

Últimos avances en la aplicación del 1-metilciclopropeno (1-MCP) en peras

M.A. Chiriboga^{*,**}, W.C. Schotsmans^{***}, C. Larrigaudière^{**} e I. Recasens^{*,**,1}

* Departamento de Hortofruticultura, Botánica y Jardinería, Universidad de Lleida, Av. Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida, España

** Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias, Av. Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida, Spain

*** GiMa Horticulture, Kerkstraat 79/B1, 2340 Vlimmeren, Bélgica

Resumen

Esta revisión recoge todos los artículos publicados sobre la aplicación poscosecha en pera de 1-metilciclopropeno (1-MCP) desde el año 2007 hasta 2013. Actualmente, el 1-MCP se aplica comercialmente en algunas variedades de pera, mientras que en otras, aún se continúa investigando debido a la complejidad de la respuesta al tratamiento. Una gran variedad de factores pueden afectar la respuesta a la aplicación del 1-MCP entre los que se incluye el estado de madurez y las condiciones en que se efectúa el tratamiento. Otros aspectos como la naturaleza del envase y el sistema de enfriamiento también pueden ser importantes. Dependiendo de la especie y de la variedad, el tratamiento con 1-MCP puede ocasionar una gran diversidad de respuestas fisiológicas y bioquímicas ya que puede afectar la respiración, la producción de etileno, el metabolismo oxidativo y algunos parámetros de calidad, como el color, la firmeza, la acidez o los sólidos solubles. Puede también afectar a la aparición de desórdenes fisiológicos y patologías. Esta revisión pretende recoger lo que se conoce acerca de los usos tecnológicos del 1-MCP en peras y describe las discrepancias entre las distintas publicaciones, así como las áreas que requieren mayor estudio.

Palabras clave: Peras, 1-MCP, metabolismo del etileno, metabolismo antioxidante, bloqueo de la maduración, estado de madurez.

Abstract

Recent advances in the application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) in pears

This review collects all the published papers related to the postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on pear since 2007 to 2013. Currently, 1-MCP is commercially applied in some varieties of pears, while in others, research still continues due to the complexity of the fruit response to the treatment. A variety of factors can affect the application of 1-MCP including fruit maturity and treatment conditions. Other aspects such as the bin material and the cooling method can also play an important role. Depending on the species and cultivar treated, 1-MCP may occur a variety of physiological and biochemical responses and may affect respiration, ethylene production, oxidative metabolism, and some quality changes like color, firmness, acidity and soluble solids. Disorders and diseases can also be affected. This review compiles what is known about the technological uses of 1-MCP on pears, defines where discrepancies exist between reports, and defines areas requiring further study.

Key words: Pears, 1-MCP, ethylene metabolism, antioxidant metabolism, ripening blockage, maturity.

1. Autor para correspondencia: irecasens@hbj.udl.cat

<http://dx.doi.org/10.12706/itea.2014.003>

Introducción

El 1-metilciclopropeno (1-MCP) es una nueva herramienta que actualmente permite alargar la conservación y la vida útil de una gran variedad de frutas, manteniendo los estándares de calidad en poscosecha. Las investigaciones acerca de la aplicación de este producto en diferentes especies han sido muy numerosas en los años posteriores a su descubrimiento (Blankenship y Dole, 2003, Watkins, 2006, Schotsmans *et al.*, 2009, Sozzi y Beaudry, 2007). En lo que respecta a su utilización en peras, se han publicado numerosos trabajos que fueron recogidos en su día por Chiriboga *et al.* (2008) y en los últimos años todavía se sigue investigando la aplicación de este producto en diferentes variedades. En España, en el año 2006 se registró el 1-MCP en manzanas y peras con ciertos usos restringidos para el control del escaldado superficial y el mantenimiento de la firmeza (BOE 23/06/2006). En el año 2011 se autorizó su uso en peras y hasta el momento se aplica a nivel comercial en las variedades "Blanquilla", "Ercolini", "Limonera" y "Williams-Bartlett" con recomendaciones específicas para cada una de ellas. En otras variedades como "Conference" o "Alejandrina" aunque su uso está autorizado, no se comercializa libremente ya que se continúan realizando ensayos, debido a la complejidad de las respuestas al tratamiento con 1-MCP. Sin embargo, en otros países, sí se comercializa para la variedad "Conference", aunque con seguimiento intensivo durante la conservación (comunicación personal Agrofresh).

La presente revisión bibliográfica pretende ser una actualización de todas las publicaciones realizadas acerca de la aplicación del 1-MCP en pera en los últimos años. De esta manera, constituye una continuación de la revisión bibliográfica publicada anteriormente que incluía todas las publicaciones realizadas en este tema hasta el año 2006 (Chiriboga *et al.*, 2008).

Factores que afectan la aplicación de 1-MCP

Según Sozzi y Beaudry (2007) los factores pre y pos cosecha que afectan la respuesta al tratamiento de 1-MCP son numerosos. Se incluyen factores como el genotipo (especie y variedad), las condiciones ambientales, las prácticas culturales en el campo, la fecha de cosecha (estado fisiológico del fruto), las condiciones de aplicación, la susceptibilidad de la fruta a las alteraciones y las condiciones del manejo en poscosecha. En este apartado se han considerado los factores más importantes que afectan la aplicación del 1-MCP en peras.

Concentración, temperatura y duración del tratamiento

Las peras, en general, son muy sensibles a la exposición al 1-MCP y la eficacia del tratamiento depende de la variedad, por ello, se precisa aplicar una concentración adecuada a cada variedad, aunque esto depende en gran medida de la madurez a la cosecha y del tiempo que permanecieran las peras en conservación. Estudios realizados por Raffo *et al.* (2008) en peras "Williams", indican que incluso algunos factores precosecha como la exposición a diferentes intensidades lumínicas o diferentes temperaturas antes de la recolección, pueden ser posibles causas de la variabilidad de la respuesta al tratamiento con 1-MCP.

En peras "Bartlett" una dosis de 300 nL L⁻¹ de 1-MCP logra retrasar la maduración e inhibir la producción del etileno, sin embargo, la respuesta al 1-MCP puede variar dependiendo de la temperatura y duración del tratamiento (Villalobos-Acuña *et al.*, 2011a). En todos los casos el 1-MCP inhibe la maduración, pero las peras tratadas a una temperatura de 0°C recuperan más rápidamente sus parámetros de maduración, tales como la producción de etileno, el ablandamiento y la pérdida de color verde, que las tratadas a 20°C.

Se ha observado que si se realiza el tratamiento a 20 °C no hay diferencias entre mantenerlo durante 12 ó 24 horas, mientras que a 0°C, el efecto es mucho mayor cuando los frutos se tratan durante 24 horas en lugar de 12 horas (Villalobos-Acuña et al., 2011a).

En otras variedades de pera, las concentraciones recomendadas pueden ser diferentes. Por ejemplo en la variedad "Spadona", una dosis de 200 nL L⁻¹ de 1-MCP durante 20 horas a 20°C es suficiente para retrasar la maduración y mejorar el potencial de conservación de la fruta, durante seis meses en atmósfera controlada y dos semanas a 20°C (Gamrasni et al., 2010). En la variedad "Patharnakh", se precisan concentraciones más altas (500 -1000 nL L⁻¹) y una menor duración del tratamiento (4 horas) para retener la firmeza y la pérdida de peso (Mahajan et al., 2010). Sin embargo en peras "Akemizu" y "Kikusui", el tratamiento con 1000 nL L⁻¹ 1-MCP requiere de 12 horas a 25°C para inhibir la tasa de respiración y retrasar el pico de etileno (Li y Wang, 2009, Li et al., 2010).

A fin de reducir el tiempo del tratamiento, también se han realizado ensayos de aplicación de 1-MCP mediante infiltración a bajas presiones en peras japonesas (Kashimura et al., 2010). El tratamiento a bajas presiones ha permitido reducir la pérdida de firmeza y mantener la calidad de las peras durante la conservación, pero ha resultado ser menos efectivo que en manzanas, debido posiblemente a una menor difusión del 1-MCP en la pulpa de las peras.

Estado de madurez y momento de aplicación

En los últimos años, muchos estudios se han enfocado en estudiar el efecto que produce el estado de madurez en cosecha, sobre la respuesta al 1-MCP. Todavía este efecto no está muy claro. Por ejemplo, en peras "Bartlett"

cosechadas en diferentes estados de madurez, la aplicación de 1-MCP retrasa la maduración en todos los casos (producción de etileno, respiración y desarrollo del color amarillo). Sin embargo, la recuperación de la maduración después de la conservación depende de la madurez a la cosecha (Villalobos-Acuña et al., 2011a, Macnish et al., 2012). Un estado de madurez avanzado hace posible una maduración más rápida después de la conservación ya que va acompañada de una mayor estimulación en la producción de etileno.

En peras "Conference", la efectividad del tratamiento con 1-MCP depende también del estado de madurez de la fruta en el momento de la cosecha (Chiriboga et al., 2012, Chiriboga et al., 2013b). Frutos de cosecha temprana (7 días antes de la fecha óptima) o de fecha de cosecha comercial (óptima) se mantienen firmes tras el tratamiento con 1-MCP y pierden su capacidad para ablandarse incluso después de varios días a 20°C. Al contrario, si el tratamiento se da en etapas más avanzadas de madurez (7 y 10 días después de la cosecha óptima) la retención de la firmeza es mucho menor, aunque este efecto también depende del campo e incluso del año en que se cosecha.

Gamrasni et al. (2010) demuestran que la efectividad del tratamiento 1-MCP en peras de la variedad "Spadona" depende de la etapa climatérica del fruto en el momento de la aplicación. El tratamiento inhibe la maduración en peras tratadas antes del pico climatérico o al inicio del mismo, pero estos frutos posteriormente no maduran a una firmeza comestible (< 40N) después de 6 meses de conservación en frío y 2 semanas de vida comercial. Cuando el tratamiento se aplica después de acondicionar los frutos a 20°C durante 7 días después de la cosecha, estos frutos se encuentran en las primeras etapas del climaterio en el momento del tratamiento y maduran, alcanzando la calidad óptima de consumo tras 2 semanas de vida

comercial. Una aplicación 12 días después de la cosecha (en la mitad del pico climatérico) permite tener una firmeza de 25 N después de 6 meses de conservación y 7 días a 20°C. El conjunto de estos resultados muestra una vez más que el estado climatérico en que se encuentra el fruto en el momento del tratamiento es una de las razones que provoca las variaciones en la respuesta al 1-MCP (Zhang et al., 2009).

En algunos casos, el momento del tratamiento también es importante. Villalobos-Acuña et al. (2011a) mostraron que peras "Bartlett" tratadas 1 día después de la cosecha a diferentes temperaturas (0, 5, 10, 15 y 20°C) presentaban valores más elevados del tono (color más verde) que los controles después de la conservación. Sin embargo, los frutos tratados 3, 5 y 7 días después de la cosecha a las mismas temperaturas, no mostraban diferencias ni en firmeza ni en color con los frutos no tratados.

Según Calvo y Candan (2012), en peras "Williams" un retraso de 3, 7 ó 10 días en la aplicación del 1-MCP después de la cosecha, manteniéndolas a 0°C, no afecta la eficacia del tratamiento, incluso en peras de cosechas tardías, ya que la producción de etileno sigue indetectable en el momento de aplicación.

Aunque la aplicación de 1-MCP se realiza normalmente después de la cosecha, se han realizado también ensayos de tratamientos en campo, en peras "Bartlett" (Villalobos-Acuña et al., 2010). Las aplicaciones de 1-MCP en el árbol han resultado tan efectivas como las aplicaciones de ácido 1-Naftalenacético (ANA) para reducir la caída prematura de los frutos, sin embargo, el efecto sobre el retraso de la maduración no es tan duradero como cuando se aplica en la fruta ya recolectada. Se puede apreciar un efecto inmediatamente después de la cosecha pero éste desaparece después de 3,5 meses de almacenamiento a -1°C. Se precisan más estudios para optimizar la aplicación en campo del 1-MCP.

Naturaleza del envase

La efectividad del tratamiento con 1-MCP puede depender también de la naturaleza del envase en el que se realiza el tratamiento. Vallejo y Beaudry (2006) observaron que ciertos tipos de material como el cartón y la madera proporcionan un número indeterminado de sitios no específicos de absorción del 1-MCP, reduciendo su efectividad, aunque este mecanismo no está del todo explicado.

Calvo y Sozzi (2009) en estudios posteriores, demostraron también que peras "Bartlett" tratadas con 500 nL L⁻¹ de 1-MCP y almacenadas en envases de madera, maduraron después de 7 días a 20°C (firmeza \pm 20 N) mientras que la fruta conservada en envases de plástico retrasó su maduración y alcanzó esta firmeza a los 21 días a 20°C. Según estos autores, el envase absorbe parte del compuesto 1-MCP y afecta la eficacia del tratamiento, especialmente si los envases son de madera y más aún cuando están húmedos, como lo que ocurre cuando la fruta se enfría mediante hidrocooling.

Estudios recientes sugieren que esto ocurre debido a que la alta concentración de lignina y de materia seca que contienen tanto los envases de cartón como de madera, puede proporcionar una mayor concentración de sitios activos de absorción de 1-MCP que en la propia fruta (Ambaw et al., 2011).

Respuesta fisiológica al tratamiento con 1-MCP

Metabolismo del etileno y tasa de respiración

En todos los estudios que se han realizado en peras en los últimos años, se confirma que el 1-MCP bloquea no sólo los receptores sino también la producción auto-catalítica de etileno (Gamrasni et al., 2010, Yazdani et al.,

2011, Li y Wang, 2009, Villalobos-Acuña et al., 2011b, MacLean et al., 2007, Yamane et al., 2007, Li et al., 2010). No está claro todavía el sitio exacto en la ruta de biosíntesis de etileno en donde el 1-MCP interviene, pero es probable que sean las dos enzimas claves de esta ruta, la ACC sintasa (ACS) y la ACC oxidasa (ACO).

Chiriboga et al. (2012) observaron en peras "Conference" que el tratamiento con 1-MCP induce una inhibición parcial del aumento de los niveles de ACC y una inhibición de la actividad de las enzimas ACS y ACO durante la conservación en frío y vida comercial, así como una incapacidad de convertir ACC a MACC en comparación a los frutos sin tratar. Sin embargo, la capacidad de los frutos tratados para reanudar el proceso de maduración está relacionada con la acumulación de ACC y la intensidad de inhibición de la ACS durante la conservación en frío y con la actividad residual de esta enzima durante la vida comercial a 20°C. La inhibición del tratamiento sobre el metabolismo del etileno depende del estado de madurez a la cosecha y en menor grado de la ubicación del cultivo.

Estudios anteriores han demostrado que por lo menos cuatro genes de ACS y un gen de ACO se expresaron durante el desarrollo y maduración de peras (El-Sharkawy et al., 2004). En peras "Spadona" se observó una disminución de la actividad de la ACO y de la expresión de los genes *PcACS1b* y *PcACO1* debido al tratamiento con 1-MCP (Gamrasni et al., 2010). En peras "Bartlett" tratadas con 1-MCP, Villalobos-Acuña et al. (2011b) también comprobaron la inhibición de la actividad de las enzimas ACS y ACO acompañada por una disminución de la expresión de los genes *PcACO1*, *PcACS4* y *PcACS5* que son inducidos por la conservación en frío.

Receptores del etileno

En la última década, ha habido muchos avances en el conocimiento de cómo el 1-MCP

regula la expresión de los receptores de etileno en muchas especies de plantas. Tres receptores de etileno (*PcETR1*, *PcERS1*, *PcETR5*) y una proteína quinasa (*PcCTR1*) se han descrito en peras (El-Sharkawy et al., 2003).

Se ha observado, que en peras "Kikusui" tratadas con 1-MCP inmediatamente después de la cosecha, la expresión de *PpETR3* aumenta entre los 0 y 9 días a 25°C después del tratamiento, mientras que la expresión de *PpERS2* queda inhibida entre los 6 y 15 días a 25°C (Li et al., 2010). Por el contrario, en los frutos no tratados la expresión de *PpETR3* disminuye durante los primeros 6 días a 25°C. Estos resultados sugieren que la unión del 1-MCP al receptor *PpERS2* altera directamente la regulación de la transcripción de este receptor, inhibiendo así la capacidad de regulación del etileno. Estos resultados son también consistentes con el patrón de expresión del receptor *PpERS1* que se ha observado en pera "Red d'Anjou" (MacLean et al., 2003). En este caso, en los frutos tratados con 1-MCP, la expresión del receptor *PpERS1* así como la tasa de producción de etileno, disminuyó durante una semana a temperatura ambiente. Los estudios sobre transcriptómica abren nuevas oportunidades para predecir el comportamiento de las peras durante la maduración y predecir posibles riesgos derivados de los tratamientos poscosecha (Johnston y Brookfield, 2012).

Metabolismo oxidativo

El tratamiento con 1-MCP inhibe la acumulación de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), como lo observado en peras "Suli" (Dong et al., 2011) durante 24 días a 20°C. La acumulación de H_2O_2 en las plantas es a menudo considerada como un indicador de estrés oxidativo durante la maduración de la fruta (Quan et al., 2008). En consecuencia, el tratamiento con 1-MCP parece reducir el daño de la membrana celular y de esta manera retrasa la maduración y senescencia de la fruta.

Estudios previos observaron que en pera "Blanquilla" el tratamiento con 1-MCP promueve las actividades de las enzimas antioxidantes (Larrigaudière et al., 2004b). Algo similar se observa en pera cv "Kikusui" (Li et al., 2010) tratada con 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP. Los frutos tratados presentan actividades más altas de las enzimas superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y peroxidasa (APX) después de 12 días a 20°C.

Así mismo, Fu et al. (2007) demostraron que peras "Yali" tratadas con 200 nL L⁻¹ de 1-MCP tenían una capacidad enzimática antioxidante más elevada, debida a una mayor actividad de las enzimas SOD, CAT y POX después de diferentes períodos de conservación frigorífica.

No se conoce con certeza cómo el tratamiento 1-MCP causa este incremento en el sistema antioxidante, sin embargo, algunos autores sugieren que puede ser debido a la capacidad del 1-MCP para inhibir la generación de radicales libres normalmente presentes en la respiración climatérica, a través de mecanismos todavía desconocidos (MacLean et al., 2003).

En peras "Conference" el tratamiento de 1-MCP provoca un menor descenso de las actividades de las enzimas SOD y CAT respecto a los controles, en las primeras semanas de conservación en frío a la vez que se observa una mayor actividad de estas enzimas durante toda la conservación en frío (Chiriboga et al., 2013a). Lo mismo ocurre con el ácido ascórbico, lo que sugiere que el tratamiento con 1-MCP provoca un aumento del potencial antioxidante, que podría estar ligado a su vez con una disminución de los procesos de senescencia. El 1-MCP además provoca un mantenimiento del metabolismo antioxidante durante la vida comercial a 20°C, especialmente de la enzima CAT y la medida en que puede tener un efecto positivo depende de la madurez de la fruta a la cosecha y en menor grado de la ubicación del cultivo.

Por el contrario, en peras asiáticas (*Pyrus serotina* cv. KS₆) se han observado actividades

de las enzimas CAT y POX inferiores en la fruta tratada con 1-MCP, mientras que la actividad de la SOD no se ve afectada (Yazdani et al., 2011).

El tratamiento 1-MCP en algún caso, como en pera "Blanquilla" también se ha asociado con menores niveles de ácido ascórbico (Larrigaudière et al., 2004b), mientras que en otros casos como en pera "Rocha" (Silva et al., 2010), el tratamiento no afecta los niveles de ácido ascórbico ni de glutatión lo que permite mantener la capacidad antioxidante de la fruta durante diferentes períodos de conservación en frío.

Efecto en la calidad

Evolución de la firmeza

En general, el objetivo del tratamiento con 1-MCP es lograr un mantenimiento de la firmeza durante la conservación en cámara frigorífica y durante su manipulación, a la vez que permitir una calidad óptima para el consumo en el momento de la comercialización y esto se ha demostrado en muchas variedades de pera (Chiriboga et al., 2008). El retraso en la pérdida de firmeza depende a su vez de muchos otros factores tales como la dosis, la variedad e incluso la naturaleza del envase. Por ejemplo en peras "Bartlett", una dosis de 300 nL L⁻¹ de 1-MCP es suficiente para retener la firmeza después de largos períodos de almacenamiento y varios días a 20°C (Villalobos-Acuña et al., 2011b), mientras que en variedades como "Akemizu" (Li y Wang, 2009) y "Patharnakh" (Mahajan et al., 2010) se necesita una dosis de 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP para retrasar la pérdida de firmeza tanto durante la conservación a 4°C como durante la vida comercial a 20°C. Algunos autores, sugieren que el mantenimiento de la firmeza de la fruta por el 1-MCP se debe a la inhibición de las enzimas que degradan la pectina que se

relacionan con el ablandamiento durante la senescencia (Li et al., 2010).

El 1-MCP también puede mantener la firmeza en pera "Blanquilla" recién cortada (Arias et al., 2009). Las peras tratadas con 300 nL L⁻¹ mantuvieron una firmeza por encima de 7.8 N comparado con 1.9 N de los frutos sin tratar, durante 15 días a 4°C.

En peras de la variedad "Spadona", cosechadas en diferentes estados de madurez, el tratamiento con 300 nL L⁻¹ de 1-MCP logra mantener la firmeza en todos los frutos durante la conservación, sin embargo, mucha de esa fruta no madura suficiente y no se ablanda, manteniendo valores superiores a 37 N aún tras 2 semanas a 20°C, a excepción de la fruta tratada a la mitad del pico climático que llegó a una firmeza de 25 N tras este mismo periodo (Gamrasni et al., 2010).

Según Li et al. (2008), el 1-MCP retrasa la pérdida de firmeza y los procesos de maduración y senescencia en peras "Bayuehong" gracias a que el tratamiento inhibe las actividades de las enzimas lipoxigenasa (LOX) y polifenoloxidasa (PPO), enzimas que se correlacionan fuertemente a estos procesos.

Producción de volátiles y calidad sensorial

El tratamiento con 1-MCP puede actuar sobre la producción de volátiles. Se ha visto en peras tratadas de la variedad "Ya" conservadas durante 40 días en frío y 21 días a 20°C, que el tratamiento retrasa la aparición de sabores desagradables debidos al acetaldehído y etanol, mientras que el contenido de acetato de etilo y hexanal se incrementa muy poco y el hexanol se mantiene estable durante este periodo (Kou et al., 2012). El efecto del tratamiento sobre estos compuestos puede atribuirse a que los frutos tratados presentan una menor respiración y menor producción de etileno como se describió anteriormente en peras "d'Anjou" (Argenta et al., 2003).

En otro estudio realizado en peras "Packham's Triumph" tratadas con 200 nL L⁻¹ de 1-MCP, las condiciones de conservación y la fecha de cosecha, afectaron también la producción de compuestos volátiles. Después de 2 meses de conservación en frío, el 1-MCP redujo la producción de compuestos volátiles aromáticos, pero al cabo de 6 meses estas peras recuperaron su capacidad para producir volátiles con olor activo, adquiriendo un mejor sabor y siendo las preferidas por los paneles de catadores (Moya-León et al., 2006). Esta preferencia no es debida únicamente a los volátiles sino a su capacidad para desarrollar una textura más suave, una dulzura superior y un mejor aroma durante el periodo de conservación. En cualquier caso, las peras tratadas y recolectadas en una fecha tardía produjeron mayores cantidades de compuestos volátiles que las cosechadas en la fecha comercial.

Evolución del color

El tratamiento 1-MCP afecta al cambio de color durante la maduración. Villalobos-Acuña et al. (2011a) demostraron que el cambio de color depende del momento de la aplicación del 1-MCP. Peras "Bartlett" tratadas inmediatamente después de la cosecha, retienen el color verde (valores más elevados del tono) mientras que al tratarlas días después (3, 5 y 7 días) de la cosecha, el color cambia igual que en las peras no tratadas. En el mismo estudio, se observa que la temperatura a la que se efectúa el tratamiento puede hacer variar la respuesta, tratar a 0°C induce un mayor cambio de color en la fruta después de 45 días de conservación que si se trata a 20°C.

La concentración aplicada también puede afectar el cambio de color. En peras "Bartlett", una concentración de 300 nL L⁻¹ de 1-MCP no impide un cambio de color mientras que con 600 nL L⁻¹ de 1-MCP, se mantienen verdes después 60, 90 ó 120 días de almacenamiento en

frío y 7 días a 20 °C, además, se evidencia una disociación entre el cambio de color de la piel y el ablandamiento de la pulpa después de largos periodos de conservación (120-150 días) (Calvo y Sozzi, 2009).

Contenido de sólidos solubles y ácidos

El contenido de sólidos solubles también puede verse afectado por el tratamiento 1-MCP en función de la variedad. Así, en pera "Ake-mizu" (Li y Wang, 2009), los frutos tratados tienen valores más altos de sólidos solubles tanto a 4°C como a 25°C, después de 48 y 8 días respectivamente, mientras que en la variedad "Suli" no se ve ningún efecto del tratamiento 1-MCP en el contenido de sólidos solubles, tanto en frutos conservados en frío o a temperatura ambiente (Dong et al., 2011).

Se ha comprobado en peras "Nakai" que la aplicación de 1-MCP inhibe la acumulación de *PpAIV1* y la disminución de *PpSPS1*, genes que codifican la enzimas que metabolizan la sacarosa y por tanto inhibe la pérdida de sacarosa y acumulación de hexosas (Itai y Tanahashi, 2008).

Por otro lado, en peras "Patharnakh" el efecto del tratamiento depende de los días de conservación a 0°C. El contenido de sólidos solubles se incrementa hasta los 75 días en los frutos tratados y posteriormente baja a los 90 días de conservación (Mahajan et al., 2010). El incremento en sólidos solubles durante los primeros meses de conservación puede deberse a la hidrólisis del almidón en azúcares, aunque después ya no signifique un aumento adicional de azúcares en los meses posteriores, ya que los azúcares junto con otros ácidos orgánicos son los sustratos para la respiración (Wills et al., 1980). El 1-MCP en general retiene la acidez al igual que la firmeza, ya que retrasa el proceso de maduración tal como se observa en peras "Akemizu" (Li y Wang, 2009), "Patharnakh" (Mahajan et al., 2010) y "Cuiguan" (Chang et al., 2008).

Pérdida de peso

El efecto del 1-MCP en el peso es muy variable. En peras cv "Patharnakh" tratadas con 500, 750 y 1000 nL L⁻¹ con 1-MCP, se observa que la pérdida de peso es menor conforme se aumenta la dosis aplicada durante diferentes periodos de conservación (Mahajan et al., 2010). La menor pérdida de peso puede atribuirse a la menor tasa de respiración de los frutos tratados y también a una menor transpiración debida al mantenimiento de la estructura de los tejidos de los frutos (Dong et al., 2002). Estos resultados no son coincidentes con estudios anteriores donde se reportó que el 1-MCP no afecta la pérdida de peso (Calvo, 2001b, Calvo, 2001a)

Efecto en desórdenes fisiológicos y daños mecánicos

Escaldado superficial

La inhibición del escaldado superficial por el tratamiento con 1-MCP se ha demostrado ampliamente efectiva en diferentes variedades de peras. Según varios autores, el control del α -farneseno y de sus productos de oxidación (compuestos trieno conjugados) (Bai et al., 2009, Li y Wang, 2009, Yazdani et al., 2011, Isidoro y Almeida, 2006). En otros casos sin embargo, el tratamiento con 1-MCP no controla completamente la incidencia de escaldado debido a la incapacidad de prevenir completamente la acumulación de compuestos trieno conjugados, como lo observado en peras de la variedad "Dangshansuli" (Hui et al., 2011).

En ensayos con pera "Rocha" se ha visto que el efecto beneficioso del 1-MCP en el control del escaldado superficial, no se debe únicamente a la inhibición de la síntesis de α -farneseno, sino también a un aumento de la actividad antioxidante en la piel (Isidoro y Almeida, 2008).

Gapper et al. (2006) relacionan la presencia de escaldado en peras "d'Anjou" tratadas con 300 nL L⁻¹ con un incremento en la concentración de etileno interno así como en los niveles de transcripción de *PcAF51*. De este modo, el 1-MCP provoca una disminución de la producción de los compuestos trieno conjugados a través de la inhibición de la expresión de *PcAF51* dependiente del etileno (Gapper et al., 2006).

El tratamiento con 1-MCP inhibe completamente el escaldado en pera japonesa "Ake-mizu" cuando se conservan las peras en frío a 4°C y reduce su incidencia cuando los frutos están a 20°C (Li y Wang, 2009). En otro estudio, en la variedad "Abbé Fétel", según Vanolí et al. (2010), el tratamiento con 1-MCP puede reducir tanto el escaldado superficial como el escaldado de senescencia, pero su eficacia disminuye cuando se realiza un enfriamiento lento de los frutos después de la cosecha y se retrasa el tratamiento con 1-MCP.

Daños mecánicos

El 1-MCP reduce la susceptibilidad de los frutos a las magulladuras por vibración e impacto (Calvo y Sozzi, 2004), lo que se traduce en una mayor resistencia durante la clasificación, envasado y transporte. Según Gamrasni et al. (2010) la aplicación de 200 nL L⁻¹ de 1-MCP es suficiente para mejorar la apariencia de peras "Spadona" cosechadas en diferentes estados de madurez, debido a la menor fricción y presencia de magulladuras en los frutos tratados. La eficacia del 1-MCP radica en prevenir la acción entre las enzimas oxidativas y sus sustratos y así mantener la integridad de membrana celular.

Desórdenes internos

Se ha reportado que el tratamiento con 1-MCP puede controlar también las alteraciones internas en peras. Un tratamiento con

300 nL L⁻¹ de 1-MCP puede controlar la aparición de descomposición interna en peras "Bartlett" cosechadas en diferentes estados de madurez y conservadas durante 180 días a -1°C (Villalobos-Acuña et al., 2011b). En otro estudio en esta misma variedad, el tratamiento de 1-MCP realizado después de 1, 3 ó 7 días a 3°C después de la cosecha, reduce también substancialmente la descomposición interna y además el escaldado blando, alteraciones ligadas a procesos de senescencia, aunque el tratamiento realizado a los 7 días, proporciona un menor control de los desórdenes comparado con los otros dos tratamientos (DeEll y Ehsani-Moghaddam, 2011),

Según Fu et al. (2007), 1-MCP reduce la incidencia de descomposición interna en peras "Yali" tratadas con 200 nL L⁻¹ y esta resistencia en los frutos tratados se ha correlacionado con una mayor actividad de las enzimas antioxidantes. Esta hipótesis se ha observado anteriormente en otros estudios, en los que se relacionó la descomposición interna con una reducción del metabolismo antioxidante (Pintó et al., 2001, Larrigaudière et al., 2001, Larrigaudière et al., 2004a).

Podredumbres

Se ha demostrado que los frutos tratados con 1-MCP son menos susceptibles al desarrollo de podredumbres. Según Spotts et al. (2007), una dosis con 300 nL L⁻¹ de 1-MCP reduce la pudrición causada por *Neofabraea* spp. y *Phacidomyces piri* en peras "d'Anjou", conservadas 4, 6 y 8 meses a -1°C. La pudrición por moho gris del peciolo (Stem end gray mold) también se controla por el tratamiento, incluso con una dosis más baja de 100 nL L⁻¹ y así mismo, la podredumbre blanca (Snow-mold rot) se reduce con un tratamiento de 30 nL L⁻¹ de 1-MCP. Estos autores sugieren que el 1-MCP es capaz de inhibir las enzimas que degradan las paredes celulares como las poligalacturonasas secretadas por los pató-

genos y de esta manera controlar las patogénesis. Sin embargo Akagi y Stotz (2007) observan que el 1-MCP tiene poco efecto sobre *Botrytis cinerea* en peras "d'Anjou" y "Bartlett" tratadas con 300 nL L⁻¹. Los resultados de este estudio demuestran que el tratamiento tiene un impacto mucho mayor en el ablandamiento de la pera que en la presencia o ausencia del gen *Bcpg1* de la poligalacturonasa de *Botrytis cinerea*, responsable de la virulencia de esta cepa.

Bloqueo de la maduración en peras tratadas con 1-MCP

El tratamiento con 1-MCP en peras ha demostrado ser más complejo que en otros frutos, debido en parte a la alta sensibilidad del fruto al tratamiento y al hecho de que en algunas ocasiones, las peras quedan excesivamente firmes y verdes y pierden su capacidad de madurar (Chen y Spotts, 2005, Calvo, 2003, Bai et al., 2006). Por ejemplo en peras "Blanquilla", el tratamiento con 300 nL L⁻¹ de 1-MCP puede bloquear completamente el proceso de maduración durante los 120 días de conservación y después de 7 días a 20°C (Chiriboga et al., 2010). En el caso de peras "Conference", una alta concentración (600 nL L⁻¹ 1-MCP) siempre se asocia a un bloqueo completo de la maduración mientras que una menor concentración (300 nL L⁻¹ 1-MCP) puede dar resultados muy variables (Chiriboga et al., 2011). En un estudio en peras "Bartlett" tratadas con 500 nL L⁻¹ de 1-MCP, los frutos tardaron 21 días a temperatura ambiente en alcanzar valores óptimos de firmeza de consumo de 20 N (Calvo y Sozzi, 2009). En peras de la variedad "Spadona" incluso una menor dosis (200 nL L⁻¹ de 1-MCP) también provoca que los frutos no alcancen la firmeza óptima para que ser comestibles aún después de 2 semanas a 20°C (Gamrasni et al., 2010).

Cuando el 1-MCP causa un bloqueo de la maduración, medida como pérdida de firmeza, no se produce un bloqueo similar en el cambio de color. La pérdida de color verde de los frutos tratados siempre se ve ralentizada pero no se detiene por completo, esto indica un efecto diferencial del 1-MCP sobre los diferentes indicadores de la maduración (firmeza y color) (Chiriboga et al., 2011). Este efecto diferencial sobre la textura y el color de la piel ha sido descrito por varios autores (Ekman et al., 2004, Trincherio et al., 2004).

Se ha observado que el bloqueo irreversible de la maduración depende de varios factores siendo la madurez fisiológica en el momento de la cosecha uno de los más importantes. Chiriboga et al. (2012) demostraron en peras "Conference" recolectadas en tres estados de madurez diferentes y tratadas con 300 nL L⁻¹ de 1-MCP, que los frutos en estado más inmaduro (fecha comercial) presentaron problemas asociados al bloqueo de la maduración, mientras que los frutos con una madurez más avanzada fueron menos susceptibles al bloqueo. En esta variedad, una cosecha más tardía (más de 10 días después la fecha comercial) posibilita la aplicación del tratamiento 1-MCP, ya que la maduración no se bloquea de forma irreversible, lo cual podría estar relacionado con la producción de etileno en el momento del tratamiento. Estos mismos autores siguieron que este comportamiento también viene influenciado por el campo y año de cosecha, lo cual condiciona el estado fisiológico de la fruta a la cosecha y al momento del tratamiento.

En algunas variedades de peras, todavía no está claro cuál es la mejor combinación de madurez a la cosecha, concentración de 1-MCP, condiciones de aplicación y tiempo de almacenamiento, que permita controlar de manera adecuada el ablandamiento y el desarrollo de trastornos fisiológicos y que a la vez permita madurar a la fruta dentro de un período razonable de vida comercial. En va-

riedades como "Ercolini", "Limonera" y "Williams-Bartlett" la aplicación del tratamiento de 1-MCP acompañada de recomendaciones específicas para cada variedad permiten que la fruta madure entre 7 y 14 días (comunicación personal Agrofresh). En algunos casos, es necesario aplicar tratamientos térmicos o con etileno exógeno de reversión pre o post almacenamiento. En "Blanquilla" por ejemplo, es necesario acortar el período de conservación y realizar un tratamiento térmico al final de la misma de 5 o 10 días a 15°C para que la fruta madure y alcance la calidad de consumo (Chiriboga et al., 2010). En el caso de peras "Conference" ningún tratamiento térmico permite restaurar el proceso de maduración en los frutos tratados con 1-MCP (Chiriboga et al., 2010).

Existen estudios contradictorios acerca de la eficacia de la aplicación de etileno para revertir los efectos del 1-MCP. Algunos autores demostraron que aplicaciones de etileno exógeno posteriores al tratamiento con 1-MCP o después de la conservación en frío, no permitieron reanudar la maduración (Argenta et al., 2003, Chen y Spotts, 2005). Sin embargo, estudios más recientes en peras "Bartlett", sugieren que la adición de 60 nL L⁻¹ de etileno exógeno conjuntamente con el 1-MCP (10 1-MCP: 1 etileno) aplicado después de la cosecha disminuye el efecto del tratamiento en fruta temprana y permite a su vez madurar más rápido que la fruta tratada únicamente con 1-MCP (Macnish et al., 2012).

Chiriboga et al. (2011) demostraron en peras "Conference" que una aplicación combinada con 600 nL L⁻¹ de 1-MCP y 300 nL L⁻¹ de C₂H₄ permite un retraso considerable del proceso de ablandamiento sin bloquearlo completamente y a su vez permite llegar a la madurez de consumo. La efectividad de este tratamiento radica en el momento de aplicación de los dos compuestos. Estos resultados ponen de relieve el carácter competitivo del 1-MCP y del etileno al ser aplicados al mismo

tiempo, los dos tratamientos compiten por los sitios de unión de los receptores, de tal manera que los receptores ocupados por el etileno suministrado exógenamente, podrían ayudar a la posterior producción natural de etileno por parte del fruto y a su vez a la generación de nuevos receptores.

Conclusión

En la mayoría de variedades de pera, los tratamientos con 1-MCP permiten alargar la vida útil manteniendo los frutos más firmes y retrasando el viraje de color. El efecto que produce el tratamiento poscosecha de 1-MCP en peras depende de muchos factores siendo la madurez fisiológica en el momento de la cosecha uno de los más importantes, aunque también es muy importante la variedad y la producción de etileno del fruto en el momento de la aplicación, lo cual condiciona la dosis a aplicar y el manejo durante la conservación. El efecto beneficioso del 1-MCP se manifiesta en un retraso de la maduración, una retención de la firmeza y un mayor control de alteraciones fisiológicas durante la conservación, como el escaldado superficial o el corazón pardo. El 1-MCP actúa sobre determinados aspectos del metabolismo, como la respiración o los procesos de oxidación, aparte del propio metabolismo del etileno. En algunos casos, según la variedad, el estado de madurez y la dosis aplicada, puede provocar un bloqueo irreversible de la maduración, lo que lleva a la necesidad de aplicar tratamientos de reversión pre o post almacenamiento. La respuesta al tratamiento de 1-MCP y las posibles estrategias de recuperación de la maduración no pueden ser extrapoladas de unas variedades a otras. En el futuro se debería profundizar en el estudio de la expresión de los genes involucrados en la biosíntesis y percepción del etileno (enzimas y receptores) para entender mejor este

proceso. Los estudios sobre transcriptómica abren nuevas oportunidades para predecir el comportamiento de las peras durante la maduración y predecir posibles riesgos derivados del tratamiento con 1-MCP, fundamentalmente el bloqueo de la maduración.

Bibliografía

- BOE, 23/06/2006. ORDEN PRE/1980/2006, de 19 de junio, por la que se incluyen las sustancias activas warfarina, tolilfluanida, forclorfenurón, indoxacarb, oxamilo y 1-metilciclopropeno en el anexo I del Real Decreto 2163/1994, de 4 de noviembre, por el que se implanta el sistema armonizado comunitario de autorización para comercializar y utilizar productos fitosanitarios.
- Akagi A, Stotz HU, 2007. Effects of pathogen polygalacturonase, ethylene, and firmness on interactions between pear fruits and *Botrytis cinerea*. *Plant Disease* 91: 1337-1344.
- Ambaw A, Beaudry R, Bulens I, et al., 2011. Modeling the diffusion-adsorption kinetics of 1-methylcyclopropene (1-MCP) in apple fruit and non-target materials in storage rooms. *Journal of Food Engineering* 102: 257-265.
- 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.
- Arias E, Lopez-Buesa P, Oria R, 2009. Extension of fresh-cut "Blanquilla" pear (*Pyrus communis* L.) shelf-life by 1-MCP treatment after harvest. *Postharvest Biology and Technology* 54: 53-58.
- 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 & Biotechnology* 81: 959-964.
- Bai JH, Yin XH, Whitaker BD, Deschuytter K, Chen PM, 2009. Combination of 1-methylcyclopropene and ethoxyquin to control superficial scald of "Anjou" pears. *HortTechnology* 19: 521-525.
- Blankenship SM, Dole JM, 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology* 28: 1-25.
- Calvo G, 2001a. Efecto del 1-MCP sobre la madurez y control de escaldadura en peras cv. Beurré D'anjou y Packham's Triumph. In: Informe convenio Rohm and Haas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Alto Valle, Río Negro, Argentina, 53.
- Calvo G, 2001b. Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) en peras cv "Williams" cosechadas con dos estados de madurez. In: Informe convenio Rohm and Haas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Alto Valle, Río Negro, Argentina, 33.
- Calvo G, 2002. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) in apples cv. Red Delicious harvested at three stages of maturity and stored at conventional cold and controlled atmosphere conditions. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 31: 9-24.
- Calvo G, 2003. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on pear maturity and quality. *Acta Horticulturae* 628: 203-211.
- Calvo G, Candan AP, 2012. Is delay in application a factor that reduces efficacy of 1-Methylcyclopropene response in pears? *Acta Horticulturae* 945: 345-349.
- 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.
- Calvo G, Sozzi GO, 2009. Effectiveness of 1-MCP treatments on "Bartlett" pears as influenced by the cooling method and the bin material. *Postharvest Biology and Technology* 51: 49-55.
- Chang YH, Lin J, Yan ZM, 2008. 1-methylcyclopropene (1-MCP) for extending postharvest quality of "Cuiguan" pears (*Pyrus pyrifolia* Nak.). In: Proceedings of the International Symposium on the Role of Postharvest Technology in the Globalisation of Horticulture. (Eds Hewett EW, Lurie SWunsche JN), 85-89.

- Chen PM, Spotts R, 2005. Changes in ripening behaviors of 1-MCP treated d'Anjou pears after storage. *International Journal of Fruit Science* 5: 3-18.
- Chiriboga MA, Giné J, Schotsmans WC, Larrigaudiere C, Recasens I, 2013a. Antioxidant potential of "Conference" pears during cold storage and shelf life in response to 1-Methylcyclopropene. *LWT - Food Science and Technology* 51: 170-176.
- Chiriboga MA, Recasens I, Schotsmans WC, Dupille E, Larrigaudiere C, 2012. Cold-induced changes in ACC metabolism determine softening recovery in 1-MCP treated Conference pears. *Postharvest Biology and Technology* 68: 78-85.
- Chiriboga MA, Schotsmans WC, Larrigaudière C, 2010. Comparative study of techniques to restore the ripening process in 1-MCP treated "Blanquilla" and "Conference" pears. *Acta Horticulturae* 858: 149-154.
- Chiriboga MA, Schotsmans WC, Larrigaudiere C, Dupille E, Recasens I, 2011. How to prevent ripening blockage in 1-MCP-treated "Conference" pears. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 1781-1788.
- Chiriboga MA, Schotsmans WC, Larrigaudiere C, Dupille E, Recasens I, 2013b. Responsiveness of "Conference" pears to 1-Methylcyclopropene (1-MCP): The role of harvest date, orchard location and year. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93: 619-625.
- Chiriboga MA, Soria Y, Larrigaudiere C, Recasens I, 2008. Aplicación postcosecha de 1-metilciclopropeno en peras. *Información Técnica Económica Agraria* 104: 12-30.
- Deell J, Ehsani-Moghaddam B, 2011. Timing of postharvest 1-methylcyclopropene treatment affects Bartlett pear quality after storage. *Canadian Journal of Plant Science* 91: 853-858.
- Dong L, Lurie S, Zhou HW, 2002. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of "Canino" apricots and "Royal Zee" plums. *Postharvest Biology and Technology* 24: 135-145.
- Dong Y, Liu LQ, Guan JF, 2011. Effects of 1-Methylcyclopropene on NO content, NOS activity, and H₂O₂ content in postharvest "Suli" pears. *Agricultural Sciences in China* 10: 797-804.
- 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.
- El-Sharkawy I, Jones B, Gentzbittel L, Lelièvre JM, Pech JC, Latché A, 2004. Differential regulation of ACC synthase genes in cold-dependent and -independent ripening in pear fruit. *Plant, Cell & Environment* 27: 1197-1210.
- El-Sharkawy I, Jones B, Li ZG, Lelievre JM, Pech JC, Latche A, 2003. Isolation and characterization of four ethylene perception elements and their expression during ripening in pears (*Pyrus communis* L.) with/without cold requirement. *Journal of Experimental Botany* 54: 1615-1625.
- Fu L, Cao J, Li Q, Lin L, Jiang W, 2007. Effect of 1-methylcyclopropene on fruit quality and physiological disorders in Yali pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd.) during storage. *Food Science and Technology International* 13: 49-54.
- Gamrasni D, Ben-Arie R, Goldway M, 2010. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) application to Spadona pears at different stages of ripening to maximize fruit quality after storage. *Postharvest Biology and Technology* 58: 104-112.
- Gapper NE, Bai JH, Whitaker BD, 2006. Inhibition of ethylene-induced α -farnesene synthase gene *PcAFS1* expression in "d'Anjou" pears with 1-MCP reduces synthesis and oxidation of α -farnesene and delays development of superficial scald. *Postharvest Biology and Technology* 41: 225-233.
- Hui W, Niu RX, Song YQ, Li DY, 2011. Inhibitory Effects of 1-MCP and DPA on Superficial Scald of "Dangshansuli" pear. *Agricultural Sciences in China* 10: 1638-1645.
- 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.
- Isidoro N, Almeida DPF, 2008. Relationship between free radical scavenging activity and Superficial Scald in "Rocha" pear. *Acta Horticulturae* 800: 1013-1017.

- Itai A, Tanahashi T, 2008. Inhibition of sucrose loss during cold storage in Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) by 1-MCP. *Postharvest Biology and Technology* 48: 355-363.
- Johnston JW, Brookfield P, 2012. Delivering postharvest handling protocols for apples and pears faster: Integrating "Omics" and physiology approaches. *Acta Horticulturae* 945: 23-28.
- Kashimura Y, Hayama H, Ito A, 2010. Infiltration of 1-methylcyclopropene under low pressure can reduce the treatment time required to maintain apple and Japanese pear quality during storage. *Postharvest Biology and Technology* 57: 14-18.
- Kou X, Liu X, Li J, Xiao H, Wang J, 2012. Effects of ripening, 1-methylcyclopropene and ultra-high-pressure pasteurisation on the change of volatiles in Chinese pear cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92: 177-183.
- Larrigaudière C, Lenthalic I, Puy J, Pintó E, 2004a. Biochemical characterisation of core browning and brown heart disorders in pear by multivariate analysis. *Postharvest Biology and Technology* 31: 29-39.
- Larrigaudière C, Pintó E, Lenthalic I, Vendrell M, 2001. Involvement of oxidative processes in the development of core browning in controlled-atmosphere pears. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 76: 157-162.
- Larrigaudière C, Vilaplana R, Soria Y, Recasens I, 2004b. Oxidative behaviour of "Blanquilla" pears treated with 1-methylcyclopropene during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84: 1871-1877.
- Li JK, Sun XS, Wang ZH, Zhang P, 2008. Effect of 1-MCP on postharvest physiology and quality of "Bayuehong" pears during storage. *Acta Horticulturae* 768: 117-124.
- Li ZQ, Qiao YS, Tong ZG, Zhou J, Zhang Z, 2010. Effect of ethylene and 1-MCP on post-harvest physiology and on expression of the ethylene receptor genes PpETR3 and PpERS2 in pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai "Kikusui") fruit. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 85: 71-77.
- Li ZQ, Wang LJ, 2009. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening and Superficial Scald of Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. "Ake-mizu") fruit at two temperatures. *Food Science and Technology Research* 15: 483-490.
- Maclean DD, Murr DP, Deell JR, 2003. A modified total oxyradical scavenging capacity assay for antioxidants in plant tissues. *Postharvest Biology and Technology* 29: 183-194.
- Maclean DD, Murr DP, Deell JR, Mackay AB, Kupperman EM, 2007. Inhibition of PAL, CHS, and ERS1 in "Red d'Anjou" pear (*Pyrus communis* L.) by 1-MCP. *Postharvest Biology and Technology* 45: 46-55.
- Macnish AJ, Mitcham EJ, Holcroft DM, 2012. Endogenous and exogenous ethylene modulates the response of "Bartlett" pears to 1-Methylcyclopropene. *Acta Horticulturae* 945: 309-316.
- Mahajan BVC, Singh K, Dhillon WS, 2010. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on storage life and quality of pear fruits. *Journal of Food Science and Technology-Mysore* 47: 351-354.
- Moya-León MA, Vergara M, Bravo C, Montes ME, Moggia C, 2006. 1-MCP treatment preserves aroma quality of "Packham's Triumph" pears during long-term storage. *Postharvest Biology and Technology* 42: 185-197.
- Pintó E, Lenthalic I, Vendrell M, Larrigaudière C, 2001. Role of fermentative and antioxidant metabolisms in the induction of core browning in controlled-atmosphere stored pears. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81: 364-370.
- Quan LJ, Zhang B, Shi WW, Li HY, 2008. Hydrogen peroxide in plants: A versatile molecule of the reactive oxygen species network. *Journal of Integrative Plant Biology* 50: 2-18.
- Raffo MD, Sanchez EE, Sozzi GO, 2008. Exposure to direct sunlight during the growing season delays postharvest softening of "Williams" pears and improves their response to 1-methylcyclopropene. *Acta Horticulturae* 800: 1035-1040.
- Schotsmans WC, Prange RK, Binder BM, 2009. 1-Methylcyclopropene (1-MCP): Mode of action and applications in postharvest horticulture. *Horticultural Reviews* 35: 263-313.

- Silva FJP, Gomes MH, Fidalgo F, Rodrigues JA, Almeida DPF, 2010. Antioxidant properties and fruit quality during long-term storage of "Rocha" pear: Effects of maturity and storage conditions. *Journal of Food Quality* 33: 1-20.
- Sozzi GO, Beaudry RM, 2007. Current perspectives on the use of 1-methylcyclopropene in tree fruit crops: an international survey. *Stewart Postharvest Review* 3: 1- 16.
- Spotts RA, Sholberg PL, Randall P, Serdani M, Chen PM, 2007. Effects of 1-MCP and hexanal on decay of d'Anjou pear fruit in long-term cold storage. *Postharvest Biology and Technology* 44: 101-106.
- Trinchero GD, Sozzi GO, Covatta F, Fraschina AA, 2004. Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene extends postharvest life of 'Bartlett' pears. *Postharvest Biology and Technology* 32: 193-204.
- Vallejo F, Beaudry RM, 2006. Depletion of 1-MCP by "non-target" materials from fruit storage facilities. *Postharvest Biology and Technology* 40: 177-182.
- Vanoli M, Grassi M, Zerbini PE, Rizzolo A, 2010. Fluorescence, conjugated trienes, alpha-farnesene and storage disorders in "Abbe Fetel" pears cooled with different speeds and treated with 1-MCP. *Acta Horticulturae* 858: 191-197.
- Villalobos-Acuña MG, Biasi WV, Flores S, Mitcham EJ, Elkins RB, Willits NH, 2010. Preharvest application of 1-methylcyclopropene influences fruit drop and storage potential of "Bartlett" pears. *Hortscience* 45: 610-616.
- Villalobos-Acuña M, Biasi WV, Mitcham EJ, Holcroft D, 2011a. Fruit temperature and ethylene modulate 1-MCP response in "Bartlett" pears. *Postharvest Biology and Technology* 60: 17-23.
- Villalobos-Acuña MG, Biasi WV, Flores S, Jiang CZ, Reid MS, Willits NH, Mitcham EJ, 2011b. Effect of maturity and cold storage on ethylene biosynthesis and ripening in "Bartlett" pears treated after harvest with 1-MCP. *Postharvest Biology and Technology* 59: 1-9.
- Watkins CB, 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Bio-technology Advances* 24: 389-409.
- Wills RBH, Bembridge PA, Scott KJ, 1980. Use of flesh firmness and other objective tests to determine consumer acceptability of "Delicious" apples. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 20: 252-256.
- Yamane M, Abe D, Yasui S, et al., 2007. Differential expression of ethylene biosynthetic genes in climacteric and non-climacteric Chinese pear fruit. *Postharvest Biology and Technology* 44: 220-227.
- Yazdani N, Arzani K, Mostofi Y, Shekarchi M, 2011. Alpha-Farnesene and antioxidative enzyme systems in Asian pear (*Pyrus serotina* Rehd.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 59: 227-231.
- Zhang ZK, Huber DJ, Hurr BM, Rao JP, 2009. Delay of tomato fruit ripening in response to 1-methylcyclopropene is influenced by internal ethylene levels. *Postharvest Biology and Technology* 54: 1-8.

(Aceptado para publicación el 10 de julio de 2013)