

EVOLUCIÓN DE MADUREZ EN PRE Y POSCOSECHA Y POTENCIALIDAD DE ALMACENAJE DE PERAS PACKHAM'S TRIUMPH

Pre and post-harvest maturity evolution and storage potential of Packham's Triumph pears

Claudia Moggia^{1*}, Marcia Pereira¹, José Antonio Yuri¹ y María A. Moya²

ABSTRACT

Packham's Triumph pears (*Pyrus communis* L.) were evaluated from four weeks before harvest for maturity and ethylene production. Firmness and soluble solids showed the highest correlations ($r = -0.97$ and 0.98 , respectively) with days after full bloom (DDPF). Ethylene production was low (< 0.07 mg kg⁻¹) and was not correlated with DDPF. Fruit harvested with 7.8 (E1) and 7.0 kg (E2) were stored in conventional cold air (0°C) and two controlled atmosphere conditions (AC1: 2-2.5% O₂/1-1.5% CO₂ and AC2: 1-1.3% O₂/0.5-0.8% CO₂), -1°C, for six months. Changes in maturity, and ethylene production were measured (monthly) and incidence of physiological disorders was assessed (after four and six months). Additionally, the ethylene production rate (TPE) was monitored for seven days at room temperature, after each storage period. Fruit from both harvests, stored under AC1 and AC2 were firmer, greener and had lower ethylene production than those of FC. There were no significant differences in ripening between AC1 and AC2. Ethylene accumulation was exponential and occurred earlier and with higher values in FC (900 mg kg⁻¹ maximum at the 5th month), with respect to AC (146 and 230 mg kg⁻¹ for E1 and E2 at the end of the storage period). At room temperature, the TPE of the three storage conditions increased from the second month, but the climacteric peak was observed only in FC. After six months, fruit from FC and from both harvests developed superficial scald (17% for E1 and 20% for E2).

Key words: ethylene production, controlled atmosphere, fruit quality, physiological maturity, *Pyrus communis* L.

RESUMEN

Peras (*Pyrus communis* L.) Packham's Triumph fueron evaluadas en madurez y producción de etileno desde cuatro semanas previo a la cosecha. Firmeza y sólidos solubles obtuvieron las mayores correlaciones ($r = -0.97$ y 0.98 , respectivamente) con días después de plena flor (DDPF). La producción de etileno fue baja ($< 0,07$ mg kg⁻¹) y no mostró correlación con DDPF. Fruta cosechada con 7,8 y 7,0 kg (E1 y E2, respectivamente) fue almacenada en frío convencional (FC: 0°C) y dos condiciones de atmósfera controlada (AC1: 2- 2,5% O₂/1-1,5% CO₂ y AC2: 1-1,3% O₂/0,5-0,8% CO₂), -1°C, por seis meses. Se midió madurez, producción de etileno (mensualmente) e incidencia de desórdenes fisiológicos (después de cuatro y seis meses). Adicionalmente, se evaluó tasa de producción de etileno (TPE) durante 7 días a temperatura ambiente, después de cada período de almacenaje. Fruta de ambas cosechas, almacenada en AC1 y AC2 presentó mayor firmeza, coloración verde de piel y menor TPE que en FC. No hubo diferencias en madurez entre AC1 y AC2. La acumulación de etileno fue exponencial y ocurrió más temprano y con mayores valores en FC (máximo de 900 mg kg⁻¹ al 5° mes), respecto de AC (146 y 230 mg kg⁻¹ para E1 y E2, al final del almacenaje). A temperatura ambiente, la TPE de las tres condiciones se incrementó a partir del segundo mes, pero sólo se observó el climacterio en FC. Después de seis meses fruta de FC y de ambas cosechas desarrolló escaldadura (17% para E1 y 20% para E2).

Palabras clave: producción de etileno, atmósfera controlada, calidad de fruta, madurez fisiológica, *Pyrus communis* L.

¹ Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, Casilla 747, Talca, Chile. E-mail: cmoggia@utalca.cl

* Autora para correspondencia.

² Universidad de Talca, Instituto de Biología Molecular y Biotecnología, Casilla 747, Talca, Chile.

Recibido: 8 de octubre de 2003. Aceptado: 3 de mayo de 2004.

INTRODUCCIÓN

Las peras (*Pyrus communis* L.) ocupan el quinto lugar dentro de las exportaciones frutícolas nacionales, siendo el cv. Packham's Triumph el primero en importancia, con un 60% de participación de las exportaciones totales de esta especie. El volumen exportado de esta variedad alcanzó un total de 3.945,1 miles de cajas en la temporada 2001-2002 (Molina y Allende, 2002).

La sobreoferta de fruta durante la temporada de cosecha, ha hecho que el almacenaje prolongado adquiera relevancia como una forma de obtener mayor rentabilidad. El éxito de un almacenaje radica, entre otros, en determinar la fecha de cosecha oportuna y retrasar la producción de etileno de la fruta. Wang (1982) señaló que peras cosechadas en su plena madurez son menos susceptibles a desórdenes fisiológicos y poseen mejor capacidad para madurar después de almacenaje prolongado. La firmeza de pulpa y la concentración de sólidos solubles (SS) se utilizan comercialmente para determinar el inicio de cosecha, con valores recomendados de 7,7 kg (17 lb) y 13°Brix o 8,2 kg (18 lb) y 14°Brix (Gil y Zoffoli, 1989). Por otra parte, el etileno participa como iniciador de la maduración en frutos climactericos, siendo responsable de su ablandamiento, cambio de color de piel, y desarrollo de sabor y aroma. Una vez alcanzada la maduración, el proceso de senescencia es rápido e irreversible, por lo que una reducida síntesis y/o acción del etileno implica una menor senescencia y, por ende, mayor duración de la fruta en almacenaje.

En Chile se utiliza el almacenaje en frío convencional (FC) y atmósfera controlada (AC). La duración del cv. Packham's Triumph en FC podría extenderse por seis meses; sin embargo, existe escasa información nacional al respecto, ya que generalmente se mantiene por un máximo de cuatro meses. En el caso de AC, su capacidad de guarda puede alcanzar siete a ocho meses con niveles de O₂ de 1-3%; CO₂ de 0,5-2,5% y -1 a 0°C (Meheriuk, 1993; Richardson y Kupferman, 1997).

La pera se distingue de otras frutas en que su maduración se desarrolla sólo después de un período de exposición a baja temperatura (-1 a 0°C) y posterior mantención a 18°C (Richardson y Gerasopoulos, 1994). Bajo esta condición se estimula la síntesis de etileno endógeno y la sensibilidad de los tejidos hacia este compuesto (Blankenship y Richardson, 1985; Gil y Zoffoli, 1989; Abeles *et al.*, 1992).

A diferencia de las manzanas (*Malus sylvestris* var. *domestica* (Borkh.) Mansf.), en Chile no existen estudios sobre la evolución de la síntesis de etileno en peras, así como de su comportamiento bajo diferentes sistemas de almacenaje, en especial en este cultivar, que es el principal exportado por nuestro país.

Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo estudiar la evolución de madurez en precosecha y posterior comportamiento en almacenaje, con énfasis en la producción de etileno, de peras var. Packham's Triumph cosechadas en dos estados de madurez y mantenidas en frío convencional y atmósfera controlada.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó durante la temporada 1998-1999 con peras cv. Packham's Triumph, de un huerto comercial ubicado en la Provincia de Curicó (34°04' lat. Sur, 71°05' long. Oeste). Los árboles se plantaron en 1989 a una distancia de 4,5 x 2,0 m, sobre patrón Winter Nelis.

Evolución de madurez en precosecha. A intervalos semanales y por un período de 45 días, comenzando el 07 de enero, correspondiente a 98 días después de plena flor (DDPF), se recolectaron 20 frutos al azar, seleccionados de hileras uniformes en vigor y carga. La fruta se agrupó aleatoriamente en cinco repeticiones de cuatro frutos cada una, evaluando los siguientes índices de madurez: firmeza de pulpa (kg), con vástago de 5/16" y presiónmetro de pedestal (Effegi FT 327, Milán, Italia); sólidos solubles (°Brix) desde un extracto de jugo, con refractómetro termocompensado (Atago ATC 1, Tokio, Japón); acidez titulable (porcentaje de ácido cítrico),

neutralizando 10 mL de jugo con solución de hidróxido de sodio 0,1 N hasta pH 8,2 en un pHmetro (Schott, CG 840, Mainz, Alemania); índice de almidón, utilizando una escala de 0,5 a 6, para hidrólisis nula y máxima, respectivamente (Exportadora Dole S.A.); color de piel, en forma visual, determinando el porcentaje de color verde de cada fruto; y color de semillas empleando una escala visual de 0 a 4, para 0 y 100% de coloración parda, respectivamente (Exportadora Dole S.A.).

La síntesis de etileno, medida a tres repeticiones de tres frutos, se cuantificó mediante tasa de producción (TPE), expresada en $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, y concentración interna (CIE), medida en mg kg^{-1} . En el primer caso, frutos individuales se hicieron respirar al interior de minicámaras de acrílico (2.700 cm^3). Después de 1 h se extrajeron muestras de 1 mL desde la atmósfera interior de las minicámaras, y se analizaron en un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard, Serie II HP 5890, San Diego, USA), provisto de una columna Porapak Q, detector de ionización de llama y helio como gas de arrastre. Para la CIE, se tomaron muestras de 0,5 mL por fruto, directamente desde la pulpa, las que también se analizaron mediante cromatografía gaseosa. El diseño estadístico fue completamente al azar y se realizó análisis de regresión para los diferentes índices en función de los días después de plena flor.

Evolución de madurez en poscosecha. Se efectuaron dos cosechas: 10 y 20 de febrero (132 y 142 DDPF, respectivamente), con firmeza promedio de 7,8 kg (17,1 lb) (E1) y 7,0 kg (15,3 lb) (E2). La fruta se almacenó en el Centro de Pomáceas de la Universidad de Talca bajo tres condiciones de conservación: FC (0°C); AC1 ($2-2,5\% \text{ O}_2/1-1,5\% \text{ CO}_2$) y AC2 ($1-1,3\% \text{ O}_2/0,5-0,8\% \text{ CO}_2$), a -1°C . Las concentraciones de O_2 y CO_2 se establecieron por una central automática de procesamiento (David Bishop, modelo Oxystat 2002, East Malling, Inglaterra). La condición AC1 corresponde a la utilizada por la mayoría de las empresas frutícolas en el país, y AC2 ha sido recomendada en Australia (Meheriuk, 1993).

La fruta se almacenó por seis meses y se evaluó mensualmente en cuanto a madurez (cinco repeticiones de cuatro frutos); seguimiento de la producción de etileno, mediante TPE (cuatro

frutos) durante siete días a temperatura ambiente, e incidencia de desórdenes fisiológicos (%), después de 4 y 6 meses de conservación más 7 días a temperatura ambiente (cuatro repeticiones de 15 frutos). Para cada fecha de cosecha se estableció un diseño completamente al azar con tres tratamientos (condiciones de almacenaje). Todas las variables, con excepción del color de semilla, se sometieron a análisis de varianza y Test de Rango Múltiple de Duncan ($p \leq 0,05$) cuando hubo significancia. La variable color de semilla se analizó mediante Test de Kruskal-Wallis. Los datos en porcentaje (desórdenes fisiológicos) se transformaron a la función $\arcsen(\%^{1/2})$, previo al análisis. Adicionalmente, se correlacionó la concentración interna de etileno con los índices de madurez. Los análisis se efectuaron con el programa computacional Statgraphics Plus v. 1.4 (Manugistics Inc., 1997, Maryland, USA). Para los resultados de seguimiento de producción de etileno, sólo se emplearon representaciones gráficas de las tendencias observadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evolución de madurez en precosecha

Los índices, peso, SS y degradación de almidón se incrementaron significativamente, mientras que color de piel, firmeza y acidez, decrecieron significativamente (Cuadro 1). Las altas

Cuadro 1. Coeficientes de correlación (r) para la asociación entre índices de madurez con días después de plena flor.

Table 1. Correlation coefficients (r) for the association between maturity indexes with days after full bloom.

Índices de madurez	r
Peso, g	0,87
Color piel, % color verde	-0,93
Firmeza, kg	-0,97
Sólidos solubles, °Brix	0,98
Almidón, 0,5 (sin hidrólisis)-6,0 (máxima hidrólisis)	0,96
Acidez titulable, % ácido cítrico	-0,91
Color semilla, 0 (100% blanco) - 4 (100% pardo)	n.s.
Tasa de producción de etileno, $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$	n.s.
Concentración interna de etileno, mg kg^{-1}	0,77

n.s.: no significativo.

correlaciones obtenidas (excepto para color de semilla y etileno), permiten confirmar que es factible su uso como predictores de la fecha de cosecha de esta variedad.

El color de piel presenta el inconveniente que se trata de una evaluación subjetiva, por lo que sería recomendable utilizarlo como complemento de los restantes, pues no refleja la condición interna de la fruta.

La firmeza resultó ser un índice altamente correlacionado con DDPF ($r = -0,97$) y según Brady (1987), muy vinculado con la potencialidad de almacenaje y susceptibilidad de la fruta a daños mecánicos. Para almacenaje prolongado y posterior exportación se requiere alrededor de 7,7 kg (17 lb) a cosecha (Gil y Zoffoli, 1989). En este estudio, dicho valor se alcanzó aproximadamente a los 130 DDPF; sin embargo, los SS se encontraban bajo 13° Brix, valor óptimo para la firmeza señalada. La máxima concentración de SS (12,9° Brix) se logró a 142 DDPF, cuando la firmeza había descendido a 6,9 kg, por lo que nunca se logró la condición recomendada. Los SS tienen directa relación con el sabor de la fruta y su susceptibilidad a daño por congelamiento en almacenaje, por lo tanto es importante su medición junto con la firmeza.

A pesar que hubo un aumento en TPE y CIE durante los muestreos, los valores medidos fueron bajos, con máximos de 1,5 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ para TPE y 0,07 mg kg^{-1} para CIE, a los 124 DDPF. Luego disminuyeron a 0,48 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ y 0,04 mg kg^{-1} , respectivamente, a los 142 DDPF. Estos resultados, similares a los reportados por Chen *et al.* (1982) en los cv. Anjou y Bosc, confirman que mientras la pera está en la planta no sintetiza cantidades suficientes de etileno, que conduzcan a su madurez, requiriendo un período de exposición a baja temperatura. Así, aun cuando se encuentra fisiológicamente madura, está en un estado preclimactérico donde se generan bajos niveles de etileno, además de una alta resistencia a la acción del mismo. Por lo anterior, la medición de esta hormona en precosecha no sería un indicador apropiado para estimar el grado de madurez de esta especie.

Evolución de madurez en poscosecha

Firmeza. A partir del cuarto mes y para ambas fechas de cosecha, fruta de FC fue menos firme que aquella de AC1 o AC2. Estas últimas sólo se diferenciaron en el cuarto mes para E1 y sexto mes para E2, siendo en ambos casos, mayor la firmeza en fruta de AC2 (Figura 1). Debe señalarse que fruta de ambas épocas mantenida en AC mostró un descenso leve y constante en firmeza, mientras que en FC hubo una marcada disminución a partir del tercer mes, presentando en promedio 1,5 veces menor firmeza que AC. Para fruta de E1, los valores al final del almacenaje fueron 5,5 (12,1 lb), 7,0 (15,4 lb) y 7,4 kg (16,3 lb) para FC, AC1 y AC2, respectivamente. A diferencia de E1, la pérdida de firmeza observada en fruta de E2, fue de mayor magnitud y comenzó antes que en fruta de E1. Así, FC se ablandó a partir del primer mes, terminando con 3,0 kg (6,7 lb) al final del almacenaje; AC1 y AC2 presentaron en igual período valores de 5,3 y 5,7 kg (11,7 y 12,6 lb).

Dado lo anterior, para almacenajes menores a 4 meses, la técnica de conservación no afectaría mayormente el ablandamiento de la fruta. Sin embargo, si el período de conservación se extiende, AC permitiría una retención de firmeza muy superior a la de FC.

Color de piel. En las tres condiciones de almacenaje, frutos de ambas cosechas experimentaron pérdida del color verde de la piel; sin embargo, FC se diferenció de ambas AC en la mayor parte de las evaluaciones (Figura 1), siendo menos efectivo en la retención del color de piel. Por su parte, no hubo diferencias entre ambas AC para este índice. El descenso en color de piel fue mucho más marcado para fruta de E2 y almacenada en FC, cuyos valores entre inicio y fin del almacenaje fluctuaron entre 80 y 11%, mientras que para E1, fueron de 80 y 45%. Para igual período, los valores promedio para fruta de ambas AC, proveniente de E1 y E2 variaron entre 80 y 67% y 80 y 64%, respectivamente.

Color de semilla. Este índice aumentó progresivamente en ambas épocas de cosechas, desde 0 a cosecha, hasta un máximo cercano a 3 en el tercer mes, para luego mantenerse relativamente cons-

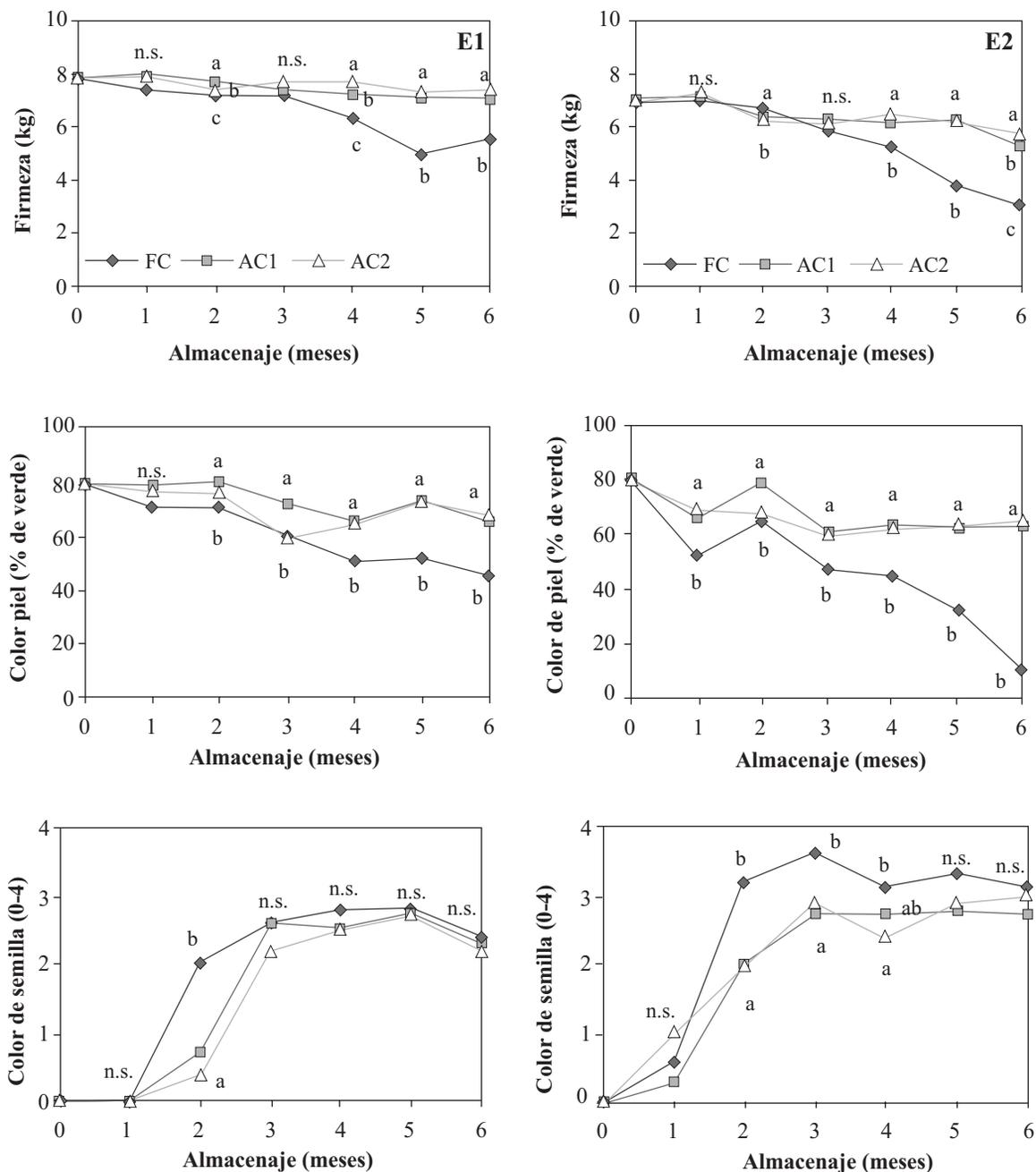


Figura 1. Evolución de firmeza, color de piel y color de semillas en peras cv. Packham's Triumph, cosechadas en dos estados de madurez (E1: 7,8 kg y E2: 7,0 kg) y almacenadas en frío convencional (FC) y dos condiciones de atmósfera controlada (AC1: 2-2,5% O₂/1-1,5% CO₂ y AC2: 1-1,3% O₂/0,5-0,8% CO₂). En cada fecha, promedios con la misma letra no difieren estadísticamente (Test Duncan, p ≤ 0,05).

Figure 1. Evolution of firmness, skin color and seed color of Packham's Triumph pears harvested at two maturity stages (E1: 7.8 kg and E2: 7.0 kg) and stored in conventional cold (FC) and two controlled atmosphere conditions (AC1: 2-2.5% O₂/1-1.5% CO₂ and AC2: 1-1.3% O₂/0.5-0.8% CO₂). At each date, averages with the same letter do not differ statistically (Duncan Test, p ≤ 0.05).

tante (Figura 1). Con excepción del segundo mes, fruta de E1 no mostró diferencia en función de las condiciones de almacenaje. Por el contrario, en fruta de E2 y almacenada en FC, se observó una tendencia a mayor coloración de semilla respecto a AC, registrándose las mayores diferencias entre el segundo y cuarto mes.

La mayor retención de firmeza y color de piel de la fruta mediante AC confirma la ventaja de este sistema para retardar los cambios bioquímicos en almacenaje. Este efecto se debería, principalmente, a la baja concentración de O₂, que evita la degradación de clorofila y retrasa el ablandamiento. Este último efecto también sería consecuencia del incremento en la concentración de CO₂, el que actuaría inhibiendo la degradación de la pectina (Arpaia *et al.*, 1985; Wills *et al.*, 1989). Adicionalmente, para ambos índices se observó que la fruta de E1 mantuvo mayor firmeza y color de piel. Según Nardin (1991), la época de cosecha es uno de los principales factores que determina el ablandamiento de un fruto.

Dada la importancia comercial que tiene la firmeza para definir el destino de la fruta, bajo las condiciones de este ensayo, peras de ambas cosechas en AC2, así como las de E1 conservadas en AC1 y FC, podrían destinarse a exportación, ya que al término del sexto mes alcanzaron firmeza sobre 5,4 kg (12 lb), mínimo requerido al embarque (Asociación de Exportadores de Chile, 1997). Adicionalmente, las peras deben estar con coloración levemente verde hacia el final del almacenaje. En esta investigación, toda la fruta alcanzó tal condición, excepto la de E2 en FC, lo que restringiría su potencialidad de guarda.

Por la restricción en el nivel de O₂ de AC2, se esperaba mayores diferencias en firmeza respecto de AC1; sin embargo, esta situación se observó en muy pocas evaluaciones (cuarto mes para E1 y sexto mes para E2). Probablemente la concentración de CO₂ utilizada en AC2 (0,5 - 0,8%) no fue adecuada. Al respecto, se ha reportado en kiwi (*Actinidia chinensis* Planch. Cv. 'Hayward') y peras cv. D'Anjou, que atmósferas con bajo O₂ en presencia de elevado CO₂ (3%) permiten aumentar la retención de firmeza y color de piel, en comparación a otras

con menor porcentaje de CO₂ (Arpaia *et al.*, 1985; Kerbel *et al.*, 1988, Drake, 1994).

La evolución de firmeza, color de piel y semilla, confirma el inconveniente de cosechar en estados tardíos y almacenar en FC, puesto que la duración del almacenaje se ve severamente reducida.

Sólidos solubles, acidez y almidón. A pesar que los dos primeros índices son los de mayor relevancia en el sabor del fruto, en general no se observaron diferencias respecto del sistema de almacenaje (datos no se incluyen). Para SS puede señalarse que éstos se mantuvieron sin grandes cambios a lo largo del almacenaje, mientras que el porcentaje de acidez mostró una tendencia decreciente. En el caso del almidón, la degradación fue rápida alcanzando su máximo valor en el tercer mes de almacenaje (datos no se incluyen).

Producción de etileno. Dado que la TPE mostró tendencias similares a CIE, sólo se presentan estos últimos resultados. A partir del primer mes, fruta de ambas cosechas en FC mostró un aumento progresivo hasta el quinto mes (de 0,13 a 900 mg kg⁻¹), disminuyendo luego hacia el sexto mes (Figura 2). Por su parte, peras de ambas AC presentaron CIE crecientes, aunque con valores menores a los registrados en fruta de FC hasta el final del almacenaje (146,1 y 228,7 mg kg⁻¹ para E1 y E2, respectivamente).

Al graficar el logaritmo de CIE, se observa que en fruta de ambas cosechas y bajo las tres condiciones de conservación, se acumuló etileno interno en forma exponencial, durante los primeros meses de almacenaje, manteniéndose constante de ahí en adelante (Figura 2). La acumulación fue más rápida en FC y alcanzó mayores valores, con un máximo incremento entre el primero y segundo mes. Para AC, el máximo aumento ocurrió entre el segundo y tercer mes.

La menor producción de etileno en frutos almacenados en AC, de ambas épocas de cosecha, se debería a la reducción en los niveles de O₂ dado que este gas es necesario en el último paso de la biosíntesis de esta hormona (Yang y Hoffman, 1984).

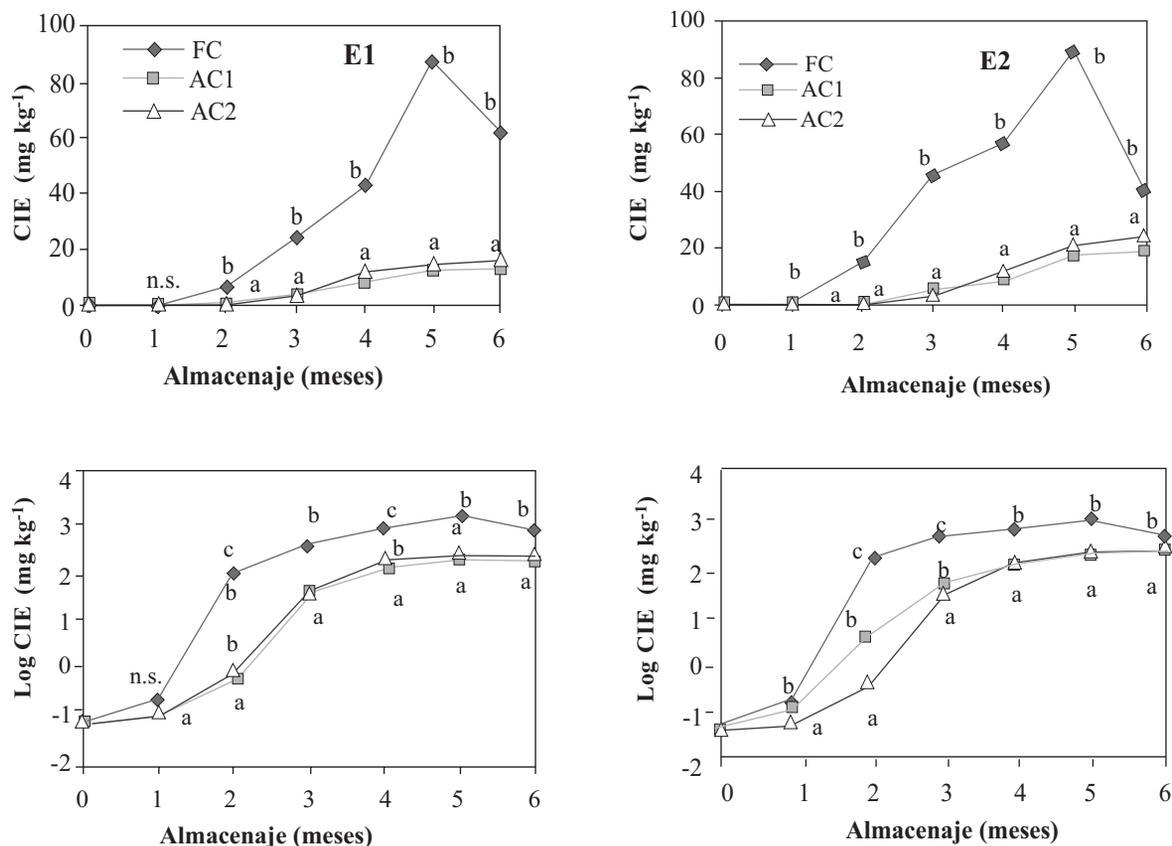


Figura 2. Evolución de la concentración interna de etileno (CIE) y log CIE en peras cv. Packham's Triumph, cosechadas en dos estados de madurez (E1: 7,8 kg y E2: 7,0 kg) y almacenadas en frío convencional (FC) y dos condiciones de atmósfera controlada (AC1: 2-2,5% O₂/1-1,5% CO₂ y AC2: 1-1,3% O₂/0,5-0,8% CO₂). En cada fecha, promedios con la misma letra no difieren estadísticamente (Test Duncan, $p \leq 0,05$).

Figure 2. Evolution of internal ethylene concentration (CIE) and log CIE of Packham's Triumph pears harvested at two maturity stages (E1: 7.8 kg and E2: 7.0 kg) and stored in conventional cold (FC) and two controlled atmosphere conditions (AC1: 2-2.5% O₂/1-1.5% CO₂ and AC2: 1-1.3% O₂/0.5-0.8% CO₂). At each date, averages with the same letter do not differ statistically (Duncan Test, $p \leq 0.05$).

Prácticamente no hubo diferencia en producción de etileno entre AC1 y AC2. Diversas investigaciones en peras reportan que concentraciones de CO₂ de 20% inhiben la síntesis de etileno, y niveles menores o iguales a 1,5% la estimulan (Yoshida *et al.*, 1986; Chavez-Franco y Kader, 1993). Así, se requerirían concentraciones de CO₂ mayores a 1,5% para un efecto sinérgico a la acción del bajo O₂, permitiendo ambos disminuir la producción y acción del etileno.

Según Wang (1982), las peras son propensas a sufrir daño por CO₂ el cual comúnmente se

denomina "corazón pardo", el que se incrementa con bajos niveles de O₂ y madurez avanzada. Estudios realizados con el cv. Bartlett de cosecha temprana 8,1 kg (17,8 lb) y almacenaje con 1% de O₂ y 5% de CO₂, no registraron presencia del desorden; sin embargo, éste se incrementó significativamente con cosechas realizadas 10 a 20 días más tarde (Claypool, 1973). Según Little y Pegg (1987), el cv. Packham's Triumph toleraría niveles de CO₂ que exceden a los de O₂. Por lo tanto, en futuras investigaciones se podría evaluar el efecto de cosechas tempranas 8,2-7,7 kg (18-17 lb) más almacenaje en AC, con 1% O₂ y más de 1,5% CO₂.

La CIE se correlacionó significativamente con color de semilla ($r = 0,92$), firmeza ($r = -0,77$) y color de piel ($r = -0,75$). La acumulación de etileno durante los primeros meses de almacenaje en FC coincidió con la pérdida de firmeza, cambio en el color de piel y evolución del color de semillas. La asociación entre firmeza y etileno ha sido demostrada en numerosos trabajos (Jeffery *et al.*, 1984; Blankenship y Richardson, 1985), concluyéndose que este hidrocarburo es capaz de promover el ablandamiento al inducir las enzimas responsables del proceso. Si bien hubo degradación de clorofila en precosecha, ésta se incrementó notablemente con la acumulación de etileno. Se ha demostrado en peras que aplicaciones de inhibidores de la acción del etileno resultan en un retraso e interrupción del cambio de color de piel (Moggia *et al.*, 2002). Aunque no existen antecedentes bibliográficos, el color de semilla parece relacionarse con el etileno producido endógenamente. Así, en precosecha, cuando los niveles del hidrocarburo fueron mínimos, las semillas se mantuvieron blancas; en la medida que se incrementó su producción fueron adquiriendo el color pardo característico de la madurez.

Tanto en AC1 como AC2 hubo producción y acumulación de etileno, pero aparentemente esto no afecta en forma notoria la firmeza y el color de piel. Esto se atribuiría a que uno de los efectos del almacenaje en AC es la disminución en la sensibilidad de la fruta a la acción de este gas y/o a la disminución en su actividad (Wills *et al.*, 1989). Por tanto, aunque existe una disminución en los niveles de etileno en AC, los mayores beneficios de modificar la atmósfera que rodea a la fruta se deberían a una menor acción de esta hormona.

Seguimiento de la producción de etileno. Para ambas épocas de cosecha, durante la exposición de la fruta a temperatura ambiente, la TPE no superó $5 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, después de un mes de almacenaje. Sin embargo, a partir del segundo mes fue alcanzando cifras progresivamente mayores (Figura 3 y 4). La TPE de fruta conservada en FC mostró el “peak” climactérico hacia el cuarto mes más 5 días a temperatura ambiente para E1 y alrededor del tercer mes más 4 días a temperatura ambiente para E2. Esta situación se diferenció notoriamente de aquella

en AC1 y AC2, las que, en general, no mostraron diferencias entre ellas. Los valores de TPE fueron bajos en los tres primeros meses de exposición a temperatura ambiente; a partir del cuarto mes se observó un incremento; sin embargo, no fue posible asegurar que este valor corresponda al alza climactérica, ya que no hubo mediciones posteriores. De acuerdo con la literatura, esta variedad podría ser almacenada hasta ocho meses en AC (Meheriuk, 1993).

Además, los resultados indicaron que mientras más tarde se alcanzó el “peak” climactérico después de almacenaje y exposición a temperatura ambiente, mayor será la duración en estantería. Análogamente, cuanto mayor es el tiempo requerido para lograr el “peak” climactérico durante almacenaje, se podrá extender la conservación garantizando una adecuada calidad y posterior maduración a temperatura ambiente. En este estudio, para ambas cosechas, FC permitió almacenar fruta por cinco meses (Figuras 3 y 4), momento en que se logró la máxima TPE. Sin embargo, fruta de E2 presentó el inconveniente de una mayor perecibilidad, dado que manifestó su máxima TPE después de un día a temperatura ambiente; en tanto que fruta de E1 lo experimentó a los tres días. Esto reflejaría que la cosecha tardía requiere períodos de frío de menor duración para expresar su potencial de madurez.

Desórdenes fisiológicos. En fruta de ambas cosechas, la escaldadura fue el único daño observado después de seis meses de almacenaje. Según Zoffoli *et al.* (1995), la variedad Packham's Triumph es considerada como altamente susceptible a desarrollar escaldado; sin embargo, en esta investigación sólo un 17 y 20% (E1 y E2, respectivamente) de los frutos se vio afectado, correspondiendo a aquellos almacenados en FC (Cuadro 2). El pardeamiento ocasionado por el escaldado se atribuye a la toxicidad en la piel del fruto causada por los productos resultantes de la oxidación del α -farneseno, compuesto sintetizado naturalmente por la epidermis del fruto (Chen *et al.*, 1990). El uso de AC ha sido efectivo en reducir este desorden, ya que al disminuir el nivel de O_2 se evitaría la oxidación y/o acumulación de dicho compuesto (Mellenthin *et al.*, 1980; Chen *et al.*, 1993).

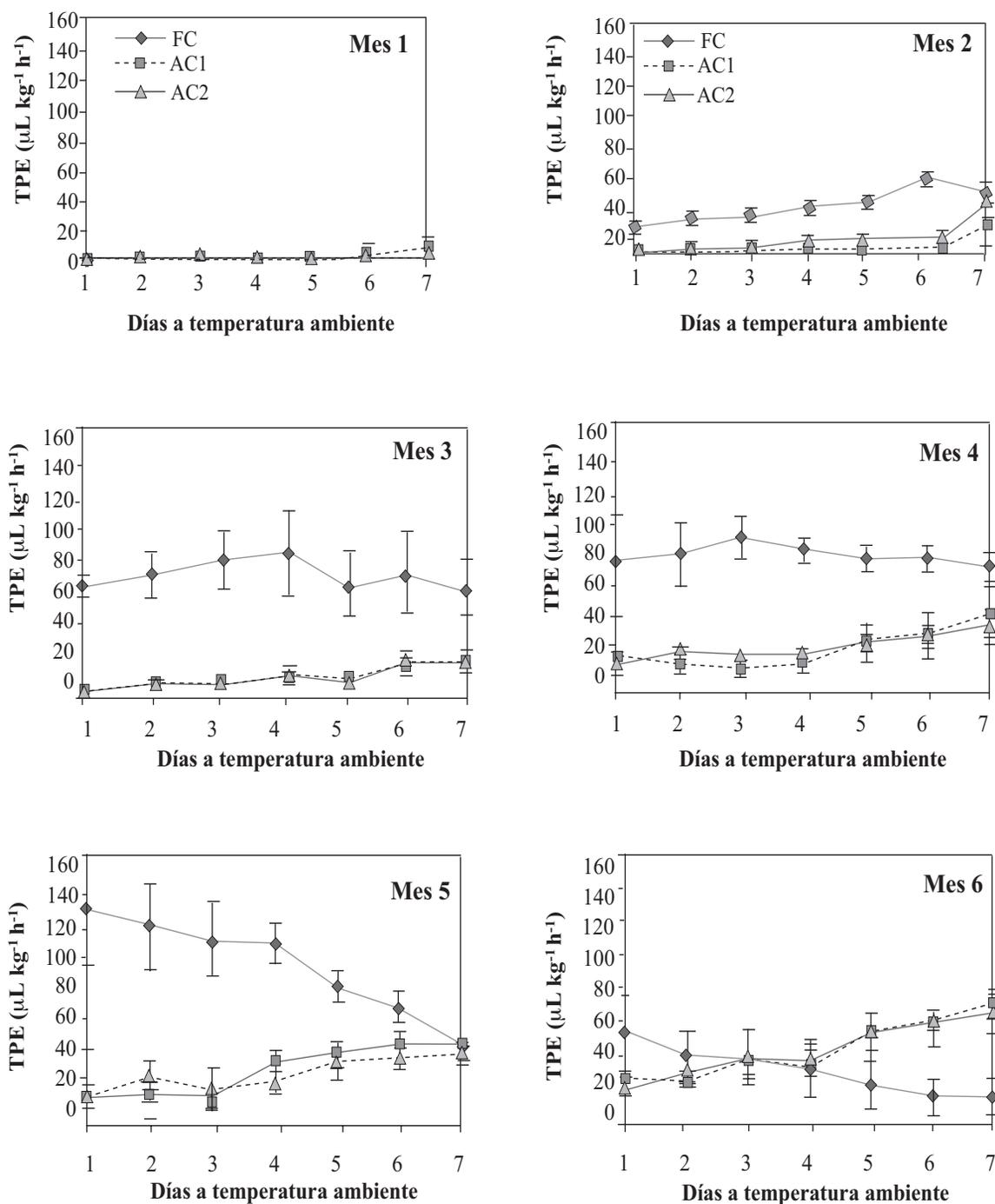


Figura 3. Evolución de la tasa de producción de etileno (TPE) durante 7 días a temperatura ambiente, después de cada período de almacenaje en peras cv. Packham's Triumph, cosechadas con una firmeza de 7,8 kg y almacenadas en frío convencional (FC) y dos condiciones de atmósfera controlada (AC1: 2-2,5% O_2 /1-1,5% CO_2 y AC2: 1-1,3% O_2 /0,5-0,8% CO_2).

Figure 3. Evolution of ethylene production rate (TPE) during 7 days at room temperature, after each storage period of Packham's Triumph pears harvested at 7.8 kg firmness and stored in conventional cold (FC) and two controlled atmosphere conditions (AC1: 2-2.5% O_2 /1-1.5% CO_2 and AC2: 1-1.3% O_2 /0.5-0.8% CO_2).

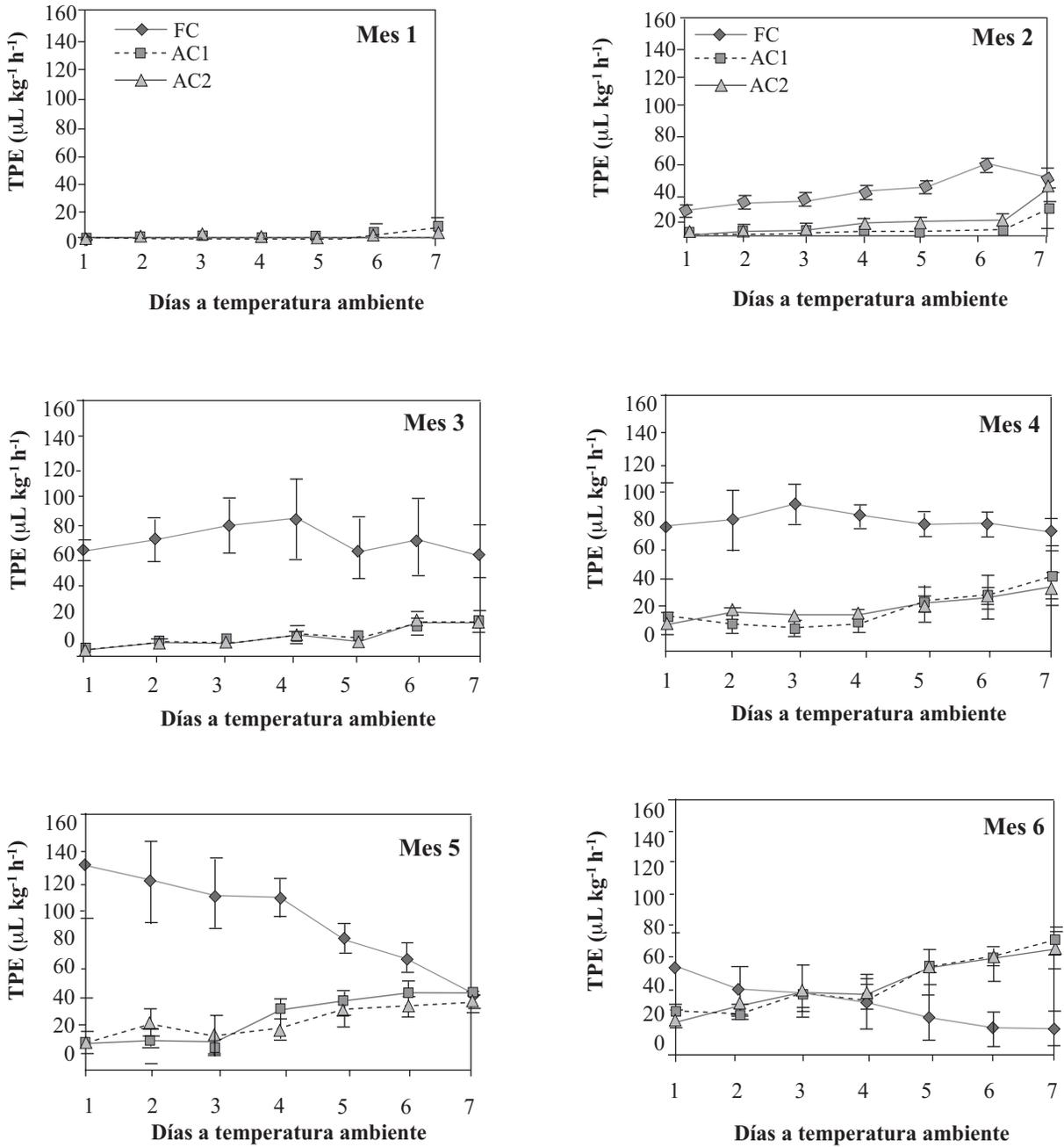


Figura 4. Evolución de la tasa de producción de etileno (TPE) durante 7 días a temperatura ambiente, después de cada período de almacenaje en peras cv. Packham’s Triumph, cosechadas con una firmeza de 7,0 kg y almacenadas en frío convencional (FC) y dos condiciones de atmósfera controlada (AC1: 2-2,5% O_2 /1-1,5% CO_2 y AC2: 1-1,3% O_2 /0,5-0,8% CO_2).

Figure 4. Evolution of ethylene production rate (TPE) during 7 days at room temperature, after each storage period of Packham’s Triumph pears harvested at 7.0 kg firmness and stored in conventional cold (FC) and two controlled atmosphere conditions (AC1: 2-2.5% O_2 /1-1.5% CO_2 and AC2: 1-1.3% O_2 /0.5-0.8% CO_2).

Cuadro 2. Incidencia de escaldadura¹ (%) en peras Packham's Triumph cosechadas en dos estados de madurez (E1: 7,8 kg y E2: 7,0 kg), después de seis meses de almacenaje en frío convencional (FC) y dos condiciones de atmósfera controlada (AC1: 2-2,5% O₂/1- 1,5% CO₂ y AC2: 1-1,3% O₂/0,5-0,8% CO₂).

Table 2. Superficial scald¹ (%) of Packham's Triumph pears harvested in two maturity stages (E1: 7.8 kg and E2: 7.0 kg), after six months of storage in conventional cold (FC) and two controlled atmosphere conditions (AC1: 2-2.5% O₂/1- 1.5% CO₂ and AC2: 1-1.3% O₂/0.5-0.8% CO₂).

Tratamiento	E1	E2
FC	16,7 b	20,0 b
AC1	0,0 a	0,0 a
AC2	0,0 a	0,0 a
Significancia ¹	**	**

¹ Análisis en base a datos transformados (arcsen %^{1/2}). Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente según Test Duncan ($p \leq 0,05$).
** = $p \leq 0,01$.

CONCLUSIONES

En etapa de precosecha, las variables firmeza y SS fueron los mejores indicadores de la evolución de madurez de la fruta, por lo que constituirían adecuados índices de madurez para peras cv. Packham's Triumph, pudiéndose complementar

con la medición del color de piel. La producción de etileno fue mínima y mostró baja correlación con DDPF.

En ambas fechas de cosecha, las condiciones de AC utilizadas prácticamente no se diferenciaron en cuanto a índices de madurez y producción de etileno. Esta última fue significativamente reducida en fruta de AC en relación con aquella almacenada en FC.

La máxima potencialidad de almacenaje, con fines de exportación, para este cultivar en frío convencional fue de seis y tres meses para E1 y E2, respectivamente. En tanto, para fruta almacenada en AC y proveniente de E1 y E2 (con excepción de AC1, E2), el potencial de almacenaje fue 6 meses.

La producción de etileno a temperatura ambiente para fruta de ambas cosechas comenzó a incrementarse después del segundo mes de exposición a bajas temperaturas, siendo los valores de AC inferiores a los de FC. Sólo en este último se observó el patrón climactérico.

El único desorden fisiológico observado, independiente de la época de cosecha, fue escaldadura en fruta de FC después de seis meses de almacenaje.

LITERATURA CITADA

- Abeles, F.B., P.W. Morgan, and M.E. Saltveit Jr. 1992. Ethylene in plant biology. 414 p. 2nd ed. Academic Press, San Diego, California, USA.
- Arpaia, M.L., F.G. Mitchell, A.A. Kader, and G. Mayer. 1985. Effects of 2% O₂ and varying concentrations of CO₂ with or without C₂H₄ on the storage performance of kiwifruit. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 110:200-203.
- Asociación de Exportadores de Chile. 1997. Fruta fresca chilena de exportación. Manual de productos y embalajes. p. 14-20. Atenea Impresores, Santiago, Chile.
- Blankenship, S.M., and D.G. Richardson. 1985. Development of ethylene biosynthesis and ethylene-induced ripening in 'd'Anjou' pears during the cold requirement for ripening. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 110:520-523.
- Brady, C. J. 1987. Fruit ripening. Ann. Rev. Plant Physiol. 38:155-178.
- Claypool, L.L. 1973. Further studies on controlled atmosphere storage of 'Bartlett' pears. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 98:289-293.
- Chavez-Franco, S.H., and A.A. Kader. 1993. Effects of CO₂ on ethylene biosynthesis in 'Bartlett' pears. Postharvest Biol. Technol. 3:183-190.

- Chen, P.M., D.G. Richardson, and W.M. Mellenthin. 1982. Differences in biochemical composition between 'Beurre d'Anjou' and 'Bosc' pears during fruit development and storage. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 107:807-812.
- Chen, P.M., D.M. Varga, E.A. Mielke, T.J. Facticeau, and S.R. Drake. 1990. Control of superficial scald on 'D'Anjou' pears by ethoxyquin: Oxidation of α -farneseno and its inhibition. *J. Food Sci.* 55:171-175, 180.
- Chen, P.M., R.J. Varga, and Y.Q. Xiao. 1993. Inhibition of α -farneseno biosynthesis and its oxidation in the peel tissue of 'd'Anjou' pears by low-O₂/elevated CO₂ atmospheres. *Postharvest Biol. Technol.* 3:215-223.
- Drake, S. R. 1994. Elevated carbon dioxide storage of 'D'Anjou' pears. (Abstr.) *Acta Horticulturae* 367: 432.
- Gil, G., y J.P. Zoffoli. 1989. Madurez de consumo de peras. *Revista Frutícola* 10:14-16.
- Jeffery, D., C. Smith, P. Goodenough, I. Prosser, and D. Grierson. 1984. Ethylene-independent and ethylene-dependent biochemical changes in ripening tomatoes. *Plant Physiol.* 74:32-38.
- Kerbel, E.L., A.A. Kader, and R.J. Romani. 1988. Effects of elevated CO₂ concentrations on glycolysis in intact 'Bartlett' pear fruit. *Plant Physiol.* 86:1205-1209.
- Little, C.R., and I.D. Pegg. 1987. Storage injury of pome fruits caused by stress levels of oxygen, carbon dioxide, temperature, and ethylene. *HortScience* 22:783-790.
- Meheriuk, M. 1993. CA storage conditions for apples, pears and nashi. V. 2. p. 819-858. *In* G.D. Blaupied *et al.* (eds.). Proc. 6th Natl. Controlled Atmosphere Res. Conf. Ithaca. June 15-17, 1993. Cornell University, Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, New York, USA.
- Mellenthin, W.M., P.M. Chen, and S.B. Kelly. 1980. Low oxygen effects on dessert quality, scald prevention and nitrogen metabolism of 'd'Anjou' pear fruit during long-term storage. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 105:522-527.
- Moggia, C., M. Pereira, y J. A. Yuri. 2002. Efectividad de 1-MCP en peras. *Revista Frutícola* 16:89-95.
- Molina, J., y M. Allende (eds.). 2002. Estadísticas globales de exportación. p. 1-2. *In* Eximfruit. Análisis de exportaciones frutícolas. Nuevo Extremo Impresores, Santiago, Chile.
- Nardin, C. 1991. Postcosecha de peras. s.p. Curso Internacional de Peras. Provincia de Río Negro, Argentina. 26 de abril. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Alto Valle, Argentina.
- Richardson, D., and D. Gerasopoulos. 1994. Controlled atmosphere recommendations for pear fruits and storage chilling satisfaction requirements for ripening winter pears. *Acta Horticulturae* 367:452-454
- Richardson, D., and E. Kupferman. 1997. Controlled atmosphere storage of pears. CA '97 Proceedings, Vol. 2. p. 31-35. *Postharvest Horticulture Series* No. 16, University of California, Davis, USA.
- Wang, C.Y. 1982. Pear fruit maturity, harvesting, storage and ripening. p. 431-443. *In* T. van der Zwet and Childers, N.F. (eds.). *The pears: cultivars to marketing*. Horticultural Publications, Gainesville, Florida, USA.
- Wills, R.B., W.B. Mcglasson, D. Graham, T.H. Lee, and E.G. Hall. 1989. *Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables*. 174 p. 3rd ed. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- Yang, S.F., and N.E. Hoffman. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 35:155-189.
- Yoshida, T., D.M. Borgic, P.M. Chen, and E.A. Mielke. 1986. Changes in ethylene, acids and brown-core development of 'Bartlett' pears in low-oxygen storage. *HortScience* 21:472-474.
- Zoffoli, J.P., D. Richardson, y P. Chen. 1995. Principales antecedentes orientados al manejo integrado del desorden fisiológico escaldadura de manzanas y peras. *Revista Frutícola* 16:89-95.