50°C:	1,50-1,80 ppm
IMZ 1000ppm + 3% BIC:	0,60-0,90 ppm
IMZ 3000ppm en la cera:	3,0-4,8 ppm

Lo anterior demuestra que la adopción de otras estrategias (agua caliente 50°C o sales en el caldo) pueden potenciar el control de *Penicillium*, incluso con un menor nivel de residuos en fruta (Lado et al., 2013). La aplicación en agua caliente (50°C) provoca un aumento en el nivel de residuos en la fruta, el cual puede llegar a duplicarse, mientras que la adición de sales (bicarbonato o sorbato) no lleva a mayores cambios en los residuos en la fruta. Sin embargo, se ha descrito un posible efecto asociado a cambios en el pH del caldo, lo cual puede llegar a modificar la absorción del P.A., y por tanto, aumentar el nivel de residuos en la fruta (Cerioni et al., 2013). Es importante tener en cuenta también que la disipación del residuo durante el almacenamiento depende de la temperatura, pudiendo existir diferencias importantes con pocos grados de variación en esta variable, siendo la misma más rápida a 4°C (Besil et al., 2015) que a 2°C (Lado et al., 2013). En mandarinas clementinas tratadas mediante cascada (1000 o 2000ppm IMZ) se logró un residuo de 0,43-0,48ppm, permaneciendo un 35% del residuo inicial luego de 28 días de almacenamiento a 4°C (Figura 1).

La utilización de otras moléculas también complementa el control de biotipos resistentes al IMZ, por lo que es importante conocer la dinámica del residuo de estos otros principios activos durante el almacenamiento. A nivel nacional se ha evaluado la efectividad del pirimetanil (PYR) (Figura 2 y Tabla 1) y del fludioxonil (Figura 1) para el control de biotipos sensibles y resistentes a IMZ, destacando el primero como una posible alternativa a ser aplicada en conjunto con IMZ. La concentración propuesta para lograr un control efectivo se sitúa entre 500 y 1000ppm en el caldo, siendo deseable también su aplicación conjunta con otras alternativas de manejo integrado. Es importante tener en cuenta que el PYR es una molécula altamente estable a 4°C, por lo que la disipación es mínima, siendo importante lograr un residuo adecuado (efectivo en el control y por debajo del LMR) en el momento de la aplicación (Figura 1). Por otro lado, el uso

continuado de este P.A. puede provocar desarrollo de resistencia por parte del patógeno, como se ha descrito en Argentina para una cepa aislada de plantas de empaque, la cual no fue controlada por la aplicación de 1000ppm (Vásquez et al., 2014). También se ha descrito recientemente en Sudáfrica la existencia de cepas con resistencia múltiple (IMZ, guazatina, tiabendazol y propiconazol) (Erasmus et al., 2015). Es así como la adopción de nuevos principios activos debe ser realizada en combinación con otras estrategias de manejo integrado (adición de sales, alta temperatura, desinfección y limpieza de bins, líneas de procesamiento de fruta y cámaras de almacenamiento) que permitan minimizar el posible desarrollo de resistencia a nuevos principios activos.

A continuación se presentan resultados nacionales sobre la evaluación de diferentes alternativas para ser aplicadas en combinación con fungicidas durante la postcosecha de frutos cítricos.

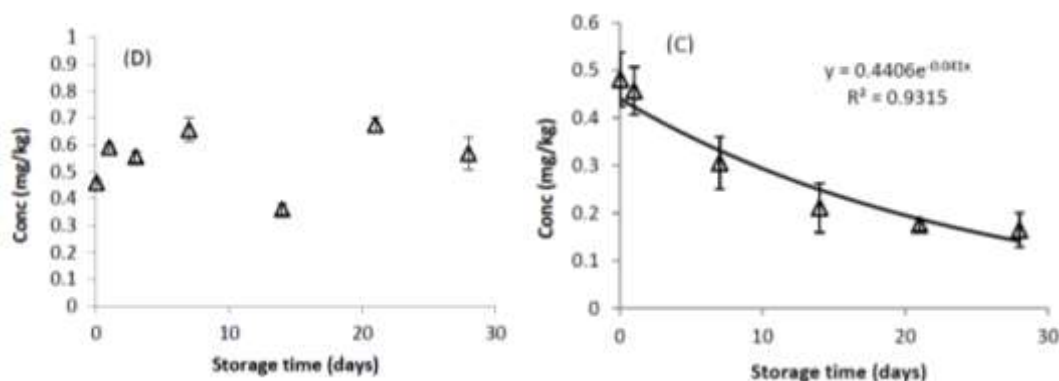


Figura 1. Curva de disipación del PYR (D) e IMZ (C) aplicados mediante cascada a razón de 1000ppm durante el almacenamiento a 4°C.

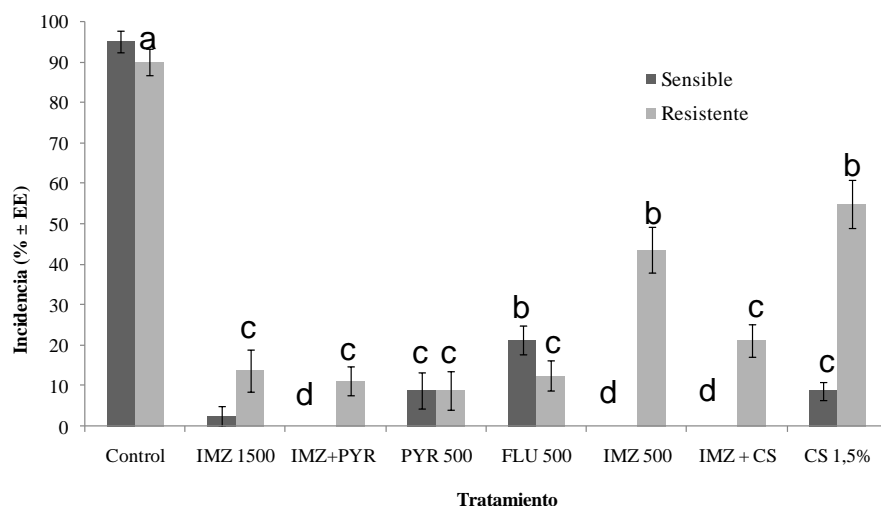


Figura 2. Incidencia de *P. digitatum* sensible y resistente al IMZ según tratamiento aplicado en Ellendale, luego de 15 días a 20°C. Medias seguidas de igual letra entre tratamientos no difieren significativamente (Tukey $p \leq 0,05$). Referencias: Control (fruta tratada con agua); IMZ1500= imazalil aplicado a 1500 mg L⁻¹; IMZ+PYR= imazalil 500 μ L L⁻¹ + pirimetanil 500 μ L L⁻¹ (Philabuster 500 μ L L⁻¹); PYR500= pirimetanil 500 μ L L⁻¹; FLU500=fludioxonil 500 μ L L⁻¹; IMZ500=imazalil 500 mg L⁻¹; IMZ+CS= imazalil500 mg L⁻¹+carbonato de sodio 1,5 %; CS1,5%= carbonato de sodio 1,5 %.

Tabla 1. Incidencia y esporulación (%) de *P. digitatum* sensible y resistente al IMZ según tratamiento aplicado en naranjas Valencia, luego de 15 días a 20°C

Tratamiento	Incidencia (%)		Esporulación (%)	
	Sensible	Resistente	Sensible	Resistente
Control (agua)	83,0 a	65,0 a	72,5 a	58,8 a
Sorbato de K (SP) 1 % (p/v)	30,5 b	60,0 a	22,5 c	50,0 a
SP 2 % (p/v)	58,5 a	28,0 b	47,5 b	25,0 b
SP 3 % (p/v)	29,0 b	35,5 b	21,3 c	30,0 b
Philabuster 750 µL L ⁻¹	3,50 c	5,25 d	2,60 d	6,25 d
IMZ 1500 mg L ⁻¹	1,10 c	10,0 cd	1,25 d	10,0 cd
IMZ 500 mg L ⁻¹	6,25 c	23,5 b	5,10 d	18,0 bc
IMZ 500 mg L ⁻¹ + SP 2 %	10,5 c	25,5 b	10,0 cd	22,5 b
Philabuster 750 µL L ⁻¹ + SP 2 %	4,10 c	3,55 d	5,10 d	3,75 d

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente (Tukey $p \leq 0,05$)

*Evaluación de alternativas complementarias a los fungicidas en el manejo integrado de *Penicillium**

Diferentes opciones han sido evaluadas para apoyar el manejo integrado de *Penicillium* durante la postcosecha de frutos cítricos. En este contexto, destacan las aplicaciones de sorbato de K, bicarbonato o carbonato de Na y la aplicación de fosfitos (principalmente de Ca o K). Es importante destacar que todos estos compuestos no pueden ser pensados como sustitutos de los fungicidas sino como posibles “co-adyuvantes” que potencien el control del patógeno, enlenteciendo el crecimiento del mismo o modificando las condiciones del medio para que sea menos propicio para su desarrollo. Es así como la adición de carbonato de Na al 1,5% al IMZ potenció el control de biotipos resistentes en Ellendale (Figura 2), así como también provocó un enlentecimiento del crecimiento de ambos biotipos del patógeno en frutos sin fungicida (Figura 2). La adición de sorbato de K (2%) al caldo también provocó una reducción del crecimiento, principalmente del biotipo resistente (Tabla 1), aunque su adición a los fungicidas en el caso de naranjas Valencia no provocó una diferencia significativa en el control (Tabla 1). Este efecto sí fue observado en otras variedades, siendo más importante en el caso de mandarinas. En mandarina Satsuma Owari, la adición de sorbato de K-2%, fosfito de Ca (1%) o bicarbonato de Na (3%) en el drencher ha demostrado potenciar el control de ambos biotipos del patógeno a la salida del desverdizado en mandarina satsuma (Figura 2).

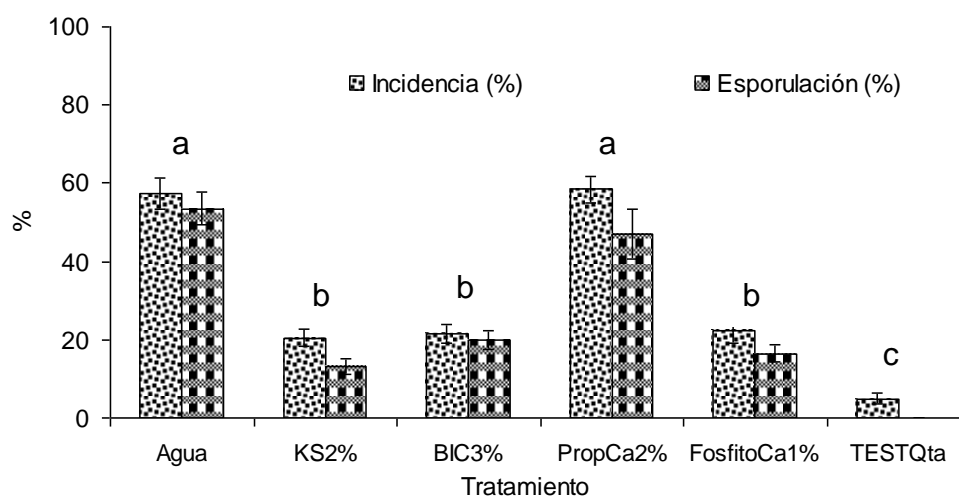


Figura 2. Incidencia y esporulación de *Penicillium digitatum* en Satsuma Owari inoculada según tratamiento en salida de desverdizado (96 horas 19-21°C 1-3ppm etileno y 95%HR) y 24 horas T ambiente. Referencias: KS2%=sorbato de potasio 2%p/v; BIC3%=bicarbonato de sodio al 3%p/v; PropCa2%=propionato de calcio al 2%p/v; Fosfito Ca 1%=fosfito de calcio al 1%v/v; TestQta=(guazatina1000ppm + procloraz 1000ppm + 2,4D 25ppm). Medias seguidas de igual letra entre tratamientos no difieren significativamente (Tukey $p \leq 0,05$).

La aplicación de fosfito de Ca (1%) puede constituirse como otra alternativa para ser combinada con fungicidas de forma de potenciar el control de *Penicillium* en mandarinas tempranas y durante el desverdizado (Tabla 2). Diferentes fosfitos, así como su efectividad han sido evaluados también por Cerioni et al (2013), presentando resultados alentadores. Resultados a nivel nacional muestran que existe cierta sinergia en el control en la mezcla de IMZ y fosfito de Ca 1% para el control de aislamientos resistentes al IMZ. Lo mismo ocurre con el PYR y los aislamientos sensibles (datos no mostrados). El fosfito de Ca 1% en mezcla con bicarbonato de Na 3%, así como la mezcla de este último con sorbato de K 1% alcanzaron un control efectivo de *P. digitatum* luego de 7 días a 20°C, no diferenciándose del testigo con fungicidas (guazatina y procloraz) (datos no mostrados). La combinación de sorbato de K y bicarbonato de Na posee una acción importante en sí misma, potenciando también el control de ambos aislamientos por parte de los fungicidas evaluados (IMZ y PYR) (datos no mostrados).

Tabla 2. Incidencia (%) de *Penicillium digitatum* en naranja navel inoculada según tratamiento aplicado en drencher, luego de 10 días a 20°C.

Cepa	Resistente	Sensible	p S vs R
Control	87,5 a	85,5 a	0,573
FCa1%	15,5 b	29,0 b	0,026
IMZ	12,0 b	6,0 cd	0,048
PYR	6,0 bc	10,5 c	0,069
FCa + IMZ	2,5 c	2,0 d	0,868
FCa + PYR	5,0 bc	5,5 cd	0,932

Referencias: FCa 1%=fosfito de calcio al 1%v/v; PYR= pirimetanil 487ppm; IMZ=imazalil 1000ppm. Medias seguidas de igual letra entre tratamientos no difieren significativamente (Tukey $p \leq 0,05$). Se presenta la comparación (p S vs. R) del aislamiento sensible versus el resistente al IMZ para cada tratamiento.

Conclusiones

El control de patógenos postcosecha no puede estar basado únicamente en la aplicación de fungicidas durante la postcosecha, sino en la integración de un paquete de medidas de control integrado que tiendan a minimizar la presencia del patógeno en el campo y planta de empaque. Es así como la limpieza y desinfección de cajones y bins, así como de cámaras y planta de empaque se vuelven claves para minimizar el inóculo del patógeno. El cambio de madera por plástico es una medida altamente recomendable para minimizar la presencia de inóculo. La adición de sales (sorbato de K y carbonatos) ha demostrado ser una alternativa para enlentecer el crecimiento y desarrollo de la infección y por tanto, colaborar en el control. La adición de fosfitos, durante el drencher o en la línea, puede constituirse como una estrategia integrada de control para potenciar los fungicidas.

El nivel de residuos en la fruta determina directamente el control, por lo tanto es deseable que la aplicación de IMZ alcance al menos 2-3 ppm en fruta entera, de forma de que el control del biotipo sensible sea adecuado. En el caso del biotipo resistente, la adición de sales o de PYR (500-1000ppm) potencia el control del patógeno. En relación a este P.A. hay que tener en cuenta que es una molécula muy estable y su disipación es mínima, por lo que esto debe ser tomado en cuenta a la hora de la aplicación, así como su persistencia en diferentes superficies. A su vez, también es posible el desarrollo de resistencia a esta molécula, ya descrita en Argentina, por lo que es imperioso integrarlo con otras medidas de manejo que aporten a reducir el nivel de inóculo del patógeno en plantas de empaque, minimizando el posible desarrollo de resistencia.

Bibliografía

Cerioni L, Rapisarda VA, Doctor J, Fikker S, Ruiz T, Fassel R, Smilanick, JL .2013. Use of phosphite salts in laboratory and semicommercial tests to control citrus postharvest decay. *Plant Disease*, **97**: 201-212.

Erasmus A, Lennox CL, Korsten L, Lesar K, Fourie PH. 2015. Imazalil resistance in *penicillium digitatum* and *P. italicum* causing citrus postharvest green and blue mould: Impact and options. *Postharvest Biology and Technology* **107**:66-76.

Lado J, Pérez E, De Nigris A, Dol I, Knochen M. 2013. Residuos en frutos de naranja del fungicida imazalil aplicado en postcosecha y su efecto en el control de moho verde. *Agrociencia (Uruguay)*, **17**: 83-90.

Pérez E, Blanco O, Berreta C, Dol I, Lado J. 2011. Imazalil concentration for in vitro monitoring of imazalil resistant isolates of *Penicillium digitatum* in citrus packinghouses. *Postharvest Biology and Technology* **60**: 258–262.

Vázquez D, Panozzo M, Almirón N, Bello F, Burdyn L, Garrán S. 2014. Characterization of sensitivity of grove and packing house isolates of *penicillium digitatum* to pyrimethanil. *Postharvest Biology and Technology*, **98**:1-6.