

# Atmósferas controladas dinámicas: una alternativa para el control de la escaldadura superficial en peras

CANDAN, A.P.<sup>1</sup>; CALVO, G.<sup>1</sup>

## RESUMEN

El potencial de almacenamiento de las peras Beurrè D'Anjou y Packham's Triumph es muy bueno, pero se ve limitado principalmente por la escaldadura superficial (ES). Ante las restricciones de uso de los antiescaldantes tradicionales, resulta clave encontrar una tecnología que permita el control de este desorden satisfaciendo los requerimientos de inocuidad exigidos. En peras la aplicación del 1-metilciclopropeno (1-MCP) controla la ES, pero puede impedir la maduración de los frutos; razón por la cual las atmósferas controladas dinámicas (ACD) cobran un particular interés en esta especie. En este ensayo, peras Beurrè D'Anjou y Packham's Triumph fueron almacenadas en frío convencional (FC), en atmósfera controlada (AC), en ACD, o tratadas con 300 ppb de 1-MCP. En comparación con la fruta almacenada en FC y AC, la ACD redujo significativamente el desarrollo de escaldadura superficial, mantuvo el color verde de la epidermis y redujo el ablandamiento sin impedir la normal maduración de los frutos. Aunque los frutos tratados con 1-MCP no maduraron, se concluye que la ACD es una excelente herramienta para el almacenamiento de peras Packham's Triumph. En cambio, el desarrollo de cavernas, impide su recomendación en Beurrè D'Anjou.

**Palabras clave:** límite mínimo de oxígeno (LMO), 1-metilciclopropeno, cavernas, daño por CO<sub>2</sub>, maduración.

## ABSTRACT

*Storage potential of Beurrè D'Anjou and Packham's Triumph pears is very good but is limited primarily by superficial scald (SS). Given the restrictions on the use of traditional antioxidants, it is crucial to find a technology that allows control of this disorder, considering the safety requirements. In pears, 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment control SS, but may prevent normal fruit ripening; that's why the "dynamic controlled atmosphere" (DCA) had a particular interest in this specie. In this trial, Beurrè D'Anjou and Packham's Triumph pears were stored in regular air (RA), controlled atmosphere (CA), DCA or treated with 300ppb 1-MCP. Compared with fruit stored in RA and CA, the DCA significantly reduced superficial scald development, kept the epidermis green color and reduced the softening without avoiding fruit ripening. Since the fruits treated with 1-MCP did not ripen, it is concluded that ACD is an excellent tool for storing Packham's Triumph pears. However, cavities development, preclude its recommendation in Beurrè D'Anjou.*

**Keywords:** low oxygen level (LOL), 1-methylcyclopropene, cavities, CO<sub>2</sub> injury, ripening.

<sup>1</sup>Área Postcosecha, EEA Alto Valle, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). CC782, CP (8332), Gral. Roca, Río Negro, Argentina. Correo electrónico: candan.ana@inta.gob.ar; calvo.gabriela@inta.gob.ar

## INTRODUCCIÓN

Argentina es el principal exportador de peras con 0,46 millones de toneladas (Valenciano *et al.*, 2012), de las cuales el 85% se producen en el Alto Valle del Río Negro y en Neuquén (Sánchez y Villarreal, 2013). El 50% de la cosecha nacional es de la variedad William's, el 30% de Packham's Triumph, seguidas por Beurré D'Anjou con el 11% (SENASA, 2010).

El potencial de conservación de las peras Beurré D'Anjou y Packham's Triumph es muy bueno, pero se ve limitado principalmente por el desarrollo de escaldadura superficial, una fisiopatía de poscosecha que ocasiona grandes pérdidas comerciales (Benítez, 2001). Los frutos afectados presentan manchas marrones de bordes irregulares sobre la piel, debidas a la muerte celular causada por los productos de oxidación de un compuesto denominado "α-farnaseno". La aplicación de antiescaldantes químicos como la etoxiquina o la difenilamina se ha utilizado durante décadas para controlar esta fisiopatía. Sin embargo, los consumidores exigen productos cada vez más sanos y libres de residuos (Calvo y Kupferman, 2012) y la prohibición de uso de dichos antiescaldantes ya es un hecho en la Comunidad Europea. En este marco, resulta clave encontrar una tecnología que permita el adecuado control de la escaldadura superficial, satisfaciendo los requerimientos de inocuidad exigidos.

Al aplicar bloqueadores de la acción del etileno como el 1-metilciclopropeno (1-MCP) se inhibe la síntesis de α-farnasenos logrando un control muy efectivo de la escaldadura superficial en manzanas y peras (Blankenship y Dole, 2003). Sin embargo, la aplicación comercial de esta tecnología no es sencilla para el caso de las peras ya que las dosis de 1-MCP que resultan efectivas para el control de escaldadura pueden impedir el normal ablandamiento de los frutos, lo que causa el rechazo de los estos por parte de los consumidores.

El almacenamiento en atmósfera controlada (AC) retrasa la aparición de escaldadura por una inhibición de la biosíntesis del α-farneseno y de su oxidación a trienos conjugados debida tanto a los bajos niveles de O<sub>2</sub> como a los altos niveles de CO<sub>2</sub> (Lurie y Watkins, 2012). Ha sido demostrado que el máximo control de escaldadura se logra cuando la concentración de O<sub>2</sub> se encuentra cerca del límite mínimo de oxígeno (LMO), pero nunca por debajo, ya que pueden ocurrir daños por anaerobiosis. Los sensores de fluorescencia de la clorofila permiten detectar, de forma rápida y no destructiva, el estrés por bajo oxígeno en manzanas, peras y otras especies, de manera de indicar el momento en que los frutos alcanzan su LMO (Prange *et al.*, 2011). Así surge el sistema de almacenamiento en atmósfera controlada dinámica (ACD) que, a diferencia de las condiciones estáticas de la AC, requiere ajustar la concentración de oxígeno dentro de la cámara cada vez que los frutos alcanzan su LMO (Wright *et al.*, 2010).

En estudios previos con peras William's, la ACD mantuvo la acidez, el color verde de los frutos y logró un control absoluto de los síntomas de escaldadura superficial incluso

después de 6 meses de almacenamiento, sin provocar daños por bajo O<sub>2</sub> (Candan y Calvo, 2012). Esta tecnología también demostró ser efectiva en inhibir el desarrollo de esta fisiopatía en peras D'Anjou (Mattheis y Rudell, 2011) y en otros cultivares de peras (Prange *et al.*, 2011).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el almacenamiento en ACD como método alternativo del control de escaldadura en peras Beurré D'Anjou y Packham's Triumph producidas en el Alto Valle de Río Negro y en Neuquén.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Frutos de peras Beurré D'Anjou y Packham's Triumph fueron cosechados el 9 y 17 de febrero del año 2010 respectivamente, en un monte comercial de INTA e inmediatamente trasladados a los laboratorios del Área Postcosecha de la EEA Alto Valle, donde se determinó la madurez inicial de los frutos y se establecieron 4 lotes homogéneos para aplicar los siguientes tratamientos:

- Frío convencional (FC): la fruta se conservó a 0 °C en un contenedor con atmósfera regular.
- 1-metilciclopropeno (1-MCP): la fruta se trató con 300ppb de 1-MCP (SmartFresh®) y se conservó a 0 °C en un contenedor con atmósfera regular.
- Atmósfera controlada (AC): la fruta se conservó a 0 °C en contenedores con 2% de O<sub>2</sub> y 1% de CO<sub>2</sub>.
- Atmósfera controlada dinámica (ACD): la fruta se conservó a 0 °C en un contenedor con el siguiente régimen dinámico: barrido inicial hasta 2% O<sub>2</sub> y 1% CO<sub>2</sub> y posterior descenso del O<sub>2</sub> por respiración. Cuando los valores de fluorescencia indicaron el inicio del estrés por bajo oxígeno, se aumentó en un 0,2% el valor de dicho gas.

Los frutos se evaluaron después de 6 y 8 meses (Beurré D'Anjou) o de 6 y 9 meses (Packham's Triumph), tanto a salida de cámara como después de 4 y 7 días de vida en estante a 20 °C. En cada una de las evaluaciones y sobre 3 repeticiones de 20 frutos cada una se determinó:

### - Índices de madurez

El color de la epidermis (hue) se midió con colorímetro triestímulo (CR-400, Minolta, Japón), en dos caras opuestas de cada fruto. La firmeza de la pulpa (lb) se determinó con presiómetro electrónico (FTA-GS14, Güss, Sudáfrica), con émbolo de 8 mm, previa extracción de la piel y en dos puntos opuestos del plano ecuatorial. Sobre el jugo de los frutos de cada repetición se determinó el contenido de sólidos solubles totales (SST %) con refractómetro digital (PAL1, Atago, Japón) y la acidez titulable (AT g/L) por titulación con NaOH 0,1N hasta pH 8,2. Al momento de la cosecha se determinó el porcentaje de degradación de almidón mediante la tinción del corte sobre el plano ecuatorial con solución de lugol y por comparación con tablas varietales de INTA (Insúa y Candan, 2010).

### - Producción de etileno

Después de la cosecha y de cada periodo de almacenamiento se determinó la producción de etileno sobre 3 repeticiones de un fruto cada una. Después de 30 minutos de encierro de cada fruto en un frasco de 1,5 L se extrajo 1 mL de muestra del espacio de cabeza. La muestra se analizó con un cromatógrafo de gases (GC-14A, Shimadzu, Japón) equipado con columna de alúmina (40 °C) y detector FID (210 °C). Se utilizó helio como gas transportador. Los resultados se expresaron en nL/g/h.

### - Escaldadura superficial y otros desórdenes

Se registró en cada evaluación el porcentaje de frutos afectados con escaldadura superficial y la severidad de este desorden mediante la siguiente escala visual: Grado 1 (hasta el 25% de la superficie afectada con manchas), Grado 2 (entre 25 y 50%), Grado 3 (entre 50 y 75%), Grado 4 (más del 75%). Se registró el porcentaje de frutos afectados con cavernas, podredumbres y otros desórdenes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, la cosecha de las peras Beurré D'Anjou puede iniciarse cuando los frutos alcanzan 15,5-16,5 lb de firmeza, 10-11% SST, 3,5-4 g/L AT y 20-25% de degradación de almidón; mientras que la cosecha de las peras 'Packhams Triumph', cuando los frutos alcanzan 15,5-17,5 lb de firmeza, 10-11% SST, 3,5-4 g/L AT y 20-30% de degradación de almidón (Benítez, 2001). Según el Programa Regional de Madurez, la fecha sello para el inicio de cosecha en esta temporada fue el 27 de enero para Beurré D'Anjou y el 10 de febrero para Packham's Triumph, por lo que los frutos de este ensayo se cosecharon 13 y 10 días después del sello respectivamente. De acuerdo con los resultados obtenidos (tabla 1), los frutos utilizados en este ensayo se encontraban en un estado de madurez adecuado para cosecha o madurez comercial.

Para las dos variedades, la producción de etileno posterior a la cosecha se mantuvo indetectable durante todo el periodo evaluado (3 semanas a 20 °C), lo cual indica que los frutos se encontraban en estado preclimático.

|             | Beurré D'Anjou<br>(9 feb) | Packham's Triumph<br>(17 feb) |
|-------------|---------------------------|-------------------------------|
| Color (Hue) | 118,7 ± 0,9               | 117,7 ± 0,3                   |
| Firmeza (N) | 62,8 ± 2,2                | 61,3 ± 2,0                    |
| AT (g/L)    | 2,9 ± 0,2                 | 3,2 ± 0,4                     |
| SST (%)     | 11 ± 0,8                  | 12,4 ± 0,1                    |
| Almidón (%) | 23 ± 3,1                  | 16,0 ± 2,0                    |

**Tabla 1.** Índices de madurez al momento de la cosecha de las peras Beurré D'Anjou y Packham's Triumph utilizadas en este ensayo. Cada valor representa el promedio de 3 repeticiones de 20 frutos cada una ±DS.

### Efecto de los tratamientos sobre la producción de etileno y la madurez después del almacenamiento

Si bien la producción de etileno fue indetectable durante el periodo de vida en estante posterior a la cosecha, tanto Beurré D'Anjou como Packham's Triumph produjeron etileno después del almacenamiento en FC, AC y ACD (figuras 1 y 2). Este efecto ya ha sido descrito y es un comportamiento normal en las peras de invierno (como Beurré D'Anjou y Packham's Triumph), las cuales necesitan de las bajas temperaturas para iniciar la producción autocatalítica de etileno (Lelièvre *et al.*, 1997).

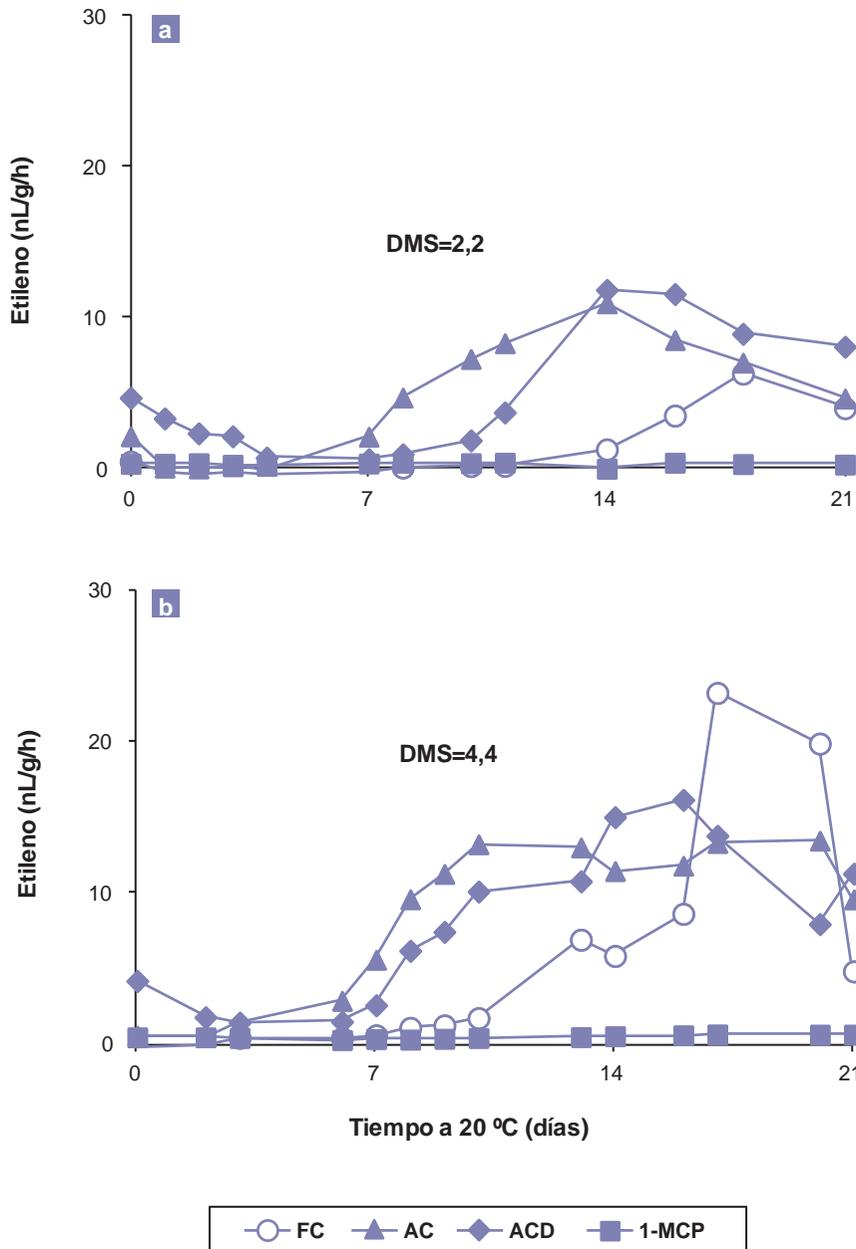
El efecto de los tratamientos sobre la producción de etileno fue el mismo en las dos variedades estudiadas. Contrariamente a lo esperado, los frutos almacenados en AC y ACD presentaron mayores valores de producción de etileno que FC a salida de cámara y un incremento a lo largo del periodo de vida en estante hasta alcanzar un pico climático para luego descender. Por su parte, el tratamiento con 1-MCP inhibió la producción de etileno de los frutos durante todo el periodo evaluado (figuras 1 y 2).

Se observaron diferencias de producción de etileno entre las variedades estudiadas. Las peras Beurré D'Anjou presentaron un pico climático más tardío y de menor magnitud (11 a 16 nL/g/h) que las peras Packham's Triumph (82 a 93 nL/g/h).

Los tratamientos afectaron significativamente la maduración de los frutos de ambas variedades. En general, las diferencias se observaron en el color de la epidermis y en la firmeza. La acidez titulable se vio menos afectada mientras que no se observó ningún efecto sobre el contenido de sólidos solubles totales (tablas 2 y 3).

El color de la epidermis estuvo significativamente afectado por los tratamientos. Los frutos almacenados en FC amarillaron más rápidamente (menor hue) durante el almacenamiento y la vida en estante. Los frutos almacenados en ACD fueron más verdes (mayor hue) que los almacenados en AC o que los tratados con 1-MCP en casi todas las evaluaciones realizadas tanto en Beurré D'Anjou como en Packham's Triumph. En general, se observó que al extenderse el periodo de vida en estante, las diferencias de color entre ACD y 1-MCP fueron menores, lo que sugirió que el almacenamiento en ACD es más efectivo que el tratamiento con 1-MCP para mantener el color verde principalmente durante el almacenamiento y los primeros días de vida en estante (tablas 2 y 3). La efectividad de la ACD en el mantenimiento del color verde fue previamente observada en peras Williams (Candan y Calvo, 2012) y en manzanas Granny Smith y Cripps Pink (Candan y Calvo, sin publicar). Este resultado es particularmente importante a nivel comercial ya que el color verde de la epidermis es un factor de calidad decisivo para que los compradores acepten el producto.

No se observaron diferencias en la firmeza de los frutos al finalizar ambos periodos de almacenamiento en ninguna de las variedades. En cambio, durante el periodo de vida en estante los frutos de AC y ACD se ablandaron normal-

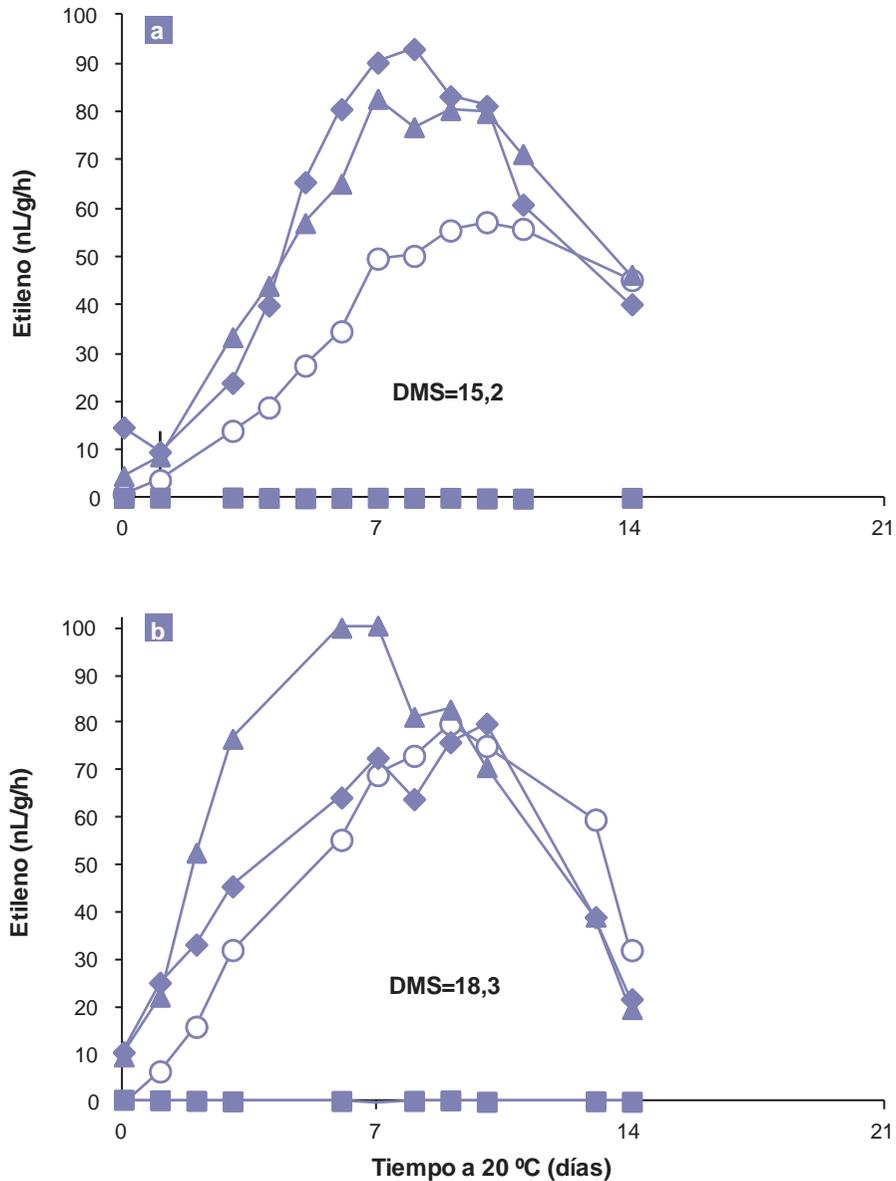


**Figura 1.** Producción de etileno en peras Beurré D'Anjou después de 6 meses (A) y 8 meses (B) de almacenamiento en frío bajo distintos sistemas de conservación. La barra vertical representa la diferencia mínima significativa (DMS) entre todos los puntos, según Tukey (0,05).

mente (sin diferencias entre ambos) mientras que los frutos tratados con 1-MCP mantuvieron valores de firmeza elevados. Extrañamente, los frutos almacenados en FC presentaron una tasa de ablandamiento menor a la observada en los frutos de AC y ACD, aunque se amarillaron y perdieron acidez normalmente. Este comportamiento fue más notorio en Beurré D'Anjou y se corresponde con los síntomas de la enfermedad del frío, que se caracteriza por la incapacidad de los frutos para madurar normalmente tras largos periodos de almacenamiento en FC. Según ha sido descrito, esta fisiopatía no aparece todos los años ni afecta a todas las partidas y se debe a ciertas condiciones de crecimiento

y/o almacenamiento (Benítez, 2001). En todos los casos, y como la pérdida de firmeza es uno de los parámetros más dependientes de la producción de etileno (Lelièvre *et al.*, 1997), se observó una coincidencia entre la tasa de ablandamiento de los frutos y la producción de etileno de los tratamientos para las dos variedades (figuras 1 y 2).

Se considera que las peras alcanzan la jugosidad deseada cuando alcanzan valores de firmeza de 17,8 a 22,3 N dependiendo de la percepción individual de cada consumidor (Kappel *et al.*, 1995). De acuerdo con estos valores, los frutos almacenados en FC, AC y ACD alcanzaron la firmeza de consumo después de 7 días de vida en estante



**Figura 2.** Producción de etileno en peras Packham's Triumph después de 6 meses (A) y 9 meses (B) de almacenamiento en frío bajo distintos sistemas de conservación. La barra vertical representa la diferencia mínima significativa (DMS) entre todos los puntos, según Tukey (0,05).

mientras que los frutos tratados con 1-MCP no alcanzaron valores de consumo durante el periodo de vida en estante evaluado (tablas 2 y 3). El bloqueo de la maduración normal en las peras tratadas con 1-MCP es un problema que ya ha sido reportado anteriormente (Blankenship y Dole, 2003) y que implica la necesidad de adecuar esta tecnología para su correcta aplicación comercial en peras. Es por ello que actualmente se estudian distintas alternativas para modular los efectos del 1-MCP de manera de conseguir los efectos deseables sin perder la capacidad de maduración (Calvo y Candan, 2015). En cambio, y tal como ha sido observado en este trabajo, el almacenamiento en atmósferas controladas asegura una maduración normal de los frutos (Benítez, 2001).

Similarmente a lo observado en peras William's (Candan y Calvo, 2012), las peras de este ensayo almacenadas en ACD o tratadas con 1-MCP mantuvieron mayores valores de acidez que los almacenados en FC o en AC en algunas evaluaciones (tablas 2 y 3).

**El efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de escaldadura superficial**

La escaldadura superficial se desarrolló durante la vida en estante, observándose una mayor incidencia en las peras Beurré D'Anjou que en las Packham's Triumph. En ambas variedades se observaron diferencias entre tratamientos (figura 3 y 4).

| Meses a 0 °C + días a 20 °C | Trat. | Color (hue) | Firmeza (N) | AT (g/L) | SST (%) |
|-----------------------------|-------|-------------|-------------|----------|---------|
| 6M                          | FC    | 116,46      | 59,2        | 1,92 b   | 12,03   |
|                             | AC    | 117,11      | 58,6        | 2,14 b   | 12,27   |
|                             | ACD   | 118,31      | 60,1        | 2,41 a   | 12,87   |
|                             | 1-MCP | 98,36       | 58,1        | 2,35 a   | 12,87   |
|                             |       |             | 0,3806      | 0,7343   | 0,0071  |
| 6M+4D                       | FC    | 116,41 b    | 52,6 b      | 2,17     | 12,33   |
|                             | AC    | 116,02 b    | 38,1 d      | 1,94     | 12,27   |
|                             | ACD   | 117,82 a    | 42,9 c      | 2,17     | 12,57   |
|                             | 1-MCP | 116,93 b    | 58,6 a      | 2,19     | 12,3    |
|                             |       |             | 0,0015      | <0,0001  | 0,3712  |
| 6M+7D                       | FC    | 114,12 b    | 33,2 b      | 2,01     | 12,6    |
|                             | AC    | 115,44 b    | 17,4 c      | 1,83     | 12,6    |
|                             | ACD   | 116,32 a    | 17,9 c      | 2,17     | 13,1    |
|                             | 1-MCP | 116,59 a    | 52,5 a      | 2,14     | 13,23   |
|                             |       |             | 0,0115      | <0,0001  | 0,0997  |
| 8M                          | FC    | 115,28 c    | 52,1        | 1,79     | 12,93   |
|                             | AC    | 116,62 b    | 50,6        | 1,83     | 12,2    |
|                             | ACD   | 118,68 a    | 53,2        | 2,23     | 12,83   |
|                             | 1-MCP | 116,30 b    | 50,6        | 2,3      | 16,33   |
|                             |       |             | 0,0005      | 0,2184   | 0,081   |
| 8M+4                        | FC    | 114,74 b    | 45,2 b      | 1,68 b   | 12,7    |
|                             | AC    | 115,39 b    | 41,0 b      | 1,36 b   | 12,67   |
|                             | ACD   | 117,84 a    | 43,7 b      | 1,56 b   | 12,33   |
|                             | 1-MCP | 116,32 b    | 52,0 a      | 2,10 a   | 13,37   |
|                             |       |             | 0,005       | 0,0009   | 0,0091  |
| 8M+7D                       | FC    | 111,00 b    | 33,1 b      | 1,79 b   | 13,33   |
|                             | AC    | 113,97 b    | 14,9 c      | 1,65 b   | 13,17   |
|                             | ACD   | 115,52 a    | 18,8 c      | 1,74 b   | 13,33   |
|                             | 1-MCP | 116,26 a    | 53,6 a      | 1,99 a   | 13,23   |
|                             |       |             | <0,0001     | <0,0001  | 0,0062  |

**Tabla 2.** Efecto de los tratamientos sobre los índices de madurez de peras Beurrè D'Anjou después de 6 y 8 meses de almacenamiento seguidos de 0, 4 y 7 días de vida en estante a 20 °C. Valores seguidos por una letra distinta difieren según Tukey (0,05). Para cada grupo de valores se indica el valor de P.

Después de 6 meses de almacenamiento el porcentaje de frutos de Beurrè D'Anjou con escaldadura fue mayor al 40% en FC y AC después de 4 días de vida en estante y al 90% después de 7 días. El almacenamiento en ACD redujo significativamente este desorden con tan solo un 3% de frutos afectados después de 7 días de vida en estante mientras que el tratamiento con 1-MCP logró un control absoluto de esta fisiopatía (figura 3). La incidencia de esta fisiopatía se incrementó al extenderse el almacenamiento, en todos los tratamientos. De esta forma, hubo un 80% de frutos afectados en FC y AC después de 4 días de vida en estante y entre 93 y 100% luego de 7 días. El almacenamiento en ACD mantuvo un bajo porcentaje de fruta afectada hasta los 4 días de vida en estante (6%), pero solo el 1-MCP fue efectivo tras 7 días (figura 3).

En Packham's Triumph, después de 6 meses de almacenamiento, solo los frutos almacenados en FC presentaron síntomas de escaldadura, lo que afectó al 3% de los frutos después de 4 días de vida en estante y al 16% de los frutos después de 7 días. El almacenamiento en AC y ACD así como el tratamiento con 1-MCP lograron un control absoluto de esta fisiopatía durante la vida en estante posterior a los 6 meses de almacenamiento (figura 4). Después de 9 meses de almacenamiento en FC o AC se observaron síntomas de escaldadura superficial que afectaron entre un 25 o 30% y entre un 50 o 40% de los frutos después de 4 y 7 días de vida en estante, respectivamente. El almacenamiento en ACD redujo esta fisiopatía muy significativamente logrando un control absoluto hasta los 4 días de vida en

| Meses a 0 °C + días a 20 °C | Trat. | Color (hue) | Firmeza (N) | AT (g/l) | SST (%) |
|-----------------------------|-------|-------------|-------------|----------|---------|
| 6M                          | FC    | 110,11 d    | 49,4 b      | 2,1      | 13,83   |
|                             | AC    | 114,21 b    | 51,3 a      | 2,08     | 13,67   |
|                             | ACD   | 116,61 a    | 50,7 a      | 2,23     | 13,57   |
|                             | 1-MCP | 113,01 c    | 48,0 b      | 2,19     | 14,03   |
|                             |       |             | <0,0001     | 0,0279   | 0,8086  |
| 6M+4D                       | FC    | 108,56 c    | 36,8 b      | 2,08 b   | 14,07   |
|                             | AC    | 112,05 b    | 29,3 b      | 2,19 b   | 13,3    |
|                             | ACD   | 115,72 a    | 20,4 c      | 2,41 a   | 13,8    |
|                             | 1-MCP | 113,05 b    | 45,5 a      | 2,12 b   | 13,93   |
|                             |       |             | 0,0005      | 0,0003   | 0,0362  |
| 6M+7D                       | FC    | 104,65 b    | 14,3 b      | 2,08     | 14,5    |
|                             | AC    | 106,75 b    | 13,2 b      | 1,83     | 13,97   |
|                             | ACD   | 110,50 a    | 11,4 b      | 2,23     | 13,73   |
|                             | 1-MCP | 111,59 a    | 44,5 a      | 2,37     | 14,37   |
|                             |       |             | 0,0112      | <0,0001  | 0,0642  |
| 9M                          | FC    | 107,57 c    | 50,4 a      | 1,56 b   | 13,77 a |
|                             | AC    | 111,45 b    | 54,6 a      | 1,52 b   | 12,93 a |
|                             | ACD   | 115,36 a    | 53,5 a      | 2,08 a   | 13,67 a |
|                             | 1-MCP | 112,78 b    | 53,1 a      | 2,03 a   | 13,57 a |
|                             |       |             | <0,0001     | 0,1559   | 0,0005  |
| 9M+4D                       | FC    | 105,84 d    | 41,6 b      | 1,43 b   | 13,47 a |
|                             | AC    | 109,85 b    | 29,7 c      | 1,34 b   | 12,53 a |
|                             | ACD   | 113,63 a    | 22,0 d      | 1,90 a   | 14,03 a |
|                             | 1-MCP | 111,62 c    | 51,3 a      | 1,74 a   | 13,77 a |
|                             |       |             | <0,0001     | <0,0001  | 0,021   |
| 9M+7D                       | FC    | 101,36 c    | 19,2 b      | 1,43 c   | 13,70 a |
|                             | AC    | 103,46 c    | 14,7 c      | 1,30 c   | 13,60 a |
|                             | ACD   | 108,58 b    | 12,6 c      | 1,76 b   | 14,13 a |
|                             | 1-MCP | 112,90 a    | 58,5 a      | 2,10 a   | 13,90 a |
|                             |       |             | <0,0001     | <0,0001  | <0,0001 |

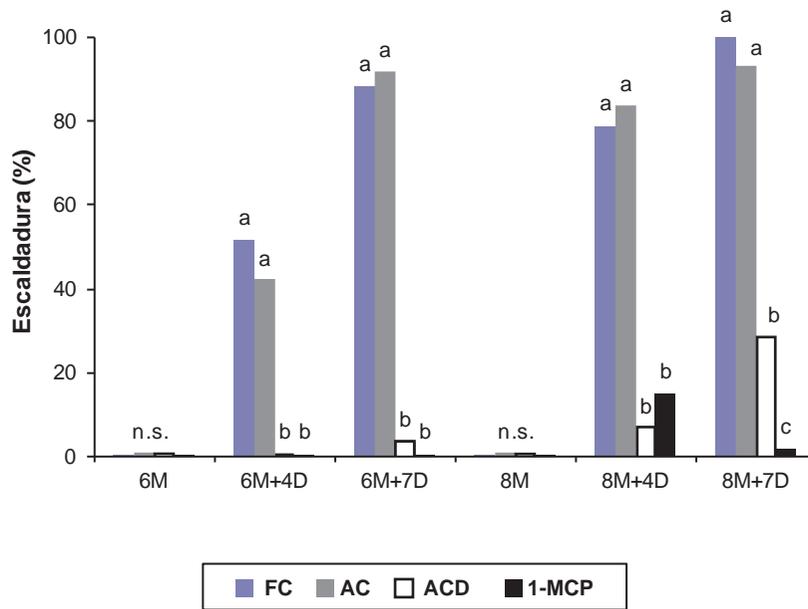
**Tabla 3.** Efecto de los tratamientos sobre los índices de madurez de peras Packhams Triumph después de 6 y 9 meses de almacenamiento seguidos de 0, 4 y 7 días de vida en estante a 20 °C. Valores seguidos por una letra distinta difieren según Tukey (0,05). Para cada grupo de valores se indica el valor de P.

estante y presentado solo un 5% de fruta afectada después de 7 días. El tratamiento con 1-MCP logró un control absoluto hasta los 7 días (figura 4).

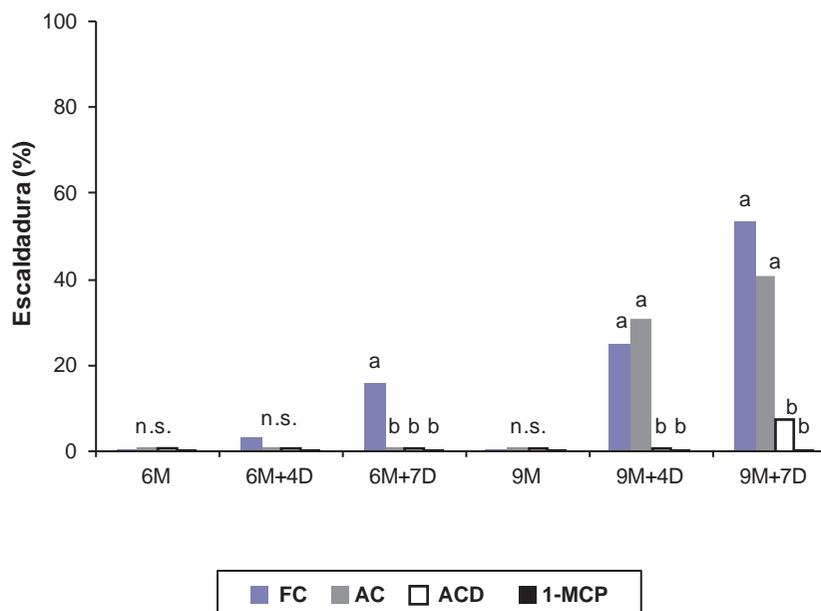
En William's, tanto la ACD como el 1-MCP lograron un control absoluto de la escaldadura tras 5 y 6 meses de almacenamiento más 7 días de vida en estante (Candan y Calvo, 2012). Este resultado, junto con los obtenidos en este trabajo, demuestra que el efecto de la ACD sobre el control de la escaldadura sería dependiente de la variedad.

La escaldadura superficial es una fisiopatía que afecta numerosos cultivares de manzanas y peras. En presen-

cia de oxígeno el  $\alpha$ -farnaseno se oxida dando lugar a los trienos conjugados, que son productos altamente tóxicos. Varios estudios indican que la síntesis de  $\alpha$ -farnasenos es dependiente de etileno (Lurie y Watkins, 2012), lo cual explica el control de la escaldadura en los frutos tratados con 1-MCP. Las atmósferas con bajo oxígeno también pueden inhibir la síntesis de  $\alpha$ -farnasenos mediante una reducción en la producción de etileno. Sin embargo, en este ensayo, no se observó una menor producción de etileno en los frutos almacenados en ACD, lo cual sugiere que el control de la escaldadura fue por un efecto directo de inhibición de la oxidación de los  $\alpha$ -farnasenos.



**Figura 3.** Efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de frutos afectados con escaldadura superficial en peras Beurré D'Anjou después de 6 y 8 meses de almacenamiento seguidos de 0, 4 y 7 días de vida en estante a 20 °C. Dentro de una misma evaluación, las columnas rotuladas por una letra distinta difieren según Tukey (0,05) y n.s. indica diferencias no significativas.



**Figura 4.** Efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de escaldadura superficial de peras Packham's Triumph después de 6 y 9 meses de almacenamiento seguidos de 0, 4 y 7 días de vida en estante a 20 °C. Dentro de una misma evaluación, las columnas rotuladas por una letra distinta difieren según Tukey (0,05) y n.s. indica diferencias no significativas.

#### Condiciones de almacenamiento y desarrollo de cavernas

El desarrollo de cavernas fue el principal factor limitante del almacenamiento de las peras Beurré D'Anjou en ACD. Este síntoma afectó a más del 70% de los frutos de este

tratamiento en todas las evaluaciones realizadas desde la primera evaluación de salida de cámara y se mantuvo constante durante la vida en estante. Si bien la atmósfera promedio en ACD para Beurré D'Anjou fue de 1% de O<sub>2</sub> y 0,7% de CO<sub>2</sub>, los valores de CO<sub>2</sub> superaron a los valores de O<sub>2</sub> en dos oportunidades: a) durante 11 días del primer

mes de almacenamiento (0,4% O<sub>2</sub> y 0,7% CO<sub>2</sub>) y durante 19 días del mes del quinto mes (0,7% O<sub>2</sub> y 0,9% CO<sub>2</sub>), lo cual podría haber causado el desarrollo de este desorden.

Mattheis y Rudell (2011) y Mattheis *et al.* (2013) también observaron la ocurrencia de daños internos en peras Beurré D'Anjou almacenadas en regímenes de bajo O<sub>2</sub>, lo cual indica que esta variedad es particularmente sensible a este tipo de desórdenes. Al igual que en este ensayo, Mattheis *et al.* (2013) tampoco observaron cambios de fluorescencia asociados con el daño interno de los frutos. Esto podría deberse a que el desarrollo de cavernas está más asociado con altos niveles de CO<sub>2</sub> que con bajos niveles de O<sub>2</sub> (Calvo y Candan, 2010).

La variedad Packham's Triumph no presentó síntomas de cavernas en ninguna de las evaluaciones y para ninguno de los tratamientos. Para esta variedad, se estableció una atmósfera promedio de 0,8% de O<sub>2</sub> y 0,9% de CO<sub>2</sub>. Según los resultados obtenidos, esta composición gaseosa sería apropiada para esta variedad.

### Límite mínimo de oxígeno detectado

En este ensayo, las peras 'Beurré D'Anjou' manifestaron un pico de estrés a los 19 días de ingreso en la cámara y con una composición gaseosa de 0,2% O<sub>2</sub> y 0,4% CO<sub>2</sub>, lo cual sugiere que 0,2% es el límite mínimo de oxígeno (LMO) para esta variedad. Por su parte, las peras Packham's Triumph manifestaron dos picos de estrés durante el almacenamiento. El primero ocurrió a los 8 días de ingreso en la cámara y el segundo, a los 20 días de ingreso a la cámara. Es muy importante destacar que ambos picos ocurrieron con 0,3% O<sub>2</sub>, lo que sugirió que este sería el LMO para esta variedad, independientemente de los valores de CO<sub>2</sub>, que fueron de 0,6% y 0,9% respectivamente.

Los valores de LMO obtenidos pueden tomarse como referencia, pero debe tenerse en cuenta que pueden cambiar entre especies, según la región de producción y de un año a otro (De Long *et al.*, 2004). Asimismo, la temperatura de almacenamiento y la velocidad de descenso del O<sub>2</sub> también afectan el LMO, observándose un aumento de este cuanto mayor sea la temperatura de almacenamiento de los frutos y cuando el descenso de O<sub>2</sub> es gradual (Wright *et al.*, 2010).

### CONCLUSIÓN

Los resultados indican que el almacenamiento en ACD disminuye la maduración de los frutos (alcanzando la madurez de consumo durante la vida en estante) y reduce significativamente el desarrollo de escaldadura superficial en comparación con la fruta almacenada en FC y AC. Estos resultados demuestran que la ACD es una excelente herramienta para el mantenimiento de la calidad poscosecha en peras Packham's Triumph. En cambio, el desarrollo de cavernas impide su implementación comercial en la variedad Beurré D'Anjou.

### BIBLIOGRAFÍA

- BENÍTEZ, C.E. 2001. Cosecha y poscosecha de peras y manzanas en los Valles Irrigados de la Patagonia. INTA EEA Alto Valle. General Roca, Río Negro. Argentina. 126 pp.
- BLANKENSHIP, S.M.; DOLE, J.M. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology* 28, 1-25.
- CALVO, G.; CANDAN, A.P. 2010. Guía para la identificación de fisiopatías en peras y manzanas. ISBN 978-987-679-023-9.
- CALVO, G.; CANDAN, A.P. 2015. Estrategias para modular los efectos de 1-MCP en peras Packham's Triumph: aplicación simultánea con etileno o con CO<sub>2</sub> y tratamientos con calor. *RIA*, 41 (1): 102-110.
- CALVO, G.; KUPFERMAN, E. 2012. Current DPA and ethoxyquin situation and alternatives to superficial scald control in apples and pears. *Acta Hort.* 945, 51-54.
- CANDAN, A.P.; CALVO, G. 2012. Evaluación del sistema de Atmósferas Controladas Dinámicas para la conservación de peras 'Williams'. *Revista de Fruticultura*. N.º 23: 4-11.
- DE LONG, J.M.; PRANGE, R.K.; LEYTE, J.C.; HARRISON, P.A. 2004. A new technology that determines low oxygen thresholds in controlled-atmospheres apples. *Hort Technology* 14 (2): 262-266.
- INSÚA, E.; CANDAN, A.P. 2010. Desarrollo de la 'lámina para la determinación de la degradación de almidón', INTA Alto Valle. (Disponible en: <http://inta.gov.ar/documentos/test-de-degradacion-de-almidon>).
- KAPPEL, F.; FISHERFLEMING, R.; HOGUE, E.J. 1995. Ideal pear sensory attributes and fruit characteristics. *HortScience* 30, 988-993.
- LELIÈVRE, J.M.; LATCHÉ, A.; JONES, B.; BOUZAYEN, M.; PECH, J.C. 1997. Ethylene and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, 101: 727-739.
- LURIE, S.; WATKINS, C.B. 2012. Superficial scald, its etiology and control. *Postharvest biology and Technology*, 65: 44-60.
- MATTHEIS, J.; FELICETTI, D.; RUDELL, D. 2013. Pithy brown core in 'd'Anjou' pear (*Pyrus communis* L.) fruit developing during controlled atmosphere storage at pO<sub>2</sub> determined by monitoring chlorophyll fluorescence. *Postharvest Biology and Technology*, 86: 259-264.
- MATTHEIS, J.P.; RUDELL, D. 2011. Responses of 'd'Anjou' pear (*Pyrus communis* L.) fruit to storage at low oxygen set points determined by monitoring fruit chlorophyll fluorescence. *Postharvest Biology and Technology*. 60, 125-129.
- PRANGE, R.K.; DELONG, J.M.; WRIGHT, A.H. 2011. Storage of pears using dynamic controlled-atmosphere (DCA), a non-chemical method. *Acta Hort.* (ISHS) 909: 707-717.
- SÁNCHEZ, E.E.; VILLARREAL, P. 2013. Cadena frutales de pepita. Programa Nacional Frutales. Estación Experimental Alto Valle. (Disponible en: [www.inta.gov.ar](http://www.inta.gov.ar)).
- SENASA, 2010. Anuario estadístico 2010 Centro Regional Patagonia Norte. (Disponible en: <http://www.senasa.gov.ar/Archivos/File/File4832-AnuarioCRPN2010.pdf>).
- VALENCIANO, J.; GIANCINTI, M.A.; URIBE, J. 2012. Revealed comparative advantage and competitiveness in pear. *Int. J. Food System Dynamics*, 3 (1): 1-10.
- WRIGHT, A.H.; DELONG, J.M.; HARRISON, P.A.; GUNAWARDENA, A.H.L.A.N.; PRANGE, R.K. 2010. The effect of temperature and other factors on chlorophyll a fluorescence and the lower oxygen limit in apples (*Malus domestica*). *Postharvest Biology and Technology* 55: 21-28.