

M.A. Chririboga, Y. Soria, C. Larrigaudière, I. Recasens

APLICACIÓN POSCOSECHA DE 1-METILCICLOPROPENO EN PERAS

Separata ITEA

INFORMACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA AGRARIA, VOL. **104** N.º 1 (12-30), 2008

Aplicación poscosecha de 1-metilciclopropeno en peras

M.A. Chririboga^{*,**}, Y. Soria^{*,**}, C. Larrigaudière^{*}, I. Recasens^{*,**}

* Área de Poscosecha, Centro UdL-IRTA

** Departamento Hortofruticultura, Botánica y Jardinería, Universitat de Lleida, Av. Alcalde Rovira Roure, 191, 25198 Lleida (España). E-mail inmaculada.recasens@irta.es

Resumen

En esta revisión se han recopilado la mayoría de los trabajos publicados hasta el momento sobre la aplicación poscosecha de 1-metilciclopropeno (1-MCP) en peras (*Pyrus communis* L.). El 1-MCP actúa como antagonista del etileno, ocupando los lugares de unión de esta hormona con sus receptores. En consecuencia, el 1-MCP retrasa la maduración en los frutos climatéricos y las respuestas fisiológicas etileno-dependientes incluyendo el ablandamiento de la pulpa, la producción de volátiles y la pérdida de color verde. Si bien este compuesto no afecta al contenido de sólidos solubles, el efecto sobre la acidez es variable dependiendo de diferentes factores. A nivel fisiológico el tratamiento inhibe el metabolismo del ácido 1-aminociclopropano 1-carboxílico (ACC) y también aumenta el potencial antioxidante de la pera mediante un incremento de la actividad de la enzima peroxidasa. Como consecuencia de ello, el 1-MCP tiene un efecto beneficioso sobre la incidencia de desórdenes fisiológicos. Al igual que en otros frutos el tratamiento con 1-MCP inhibe el escaldado superficial y también desórdenes relacionados con la senescencia, como el corazón pardo o la descomposición interna. El principal problema que pueden tener las peras tratadas con 1-MCP es que en ocasiones no recobran su capacidad para madurar después de la conservación frigorífica. En esos casos permanecen siempre verdes y no alcanzan la madurez óptima de consumo. Se están estudiando las condiciones necesarias para recuperar la capacidad de madurar, incluyendo tratamientos térmicos o aplicaciones exógenas de etileno. Algunos de los resultados se han descrito ya en la bibliografía, pero se precisan todavía más estudios en algunas variedades antes de su uso a nivel comercial.

Palabras clave: Peras, 1-MCP, maduración, etileno, calidad, desórdenes fisiológicos.

Summary

Postharvest application of 1-methylcyclopropene on pears

The main aim of this review was to describe the current knowledge of the application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) in pears (*Pyrus communis* L.). The 1-MCP is an inhibitor of ethylene action that links at the receptor level. In this way, the 1-MCP delays ripening in climacteric fruits and blocks all the ethylene dependent processes especially firmness loss and inhibits the aroma production in the treated pears. The treatment does not cause changes in sugar levels but may limit acid loss depending on different factors. At a physiological level, the treatment inhibits the metabolism of 1-aminocyclopropane 1-carboxylic acid (ACC) and also increases the total antioxidant potential of the pear mainly through an important increase of peroxidase activity. As a consequence, the 1-MCP treatment has significant effects on physiological disorders incidence. As in others fruits, the treatment clearly inhibits scald disorder but also some senescent-related disorders in pear such as internal breakdown and brown heart. The main problem that the pears treated with 1-MCP may suffer was found in their inability, for some reasons that are still inexplicable, to recover their ripening potential after storage. In this condition the fruits remain 'evergreen' and do not reach their optimal commercial ripeness. Recently, some studies have been carried out to find the conditions to recover this ripening ability in 'evergreen' pears. Post-storage ripening settings including the use of thermal treatments or exogenous ethylene have

been tested. First interesting results are described in the literature but complementary experiments are needed in different cultivars before using 1-MCP in commercial stores.

Key words: Pears, 1-MCP, ripening, ethylene, quality, disorders.

Introducción

El compuesto 1-Metilciclopropeno (1-MCP) puede considerarse como una nueva herramienta añadida a la lista de opciones existentes para prolongar la vida poscosecha y mantener la calidad de algunas frutas y hortalizas (Blankenship y Dole, 2003). El producto comercial contiene un 0,14% de ingrediente activo y está registrado con el nombre de EthylBloc®, de la empresa Flor-life S.A., para productos hortícolas ornamentales y SmartFreshSM, de Agrofresh Inc., Rohm and Haas, para los productos comestibles. Su uso está autorizado en los Estados Unidos, desde 1999.

Desde el punto de vista físico-químico, el 1-MCP es un compuesto sintético de estructura cíclica que se encuentra en forma de gas en condiciones normales de presión y temperatura. Está pensado para retrasar la maduración de los frutos climatéricos: actúa como antagonista del etileno al inhibir su mecanismo de acción, ocupando los lugares de unión de esta hormona con sus receptores. Debido a que la afinidad del 1-MCP con los receptores es aproximadamente 10 veces mayor que la del propio etileno (Blankenship y Dole, 2003), este compuesto es efectivo a dosis extremadamente bajas, del orden de nL.L⁻¹. Hacen falta concentraciones de etileno de 100 µL.L⁻¹ o superiores para competir de manera eficaz con el 1-MCP por los receptores. Gracias a este modo de acción, el 1-MCP bloquea eficazmente los efectos del etileno tanto endógeno como exógeno.

Sin embargo, se ha visto que el 1-MCP no tiene la misma eficacia para reducir la

acción del etileno y retrasar la maduración en diferentes tipos de frutos (Blankenship y Dole, 2003). No sólo la especie si no también la variedad junto con la concentración aplicada, influye notablemente en la respuesta del 1-MCP, tal como se ha demostrado en diferentes variedades de manzanas (Fan et al., 1999; Rupansighe et al., 2000; Watkins et al., 2000; Mir et al., 2001; DeEll et al., 2002; Pre Aymard et al., 2003) y peras (Bari-telle et al., 2001; Argenta et al. 2003; Kubo et al., 2003; Calvo y Sozzi, 2004; Ekman et al., 2004; Trincherro et al., 2004).

La aplicación de 1-MCP en manzanas se ha investigado ampliamente y se usa ya de forma comercial desde hace algunos años en muchos países. En España ha sido autorizada su aplicación en algunas variedades de manzana en el año 2007. En peras, hoy en día se están realizando numerosas investigaciones sobre el efecto que produce en diferentes variedades tanto de verano como de otoño-invierno. En esta especie son menos los países donde está autorizado su uso. En Argentina y México se registró en el año 2001, en Estados Unidos y Sudáfrica en 2002 y en Australia en 2004. En China también está autorizado para peras asiáticas o nashis.

En peras, una calidad óptima de consumo se caracteriza por una textura mantecosa, un cambio de color apropiado y un sabor característico, asociado al contenido de azúcares, ácidos y a la producción de volátiles (Kappel et al., 1995; Ma et al., 2000). La pera es un fruto climatérico y su proceso de maduración está regulado por el etileno. Una inhibición de la biosíntesis de esta hormona o de su mecanismo de acción supone ralenti-

zar el proceso de maduración y aumentar la vida útil después de la cosecha (Argenta et al., 2003). La mayoría de las variedades de invierno requieren un periodo de frío para inducir la capacidad normal de maduración, por tanto necesitan la exposición a bajas temperaturas para estimular la producción de etileno endógeno y la subsiguiente maduración (Blankenship y Richarson, 1985).

Estudios recientes han demostrado que la aplicación poscosecha de 1-MCP retrasa considerablemente la maduración en muchas variedades de pera, incluyendo algunas peras de verano como 'Barlett' (Baritelle et al., 2001; Ekman et al., 2004; Trincherro et al., 2004) y 'Williams' (Calvo, 2003; Calvo 2004; Lafer, 2005) y otras de otoño e invierno tales como 'La France' (Hiwasa et al., 2003; Kubo et al., 2003); 'd'Anjou' (Baritelle et al., 2001; Argenta et al., 2003); 'Passe-Crassane' (Lelièvre et al., 1997) y 'Conference' (Eccher-Zerbini et al., 2005; Rizzolo et al., 2005). Las variedades de pera europeas en general se clasifican dentro de las que presentan una buena respuesta a la aplicación poscosecha de concentraciones relativamente bajas de 1-MCP.

Factores que afectan la aplicación de 1-MCP

Concentración, temperatura y duración del tratamiento

La concentración de 1-MCP requerida para saturar los sitios de unión de los receptores del etileno así como la persistencia del tratamiento difiere mucho entre las especies vegetales. La dosis mínima requerida es de 2.5 nL.L^{-1} en clavel (Sisler et al., 1996), mientras que en manzanas son eficaces las concentraciones a partir de 600 nL.L^{-1} . En parte, esta diferencia de comportamiento entre especies puede ser debida a una distinta afinidad por los receptores o a la síntesis de

nuevos receptores en los tejidos en crecimiento (Sisler y Serek, 2003).

Asimismo, las concentraciones efectivas de 1-MCP varían ampliamente con respecto al tiempo, temperatura y método de aplicación, existiendo una estrecha relación entre todos estos factores. Para una determinada dosis, la eficacia es menor al disminuir la temperatura y la duración del tratamiento. Existe la hipótesis de que las bajas temperaturas pueden reducir la afinidad del 1-MCP con los receptores del etileno. La temperatura también afecta a la síntesis de nuevos receptores, siendo ésta mayor a temperaturas elevadas.

Las peras son notablemente más sensibles a la exposición de 1-MCP que las manzanas (Blankenship y Dole, 2003; Crouch, 2003; Watkins y Miller, 2005). Por ello, en peras se han ensayado diferentes dosis aunque en general más bajas que las utilizadas en manzanas. Mattheis et al. (2000) encontraron que la inhibición de la maduración en peras mediante una sola aplicación de 1-MCP después de la cosecha, depende de la concentración dentro de un rango de 10 a 1000 nL.L^{-1} . Los resultados indican sin embargo que la eficacia del tratamiento depende de la variedad, al igual que en manzanas (Watkins et al., 2000).

Las temperaturas más adecuadas para la aplicación de este compuesto también son variables, desde muy bajas (entre -0.5 y 2°C) hasta temperaturas ambientales (18 - 20°C). La duración puede ir desde 10-12 horas hasta 20-24 horas, dependiendo de la dosis y la temperatura del tratamiento. Cuando la dosis y/o la temperatura son bajas, es necesario aplicar un tratamiento más prolongado y viceversa (comunicación personal AgroFresh).

Lafer (2005) demostró que una dosis de 125 nL.L^{-1} de 1-MCP, aplicado a 2°C durante 24 horas en peras 'Williams', no reduce las pér-

didadas debidas a pardeamiento interno durante el almacenamiento en atmósfera controlada, mientras que en 'Packham's Triumph', variedad con una mayor capacidad de conservación, sí reduce de forma significativa este desorden fisiológico. Dosis superiores de 625 nL.L^{-1} no representan ninguna ventaja respecto a dosis más bajas para controlar alteraciones fisiológicas y podredumbres. En el estudio realizado por Calvo y Sozzi (2004) con peras 'Red Clapps' tratadas con 200 nL.L^{-1} a $0-1^\circ\text{C}$ durante 24 horas demostraron que la combinación del tratamiento con 1-MCP más la conservación en frío reduce significativamente los daños fisiológicos y el ablandamiento sin cambiar los atributos del sabor, evitando por tanto los problemas asociados a la sobremaduración. Ekman et al. en el año 2004 también reportaron que una exposición al 1-MCP entre 200 y 400 nL.L^{-1} aplicada a 0°C durante 12 horas puede ser beneficiosa ya que reduce los desórdenes fisiológicos y retrasa la maduración en peras 'Barlett' durante el periodo de vida útil, después de la conservación. Resultados semejantes obtuvieron Trincherro et al. (2004) aplicando 400 nL.L^{-1} de 1-MCP a una temperatura de 20°C durante 10 horas en peras 'Barlett', mostrando una inhibición temporal de la producción de etileno, un retraso del climaterio y también del ablandamiento y degradación de los tejidos.

Estado de madurez y momento de la aplicación

Cuando se aplica 1-MCP debe considerarse el estado de desarrollo del fruto. El estado de madurez en el momento de la cosecha es uno de los parámetros clave para la eficacia del 1-MCP durante la conservación frigorífica y la vida útil (Blankenship y Dole, 2003). Los mejores resultados en general se han obtenido cuando los frutos se cosechan y se

tratan antes del pico climatérico o al comienzo del mismo. Sin embargo, en peras el 1-MCP es capaz de suprimir la producción del etileno y el ablandamiento incluso cuando se aplica después de haber iniciado la maduración, aunque en ese caso se reduce la capacidad de respuesta al 1-MCP (Hiwasa et al., 2003).

La concentración requerida para inhibir el proceso de maduración depende por tanto del estado de madurez de los frutos en el momento del tratamiento (Sisler y Serek, 1997; Watkins et al., 2000). Calvo (2004) demostró en peras 'Williams' recolectadas en dos estados de madurez diferentes que la efectividad del 1-MCP decrece cuanto más avanzado es el estado de desarrollo; no obstante, los frutos cosechados tardíamente presentan una calidad superior al testigo. En ese estudio se ve que una dosis de 200 nL.L^{-1} es efectiva aún para conservaciones prolongadas cuando los frutos son recolectados en el momento óptimo, mientras que para cosechas tardías se necesitan dosis más altas (400 y 500 nL.L^{-1}) para mantener la firmeza, la acidez y el color verde hasta 150 días. Resultados parecidos obtuvo Lafer (2005) en peras 'Williams', 'Bosc' y 'Packham's Triumph' tratadas con 1-MCP. Para una misma dosis de tratamiento, las peras recolectadas una semana después de la fecha óptima perdieron más firmeza que aquellas cosechadas en su estado óptimo de madurez.

La importancia del tiempo que transcurre desde la cosecha hasta el tratamiento con 1-MCP varía con la especie. Generalmente, cuando más precedero es el cultivo, más rápidamente debe ser aplicado después de la cosecha. En peras, si el tratamiento se hace antes de la conservación frigorífica, se recomienda tratar como máximo a los 7 días de la recolección, dependiendo de la variedad (comunicación personal, AgroFresh).

En peras, el tratamiento con 1-MCP también puede realizarse después de un periodo de frigoconservación. Sin embargo en este caso, se requieren dosis superiores a las dosis ensayadas en las aplicaciones previas a la conservación frigorífica. Así, un tratamiento con 400 nL L⁻¹ de 1-MCP en peras 'Bartlett' aplicado después de 30 días de frigoconservación es incapaz de disminuir el etileno inducido por el propio frío y retrasar el proceso de ablandamiento (Trincheró et al., 2004). En 'Passe-Crassane' la maduración puede inhibirse con 4000 nL.L⁻¹ de 1-MCP cuando se aplica después de 27 días a 0° C (Lelièvre et al., 1997). En peras 'La France' se han ensayado concentraciones muy elevadas de 1-MCP, entre 10 y 100 µL.L⁻¹, cuando la maduración debida a la exposición al frío ya se había iniciado (Kubo et al., 2003). Con 10 µL.L⁻¹ después de la conservación, se consiguió mantener la firmeza óptima de consumo durante un largo periodo de tiempo y se evitó el desarrollo de la descomposición interna y del escaldado de senescencia.

Por otro lado, también se han ensayado aplicaciones múltiples de 1-MCP a bajas concentraciones para superar el bloqueo de la maduración que produce en algunas ocasiones una sola aplicación con una concentración elevada. Una segunda aplicación de 1-MCP en peras 'Williams' después de 30 ó 60 días de conservación frigorífica produce una leve respuesta cuando las peras se tratan con 100 nL.L⁻¹ a la cosecha, pero no cuando se tratan con dosis más bajas (10 nL.L⁻¹). Peras conservadas durante 75 días en frío y tratadas en la cosecha con 100 nL.L⁻¹ de 1-MCP y 600 nL.L⁻¹ después de 60 días de frigoconservación, alcanzan la calidad de consumo 2 días más tarde que las tratadas únicamente con 100 nL.L⁻¹ en la cosecha o 4 días antes que las tratadas con 600 nL.L⁻¹ también en cosecha (Calvo, 2001). Resultados semejantes obtuvieron Trincheró et al. (2004), observando que aplicaciones entre

0.4 y 1.6 µL.L⁻¹ de 1-MCP a los 30 o 60 días después de la conservación no modifican de manera significativa los índices de madurez. Ekman et al. (2004) comprobaron que una reaplicación con dosis entre 200 y 400 nL.L⁻¹ de 1-MCP después de 4 semanas de conservación mantiene los frutos más verdes y firmes en contraste con la reaplicación a las 6 semanas. Según estos autores, los resultados sugieren que en frutos que han iniciado su proceso de maduración una reaplicación con 1-MCP es poco eficaz.

Respuestas fisiológicas del tratamiento con 1-MCP

Metabolismo del etileno y tasa de respiración

El tratamiento con 1-MCP inhibe la producción de etileno en los frutos climatéricos, de manera que se retrasan los procesos de ablandamiento y senescencia asociados a esta hormona. Sin embargo, la inhibición no persiste indefinidamente (Fan et al., 1999; Dong et al., 2002; Jeong et al., 2002; Ergun et al., 2005). Después de un periodo de tiempo se reinicia la producción de etileno dependiendo de varios factores entre ellos la dosis de 1-MCP aplicada, el estado de madurez y el tiempo y condiciones de conservación de los frutos.

Después de un período de tiempo que varía según la especie y la variedad, los tejidos vegetales tratados con 1-MCP recuperan parcialmente la sensibilidad al etileno. Como la unión o vinculación del 1-MCP a los receptores del etileno es en principio irreversible (Sisler et al., 1996), el reinicio de la maduración se da probablemente por la síntesis de nuevos receptores durante este periodo. La concentración de 1-MCP utilizada, la duración de la conservación (Watkins et al., 2000) y la madurez de los frutos en el

momento del tratamiento (Calvo, 2004) influyen en el tiempo que necesitan los frutos para reanudar el proceso de maduración. Sin embargo, en algunos ensayos con peras se ha visto que los frutos tratados con 1-MCP pierden la habilidad para madurar normalmente (Crouch, 2003; Chen y Spotts, 2005; Bai et al., 2006) quedando bloqueado este proceso.

En algunos frutos, y concretamente en peras, la inhibición de la producción de etileno por una aplicación de 1-MCP va paralela a una menor expresión de los genes que codifican las dos enzimas claves de la ruta biosintética del etileno: ACC (ácido 1-amino-ciclopropano-1-carboxílico) sintasa y ACC oxidasa (Lelievre et al., 1997).

Trincherro et al. (2004) observaron una clara inhibición de la producción de etileno en peras 'Barlett' tratadas con 400 nL.L⁻¹ de 1-MCP respecto a los frutos control. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Bai et al. (2006) en peras 'd'Anjou' tratadas con una concentración de 300 nL.L⁻¹, mientras que con dosis inferiores la inhibición es menor. En peras 'La France' se ha demostrado que una aplicación con una dosis elevada (20 µL.L⁻¹) inhibe la producción de etileno en los frutos en estado preclimatérico y la reduce en aquellos que han empezado su proceso de maduración (Hiwasa et al., 2003). Otros autores, en cambio, han comprobado que en peras tratadas con una dosis de 10 nL.L⁻¹ (Argenta et al., 2003) o de 500 nL.L⁻¹ de 1-MCP (Ekman et al., 2004), la producción de etileno no se inhibe totalmente aunque se retrasa varios meses el pico climatérico.

La inhibición de la producción de etileno depende de la dosis aplicada de 1-MCP, pero también depende del tiempo y de las condiciones de conservación. Según Rizzolo et al. (2005) la disminución de la producción de etileno en peras 'Conference' es mayor

con 50 nL.L⁻¹ de 1-MCP que con 25 nL.L⁻¹; y también se reduce en mayor grado en atmósfera controlada que en frío normal. Las mayores diferencias se observan para periodos de conservación prolongados.

El incremento en la respiración durante la maduración de los frutos climatéricos ha sido clásicamente asociado con el incremento del etileno. En general, el compuesto 1-MCP reduce la tasa de respiración en peras, pero no la inhibe totalmente (Argenta et al., 2003; Ekman et al., 2004; Trincherro et al., 2004). El efecto no es proporcional a la dosis aplicada, ya que a partir de una dosis efectiva, la reducción de la respiración no es mayor aunque se aumente la dosis (Argenta et al., 2003).

Metabolismo oxidante

Las condiciones ambientales durante la conservación frigorífica, tanto en frío normal como en atmósfera controlada, pueden inducir la acumulación de especies activas de oxígeno ('Active Oxygen Species' o AOS) y particularmente de peróxido de hidrógeno (Larrigaudière et al., 2001). La presencia de peróxido de hidrógeno en los tejidos puede ocasionar una degradación no enzimática de la membrana que acompaña a la aparición de desórdenes fisiológicos y a la senescencia (Miller, 1986).

El tratamiento con 1-MCP también induce importantes cambios en el metabolismo antioxidante de las peras durante la conservación frigorífica. Larrigaudière et al. (2004) demostraron que peras 'Blanquilla' tratadas con 100 nL.L⁻¹ de 1-MCP tenían niveles más bajos de peróxido de hidrógeno y ascorbato así como una capacidad antioxidante enzimática más elevada debida a una mayor actividad de las enzimas catalasa, peroxidasa y ascorbato peroxidasa a lo largo de la conservación frigorífica. Estos resultados

suponen una evidencia de que el beneficio del 1-MCP en el retraso de la maduración y la senescencia no se debe, exclusivamente, a su efecto sobre inhibición del etileno sino también de manera indirecta a su acción sobre el potencial antioxidante del fruto.

Efecto del 1-MCP sobre los parámetros de calidad

Evolución de la firmeza

La firmeza de la pera va disminuyendo durante los meses de conservación frigorífica, hasta alcanzar valores de 10 N o inferiores en frutos completamente maduros (firmeza medida por el método de Magness Taylor con un pistón de 8 mm de diámetro). Para una buena estimación organoléptica por parte del consumidor, la firmeza en peras no debería ser menor de 20 N en el momento del consumo. Minimizar el ablandamiento de la pulpa después de la cosecha, tanto durante el almacenamiento en frío como en la posterior vida útil o vida comercial, es la clave para mantener una buena calidad. El ablandamiento de la pulpa es etileno-dependiente, en consecuencia el 1-MCP puede retrasar ese proceso.

El descenso de la firmeza durante la conservación y vida útil depende de la variedad y del estado de madurez en cosecha. Después de la frigoconservación, el ablandamiento de los frutos se acelera debido a que la producción del etileno aumenta rápidamente a temperatura ambiente. La aplicación de 1-MCP antes de la conservación retarda el ablandamiento también durante la vida útil y mantiene los frutos con una firmeza comercial durante varios días adicionales con respecto a los frutos no tratados. Sin embargo, si la aplicación se realiza cuando los frutos ya han iniciado la maduración, el

efecto sobre la retención de la firmeza es mucho menor (Hiwasa et al., 2003).

La pérdida de firmeza, ocasionada por el ablandamiento de la pared celular, corre paralela a la producción de etileno. En peras, el efecto del 1-MCP sobre el ablandamiento se asocia con un descenso de la actividad de la enzima β -galactosidasa y con un efecto diferencial sobre la expresión de los genes que la codifican (Mwaniki et al., 2005), una reducción de la actividad glicosidasa (Trincherro et al., 2004) y una reducción del RNAm de los genes PG1 y PG2 de las poligalacturonasas pero no de los genes EG1 y EG2 de las endoglucanasas (Hiwasa et al., 2003). Según estos autores, los resultados sugieren que la expresión de los dos genes PG está regulada por el etileno mientras que la expresión de los EG es etileno-independiente.

Diversos trabajos evidencian la eficacia del tratamiento con 1-MCP para mantener la firmeza en las peras, tanto después de largos periodos de conservación frigorífica como después de unos días a temperatura ambiente. Los resultados difieren según las variedades estudiadas y la dosis de 1-MCP aplicada. Según Trincherro et al. (2004), peras 'Barlett' tratadas con 1-MCP y mantenidas de 6 días a 20°C son 75 N más firmes que las no tratadas. En la variedad 'Blanquilla', las peras tratadas con 100 nL.L⁻¹ mantienen una firmeza por encima de 49 N después de 5 meses de conservación frigorífica (Larrigaudière et al., 2004). Ensayos con peras 'Williams', han dado resultados variables según la fecha de cosecha y la dosis aplicada (Calvo, 2003). Este autor no observó diferencias significativas después de 60 días de conservación en la firmeza de las peras procedentes de cosechas tempranas y tratadas dentro de un rango de 100 a 600 nL.L⁻¹. En peras de cosechas tardías, la aplicación de 100 nL.L⁻¹ no fue suficiente para mantener niveles de firmeza aceptables

siendo necesarias aplicaciones por encima de 200 nL.L⁻¹. En ensayos posteriores se ha demostrado que la firmeza mantiene unos valores por encima de 20 N a los 180 días de conservación más 7 días de vida útil, independientemente de la dosis aplicada (200, 400 o 500 nL.L⁻¹ de 1-MCP), siempre que los frutos se recolecten en un estado de madurez óptimo. En cambio, si la cosecha es tardía se necesitan dosis mayores. El efecto del tratamiento también depende del periodo de vida útil después de la frigoconservación, de manera que se requieren dosis mayores para mantener una firmeza por encima de 20 N si los frutos permanecen 14 días a temperatura ambiente (Calvo, 2004).

En general se observa un efecto sinérgico entre el tratamiento con 1-MCP y la conservación en atmósfera controlada en el mantenimiento de la firmeza, aunque el comportamiento es variable en distintas variedades de pera (Eccher-Zerbini et al., 2005). El efecto es especialmente evidente después de periodos prolongados de vida útil (14 o 22 días) observándose diferencias significativas entre la atmósfera controlada y el frío normal (Rizzolo et al., 2005).

Producción de volátiles

El etileno regula la producción de componentes volátiles que contribuyen al aroma de los frutos climatéricos. El compuesto 1-MCP al reducir la producción de etileno, reduce la capacidad de producir estos volátiles. La duración de la respuesta viene determinada por las condiciones del tratamiento, y particularmente por el estado de madurez de los frutos en el momento de la aplicación. Sin embargo, el efecto no es irreversible sino que revierte cuando se inicia de nuevo la síntesis de etileno en los frutos (Mattheis et al., 2000).

En peras 'd'Anjou' se ha demostrado que el tratamiento con 1-MCP retrasa y reduce la producción de esteres totales obteniéndose el máximo de estos compuestos a los 8 meses de conservación frigorífica, a diferencia de los frutos no tratados en los que la producción máxima se da a los 4 meses. La producción total de alcoholes y aldehídos no se retarda aunque sí disminuye. La producción de ácido acético también es menor entre los 2 y los 6 meses de conservación en los frutos tratados, pero no se presentan diferencias respecto al control, a los 8 meses (Argenta et al., 2003). Pese a esta reducción y retraso en la producción de volátiles, cuando los frutos tratados con 1-MCP empiezan a madurar la producción de volátiles es similar a la de los frutos control. Así en el ensayo anterior se observó que una aplicación de etileno después de la conservación estimuló la producción de algunos compuestos volátiles en los frutos tratados con 1-MCP, de manera que respondieron de igual forma a la aplicación exógena de etileno que los no tratados.

Eccher-Zerbini et al. (2005) demostraron también que en peras 'Conference' y 'Abbé Fetel' el tratamiento con 1-MCP tiene un efecto significativo en la reducción del total de volátiles. Los frutos tratados con 50 nL.L⁻¹ de 1-MCP redujeron la producción de volátiles tales como acetaldehído, metil acetato, metanol, etanol, butil acetato, butanol y etil butanoato. Estos compuestos generalmente se producen en altas cantidades en los frutos maduros y contribuyen al aroma característico de la pera madura.

El efecto del 1-MCP sobre la producción de volátiles y la calidad sensorial depende del tiempo de conservación y de la dosis aplicada. Rizzolo et al. (2005) comprobaron que la producción de volátiles en peras 'Conference' es mayor en los frutos control que en los tratados con 25 nL.L⁻¹ y en estos últimos mayor que en los tratados con 50 nL.L⁻¹. La

dosis más elevada, comparada con el control, provoca una menor producción de ésteres de acetato, etil butanoato, etanol, propanol, butanol, acetaldehído y propanal y una mayor producción de 3-metilbutil 2-metilbutanoato. Respecto a la calidad sensorial, los frutos control y los tratados con 25 nL.L⁻¹ alcanzan una calidad organoléptica óptima a las 14 semanas de almacenamiento, siendo más firmes, jugosos y aromáticos, mientras que los frutos tratados con 50 nL.L⁻¹ alcanzan estas características a las 22 semanas, cuando el resto de los frutos entra ya en una fase de deterioro.

Evolución del color

El compuesto 1-MCP reduce o retrasa la pérdida de color verde en diferentes frutas y hortalizas. Para muchos productos, especialmente vegetales de hoja y algunas variedades de manzana y también en algunas de peras, el mantenimiento del color verde es deseable en el mercado y el amarillamiento es considerado como un signo de senescencia (Watkins, 2006). Sin embargo, para otros frutos la pérdida de clorofila y el desenmascaramiento o la nueva síntesis de pigmentos coloreados es un aspecto esencial de la maduración (Kays, 1997). Por tanto, el éxito del uso del 1-MCP requiere un retraso, pero no una inhibición irreversible de los procesos que involucran el metabolismo de la pigmentación (Watkins, 2006).

Se ha comprobado que la aplicación de 1-MCP reduce la pérdida de color verde en peras 'Williams' tanto en conservación frigorífica como durante su posterior vida útil (Calvo, 2004). Los frutos tratados con 1-MCP presentan un valor del tono (ángulo Hue) mayor de 105°, por tanto mantienen el color verde hasta un período de 60 días de conservación más 7 días de vida útil, siempre que la cosecha se realice en el momento óptimo y hasta los 30 días cuando la cosecha

es más tardía. Para un periodo de vida útil más prolongado (14 días) el color varía hacia a un tono amarillento (Hue menor de 100°) en ambas cosechas.

Ekman et al. (2004) comprobaron asimismo que la aplicación de 1-MCP influye en la evolución del color en la variedad de peras 'Barlett'. Los frutos tratados tardan más días en alcanzar un tono amarillo (ángulo Hue igual o menor de 102°) que los frutos control. El efecto es variable respecto al tiempo de conservación y a la dosis aplicada. Estos autores ensayando aplicaciones de 500 y 1000 nL.L⁻¹, obtuvieron diferencias estadísticamente significativas después de 6 o 12 semanas de conservación a -1°C, mientras que a partir de las 18 semanas no se apreció ninguna diferencia respecto al control.

Isidoro y Almeida (2006) también encontraron diferencias en el color respecto a la dosis de 1-MCP aplicada en peras 'Rocha'. En este estudio, los frutos tratados con 500 o 1000 nL.L⁻¹ mantuvieron el color verde después de 120 días a 0°C más 7 días a 20°C, mientras que en los tratados con sólo 100 nL.L⁻¹ y en los no tratados el color amarillo se manifestó rápidamente durante el periodo de vida útil.

En la evolución del color además de la duración de la frigoconservación, influye también el régimen de almacenamiento. En peras 'Conference', después 22 semanas de conservación en frío normal más 7 días a 20°C el efecto del 1-MCP sobre el color aparece en los frutos tratados con 50 nL.L⁻¹, que presentan valores más elevados del tono (ángulo Hue) que los tratados con 25 nL.L⁻¹ y que los frutos sin tratar. En cambio, en atmósfera controlada, aunque durante todo el periodo de conservación los frutos tratados se mantienen más verdes que los control, a las 22 semanas no se detectan diferencias entre dosis (Rizzolo et al., 2005).

Contenido de ácidos orgánicos, azúcares y componentes nutricionales

El efecto del 1-MCP en la acidez titulable es variable, ya que muchas variedades se ven afectadas por el tratamiento pero otras no. Argenta et al. (2003) comprobaron en peras 'd'Anjou' que los valores de acidez titulable son superiores en los frutos tratados con 1-MCP que en los controles. Resultados similares obtuvo Lafer (2005) en un estudio efectuado con las variedades 'Williams', 'Bosc' y 'Packham's Triumph'. También Isidoro y Almeida (2006) observaron en pera 'Rocha' después de 120 días a 0 °C más 7 días a 20 °C que en los frutos tratados con dosis elevadas (500 o 1000 nL.L⁻¹) la acidez se mantiene constante y superior a la de los frutos no tratados o tratados con dosis más bajas (100 nL.L⁻¹). Con las dosis elevadas de 1-MCP se mantiene aproximadamente un valor de acidez de 1.4 g/L hasta los 14 días de vida útil, mientras que el resto de los frutos, a los 7 días ya presentan valores inferiores. Por otro lado, diversos estudios señalan que el tratamiento con 1-MCP no proporciona un efecto adicional (Trincherro et al., 2004) o consistente (Calvo, 2004) sobre la acidez en peras.

En cuanto al contenido de sólidos solubles en los frutos tratados con 1-MCP se podría esperar que fuera mayor que en aquellos no tratados, debido a la reducción que este compuesto provoca en la tasa de respiración. Sin embargo, se ha observado que el tratamiento puede aumentar, disminuir o no afectar al contenido de sólidos solubles, dependiendo de la especie, la variedad y las condiciones de conservación (Watkins, 2006). Algunos autores han demostrado que no existe efecto del tratamiento con 1-MCP en la concentración de sólidos solubles en las variedades de pera 'Beurré d'Anjou' (Calvo, 2003), 'Bosc' (Lafer, 2005), 'Packham's Triumph' (Calvo, 2003; Lafer, 2005), 'Bar-

lett' (Trincherro et al., 2004), 'Red Clapps' (después de al menos 45 días de conservación) (Calvo y Sozzi, 2004) y 'Williams' (Calvo, 2003; Calvo, 2004; Lafer, 2005). En otras variedades como 'Blanquilla' (Larrigaudiere et al., 2004) y 'Rocha' (Isidoro y Almeida, 2006) se ha detectado un contenido de sólidos solubles inferior en las peras tratadas.

El efecto de la aplicación de 1-MCP sobre la calidad nutricional ha sido poco estudiada (Watkins, 2006). Sin embargo en peras 'Blanquilla' tratadas con 1-MCP se ha visto que el contenido de ácido ascórbico (vitamina C) permanece a unos niveles más bajos que en los frutos sin tratar. Probablemente los niveles de ácido ascórbico decrecen en los frutos tratados debido a que aumenta la actividad de la enzima ascorbato peroxidasa que promueve la oxidación de este compuesto a dehidroascorbato (Larrigaudiere et al., 2004).

Pérdida de peso

Los resultados obtenidos en varios trabajos demuestran que el efecto del 1-MCP sobre la pérdida de peso durante la conservación no está del todo claro, ya que no son coincidentes para las distintas especies e incluso para las diferentes variedades de una misma especie. Según Calvo (2001a y 2001b) el 1-MCP no tiene efecto sobre la pérdida de peso en las variedades de pera 'Williams' y 'Beurré d'Anjou'. En 'Packham's Triumph', los resultados son variables entre autores; según Calvo (2001b) el tratamiento con 1-MCP no afecta mientras que según Moggia et al. (2002) reduce la pérdida de peso en esta variedad.

En otros casos se ha comprobado que el efecto del 1-MCP sobre la pérdida de peso es dependiente del estado de madurez de los frutos en el momento de la aplicación

del producto. Así, en un estudio realizado por Calvo (2004) con la variedad 'Williams', se vio que las peras cosechadas en el momento óptimo y tratadas con 1-MCP presentaban una menor deshidratación durante 150 días de conservación frigorífica. Sin embargo, en las peras cosechadas tardíamente, el tratamiento con 1-MCP no afectaba de manera significativa a la pérdida de peso.

Por otro lado, contradiciendo los resultados anteriores, Mitcham *et al.* (2001) afirman que peras tratadas con 1-MCP y conservadas en atmósfera normal tienen un mayor riesgo de pérdida de humedad y por consiguiente de pérdida de peso, que las conservadas en atmósfera controlada. Mattheis *et al.* (2000) sostienen que este mayor riesgo de deshidratación en los frutos tratados con 1-MCP se debe a una menor cantidad de componentes cuticulares lipídicos en la piel del fruto después del tratamiento. Como estos componentes lipídicos contribuyen a reducir la pérdida de humedad, el riesgo de deshidratación aumenta. Sin embargo, ambas referencias coinciden en que mediante un manejo adecuado de la humedad, este efecto puede contrarrestarse.

Efecto del 1-MCP sobre los desórdenes fisiológicos, los daños mecánicos y las podredumbres

La pera es una fruta sensible a las alteraciones o desórdenes fisiológicos de piel y pulpa que se desarrollan durante la conservación frigorífica. Estos desórdenes provocan una pérdida parcial o total del valor comercial de la fruta. Los desórdenes externos más habituales en pera son el escaldado superficial (en las variedades sensibles) y los daños físicos o mecánicos (daños por impacto, compresión y vibración). Entre los desórdenes internos destacan el corazón pardo ('brown heart'), la descomposición interna

('internal breakdown'), el pardeamiento interno ("internal browning") y los desórdenes asociados a la senescencia que afectan tanto a la piel como a la pulpa. Resulta deseable por tanto, el desarrollo de protocolos para el uso comercial del 1-MCP en peras para prevenir estas alteraciones.

Escaldado superficial

Diversos estudios realizados en diferentes variedades de pera indican que el tratamiento con 1-MCP reduce la incidencia y severidad del escaldado superficial, demostrando que puede ser un sustituto efectivo de los antiescaldantes difenilamina y etoxiquina. El 1-MCP ha resultado muy efectivo para prevenir el escaldado superficial en peras 'Beurré d'Anjou' y 'Packham's Triumph' (Calvo, 2003). Por ejemplo, dosis de 200 nL.L⁻¹ en 'Beurré d'Anjou' y de 400 nL.L⁻¹ en 'Packham's Triumph' inhiben totalmente el desarrollo de escaldado después de 270 días de conservación más 14 días de vida útil. Otros autores afirman sin embargo que el escaldado superficial se reduce gracias a la aplicación de 1-MCP, pero no se controla totalmente (Argenta *et al.*, 2003; Lafer, 2005). Rizzolo *et al.* (2005) indican que después de 22 semanas de conservación, tanto en frío normal como en atmósfera controlada el tratamiento con dosis bajas de 1-MCP (25 o 50 nL.L⁻¹) no resulta eficaz para reducir el escaldado superficial en peras 'Conference'. Eccher-Zerbini *et al.* (2005) afirman que el 1-MCP no puede sustituir a la atmósfera controlada en el control de esta alteración, pero sí reforzar su efecto. El 1-MCP parece ser más efectivo en las variedades que tienen tasas de producción de etileno más bajas.

Es necesario tener en cuenta que un control total del escaldado superficial mediante la aplicación de 1-MCP podría inhibir por completo el proceso de maduración de las peras

dependiendo de la dosis aplicada. Ekman et al. (2004) comprobaron que un tratamiento con dosis elevadas de 1-MCP (1000 nL.L^{-1}) evita la manifestación de escaldado superficial en 'Barlett' pero no permite que los frutos maduren normalmente después de la conservación frigorífica. Bai et al. (2006) observaron que el escaldado superficial en peras 'd'Anjou' no se controla con dosis de 25 nL.L^{-1} o inferiores, mientras que utilizando dosis de 300 nL.L^{-1} disminuye la incidencia de escaldado, pero las peras se mantienen duras, con una firmeza superior a 27 N y no alcanzan la calidad de consumo. Dosis intermedias de 50 nL.L^{-1} permiten alcanzar la madurez de consumo a la vez que reducir de forma substancial, aunque no controlar totalmente el escaldado.

El origen bioquímico del escaldado superficial ha sido relacionado con la acumulación de α -farnaseno y de compuestos trieno conjugados (CTH) en la piel de los frutos durante la conservación a bajas temperaturas (Soria y Recasens, 1997). Los CTH son resultado de la oxidación *in vivo* del α -farnaseno y son considerados como los agentes causales del escaldado superficial (Rowan et al., 1995; Whitaker et al., 1997). Isidoro y Almeida (2006) examinando el efecto del tratamiento con 1-MCP en los niveles de α -farnaseno y CTH en peras 'Rocha', encontraron que dosis de 500 y 1000 nL.L^{-1} inhiben el desarrollo de escaldado superficial porque reducen la acumulación de estos compuestos durante la conservación. Resultados similares se han obtenido en peras 'd'Anjou' tratadas con 300 nL.L^{-1} (Gapper et al., 2006).

En peras 'Conference' tratadas con 25 o 50 nL.L^{-1} de 1-MCP y conservadas hasta 14 semanas en frío normal, los contenidos de α -farnaseno disminuyen por efecto del tratamiento, pero para periodos más largos (22-25 semanas) no se aprecian prácticamente diferencias respecto a los frutos control (Eccher Zerbini et al., 2005; Rizzolo et

al., 2005). Los diferentes compuestos trieno conjugados evolucionan de forma distinta. La concentración de los compuestos CT258 durante las primeras semanas de conservación es más elevada en los frutos tratados y va disminuyendo de manera que al final de la conservación la concentración es mayor en los frutos control. En cambio, los valores de los compuestos CT281 en los frutos tratados se mantuvieron siempre por debajo de los detectados en los frutos control.

Se ha comprobado en peras "d'Anjou" (Gapper et al., 2006) que la aplicación de 1-MCP inhibe la expresión de PcAFS1, gen que codifica la enzima α -farnaseno sintetasa (AFS) reduciendo la síntesis y oxidación de α -farnaseno y por tanto la acumulación de CTH y retrasando el desarrollo de escaldado superficial. Un mecanismo similar se ha identificado en manzanas 'Law Rome' (Pechous et al., 2005), de donde se deduce que la regulación de la actividad y expresión de AFS es una herramienta para el control del escaldado superficial en estos frutos.

Daños mecánicos

El ablandamiento de las peras debido a la maduración incrementa su susceptibilidad a los daños físicos; los frutos parcial o totalmente maduros son mucho más susceptibles a las magulladuras por vibración e impacto. Según Calvo y Sozzi (2004), la aplicación de 200 nL.L^{-1} de 1-MCP en peras 'Red Clapps' puede proporcionar una mayor flexibilidad y resistencia para resistir los posibles daños físicos ocasionados en las diferentes operaciones comerciales como la clasificación, el envasado y el transporte. Como el tratamiento con 1-MCP retrasa la senescencia, también reduce las alteraciones propias de este estado del fruto, por ejemplo el escaldado de senescencia en peras 'd'Anjou' (Argenta et al., 2003), 'Abbé Fétel' (Eccher

Zerbini et al., 2005), 'Bon Chretien' y 'Packham's Triumph' (Crouch, 2003) y en peras 'La France' disminuye el pardeamiento interno debido a la senescencia (Kubo et al., 2003).

Desórdenes internos

La aplicación de 1-MCP se ha mostrado eficaz en el control de alteraciones internas del fruto, aunque en muchos casos el control de estas alteraciones depende de la variedad y de la dosis de 1-MCP. Según Argenta et al. (2003) en peras 'd'Anjou' el tratamiento con una dosis de 100 nL.L⁻¹ es suficiente para controlar el pardeamiento interno y el escaldado de senescencia después de 6 u 8 meses de conservación frigorífica. En peras 'Red Clapp's' una dosis de 100 nL.L⁻¹ no es suficiente para disminuir la incidencia de descomposición interna, mientras que aumentando la dosis a 200 nL.L⁻¹ se reduce la manifestación de los síntomas durante un periodo de 14 días a 20°C después de 60 días a -0,5°C (Calvo y Sozzi, 2004).

Asimismo Ekman et al. (2004) han evidenciado una reducción de la descomposición interna en peras 'Barlett' tratadas con 1-MCP. Después de 18 semanas de conservación a -1°C más 8 días a 20°C, en los frutos tratados con una dosis de 500 nL.L⁻¹ la incidencia de esta alteración se reduce al 10% frente a los no tratados que presentan una incidencia igual o superior al 50 %. Después de 24 semanas en los frutos tratados con 500 nL.L⁻¹ la incidencia de la alteración aumenta al 50% mientras que en los tratados con una dosis de 1000 nL.L⁻¹ no se observa ningún fruto afectado.

Lafer (2005) después de estudiar el efecto del tratamiento con 1-MCP en distintas variedades de pera indica que la incidencia de alteraciones asociadas a una recolección

tardía, como el pardeamiento interno, el corazón pardo o la presencia de cavidades, se reducen significativamente con el tratamiento de 1-MCP, aunque depende del año evaluado, y de que la variedad sea más sensible ('Williams' y 'Bosc') o menos ('Packham's Triumph').

Podredumbres

El tratamiento con 1-MCP también puede modificar el desarrollo de podredumbres, aunque las respuestas son muy variables entre especies y condiciones de aplicación. Las podredumbres originadas por los hongos *Penicillium expansum*, *Alternaria spp.* y *Botrytis cinerera* son las más habituales en peras después de prolongados períodos de conservación frigorífica (Lafer, 2005). La capacidad del 1-MCP para reducir estas podredumbres varía considerablemente según la variedad y el estado de madurez del fruto. Argenta et al. (2003) comprobaron que el tratamiento con 230 nL.L⁻¹ de 1-MCP disminuye la incidencia de podredumbres, al igual que lo observado en los desórdenes fisiológicos, pero de manera significativa únicamente en 'Williams' y 'Packham's Triumph'. También los frutos de una cosecha tardía presentan más podredumbres por hongos en comparación con los de la cosecha óptima o más temprana.

Se conoce poco acerca de cómo afecta el tratamiento con 1-MCP sobre las infecciones por patógenos. Según Saftner et al. (2003) 1-MCP puede reducir las podredumbres en manzanas gracias a que el tratamiento mantiene la firmeza y por tanto aumenta la resistencia a la infección. En melocotón la resistencia en los frutos tratados se ha correlacionado con una mayor actividad de las enzimas fenilalanina amonioliasa (PAL), polifenoloxidasas (PPO) y peroxidasa (POD) (Liu et al., 2005). En fresas, un incremento de susceptibilidad a las podredumbres en

los frutos tratados con elevadas concentraciones de 1-MCP puede estar asociado con una baja actividad de la PAL (Jiang et al., 2001). En principio, el retraso de la maduración asociado a la reducción de la producción de etileno puede aumentar la resistencia a la infección (Watkins, 2006). Sin embargo, se necesitan pequeñas cantidades de etileno endógeno para mantener los niveles básicos de resistencia a los estreses patológicos y medioambientales debido al efecto de esta hormona sobre la regulación de los genes de defensa que actúan contra el estrés (Marcos et al., 2005).

Bloqueo de la maduración en peras tratadas con 1-MCP

Dependiendo del producto hortícola al que se aplique el compuesto 1-MCP, puede ser deseable que la respuesta persista indefinidamente (como en las hortalizas de hoja) o bien que remita (como es el caso de los frutos climatéricos), permitiendo que pasado un cierto tiempo después del tratamiento los frutos maduren correctamente y alcancen las características organolépticas deseadas por el consumidor (Watkins, 2006).

A diferencia de las manzanas, la calidad óptima de consumo en muchas de las variedades de pera se alcanza cuando los frutos están blandos a la vez que se mantienen jugosos. La aplicación comercial de 1-MCP en variedades europeas es potencialmente problemático ya que en varios ensayos experimentales se observa que las peras tratadas con 1-MCP no llegan a recobrar su habilidad para madurar, y el efecto residual del tratamiento no se disipa fácilmente después de un período de conservación en frío ya que las peras mantienen una firmeza elevada y el color característico del estado inmaduro (Argenta et al., 2003; Ekman et

al., 2004; Trincherro et al., 2004; Chen y Spotts, 2005).

Las peras 'Barlett' y 'd'Anjou,' si no se tratan con 1-MCP, normalmente maduran después de la conservación frigorífica a lo largo de un periodo de vida útil de 5 y 7 días respectivamente y alcanzan su calidad de consumo con una firmeza de la pulpa entre 14 y 23 N (Chen et al., 2003). Sin embargo aplicando una dosis de 1-MCP igual o superior a 30 nL.L⁻¹ en peras 'Barlett', éstas pierden completamente su capacidad de madurar, sin alcanzar la firmeza óptima de consumo después de 3-5 meses de frigoconservación (Chen y Spotts 2005). Bai et al. (2006) en un ensayo realizado en 2003 también encontraron que aplicando una dosis de 300 nL.L⁻¹ en peras 'Barlett' y 'd'Anjou', los frutos no maduran normalmente después de la conservación.

La respuesta al tratamiento y la posterior capacidad para madurar correctamente después de la conservación en frío depende de la variedad, de la dosis aplicada y del tiempo que las peras permanecen en la cámara frigorífica. En peras 'Williams' una concentración de 10 nL.L⁻¹ de 1-MCP no es suficiente para inhibir la maduración mientras que las dosis más altas (100, 200, 400 y 600 nL.L⁻¹) aunque tampoco llegan a inhibirla, la retrasan (Calvo, 2003). Cuando se usan las dosis de 400 y 600 nL.L⁻¹ y las peras se conservan por un período de 90 días se necesitan más de 20 días a temperatura ambiente para adquirir la calidad de consumo. Estas mismas dosis (400 y 600 nL.L⁻¹) inhiben la capacidad normal de maduración en peras 'Beurré d'Anjou' y 'Packham's Triumph' cuando se conservan 90 y 150 días en frío. Aplicando la dosis de 400 nL.L⁻¹ se necesitan 15 días a 20°C para adquirir una calidad comestible, después de 210 días de conservación frigorífica en 'Beurré d'Anjou' o 270 días en 'Packham's Triumph'. Con una dosis de 600 nL.L⁻¹, 'Beurré d'Anjou' requiere 11 días para

madurar después de 270 días de frigoconservación mientras que 'Packham's Triumph' no llega a madurar normalmente.

Según un estudio de Crouch (2003) con dosis de 300 a 1000 nL.L⁻¹ en las variedades 'Bon Chretien' y 'Packham's Triumph', las peras tratadas permanecen más firmes que las no tratadas (69 N y 40 N respectivamente) a la vez que tampoco se produce un cambio de color después de 7 días a 15°C, permaneciendo verdes mientras que los testigos maduran normalmente. Los frutos tratados sólo cambian a un color amarillo después de un periodo de 3 semanas a 15°C. Sin embargo, las peras de las cosechas más tardías recuperan mejor la maduración durante el almacenamiento a 15°C que las de las cosechas más tempranas. Estos resultados demuestran que la respuesta al tratamiento con 1-MCP en peras es también dependiente del estado de maduración de los frutos en el momento de la aplicación del 1-MCP.

Todos estos resultados sugieren que el 1-MCP tiene un efecto residual prolongado en pera y/o hay un lapso de tiempo antes de que los niveles de etileno permitan una respiración normal en los frutos y puedan darse los procesos propios de la maduración. Considerando que 1-MCP se une irreversiblemente a los sitios de unión de los receptores del etileno (Sisler et al., 1996), una aplicación exógena o la propia síntesis de etileno no pueden superar este efecto hasta que se generen nuevos receptores (Crouch, 2003).

Existe un debate acerca de las principales causas fisiológicas que llevan a recobrar la habilidad para madurar en peras tratadas con 1-MCP. La síntesis de nuevos receptores y, probablemente, la disociación del 1-MCP de los sitios de unión de los receptores del etileno después de períodos largos de tiempo son las dos hipótesis que pueden explicar la reanudación del proceso de maduración

(Blankenship y Dole, 2003). En cualquier caso, las condiciones de la aplicación de 1-MCP (concentración, temperatura, y duración del tratamiento) deberían permitir que las peras maduren normalmente después de un tiempo de conservación, para alcanzar los parámetros óptimos de comercialización y consumo.

Para evitar el problema del bloqueo de la maduración en peras debido al tratamiento con 1-MCP, Crouch (2003) propone utilizar dosis más bajas o reducir el tiempo de aplicación mientras que Bai et al. (2006) en principio sugieren el uso de tratamientos de acondicionamiento térmico después de la conservación frigorífica, para no modificar la dosis de 300 nL.L⁻¹ que se aplica a nivel comercial.

Bai et al. (2006) identificaron que la mejor combinación de acondicionamiento en peras 'Barlett' tratadas con 300 nL.L⁻¹ de 1-MCP es de 10 días a 20°C o 20 días a 10°C, si los frutos han permanecido 2 meses en frío normal o 4 meses en atmósfera controlada, y de 10 días a 15°C, para conservaciones de 4 meses en frío normal y 6 meses de atmósfera controlada. Con esta combinación tiempo-temperatura, las peras mantienen una firmeza de la pulpa por encima de 45 N y pueden ser transportadas y distribuidas sin riesgo de daños mecánicos. Los frutos maduran durante los días siguientes a 20°C hasta alcanzar una firmeza inferior a 27 N (calidad comestible) en aproximadamente 7 días más tarde que los controles. Sin embargo, en este mismo ensayo se determinó que en peras 'd'Anjou' tratadas con 300 nL.L⁻¹ de 1-MCP ninguna combinación de preacondicionamiento de 10-20°C durante 5-20 días permite alcanzar un ablandamiento o madurez de consumo. Las peras de esta variedad sólo maduran reduciendo la dosis aplicada, necesitando un periodo de vida útil de aproximadamente 7 días cuando la

dosis es inferior a 25 nL.L⁻¹ y de 21 días para tratamientos con 50 nL.L⁻¹ de 1-MCP.

En vista de los estudios anteriores, se hace necesario continuar las investigaciones sobre los efectos concretos que el 1-MCP provoca en las distintas variedades de pera y ajustar las condiciones del tratamiento en cuanto a dosis, temperatura, tiempo y momento de aplicación. Asimismo se requiere ensayar distintos sistemas para evitar que se altere la capacidad de madurar de los frutos después de un periodo de conservación frigorífica y alcanzar los valores de firmeza, color, aromas y ausencia de alteraciones fisiológicas que permitan una buena comercialización.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado con el soporte económico de una beca predoctoral MAEC-AECI, del Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación y la Agencia Española de Cooperación Internacional. Se agradece también a la empresa AgroFresh por su ayuda financiera.

Bibliografía

- Argenta LC, Fan XT, Mattheis JP, 2003. Influence of 1-methylcyclopropene on ripening, storage life, and volatile production by d'Anjou cv. pear fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 3858-3864.
- Bai J, Mattheis JP, Reed N, 2006. Re-initiating softening ability of 1-methylcyclopropene-treated 'Bartlett' and 'd'Anjou' pears after regular air or controlled atmosphere storage. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 81: 959-964.
- Baritelle AL, Hyde GM, Fellman JK, Varith J, 2001. Using 1-MCP to inhibit the influence of ripening on impact properties of pear and apple tissue. *Postharvest Biology and Technology*. 23: 153-160.
- Blankenship SM, Dole JM, 2003. 1-Methylcyclopropene: A review. *Postharvest Biology and Technology*. 28: 1-25.
- Blankenship SM, Richardson DG, 1985. Development of ethylene biosynthesis and ethylene-induced ripening in d'Anjou pears during the cold requirement for ripening. *Journal of American Society for Horticultural Science*. 110: 520-523.
- Calvo G, 2001a. Efecto del 1-metilciclopropeno en peras cv. Williams cosechadas con dos estados de madurez diferentes. Informe convenio Rohm and Haas. INTA Alto Valle, Río Negro, Argentina. 33p.
- Calvo G, 2001b. Efecto del 1-MCP sobre la madurez y control de escaldadura en peras cv. Beurré D'anjou y Packham's Triumph. Informe convenio Rohm and Haas. INTA Alto Valle, Río Negro, Argentina. 53p.
- Calvo G, 2003. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on pear maturity and quality. *Acta Horticulturae*. 628 (Vol 1): 203-211.
- Calvo G, 2004. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on William's pears harvested in two stage of maturity. *RIA, Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 33: 3-25.
- Calvo G, Sozzi GO, 2004. Improvement of postharvest storage quality of 'Red Clapp's' pears by treatment with 1-methylcyclopropene at low temperature. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 79: 930-934.
- Chen PM, Spotts RA, 2005. Changes in ripening behaviors of 1-MCP-treated 'd'Anjou pears after storage. *International Journal of Food Science*. 5: 3-18.
- Chen PM, Varga DM, Seavert CF, 2003. Developing a value-added fresh-cut 'd'Anjou' pear product. *HortTechnology*. 13: 314-320.
- Crouch I, 2003. 1-Methylcyclopropene (Smart-Fresh™) as an alternative to modified atmosphere and controlled atmosphere storage of

- apples and pears. *Acta Horticulturae*. 600: 433-439.
- DeEll JR, Murr DP, Porteous MD, Rupasinghe HPV, 2002. Influence of temperature and duration of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on apple quality. *Postharvest Biology and Technology*. 24: 349-353.
- Dong Li, Lurie S, Zhou HongWei, 2002. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of 'Canino' apricots and 'Royal Zee' plums. *Postharvest Biology and Technology* 24: 135-145.
- Eccher-Zerbini P, Cambiaghi P, Grassi M, Rizzolo A, 2005. The effect of 1-MCP on the quality of 'Conference' and 'Abbe Fetel' pears. *Acta Horticulturae*. 671: 397-403.
- Ekman JH, Clayton M, Biasi WV, Mitcham EJ, 2004. Interactions between 1-MCP concentration, treatment interval and storage time for 'Bartlett' pears. *Postharvest Biology and Technology*. 31: 127-136.
- Ergun M, Jeong JW, Huber DJ, Cantliffe DJ, 2005. Suppression of ripening and softening of 'Galia' melons by 1-methylcyclopropene applied at pre-ripe or ripe stages of development. *HortScience*. 40: 170-175.
- Fan XueTong, Blankenship SM, Mattheis JP, 1999. 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 124: 690-695.
- Gapper NE, Bai JH, Whitaker BD, 2006. Inhibition of ethylene-induced alpha-farnesene synthase gene PcAFS1 expression in 'd'Anjou' pears with 1-MCP reduces synthesis and oxidation of alpha-farnesene and delays development of superficial scald. *Postharvest Biology and Technology*. 41: 225-233.
- Hiwasa K, Kinugasa Y, Amano S, Hashimoto A, Nakano R, Inaba A, Kubo Y, 2003. Ethylene is required for both the initiation and progression of softening in pear (*Pyrus communis* L.) fruit. *Journal of Experimental Botany*. 54: 771-779.
- Isidoro N, Almeida DPF, 2006. Alpha-farnesene, conjugated trienols, and superficial scald in 'Rocha' pear as affected by 1-methylcyclopropene and diphenylamine. *Postharvest Biology and Technology*. 42: 49-56.
- Jeong J, Huber DJ, Sargent SA, 2002. Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 25: 241-256.
- Jiang Y, Joyce DC, Terry LA, 2001. 1-Methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay. *Postharvest Biology and Technology*. 23: 227-232.
- Kappel F, Fisherfleming R, 1995. Ideal pear sensory attributes and fruit characteristics. *HortScience*. 30: 988-993.
- Kays SJ, 1997. *Postharvest physiology of perishable plan products*. Athens: Georgia Exon Press.
- Kubo Y, Hiwasa K, Owino W, Nakano R, Inaba A, 2003. Influence of time and concentration of 1-MCP application on the shelf life of pear 'La France' fruit. *HortScience*. 38 (7): 1414-1416.
- Lafer G, 2005. Effects of 1-MCP treatments on fruit quality and storability of different pear varieties. *Acta Horticulturae*. 682 (Vol 2): 1227-1231.
- Larrigaudiere C, Lenthéric I, Pintó E, Vendrell M, 2001. Short-term effects of air and controlled atmosphere storage on antioxidant metabolism in 'Conference' pears. *Journal of Plant Physiology*. 158: 1015-1022.
- Larrigaudiere C, Vilaplana R, Soria Y, Recasens I, 2004. Oxidative behaviour of 'Blanquilla' pears treated with 1-methylcyclopropene during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 84: 1871-1877.
- Lelievre JM, Tichit L, Dao P, Fillion L, Nam Young-Woo, Pech J.C.; Latche, 1997. Effects of chilling on the expression of ethylene biosynthetic genes in Passe-Crassane pear (*Pyrus communis* L.) fruits. *Plant Molecular Biology*. 33: 847-855.
- Liu HongXia, Jiang WeiBo, Zhou LiGang, Wang BaoGang, Luo YunBo, 2005. The effects of 1-methylcyclopropene on peach fruit (*Prunus persica* L. cv. Jiubao) ripening and disease resistance. *International Journal of Food Science & Technology*. 40: 1-7.

- Ma S, Chen PM, Mielke EA, 2000. Storage life and ripening behavior of 'Cascade' pears as influenced by harvest maturity and storage temperature. *Journal of American Pomological Society*. 54: 138-147.
- Marcos JF, Gonzales-Candelas L, Zacarias L, 2005. Involvement of ethylene biosynthesis and perception in the susceptibility of citrus fruits to *Penicillium digitatum* infection and the accumulation of defence-related mRNAs. *Journal of Experimental Botany*. 56: 2183-2193.
- Mattheis JP, Fan X, Argenta LCA, 2000. Manipulation of 'Barlett' pear fruit ripening with 1-MCP. In *Septiembre 4-9, Anonymous*. 263-265p.
- Miller AR, 1986. Oxidation of cell wall polysaccharides by hydrogen peroxide: A potential mechanism for cell wall breakdown in plants. *Biochemical Biophysical Research Communications*. 141: 283-244.
- Mir NA, Curell E, Khan N, Whitaker M, Beaudry RM, 2001. Harvest maturity, storage temperature, and 1-MCP application frequency alter firmness retention and chlorophyll fluorescence of 'Redchief Delicious' apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 126: 618-624.
- Mitcham B, Mattheis J, Bower J, Biasi B, Clayton M, 2001. Responses of European Pears to 1-MCP. *Perishables Handling Quarterly*. 108: 16-19.
- Moggia C, Pereira M, Yuri J, 2002. Effectiveness of application of SmartFresh (1-MCP) in Packham's Triumph pears. *Revista Fruticola*. 22:3.
- Mwaniki MW, Mathooko FM, Matsuzaki M, Hiwasa K, Tateishi A, Ushijima, K., Nakano, R., Inaba, A., Kubo Y., 2005. Expression characteristics of seven members of the beta -galactosidase gene family in 'La France' pear (*Pyrus communis* L.) fruit during growth and their regulation by 1-methylcyclopropene during postharvest ripening. *Postharvest Biology and Technology*. 36: 253-263.
- Pechous SW, Watkins CB, Whitaker BD, 2005. Expression of α -farnesene synthase gene AFSI in relation to levels of α -farnesene and conjugated trienols in peel tissue of scald-susceptible 'Law rome' and scald-resistant 'Idared' apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 35: 125-132.
- Pre-Aymard C, Weksler A, Lurie S, 2003. Responses of 'Anna', a rapidly ripening summer apple, to 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*. 27: 163-170.
- Rizzolo A, Cambiaghi P, Grassi M, Eccher Zerbini P, 2005. Influence of 1-methylcyclopropene and storage atmosphere on changes in volatile compounds and fruit quality of conference pears. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 9781-9789.
- Rowan DD, Allen JM, Fiedler S, Spicer JA, Brimble MA, 1995. Identification of conjugated triene oxidation products of α -farnesene and conjugated trienols in apple skin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 43: 2040-2045.
- Rupasinghe HPV, Murr DP, Paliyath G, Skog L, 2000. Inhibitory effect of 1-MCP on ripening and superficial scald development in 'McIntosh' and 'Delicious' apples. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 75: 271-276.
- Saftner RA, Abbott JA, Conway WS, Barden CL, 2003. Effects of 1-methylcyclopropene and heat treatments on ripening and postharvest decay in 'Golden Delicious' apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 128: 120-127.
- Sisler EC, Dupille E, Serek M, 1996. Effects of 1-methylcyclopropene and methylcyclopropene on ethylene binding and ethylene action on cut carnation. *Plant Growth Regulation*. 18: 79-86.
- Sisler EC, Serek M, 2003. Compounds interacting with the ethylene receptor in plants. *Plant Biology*. 5: 473-480.
- Sisler EC, Serek M, 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments. *Physiology Plantarum*. 100: 577-582.
- Soria Y, Recasens I, 1997. Superficial scald in apples. *ITEA Producción Vegetal*. 93: 49-64.

- Trincherò GD, Sozzi GO, Covatta F, Frascina AA, 2004. Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene extends postharvest life of 'Bartlett' pears. *Postharvest Biology and Technology*. 32: 193-204.
- Watkins CB, 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology Advances*. 24: 389-409.
- Watkins CB, Miller WB, 2005. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) based technologies for storage and shelf-life extension. *Acta Horticulturae*. 687: 201-207.
- Watkins CB, Nock JF, Whitaker BD, 2000. Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air and controlled atmosphere storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*. 19: 17-32.
- Whitaker BD, Solomos T, Harrison PA, 1997. Quantification of α -farnesene and its conjugated trienol oxidation products from apple peel by C18-HPLC with UV detection. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45: 760-765.
- (Aceptado para publicación el 26 de diciembre de 2007)