ITEA (2003), Vol. 99V N.° 2, 181-195

COMPUESTOS AROMÁTICOS Y CALIDAD DE MANZANAS 'FUJI' DURANTE SU MADURACIÓN EN CAMPO Y POSTERIOR ALMACENAMIENTO FRIGORÍFICO

G. Echeverría, M.L. López, J. Graell

Área de Postcosecha, CeRTA, Centro UdL-IRTA.
Avda. Rovira Roure, 191, 25198 Lleida, España
e-mail: jordi.graell@irta.es

RESUMEN

En el presente trabajo se estudian los compuestos aromáticos y la calidad en manzanas 'Fuji' (Nagafu 6) durante su maduración en campo y a lo largo de su almacenamiento. En campo, se realizaron 6 muestreos pre-cosecha. A los 185 y 195 días después de floración (DDPF) se cosecharon frutos, los cuales se almacenaban en atmósfera ULO (1,1% O_2 + 0,9% CO_2, 1 °C, 92% HR) durante 3 y 5 meses. Los análisis de los frutos se realizaron en cada fecha de muestreo en campo, y después de cada período de almacenamiento (tras 1, 5 y 10 días a 20 °C).

En campo, se observó un incremento de la mayoría de ésteres y del 2-metil-1-butanol. La firmeza y acidez de los frutos se mantuvieron constantes, mientras que el contenido de sólidos solubles y el parámetro a*+b* (color de fondo) aumentaron. Después de 5 meses de almacenamiento en ULO, las manzanas presentaron una mayor producción aromática tras 1 día a 20 °C; los frutos cosechados a los 195 DDPF presentaron mayores concentraciones en aromas. Además, durante el almacenamiento, las manzanas presentaron una buena retención de la calidad físico-química (en frutos cosechados a los 185 DDPF), si bien se observaron ligeras pérdidas de firmeza y acidez durante el período de permanencia a 20 °C posterior a los 5 meses de almacenamiento; el color de las manzanas se vió también influenciado por dicho período a 20 °C.

Palabras clave: Fruto, Conservación frigorífica, Volátiles, Madurez, Atmósfera ULO.

SUMMARY

AROMA COMPOUNDS AND QUALITY OF 'FUJI' APPLES DURING TREE-MATURATION AND POSTERIOR COLD-STORAGE

In this work, we studied aroma compounds and quality of 'Fuji' (Nagafu 6) apples during their tree-maturation and along storage period. During pre-harvest period, fruit samples were picked at 6 dates. Apple samples were harvested at 185 and 195 days after full bloom (DAFB) and stored in ULO atmosphere (1.1% O_2 + 0.9% CO_2, 1 °C, 92% RH) during 3 and 5 months. Fruit analyses were carried out at each tree sampling date and after each storage period (after 1, 5 and 10 days at 20°C).

During tree-maturation of fruit, we observed an increase of most of esters and 2-methyl-1-butanol. Fruit firmness and acidity remained constant, whereas SS and a*+b* (background colour) increased along maturation of the apples. The highest aroma production was obtained after 5 months storage and 1 day of ripening at 20 °C. Fruits har-

vested at 195 DAFB showed more aroma concentration than fruits harvested at 185 DAFB. During storage, apples had a good retention of quality parameters (in fruits harvested at 185 DAFB); hovewer, these fruits lost firmness and acidity during shelf-life period after 5 months of storage; apple colour was also influenced by shelf-life period.

Key words: Fruit, Cold storage, Volatile, Maturity, ULO atmosphere.

Introducción

'Fuji' es una variedad bicolor de manzana que en el curso de los últimos años está adquiriendo una importancia creciente en las principales zonas mundiales de producción frutícola (YOSHIDA *et al.*, 1995; CRISTOPH, 2000). En Lleida, las primeras plantaciones de 'Fuji' se establecieron en el año 1995, habiendo tenido lugar en los últimos años una cierta expansión de las mismas. Este interés por la variedad 'Fuji' se debe a sus adecuadas características productivas, buena conservación y excelente calidad organoléptica. Esta calidad viene determinada por una consistente firmeza, elevado contenido de azúcares, baja acidez, buena jugosidad y elevado contenido en aroma (CRISTOPH, 2000).

El aroma del fruto está influenciado, además de por la variedad, por distintos factores precosecha (zona de cultivo, estado de madurez del fruto...) y postcosecha (período y atmósfera de almacenamiento, período de permanencia a 20 °C...). Así, en manzanas 'Fuji' los ésteres ramificados son los compuestos volátiles más importantes, aumentando su concentración a lo largo de la maduración en campo (FELLMAN *et al.*, 2000). También se sabe que el período y tipo de atmósfera de almacenamiento influyen en la producción de aromas en diversas variedades de manzana: 'Pacific Rose' (TOUGH y HEWETT, 2001), 'Law Rome' (FELLMAN *et al.*, 1993) y 'Starking Delicious' (LÓPEZ *et al.*, 1998a). En el caso de la variedad 'Fuji' hay pocos estudios que relacionen el tipo y período de almacenamiento con la producción de aromas por parte de los frutos.

En general, se recomienda una atmósfera controlada de 1-2,5% de O_2 y de 0,7-2% de CO_2 para la conservación de las manzanas 'Fuji' (MEHERIUK, 1993). Actualmente, se están aplicando, cada vez más, atmósferas con niveles próximos al 1% de O_2 (atmósfera "ultra low oxygen", ULO); la concentración de CO_2 en dichos regímenes gaseosos ha de ajustarse a los valores tolerados por cada variedad. Los principales beneficios derivados de dichas técnicas se concretan, en general, en una mejor retención de la calidad y en un buen control de las alteraciones del fruto a lo largo del almacenamiento (BRACKMANN *et al.*, 1994; GRAELL *et al.*, 1997); sin embargo, algunos estudios han demostrado que dichos niveles bajos de O_2 pueden afectar negativamente a la producción de compuestos aromáticos en el fruto y, por consiguiente, a su calidad organoléptica (STREIF y BANGERTH, 1988; LÓPEZ *et al.*, 1998a; LÓPEZ *et al.*, 2000). De todas maneras, la respuesta del fruto depende también del nivel de CO_2 utilizado en la atmósfera de almacenamiento (STREIF y BANGERTH, 1988); en el caso de la manzana 'Fuji' se suelen recomendar niveles de CO_2 alrededor del 1%, para evitar daños en el fruto provocados por este componente gaseoso (MASSERON *et al.*, 1995).

A pesar del indudable interés de la manzana 'Fuji' para incrementar la diversidad

varietal en el sector, en España se dispone de escasa información acerca de la calidad y del comportamiento en frigoconservación de la misma. Por ello, el objetivo de este trabajo es estudiar la evolución de la producción de compuestos aromáticos y de otros parámetros fisicoquímicos de calidad del fruto durante su maduración en campo y tras 3 y 5 meses de conservación en atmósfera controlada con muy bajo oxígeno (ULO) seguidos de un período posterior de 1, 5 y 10 días a 20 °C (período "shelf-life").

Material y métodos

Material vegetal. Se utilizaron frutos recolectados a partir de manzanos (*Malus domestica* Borkh) 'Fuji' (Nagafu-6), de 5 años de edad, plantados sobre patrón M-9 EMLA y situados en una finca comercial de Lleida.

Diseño experimental. Durante el período precosecha (a lo largo de un mes), se realizaron 6 muestreos de frutos en árbol. Dentro de estos muestreos, se incluían además dos cosechas: a los 185 (C1, 11 de octubre) y 195 (C2, 21 de octubre) días después de plena floración (DDPF). Las muestras de frutos correspondientes a las dos cosechas C1 y C2 se almacenaron en cámara frigorífica ULO (1,1% O_2 + 0,9% CO_2, 1 °C, 92% HR) para su posterior estudio en condiciones de frigoconservación. Durante el seguimiento en campo y para cada fecha de muestreo, se tomaron 8 kg de manzanas (2 kg x 4 repeticiones) para analizar los compuestos aromáticos, y muestras de 20 frutos para la determinación de los demás parámetros fisico-químicos de calidad. En las dos cosechas C1 y C2, los frutos se analizaban a las 24 horas de su recolección, y, también, después de 5 y 10 días a 20 °C. Inmediatamente después de las 2 cosechas, se tomaron lotes de 90 kg de manzanas por cada fecha (seleccionando los frutos por su uniformidad y aspecto) y se conservaron en atmósfera ULO. Después de 3 y 5 meses de almacenamiento, se extrajeron muestras de frutos de la cámara y se procedió a su análisis (tras 1, 5 y 10 días a 20 °C). Para determinar los compuestos aromáticos volátiles se utilizaron 4 repeticiones de 2 kg de manzanas, y para los demás parámetros de calidad se utilizaron 20 manzanas (en cada uno de los períodos de permanencia a 20 °C señalados).

Análisis de los compuestos aromáticos. La extracción de los aromas se realizó a partir de frutos intactos mediante el método de espacio de cabeza dinámico, utilizándose nitrógeno para el arrastre de los compuestos volátiles y posterior retención de los mismos en una fase sólida Tenax (LÓPEZ *et al.*, 1998b). La identificación y cuantificación de los compuestos se realizó mediante un cromatógrafo de gases Hewlett-Packard 5890 equipado con detector de ionización de llama y utilizando una columna capilar "cross-linked" FFAP (50 m x 0,2 mm (d.i.) x 0,33 μm). El gas portador utilizado fue nitrógeno con un flujo de 0,8 ml/min y con una relación de "split" de 1:40. Los análisis se llevaron a cabo con la siguiente programación de temperaturas: 70 °C durante 1 min, de 70 °C a 142 °C a 3 °C/min y de 142 °C a 225 °C a 5 °C/min, permaneciendo 10 min a 225 °C.

La confirmación de los diferentes compuestos aromáticos se realizó mediante acoplamiento cromatografía de gases-espectrometría de masas (equipo Hewlett-Packard 5890). El espectro de masas se obtuvo por ionización con impacto de electrones a 70eV utilizando helio (con un flujo de 0,6 ml/min) como gas portador en modo "splitless", y con una programación de temperaturas de 40 °C durante 15 min, de 40 °C a 210 °C a razón de 5 °C/min, y 15 min a 210 °C. Los datos espectrales fueron compara-

dos con los originales registrados en la librería NIST HP59943C.

Determinación de los parámetros de calidad. En los frutos se midió el peso (con balanza de precisión 0,01 g) y el calibre medio (con pie de rey), expresándose los resultados en g y mm, respectivamente. El color de fondo y el superficial de la epidermis del fruto se determinaron (en la cara verde y en la cara roja, respectivamente) mediante un colorímetro triestímulo Minolta CR-200 (Minolta, Osaka, Japón), con iluminante D_{65} y un ángulo de observación de 10°, expresándose los resultados en forma de parámetro a*+b* y tono (arctg b*/a*). La firmeza de pulpa se midió en cada fruto, en dos puntos opuestos de su zona ecuatorial, mediante un penetrómetro Effegi (Milán, Italia) con punzón de 11 mm, expresándose los resultados en kg. El contenido de sólidos solubles (SS) y la acidez titulable (AT) se analizaron a partir del zumo de cada fruto. El contenido de SS fue determinado usando un refractómetro digital Atago (Atago Co., Tokio, Japón) expresándose el valor en °Brix, y la AT se analizó valorando 10 ml de zumo con NaOH 0,1 N hasta pH 8,1, expresándose los resultados en g de ácido málico /l.

Tratamiento Estadístico. Los resultados experimentales fueron tratados mediante análisis de la varianza (GLM) y la separación de los valores medios se llevó a cabo con el test de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando el paquete estadístico Statistical Analyses System (SAS INSTITUTE, 1988).

Resultados y discusión

Evolución en campo

Del estudio de la evolución de los compuestos volátiles emitidos por manzanas 'Fuji' se ha obtenido que el acetato de hexilo y el propionato de butilo experimentaron un aumento durante la maduración de los frutos (figura 1). El acetato de 2-metilbutilo fue el éster predominante y experimentó un aumento hasta el día de la primera cosecha (C1, 11 octubre), momento a partir del cual siguió una producción constante; por lo tanto, este compuesto puede ser útil para señalar el inicio del período de recolección en esta variedad. Este efecto favorable de los días de maduración en campo sobre la producción de compuestos volátiles del tipo acetato también fue observado por FELLMAN *et al.* (2000) en esta misma variedad de manzana. El segundo compuesto en importancia cuantitativa fue el 2-metilbutirato de etilo, alcanzando su máxima producción el día 19 de octubre, unos 8 días después de la fecha C1. Este compuesto es interesante para la calidad organoléptica del fruto puesto que es el que más contribuye al sabor de la manzana 'Fuji' entre todos los compuestos detectados, dado que presenta un bajo umbral de detección olfativa (0,006 µg/l) (TAKEOKA *et al.*, 1992), comunicándole una sensación dulce-afrutada a la percepción sensorial de las manzanas. Respecto a la evolución de los alcoholes (figura 2), el 2-metil-1-butanol también aumentó a lo largo de la permanencia del fruto en el árbol; en cambio, el etanol aumentó hasta el día 11 de octubre (C1), fecha a partir de la cual disminuyó.

En la figura 3 se representa la evolución de la firmeza, la AT y el contenido de SS en los frutos. Se observa que los valores de firmeza y AT no experimentaron grandes variaciones a lo largo de la permanencia de la manzana en árbol, lo que indica que los mismos son de pequeña utilidad como índices de recolección. Sin embargo, estos parámetros son útiles como indicadores de la calidad gustativa del fruto. Algunos autores recomiendan utilizar el índice de almidón

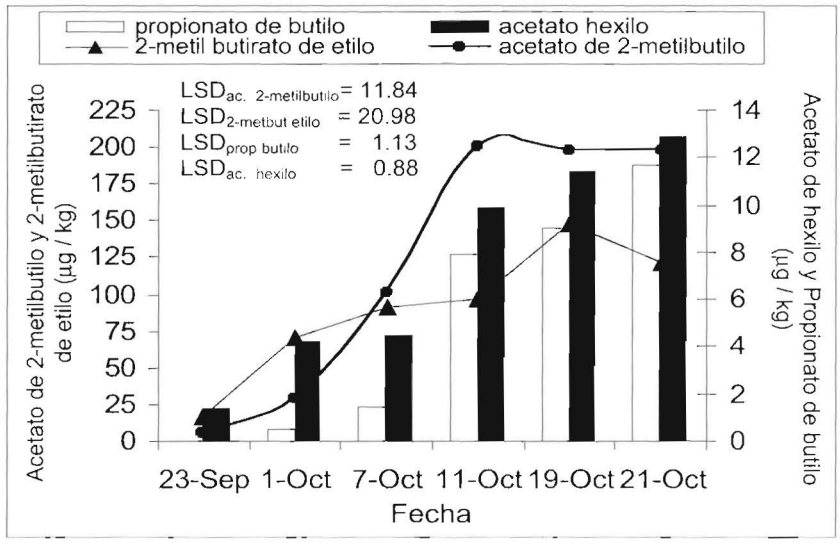


Figura 1. Evolución de los principales compuestos volátiles tipo éster emitidos por manzanas 'Fuji' durante su maduración en campo. Los días 11 y 21 de octubre corresponden a las dos fechas de cosecha.
Figure 1. Emission of main volatile esters in 'Fuji' apples during their tree-maturation. Apples were harvested in two dates (11th and 21st october).

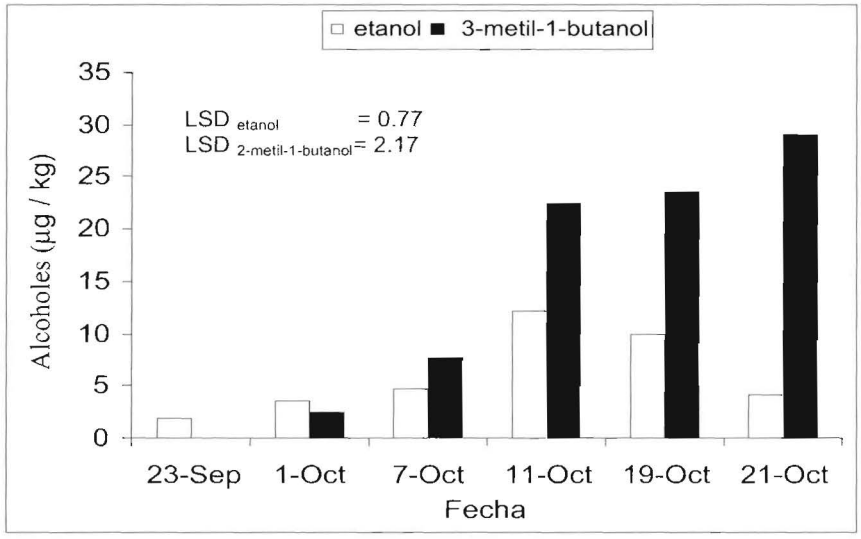


Figura 2. Evolución de etanol y de 2-metil-1-butanol emitidos por manzanas 'Fuji' durante su maduración en campo. Los días 11 y 21 de octubre corresponden a las dos fechas de cosecha.
Figure 2. Evolution of emitted ethanol and 2-methyl-1-butanol in 'Fuji' apples during their tree-maturation. Apples were harvested in 11th and 21st October.

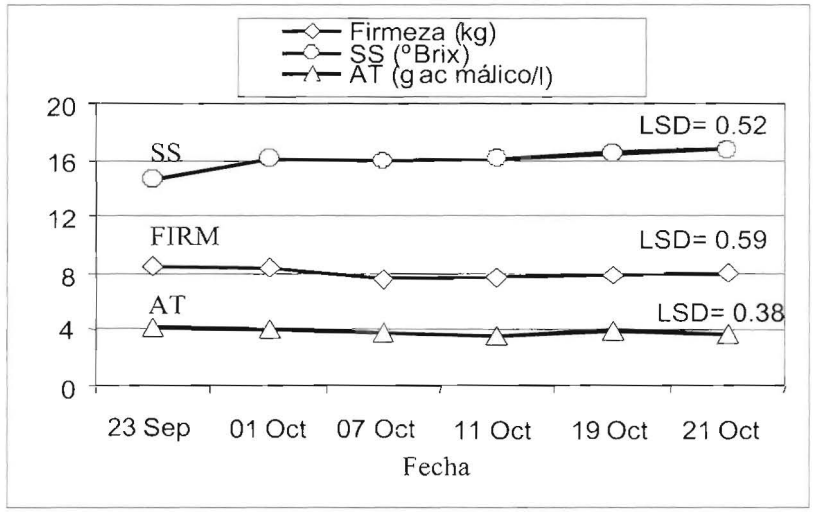


Figura 3. Evolución de la firmeza (FIRM), contenido de sólidos solubles (SS) y acidez titulable (AT) de manzanas 'Fuji' durante su maduración en campo. Los días 11 y 21 de octubre corresponden a las dos fechas de cosecha.

Figure 3. Evolution of firmness (FIRM), soluble solids content (SS) and titratable acidity (AT) of 'Fuji' apples during their tree-maturation. Apples were harvested in 11th and 21st October.

(no medido en el presente estudio) o la presencia de vitrescencia ("watercore") para estimar la fecha óptima de recolección en la variedad 'Fuji' (MASSERON *et al.*, 1995). En nuestro caso, no se ha observado presencia de vitrescencia en ningún fruto; en cambio, se ha citado elevada presencia de esta alteración en manzanas 'Fuji' cultivadas en zonas donde el período precosecha se caracteriza por una climatología más fresca que en el caso de Lleida, como en ciertas regiones de Nueva Zelanda (HARKER *et al.*, 1999). Los valores de firmeza se mantuvieron cerca de 8 kg en el momento de las dos cosechas realizadas (11 y 21 de octubre), valor recomendado para obtener una buena conservación frigorífica de 'Fuji' (TRILLOT y MASSERON, 1995). Los niveles de AT se mantuvieron alrededor de 4 g/l en el intervalo entre las dos fechas de cosecha; este valor es adecuado para la recolección y, además, es importante para conseguir equilibrar el excesivo contenido de azúcares presente en dicha variedad, que podría dar lugar a un excesivo sabor dulce del fruto. Por otra parte, el contenido de SS aumentó a medida que avanzaba la maduración de los frutos, dentro de un intervalo entre 15,2 y 17,1 °Brix, valores que son responsables del marcado sabor dulce de 'Fuji', y que son claramente más elevados que los de las variedades del grupo 'Golden' y del grupo 'Delicious' (GRAELL y ALONSO, 1988; GRAELL *et al.*, 1997).

En cuanto al color de la manzana 'Fuji' cabe diferenciar entre el denominado color de fondo (estimado mediante el parámetro a*+b*, en la cara verde del fruto) y el color superficial (estimado con el parámetro denominado tono, en la cara roja). En la Figura 4 se aprecia un claro cambio del color de fondo desde tonalidades verdes hasta amarillentas (valores a*+b* más altos) a lo largo

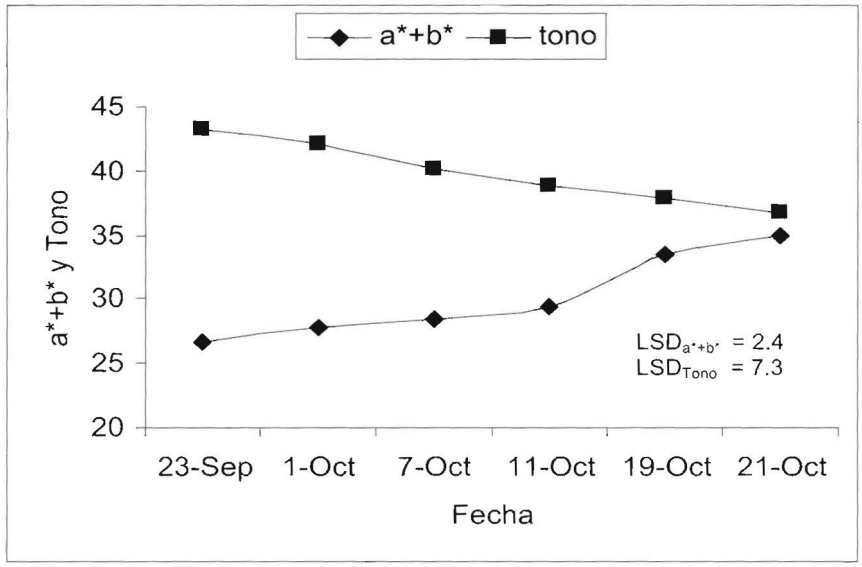


Figura 4. Evolución del color de fondo (a*+b*) y del color superficial (tono) en manzanas 'Fuji' durante su maduración en campo. Los días 11 y 21 de octubre corresponden a las dos fechas de cosecha.
Figure 4. Evolution of background and superficial color in 'Fuji' apples during their tree-maturation. Harvest dates in 11th and 21st October.

de la maduración del fruto. WATKINS *et al.* (1993) recomiendan este parámetro como buen indicador de la madurez de recolección en manzanas 'Fuji'. En cambio, el tono es más bien un índice de calidad más que de madurez; este parámetro se mantuvo casi constante a lo largo de la permanencia del fruto en árbol, presentando una ligera disminución hacia las últimas fechas de muestreo (lo que indica una mayor coloración roja en la cara expuesta del fruto). La coloración superficial de estas manzanas 'Fuji' resultó ser insuficiente para las exigencias del mercado. Ello podría deberse a las condiciones ambientales reinantes en precosecha (con poco contraste térmico entre el día y la noche), las cuales dificultaron la consecución de una buena coloración, tal como han demostrado IGLESIAS *et al.* (2000) en otras variedades de manzana.

Evolución en cámara frigorífica ULO

Tras 5 meses de almacenamiento en condiciones de ULO y tras 1 día de permanencia a 20 °C (cuadro 1), los aromas totales producidos por los frutos alcanzaron concentraciones de 467,2 y 479,2 mg/kg mientras que los del momento de cosecha fueron de 366,2 y 441,8 mg/kg para las manzanas recolectadas el 11 de octubre (C1) y el 21 de octubre (C2), respectivamente. En estas condiciones no se producía una reducción de los aromas totales emitidos por las manzanas 'Fuji' como sucedió en manzanas 'Pacific Rose' conservadas en una atmósfera de 1,5% O_2 + 1,3% CO_2 tras 1, 2, 4 y 6 meses de almacenamiento (TOUGH y HEWETT, 2001). Por otra parte, la producción total de aromas disminuyó a lo largo del período "shelf-life", resultado similar al obtenido por SEONG-JIN

Cuadro 1. Compuestos volátiles aromáticos (μg/kg) en manzanas 'Fuji' conservadas en ULO durante 5 meses

Table 1. Aroma volatile compounds (μg/kg) of 'Fuji' apples in ULO atmosphere for 5 months

Compuesto	Fechas de recolección	Período a 20 °C después de conservación 1 día	5 días	10 días
Acetato de metilo	11-Oct	0,9 ± 0,1 aC	1,5 ± 0,1 bB	2,5 ± 0,2 bA
	21-Oct	0,9 ± 0,1 aC	2,3 ± 0,4 aB	3,8 ± 0,4 aA
Acetato de etilo	11-Oct	4,6 ± 0,6 aC	6,1 ± 0,6 bB	9,0 ± 0,5 bA
	21-Oct	3,3 ± 0,2 bC	8,2 ± 0,6 aB	11,8 ± 1,7 aA
Etanol	11-Oct	2,6 ± 0,4 bC	7,1 ± 0,4 bA	3,9 ± 0,8 bB
	21-Oct	10,8 ± 3,1 aB	12,1 ± 1,5 aA	9,5 ± 1,0 aC
Propanoato de t-butilo	11-Oct	0,6 ± 0,0 aB	0,7 ± 0,1 bB	1,5 ± 0,3 aA
	21-Oct	0,7 ± 0,1 aC	1,1 ± 0,3 aB	1,3 ± 0,2 bA
Acetato de propilo	11-Oct	Trazas bC	1,4 ± 0,1 aA	1,0 ± 0,1 bB
	21-Oct	0,6 ± 0,1aB	1,5 ± 0,3 aA	1,5 ± 0,3 aA
Acetato de 2-metilpropilo	11-Oct	2,0 ± 0,1 bB	2,4 ± 0,4 aA	1,7 ± 0,3 aC
	21-Oct	2,4 ± 0,4 aA	2,3 ± 0,4 aA	1,8 ± 0,4 aB
1-propanol	11-Oct	21,8 ± 1,7 bA	7,9 ± 0,6 aB	2,7 ± 0,3 aC
	21-Oct	30,9 ± 6,0 aA	6,5 ± 0,9 aB	1,9 ± 0,3 aC
Butanoato de etilo	11-Oct	1,3 ± 0,2 bB	1,9 ± 0,2 bA	1,0 ± 0,0 bC
	21-Oct	2,2 ± 0,5 aB	2,8 ± 0,3 aA	1,8 ± 0,0 aC
2-metilbutanoato de etilo	11-Oct	91,5 ± 10,2 bA	38,9 ± 8,9 bC	79,4 ± 9,2 bB
	21-Oct	141,4 ± 19,6 aA	95,2 ± 11,0 aB	91,0 ± 3,5 aB
Acetato de butilo	11-Oct	8,5 ± 0,9 bA	6,2 ± 0,6 bB	2,0 ± 0,2 bC
	21-Oct	16,0 ± 0,4 aA	9,3 ± 0,6 aB	5,3 ± 0,6 aC
2-metil-1-propanol + Propionato 2-metilpropilo	11-Oct	Trazas bC	0,7 ± 0,0 aA	0,5 ± 0,0 aB
	21-Oct	0,5 ± 0,1 aA	0,5 ± 0,1 bA	Trazas bB
Hexanal	11-Oct	0,5 ± 0,0 aA	Trazas aB	Trazas bB
	21-Oct	0,6 ± 0,1 bB	Trazas aC	0,7 ± 0,0 aA
Acetato de 2-metilbutilo	11-Oct	213,3 ± 15,2 aA	141,1 ± 9,8 bB	108,3 ± 14,3 bC
	21-Oct	166 ± 16,4 bA	156,7 ± 7,8 aB	115,9 ± 4,9 aC
1-butanol	11-Oct	2,8 ± 0,2 bA	1,4 ± 0,2 bB	1,2 ± 0,2 aB
	21-Oct	3,8 ± 0,6 aA	2,1 ± 0,7 aB	1,4 ± 0,4 aC
Propionato de Butilo	11-Oct	3,6 ± 0,1 bA	2,4 ± 0,3 bB	1,2 ± 0,0 bC
	21-Oct	5,9 ± 0,6 aA	3,2 ± 0,0 aB	1,9 ± 0,1 aC
4-metil-2-pentanol	11-Oct	1,0 ± 0,1 aA	0,7 ± 0,1 bB	0,7 ± 0,1 aB
	21-Oct	0,6 ± 0,2 bC	0,9 ± 0,2 aA	0,7 ± 0,0 aB
Acetato pentilo	11-Oct	3,1 ± 0,3 aA	1,8 ± 0,2 aB	1,0 ± 0,1 bC
	21-Oct	3,4 ± 0,3 aA	1,9 ± 0,3 aB	1,7 ± 0,2 aC
Propanoato 2-metilbutilo	11-Oct	1,3 ± 0,1 bB	1,6 ± 0,3 aA	1,5 ± 0,1 aA
	21-Oct	1,5 ± 0,1 aA	1,6 ± 0,2 aA	1,3 ± 0,2 bB
2-metil-1-butanol	11-Oct	5,1 ± 0,3 bC	8,3 ± 0,1 aA	5,8 ± 0,4 aB
	21-Oct	7,3 ± 0,7 aA	5,7 ± 0,3 bB	2,9 ± 0,5 bC
D-limoneno	11-Oct	5,9 ± 0,2 bB	5,8 ± 0,8 aB	9,5 ± 0,4 bA
	21-Oct	6,8 ± 0,1 aB	5,4 ± 0,3 bC	10,0 ± 0,9 aA

Cuadro 1 (continuación)

Butirato de butilo	11-Oct	3,0 ± 0,2 bA	1,2 ± 0,1 aB	0,8 ± 0,0 bC
	21-Oct	3,2 ± 0,2 aA	1,3 ± 0,1 aB	1,4 ± 0,1 aB
2-metilbutanoato de butilo	11-Oct	2,4 ± 0,2 aA	1,9 ± 0,1 aB	1,2 ± 0,1 bC
	21-Oct	2,3 ± 0,4 aA	1,5 ± 0,3 bB	1,5 ± 0,6 aB
Hexanoato de etilo	11-Oct	2,0 ± 0,1 aA	1,2 ± 0,1 bB	1,1 ± 0,1 bB
	21-Oct	2,0 ± 0,2 aA	1,4 ± 0,1 aB	1,5 ± 0,3 aB
Pentanol	11-Oct	Trazas	Trazas	Trazas
	21-Oct	Trazas	Trazas	Trazas
Acetato de hexilo	11-Oct	51,5 ± 9,9 aA	16,0 ± 0,5 bB	12,5 ± 2,0 aB
	21-Oct	41,5 ± 8,4 bA	20,3 ± 2,4 aB	12,1 ± 0,6 aC
Propanoato de hexilo	11-Oct	9,8 ± 1,4 aA	2,5 ± 0,3 bB	2,0 ± 0,2 bC
	21-Oct	7,1 ± 0,8 bA	3,1 ± 0,2 aB	3,0 ± 0,3 aB
1-hexanol	11-Oct	2,6 ± 0,4 bA	1,4 ± 0,1 bB	0,8 ± 0,2 bC
	21-Oct	4,8 ± 0,3 aA	1,9 ± 0,4 aB	1,0 ± 0,1 aC
E-2-hexenol	11-Oct	N,D	Trazas	0,7 ± 0,0 aA
	21-Oct	N,D	Trazas	0,5 ± 0,0 bA
Hexanoato de butilo	11-Oct	3,0 ± 0,4 aA	2,1 ± 0,3 bB	1,8 ± 0,1 aC
	21-Oct	2,1 ± 0,2 bB	2,4 ± 0,3 aA	1,7 ± 0,1 aC
Butanoato de hexilo	11-Oct	9,0 ± 0,5 aA	2,8 ± 0,2 aB	2,1 ± 0,1 aC
	21-Oct	4,6 ± 0,5 bA	2,6 ± 0,2 aB	1,9 ± 0,2 aC
2-metilbutanoato de hexilo	11-Oct	12,5 ± 1,4 aA	6,6 ± 0,3 aB	4,8 ± 0,2 aC
	21-Oct	5,5 ± 0,8 bA	5,2 ± 0,2 bA	3,4 ± 0,3 bB

Medias dentro de un mismo período a 20 °C seguidos por la misma letra minúscula y medias dentro de una misma cosecha seguidos por la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$, test LSD). Los compuestos cuya cantidad < 0,5 µg/kg estan indicados como trazas; los no detectados como N,D.

Means within the same shelf-life followed by the same small letters and means within the same harvest date followed by the same capital letters are not significantly different at $p \leq 0,05$ (LSD Tukey's test). The compounds which amount < 0,5 µg/kg are indicated as trace; N,D, means not detectable.

y JEE UN (1999) para frutos de la variedad 'Fuji' almacenados en atmósfera controlada con 1% O_2 y analizados inmediatamente después de la salida de cámara y 4 días a 20 °C. Posiblemente, esta disminución de los aromas totales a lo largo del período "shelf-life" se pueda atribuir al hecho constatado por diversos investigadores (AMPUN y HEWETT, 1997; SEONG-JIN y JEE UN, 1999; TOUGH y HEWETT, 2001) de que, en condiciones de atmósfera controlada, se produce una disminución de los ácidos grasos y, por tanto, de los compuestos aromáticos producidos a partir de la β-oxidación de los mismos, como es el caso del acetato de 2-metilbutilo (que en esta variedad es el componente mayoritario). También se puede observar que tras 5 y 10 días a 20 °C, las manzanas recolectadas más tardíamente (C2, 21 octubre) emitieron mayor cantidad de aromas que las recolectadas más tempranamente (C1, 11 octubre).

El efecto del período "shelf-life" sobre la producción de aromas es diferente dependiendo del compuesto aromático específico

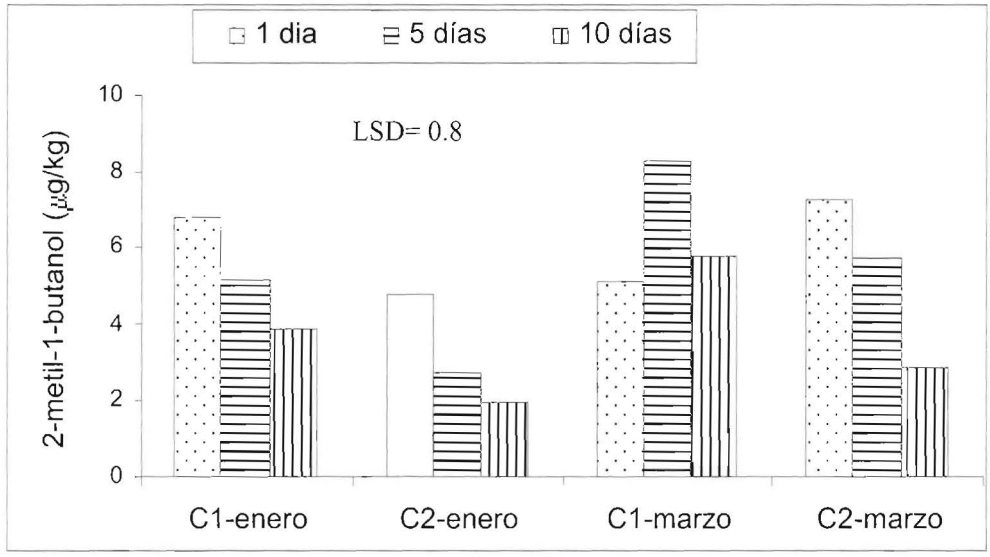


Figura 5. Producción de 2-metil-1-butanol en manzanas 'Fuji' recolectadas en dos fechas (C1 y C2) y almacenadas durante 3 (enero) y 5 meses (marzo) en atmósfera ULO más 1, 5 y 10 días a 20ºC.
Figure 5. Emission of 2-methyl-1-butanol in 'Fuji' apples harvested at 2 dates and stored during 3 (January) and 5 (March) months in ULO plus 1, 5 and 10 days at 20 ºC.

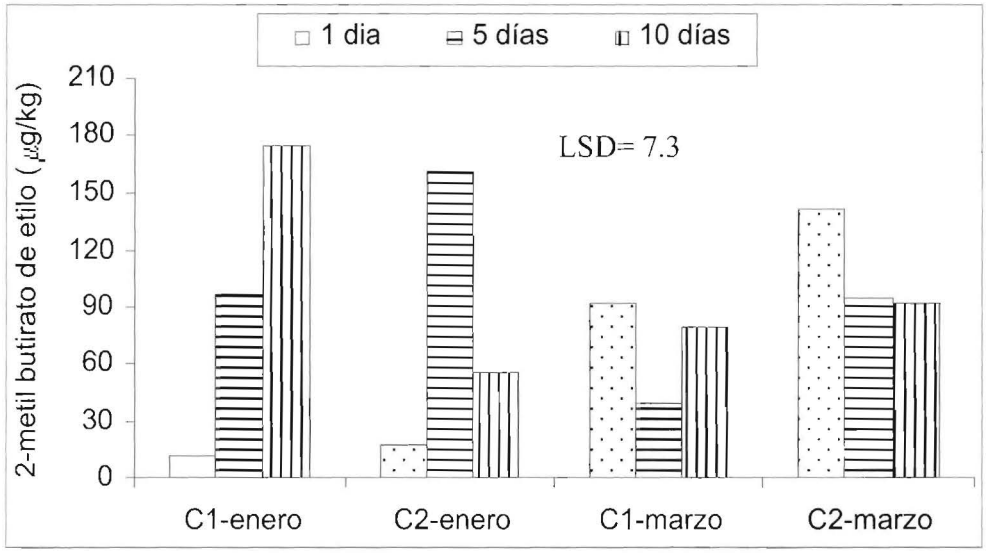


Figura 6. Producción de 2-metilbutirato de etilo en manzanas 'Fuji' recolectadas en dos fechas (C1 y C2) y almacenadas durante 3 (enero) y 5 meses (marzo) en atmósfera ULO más 1, 5 y 10 días a 20ºC.
Figure 6. Emission of ethyl 2-methylbutirate in 'Fuji' apples harvested at 2 dates and stored during 3 (January) and 5 (March) months in ULO plus 1, 5 and 10 days at 20 ºC.

y del período de frigoconservación. En las figuras 5 y 6 se presenta la producción del 2-metil-1-butanol y del 2-metilbutirato de etilo, respectivamente. El primero es el alcohol mayoritario (cuadro 1) y el segundo es el compuesto orgánico que más contribuye al sabor de las manzanas 'Fuji', dado que es el segundo en importancia cuantitativa y posee un bajo umbral de percepción olfativa (tal como se ha comentado anteriormente).

Así, con relación al 2-metil-1-butanol, los frutos correspondientes a las cosechas C1 y C2 mostraron un descenso en la producción de dichos aromas a lo largo de su permanencia a 20 °C (tras 3 meses de almacenamiento); en cambio, tras 5 meses de almacenamiento, los frutos cosechados en la fecha C1 presentaron un máximo de producción después de 5 días a 20 °C (figura 5). Por otra parte, la producción de 2-metilbutirato de etilo era mayor después de 5 y 10 días a 20 °C (tras 3 meses de almacenamiento) en comparación con los valores presentes después de 1 día a 20 °C, obteniéndose la máxima concentración a los 10 días para las manzanas cosechadas en C1, y a los 5 días para las manzanas cosechadas en C2 (figura 6). Las mayores concentraciones de 2-metilbutirato de etilo se alcanzaron tras 1 día a 20 °C después de 5 meses de almacenamiento, tanto para los frutos procedentes de la cosecha C1 como los de la cosecha C2.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos de calidad, el período de almacenamiento frigorífico y el período de permanencia a 20 °C inducen cambios en la evolución de los mismos. Así, para los frutos recolectados más precozmente (C1), el período de frigoconservación provocó un ligero descenso en los niveles de AT que presentaban las manzanas 'Fuji' a la salida de cámara, en comparación con los valores en la cosecha (figura 7); esto supone unas pérdidas del 15% y del 22%, a los 3 y 5 meses de almacena-

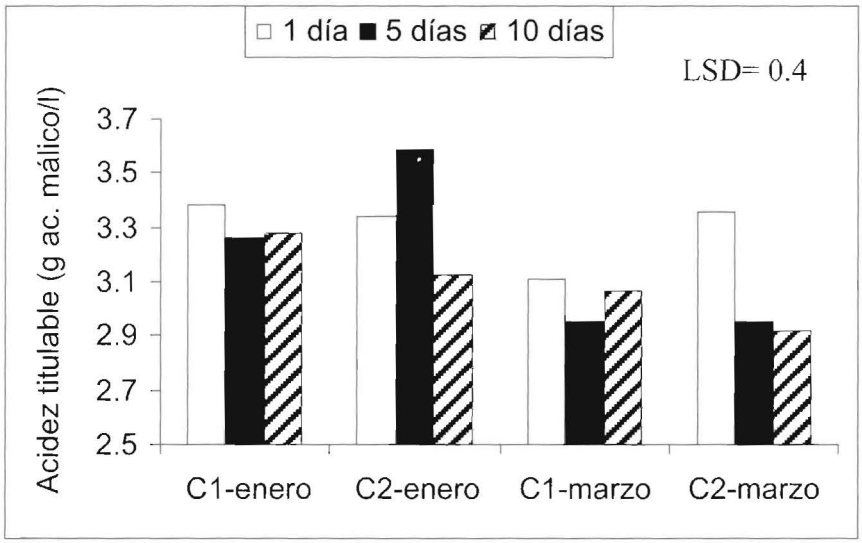


Figura 7. Acidez titulable de manzanas 'Fuji' recolectadas en dos fechas (C1 y C2) y almacenadas durante 3 (enero) y 5 meses (marzo) en atmósfera ULO más 1, 5 y 10 días a 20°C.

Figure 7. Titratable acidity of 'Fuji' apples harvested at 2 dates and stored during 3 (January) and 5 (March) months in ULO plus 1, 5 and 10 days at 20 °C.

miento respecto al valor de la acidez de los frutos en el momento de la cosecha; de todas maneras, la AT de estos frutos, tras 5 meses de almacenamiento en cámara frigorífica, se mantuvo en niveles superiores a 3 g/l, que son adecuados para una óptima calidad gustativa de 'Fuji'. En otros estudios nuestros (ECHEVERRÍA *et al.*, 2002), la prolongación del almacenamiento hasta 7 meses provocaba un descenso acusado de esta acidez (incluso se llegó a valores de 1-1,5 g/l). Los frutos recolectados más tardíamente (C2) presentaban una caída de AT a lo largo del almacenamiento respecto a la cosecha, pero las diferencias entre los 3 y 5 meses de almacenamiento no eran significativas, a diferencia de los frutos correspondientes a la fecha de cosecha C1. Por otra parte, durante el período de maduración a 20 °C tras la salida de cámara, se producía un descenso de los niveles de acidez, si bien éstos se mantenían por encima de 3 g/l.

Respecto al contenido de SS, todas las muestras presentaron niveles entre 16 y 17 °Brix, tanto a la salida de cámara, como durante el período de permanencia a 20 °C, no habiendo diferencias significativas provocadas por la fecha de cosecha, el período de almacenamiento ó el período de permanencia a 20 °C (datos no mostrados).

Los frutos que presentaban una mejor retención de firmeza tras 3 meses de almacenamiento fueron los recolectados en C1, tanto en el momento de salida de cámara como después de 5 y 10 días a 20 °C (figura 8); en cambio, tras 5 meses de almacenamiento, estos mismos frutos sufrían una clara pérdida de firmeza a lo largo de 5 y 10

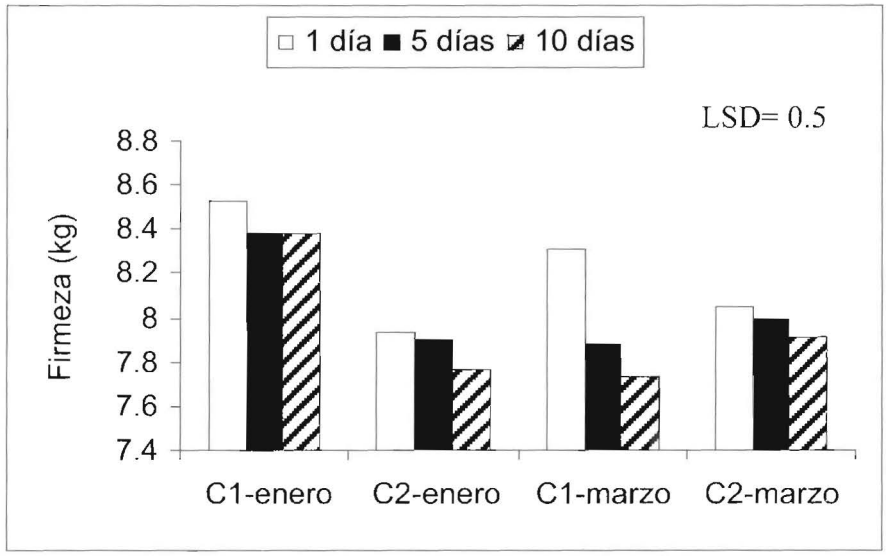


Figura 8. Firmeza de manzanas 'Fuji' recolectadas en dos fechas (C1 y C2) y almacenadas durante 3 (enero) y 5 meses (marzo) en atmósfera ULO más 1, 5 y 10 días a 20°C.

Figure 8. Firmness of 'Fuji' apples harvested at 2 dates and stored during 3 (January) and 5 (March) months in ULO plus 1, 5 and 10 days at 20 °C.

días a 20 °C. En cualquier caso, los valores de firmeza eran siempre superiores a 7,7 kg; puede pensarse que estos altos valores de firmeza explicarían, en parte, la típica crocanticidad de la pulpa en las manzanas 'Fuji'.

Con relación al color de fondo de la epidermis (figura 9), hubo una clara influencia del período de permanencia durante 10 días a 20 °C en los niveles que presenta este atributo, lo que se traduce en un ligero aumento

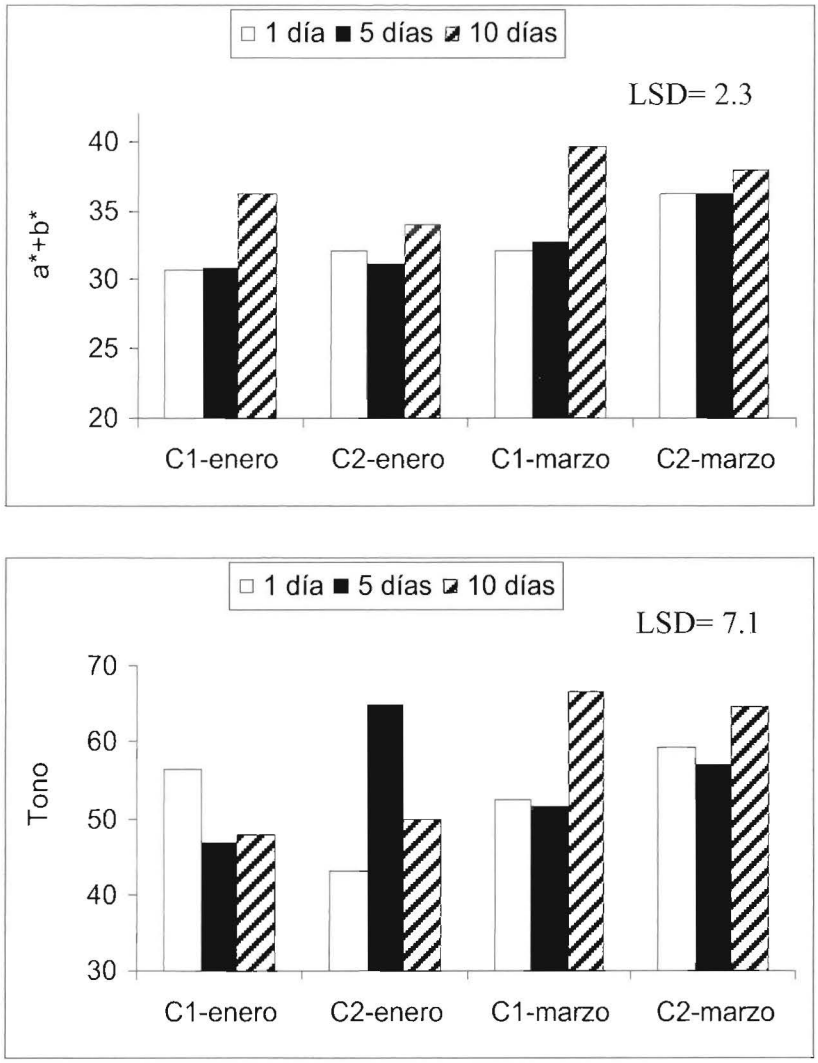


Figura 9. Color de fondo (a*+b*) y color superficial (tono) de manzanas 'Fuji' recolectadas en dos fechas (C1 y C2) y almacenadas durante 3 (enero) y 5 meses (marzo) en atmósfera ULO más 1, 5 y 10 días a 20°C.

Figure 9. Background and superficial color of 'Fuji' apples harvested at 2 dates and stored during 3 (January) and 5 (March) months in ULO plus 1, 5 and 10 days at 20 °C.

del parámetro a*+b* (color más amarillo en la cara verde) a lo largo del tiempo de "shelf-life", indicando que el fruto ha evolucionado hacia estados de madurez más avanzados. Igualmente, la intensidad de coloración roja de la cara expuesta aumentó a lo largo de dicho período "shelf-life", puesto que se observó un descenso del tono en esta cara, contribuyendo ello a que estas manzanas tengan un aspecto externo más atractivo en el momento de llegar al consumidor.

Finalmente, cabe señalar que apenas se observaron síntomas de daños causados por bajo O_2 y/o alto CO_2 en forma de pardeamientos o cavidades en la pulpa de las manzanas, tanto en el momento inmediato de salida de cámara como después de la permanencia a 20 °C. Este es un resultado muy interesante, puesto que indica la posibilidad práctica de almacenar y comercializar estas manzanas 'Fuji' sin apenas pérdidas (de cantidad y de calidad de producto) debidas a este tipo de daños. En cambio, estos daños son frecuentes en manzanas 'Fuji' cultivadas en otras zonas de clima fresco durante el período precosecha y/o en el caso de aplicar períodos de almacenamiento más largos y atmósferas con niveles de CO_2 superiores al 1% (FAN *et al.*, 1997).

De los resultados obtenidos en el presente trabajo podemos concluir, en primer lugar, que el color de fondo y la concentración en acetato de 2-metilbutilo (compuesto que supone el 50% de la concentración total en aromas) son dos parámetros no destructivos que pueden ser buenos indicadores de la madurez de las manzanas 'Fuji' en campo. En segundo lugar, la conservación en atmósfera ULO hasta los 5 meses y 1 día de permanencia a 20 °C permite mantener muy bien la calidad organoléptica de las manzanas 'Fuji'.

Agradecimientos

Se agradece la financiación recibida por parte del INIA (Proyecto SC99-057) y CICYT (Proyecto ALI98-0960-C02-02), y la posibilidad de usar las instalaciones de frigoconservación de la empresa NUFRI, S.A.T.

Bibliografía

AMPUN W., HEWETT E.W., 1997. Aroma volatile enhancement in stored apple, pp 227-233. En: Proceedings 7th Int. CA Res. Conference: Apples and Pears, Vol. 2. M.E. Saltveit (Ed.). Davis (EEUU).

BRACKMAN A., STREIF J., BANGERTH F., 1994. Influence of CA and ULO storage conditions on quality parameters and ripening of preclimacteric and climacteric harvested apples. *Gartenbauwissenschaft*, 59(6), 252-257.

CRISTOPH W., 2000. Autunno '99: sfiorato un raccolto record. *Riv. di Frutt.* (Supplemento n.° 5), 40-42.

DIXON J., HEWETT E.W., 2000. Factors affecting apple aroma/flavour volatile concentration: a review. N.Z. *J. Crop Hort. Sci.*, 28, 155-173.

ECHEVERRÍA G., FUENTES M.T., GRAELL J., LÓPEZ M.L., 2002. Relationship between volatile production, fruit quality and sensory evaluation of 'Fuji' apples stored in different atmospheres by means of multivariate analysis. *J. Sci. Food Agric.* (pendiente de publicación).

FAN X., MATTHEIS J.P., PATTERSON M., FELLMAN J.K., 1997. Optimum harvest date and controlled atmosphere storage potential of 'Fuji' apples, pp. 42-49. En: Proceedings 7th Int. CA Res. Conference, Vol. 4. M.E. Saltveit (ed.), Davis (EEUU).

FELLMAN J.K., MATTINSON D.S., MATTHEIS J.P., 1993. Ester biosynthesis in 'Rome' apples subjected to low-oxygen atmospheres. *Postharvest Biol. Technol*, 3, 201-214.

FELLMAN JK., MILLER TW., MATTINSON DS., MATTHEIS JP., 2000. Factors that influence biosynthesis of volatile flavor compounds in apple fruits. *HortScience*, 35(6), 1026-1033.

GRAELL J., ALONSO J.M., 1988. Evolución de la maduración y calidad de manzanas 'Starking Delicious' conservadas en atmósfera controlada con reducción de etileno. *ITEA*, 79, 48-56.

GRAELL J., LARRIGAUDIERE C., VENDRELL M., 1997. Effect of low-oxygen atmospheres on quality and superficial scald of Topred apples. *Food Sci. Technol. Int.*, 3, 203-211.

HARKER F.R., WATKINS C.B., BROOKFIELD P.L., MILLER M.J., REID S., JACKSON P.J., BIELESKI R.L., BARTLEY T., 1999. Maturity and regional influences on watercore development and its postharvest disappearance in 'Fuji' apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 124 (2), 166-172.

IGLESIAS I., GRAELL J., ECHEVARRÍA G., VENDRELL M., 2000. Orchard cooling with overtree sprinkler irrigation to improve fruit color of 'Delicious' apples. *HortSci.*, 35 (7): 1207-1208.

LÓPEZ M.L., LAVILLA T., RECASENS I., RIBA M., VENDRELL M., 1998a. Influence of different oxygen and carbon dioxide concentrations during storage on production of volatile compounds by 'Starking Delicious' apples. *J. Agric. Food Chem.*, 46, 634-643.

LÓPEZ M.L., LAVILLA T., RIBA M., VENDRELL M., 1998b. Comparison of volatile compounds in two seasons in apples: Golden Delicious and Granny Smith. *J. Food Qual.*, 21, 155-166.

LÓPEZ M.L., LAVILLA T., GRAELL J., VENDRELL M., 2000. Changes in aroma quality of 'Golden Delicious' apples after storage at different oxygen and carbon dioxide concentration. *J. Sci. Food Agric.*, 80, 311-324.

MASSERON A., TRILLOT M., MATHIEU V. Y TRONEL C. 1995. Fuji. 58 pp. Ed. CTIFL. Paris.

MEHERIUK M., 1993. SCA storage conditions for apples, pears and nashi, pp. 819-858. En: Proceedings 6th Int. CA Res. Conference, Vol. 2. Ithaca, NY (EEUU).

SAS INSTITUTE, 1988. Statistical Analysis System. User's Guide. Ed. SAS Institute. Cary, NC, USA.

SEONG-JIN C., JEE EUN K., 1999. The change in aroma production of 'Fuji' apple fruits as influenced by CA storage. *J. Kor. Soc. Hortic. Sci.*, 40(1), 61-64

STREIF J., BANGERTH F., 1988. Production of volatile aroma substances by Golden Delicious apple fruits after storage for various times in different CO_2 and O_2 concentrations. *J. Hortic. Sci.*, 63(2), 193-199.

TAKEOKA G.R., BUTTERY R.G., FLATH R.A., 1992. Volatile constituents of Asian pear (*Pyrus serotina*). *J. Agric. Food Chem.* 40, 1925-1929.

TOUGH H.J., HEWETT E.W., 2001. Rapid reduction in aroma volatiles in Pacific Rose apples in controlled atmospheres. *Acta Hortic.* 553, 219-223.

TRILLOT M., MASSERON A., 1995. Fuji, une pomme d'avenir. *Infos-Ctifl*, 108, 24-27.

WATKINS C.B., BROOKFIELD P.L., HARKER F.R., 1993. Development of maturity indices for the 'Fuji' apple cultivar in relation to watercore incidence. *Acta Hortic.* 326, 267-275.

YOSHIDA Y., FAN X., PETERSON M., 1995. Fuji apple. Fruit Var. J., 49(4), 194-196.

(Aceptado para publicación el 30 de enero de 2003).