

Influencia del almacenamiento en la síntesis de compuestos volátiles de manzana “Red Delicious”*

Influence of storage on the synthesis of volatile apple compounds “Red Delicious”

Nora Aideé Salas Salazar¹, Francisco Javier Molina Corral², Jorge Esteban de Jesús Dávila Aviña³, Ángel Rafael Parra Quezada¹, Loreto Robles Hernández¹ y Guadalupe Isela Olivas Orozco^{2§}

¹Universidad Autónoma de Chihuahua. Calle Presa de la Amistad núm. 2015. Barrio de la Presa. Cuauhtémoc, Chihuahua, México. CP. 31510. ²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Av. Río Conchos S/N, Parque Industrial. Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México. CP. 31570. Tel. 625 5812920. ³Universidad Autónoma de Nuevo León. Av. Pedro de Alba y Manuel Barragán. San Nicolás de Los Garza, N. L., México. C.P. 66450. §Autora para correspondencia: olivas@ciad.mx.

Resumen

En ésta investigación, se determinó el impacto de diferentes condiciones de almacenamiento, en compuesto volátiles del aroma. Los compuesto volátiles (CV) de manzana “Red Delicious” fueron analizados al momento de la cosecha y después de 1, 3, 5, y 7 meses de almacenamiento a 1 °C en atmósfera controlada (3% CO₂ y 2% O₂) (AC), en refrigeración en aire (RA), y en AC más 7 días de estabilización en RA (AC+RA). El almacenamiento AC causó una reducción en la biosíntesis de compuestos volátiles, en manzana “Red Delicious”. La producción máxima de CV se alcanzó después del primer mes de almacenamiento en RA y CA, no hubo diferencias entre ambos. Sin embargo, los resultados muestran que el perfil de CV de la manzana almacenada AC fue diferente a la manzana almacenada en RA. Las manzanas en RA producen ésteres que han sido descritos como “frutales etéreos” y “fruta dulce”, mientras que las almacenadas en AC muestran alto contenido de ésteres de etilo, los cuales han sido descritos “como a brandi”, “olor pungente”, en particular el acetato de etilo, es un indicador de posible generación de sabores no deseados durante almacenamiento en AC.

Abstract

In this investigation, it was determined the impact of different storage conditions on volatile aroma compounds. The “Red Delicious” apple volatile compounds (CV) were analyzed at the time of harvest and after 1, 3, 5, and 7 months’ storage at 1 °C in controlled atmosphere (3% CO₂ and 2% O₂) (AC), in air cooling (RA), and in AC plus 7 days of stabilization in RA (AC+RA). The storage AC caused a reduction in the biosynthesis of volatile compounds, in apple “Red Delicious”. The maximum CV production was reached after the first month of storage in RA and CA, and there were no statistical differences between the two. However, the results show that the CV profile of the stored apple AC was different from that of the apple stored in RA. The apples in RA mainly produce esters that have been described as “ethereal fruit” and “sweet fruit”, while apples stored in AC show high content of ethyl esters, which have been described “as a brandy”, “odor pungent”, in particular ethyl acetate, is an indicator of possible generation of undesirable flavors during storage in AC.

* Recibido: enero de 2017
Aceptado: marzo de 2017

Palabras clave: *Malus domestica*, aroma, atmósfera controlada, refrigeración en aire.

Key words: *Malus domestica*, aroma, controlled atmosphere, refrigeration in air.

Introducción

Una gran cantidad de manzana que se cultiva es almacenada para su posterior comercialización. De la misma, una fracción es almacenada en refrigeración sin modificación de atmósfera (RA), que mantiene a la fruta disponible para el mercado por un corto periodo (Knee, 1993), mientras otra fracción, es almacenada en refrigeración con atmósfera controlada (AC), para mantener los atributos de calidad (firmeza, color, acidez, etc.) por más tiempo, en comparación con el almacenamiento en refrigeración en aire (RA) Karder, (1986); Dixon y Hewett, (2000). El almacenamiento con bajas concentraciones de oxígeno causa una reducción y modificación de compuestos volátiles sintetizados por las frutas (López *et al.*, 1998; López *et al.*, 2000; Fellman *et al.*, 2003; Echeverría *et al.*, 2004) lo cual, al final del periodo de almacenamiento, puede dar como resultado manzanas con una apariencia y firmeza satisfactoria, pero con pérdida de su típico sabor debido a que los compuestos volátiles son de gran importancia, ya que ellos influyen en el sabor característico de cada fruta.

En la manzana, se han identificado alrededor de 400 compuestos volátiles (CV) (Forney *et al.*, 2009). La síntesis de estos compuestos puede ser afectada por varios factores, entre ellos el almacenamiento. El presente estudio fue llevado a cabo con manzana 'Red Delicious' la cual, es una de la variedades que más se cultivan en Chihuahua, México (SAGARPA, 2015). Debido a que las manzanas cultivadas en este Estado, destacan por su sabor (Bismark 2002), es importante determinar el impacto que tiene el periodo de almacenamiento en RA y AC, en la producción de CV.

Fueron seleccionados para este estudio, árboles con 35 años, de un huerto comercial localizado en Cuauhtémoc, Chihuahua, México (28° 23' 51.43" latitud norte, 106° 49' 05.79" longitud oeste, a 2 062 msnm). Las manzanas fueron cosechadas al día 176 después de plena floración, cuando la concentración interna de etileno (CIE) fue de 0.3 mg L⁻¹. Las manzanas cosechadas fueron almacenadas a 0 °C en AC (2% O₂ y 3% CO₂), RA (21% O₂) y AC más 7 días de RA (AC+RA). La composición y concentración de CV fueron evaluadas al momento de la cosecha y después de 1, 3, 5 y 7 meses de almacenamiento. La CIE se determinó de acuerdo a Salas *et al.* (2011). El promedio de la CIE fue calculado del análisis de 10

Introduction

A lot of apple that is grown is stored for later marketing. From the same, a fraction is stored in refrigeration without atmosphere modification (RA), which keeps the fruit available to the market for a short period (Knee, 1993), while another fraction is stored under refrigeration with controlled atmosphere (AC), to maintain the attributes of quality (firmness, color, acidity, etc.) for a longer time, compared to air-cooled storage (RA) Karder (1986); Dixon and Hewett, (2000). The storage with low concentrations of oxygen causes a reduction and modification of volatile compounds synthesized by fruits (López *et al.*, 1998; López *et al.*, 2000; Fellman *et al.*, 2003; Echeverría *et al.*, 2004) which, at the end of the storage period, may result in apples having a satisfactory appearance and firmness, but with loss of their typical taste because the volatile compounds are of great importance, since they influence the characteristic flavor of each fruit.

In the apple, about 400 volatile compounds (CV) have been identified (Forney *et al.*, 2009). The synthesis of these compounds may be affected by several factors, including storage. The present study was carried out with apple 'Red Delicious', which is one of the varieties that are most cultivated in Chihuahua, Mexico (SAGARPA, 2015). Because apples grown in this state are notable for their taste (Bismark 2002), it is important to determine the impact of the storage period on RA and AC, on production of CV.

It was selected for this study, tree with 35-year-old, of the commercial orchard located in Cuauhtémoc, Chihuahua, Mexico (28° 23' 51.43" north latitude, 106° 49' 05.79" longitude west, at 2 062 m). The apples were harvested at day 176 after full bloom, when the internal ethylene concentration (CIE) was 0.3 mg L⁻¹. The harvested apples were stored at 0 °C in AC (2% O₂ and 3% CO₂), RA (21% O₂) and AC plus 7 days of RA (AC + RA). The composition and concentration of CV were evaluated at the time of harvest and after 1, 3, 5 and 7 months of storage. The CIE was determined according to Salas *et al.* (2011). The CIE average was calculated from the analysis of 10 apples per variety. The concentration of CV was determined by gas

manzanas por variedad. La concentración de CV se determinó por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (Varian Saturn 2100D GC/MS), utilizando la técnica de microextracción en fase sólida (SPME) (Salas *et al.*, 2011).

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se utilizó un diseño de modelo mixto, con condiciones de almacenamiento, período de almacenamiento y replicación como factores fijos, y replicación anidados en el tratamiento como factor aleatorio, se realizó utilizando el software estadístico SAS versión 9 (SAS Institute, Cary, NC). Se realizó la comparación de medias por LSM $p \leq 0.05$.

En este estudio 44 compuestos volátiles (9 aldehídos: butanal, 2-metil butanal, pentanal, *cis* 3 hexenal, hexanal, 2-hexenal, benzaldehído, nonanal y decanal. 10 alcoholes: 1-butanol, 2-metil 1-propanol, 2-metil 1-butanol, 1-pentanol, 3-hexen-1-ol (Z), 2-hexen-1-ol (E), 1-hexanol, 1-heptanol, 2-etil 1-hexanol y 1-octanol y 25 ésteres: acetato de etilo, etil propanoato, n-propil acetato, metil butanoato, 2-metil propil acetato, metil 2-metil butanoato, etil butanoato, propil propanoato, acetato de butilo, etil 2-metil butanoato, 2-metil butil acetato, etil pentanoato, butil propanoato, acetato de pentilo, 3-metil buten-1-ol acetato, butil butanoato, 3-hexen-1-ol acetato, acetato de hexilo, butil 2-metil butanoato, propil hexanoato, hexil propanoato, hexil butirato, etil octanoato, hexil 2-metil butirato, hexil hexanoato) fueron identificados y cuantificados, durante el almacenamiento de manzana. Los CV más abundantes y su evolución se muestran en el Cuadro 1.

chromatography coupled to mass spectrometry (Varian Saturn 2100D GC/MS), using solid phase microextraction (SPME) technique (Salas *et al.*, 2011).

For the statistical analysis of the data, we used a mixed model design, with storage conditions, period of storage and replication as fixed factors, and replication nested in the treatment as a random factor, was performed using statistical software SAS version 9 (SAS Institute, Cary, NC). The comparison of means by LSM $p \leq 0.05$ was performed.

In this study 44 volatile compounds (9 aldehydes: butanal, 2-methyl butanal, pentanal, *cis* 3-hexenal, hexanal, 2-hexenal, benzaldehyde, nonanal and decanal. 10 alcohols: 1-butanol, 2-methyl-1-propanol, 2 3-hexene-1-ol (Z), 2-hexen-1-ol (E), 1-hexanol, 1-heptanol, 2-ethyl-1-hexanol and 1-octanol and 25 esters: ethyl acetate, ethyl propanoate, n-propyl acetate, methyl butanoate, 2-methyl propyl acetate, methyl 2-methyl butanoate, ethyl butanoate, propyl propanoate, butyl acetate, ethyl 2-methyl butanoate, 2-methyl Butyl acetate, ethyl pentanoate, butyl propanoate, pentyl acetate, 3-methyl buten-1-ol acetate, butyl butanoate, 3-hexen-1-ol acetate, hexyl acetate, butyl 2-methyl butanoate, propyl hexanoate, hexyl propanoate, Hexyl butyrate, ethyl octanoate, hexyl 2-methyl butyrate, hexyl hexanoate) were identified and quantified during storage of ‘Red Delicious’ apple. The most abundant CVs and their evolution are shown in Table 1.

Cuadro 1. Compuestos volátiles más abundantes (mg L⁻¹) en manzana ‘Red Delicious’ en diferentes condiciones de almacenamiento.

Table 1. Most abundant volatile compounds (mg L⁻¹) in ‘Red Delicious’ apple under different storage conditions.

Compuestos volátiles	Cosecha	Mes	Almacenamiento		
			RA	AC	AC+RA
<i>cis</i> 3-hexenal	12.498	1	10.509 aA	3.896 aB	3.336 aB
		3	4.467 bA	8.519 bB	27.614 bC
		5	1.785 cA	5.675 aB	7.611 cC
		7	-	1.619 cA	2.404 aA
Hexanal	2.041	1	1.462 aA	2.315 aA	1.321 aA
		3	2.46 abA	4.52 bB	4.049 bB
		5	3.069 bA	5.097 bB	1.465 aC
		7	-	2.56 aA	1.926 aA

Los valores representan la media de tres repeticiones. Medias con el mismo periodo de almacenamiento con diferente letra mayúscula son significativamente diferentes $p \leq 0.05$ (LSM). Medias con la misma condición de almacenamiento con diferente letra minúscula son significativamente diferentes $p \leq 0.05$ (LSM). Trazas (Tr) son valores por debajo de 0.0005 (mg L⁻¹).

Cuadro 1. Compuestos volátiles más abundantes (mg L⁻¹) en manzana ‘Red Delicious’ en diferentes condiciones de almacenamiento. (Continuación).**Table 1. Most abundant volatile compounds (mg L⁻¹) in ‘Red Delicious’ apple under different storage conditions. (Continuation).**

Compuestos volátiles	Cosecha	Mes	Almacenamiento		
			RA	AC	AC+RA
2-hexenal	27.294	1	14.046 aA	18.333 aB	2.269 aC
		3	17.455 bA	14.127 bA	17.2 bA
		5	21.05 bA	17.223 aA	2.93 aB
		7	-	4.437 cA	5.545 aA
1-butanol	Tr	1	0.680 aAB	0.762 aA	0.396 aB
		3	1.167 bA	0.808 aB	0.359 aC
		5	1.226 bA	0.833 aB	0.07 bC
		7	-	0.408 bA	0.0005 bB
2-metil 1-butanol	11.119	1	42.73 aA	45.865 aA	27.707 aB
		3	40.189 aA	20.485 bB	10.485 bC
		5	49.684 aA	20.498 bB	9.008 bC
		7	-	5.433 cA	4.948 bA
1-hexanol	0.028	1	1.115 aA	0.161 aA	1.809 aA
		3	7.493 bA	0.359 aB	1.818 aB
		5	8.258 bA	0.27 aB	2.374 aB
		7	-	0.116 aA	0.219 aA
Acetato de etilo	0.004	1	0.007 aA	20.472 aB	0.006 aA
		3	0.006 aA	2.541 bB	0.01 aA
		5	0.425 aA	0.006 cA	0.005 aA
		7	-	0.003 c	0.005 a
2-metil propil acetato	0.009	1	0.022 aA	0.013 aB	0.029 aA
		3	0.023 aA	0.013 aB	0.025 aA
		5	0.02 aA	0.016 aA	0.039 bB
		7	-	0.013 aA	0.037 bA
Metil 2-metil butanoato	0.0005	1	Tr	0.002	Tr
		3	Tr	Tr	Tr
		5	0.0006	Tr	Tr
		7	-	Tr	Tr
Etil butanoato	0.001	1	0.034 aA	15.866 aB	0.071 aA
		3	0.032 aA	1.522 bA	0.015 aA
		5	0.792 aA	0.01 bA	0.001 aA
		7	-	Tr	0.0005 a

Los valores representan la media de tres repeticiones. Medias con el mismo periodo de almacenamiento con diferente letra mayúscula son significativamente diferentes $p \leq 0.05$ (LSM). Medias con la misma condición de almacenamiento con diferente letra minúscula son significativamente diferentes $p \leq 0.05$ (LSM). Trazas (Tr) son valores por debajo de 0.0005 (mg L⁻¹).

Cuadro 1. Compuestos volátiles más abundantes (mg L⁻¹) en manzana ‘Red Delicious’ en diferentes condiciones de almacenamiento. (Continuación).**Table 1. Most abundant volatile compounds (mg L⁻¹) in ‘Red Delicious’ apple under different storage conditions. (Continuation).**

Compuestos volátiles	Cosecha	Mes	Almacenamiento		
			RA	AC	AC+RA
Propil propanoato	0.001	1	0.027 aA	0.145 aB	0.018 A
		3	0.017 aA	0.027 bA	Tr
		5	0.01 aA	0.003 bA	Tr
		7	-	0.0005 b	Tr
Acetato de butilo	0.035	1	37.983 aA	1.274 aB	8.913 aC
		3	42.481 bA	4.932 bB	3.895 bB
		5	32.649 cA	1.753 aB	1.977 cbB
		7	-	0.073 aA	0.22 cA
Etil 2-metil butanoato	0.001	1	0.005 aA	9.805 aB	0.043 B
		3	0.004 aA	0.014 bA	Tr
		5	0.015 aA	0.0005 bA	Tr
		7	-	0.0005 b	Tr
2-metil butil acetato	2.162	1	28.371 aA	5.805 aB	9.208 aC
		3	8.236 bA	1.59 bB	4.294 bB
		5	5.172 bA	0.68 bB	3.084 bcB
		7	-	0.305 bA	0.88 cA

Los valores representan la media de tres repeticiones. Medias con el mismo periodo de almacenamiento con diferente letra mayúscula son significativamente diferentes $p \leq 0.05$ (LSM). Medias con la misma condición de almacenamiento con diferente letra minúscula son significativamente diferentes $p \leq 0.05$ (LSM). Trazas (Tr) son valores por debajo de 0.0005 (mg L⁻¹).

La mayor producción de CV, ocurre después del primer mes de almacenamiento en RA y AC. Después de 3 y 5 meses de almacenamiento en RA, la concentración de CV permanece alta, en contraste con la concentración de CV en manzana almacenada en el mismo periodo en AC, mostrando 49% y 59%, menos que en manzana almacenada en RA (Figura 1).

Al momento de la cosecha, 2-hexenal, *cis*-3-hexenal and 2-metil 1-butanol, abarcan 91% del total de CV contenidos en la fruta. Estos aldehídos tienen una descripción sensorial a “verde/agudo” y “como-hoja” respectivamente (Rizzolo *et al.*, 1989; Defilippi *et al.*, 2009) y el 2-metil butanol “como afrutado” (Dimick and Hoskin, 1981). Mientras, que después del primer mes de almacenamiento en RA las manzanas produjeron principalmente 2-metil 1-butanol, acetato de butilo, 2-metil butil acetato, 2-hexenal y *cis*-3-hexenal, estos compuestos abarcaron 95% del total CV.

The highest CV production is observed after the first month of storage in RA and AC. After 3 and 5 months of storage in RA, the concentration of CV remains high, in contrast to the concentration of CV in apple stored in the same period in CA, showing 49% and 59% respectively, less than in apple stored in RA (Figure 1).

At the time of harvest, 2-hexenal, *cis*-3-hexenal and 2-methyl-1-butanol comprise 91% of the total CV contained in the fruit. These aldehydes have a “green/acute” and “as-leaf” sensory description respectively (Rizzolo *et al.*, 1989; Defilippi *et al.*, 2009) and 2-methyl butanol as “fruity” (Dimick and Hoskin, 1981). Whereas, after the first month of RA storage, apples mainly produced 2-methyl 1-butanol, butyl acetate, 2-methyl butyl acetate, 2-hexenal and *cis*-3-hexenal, these compounds accounted for 95% of the total CV.

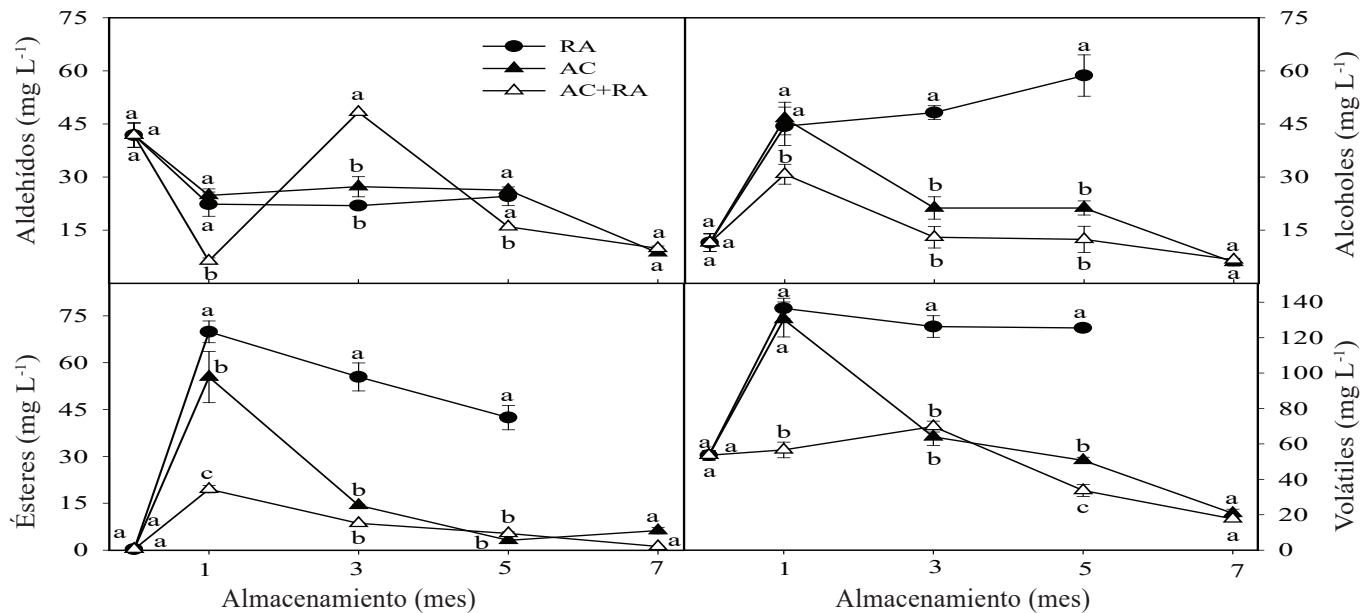


Figura 1. Aldehídos, alcoholes, ésteres y compuestos volátiles totales, en manzana “Red Delicious” almacenada en diferentes condiciones. Los valores representan la media de tres repeticiones y las barras verticales representan \pm ES. Medias con diferentes letras son significativamente diferentes $p \leq 0.05$ (LSM).

Figure 1. Aldehydes, alcohols, esters and total volatile compounds in “Red Delicious” apple stored under different conditions. Values represent the mean of three replicates and the vertical bars represent \pm ES. Means with different letters are significantly different $p \leq 0.05$ (LSM).

Las manzanas almacenadas en AC produjeron principalmente 2-metil 1-butanol, acetato de etilo, 2-hexenal, etil butanoato y etil 2-metil butanoato, representando 87% del total de CV. Por su parte las manzanas con el tratamiento AC+RA, presentaron los mismos compuestos que las manzanas almacenadas en RA: 2-metil 1-butanol, 2-metil butil acetato, acetato de butilo, *cis*-3-hexenal y 2-hexenal, representando 89% del total de VC. Los resultados de la manzana almacenada con el tratamiento AC+AR muestran un decremento significativo en las concentraciones de acetato de etilo, etil butanoato y etil 2-metil butanoato, disminuyendo la concentración de estos compuestos en 99% en comparación con las manzanas almacenadas en AC. Se observa además, una recuperación en la concentración de compuestos como acetato de butilo y 2-metil butil acetato de 86 y 65% respectivamente.

Éste resultado sugiere que el tratamiento AC+RA no fue el adecuado para que la producción de compuestos volátiles, se incrementara en el periodo posterior al almacenamiento en AC; esto puede ser debido a un efecto residual, en la producción de CV, después de almacenamiento de manzanas AC. Estos resultados indican una probable relación entre la inhibición de la respiración y la alteración

The apples stored in AC mainly produced 2-methyl 1-butanol, ethyl acetate, 2-hexenal, ethyl butanoate and ethyl 2-methyl butanoate, representing 87% of the total CV. The apples with the AC+RA treatment had the same compounds as those stored in RA: 2-methyl 1-butanol, 2-methyl butyl acetate, butyl acetate, *cis*-3-hexenal and 2-hexenal, representing 89% of the total CV. The results of apple stored with the AC+AR treatment showed a significant decrease in the concentrations of ethyl acetate, ethyl butanoate and ethyl 2-methyl butanoate, reducing the concentration of these compounds by approximately 99% compared to apples stored in AC. There is also a recovery in the concentration of compounds such as butyl acetate and 2-methyl butyl acetate of 86 and 65% respectively.

This result suggests that the AC+RA treatment was not adequate for the production of volatile compounds to increase in the post-AC storage period; this may be due to a residual effect, on CV production, after storage of AC apples. These results indicate a likely relationship between inhibition of respiration and alteration of the production of volatile compounds especially after storage under AC conditions that inhibit overdriving. Streif and Bangerth

de la producción de compuestos volátiles especialmente después del almacenamiento en condiciones AC que inhiben la maduración excesivamente. Streif y Bangerth (1988), reportaron depresión respiratoria residual y la disminución de la producción de etileno como resultado de CA de almacenamiento a largo plazo. Por lo que es sugerido, la evaluación distintos periodos posteriores al almacenamiento en atmósferas controladas a diferentes temperaturas.

Después del tercer mes de almacenamiento las manzanas en RA producen principalmente acetato de butilo, 2-metil 1-butanol, 2-metil butil acetato, 2-hexenal y 1-hexanol lo cual representa 96% del total de CV, mientras que las manzanas en AC, producen principalmente 2-metil 1-butanol, 2-hexenal, *cis*-3-hexenal, acetato de butilo y hexenal, mismo que abarcan 94%. Y las manzanas con el tratamiento AC+RA producen principalmente 2-metil 1-butanol, *cis*-3-hexenal, 2-metil butil acetato, 2-hexenal, 1-hexanol y acetato de butilo (Cuadro 1).

Los resultados muestran que el almacenamiento en AC, generó una reducción en la concentración de compuestos volátiles en manzana "Red Delicious"; esta reducción en la producción de CV durante el almacenamiento en AC, ha sido reportado en otras variedades como 'Redchief Delicious' y 'Jonagold' apples (Fellman *et al.*, 2003 and Saquet *et al.*, 2003).

Aunado a lo anterior, los resultados mostraron que el perfil de CV de manzanas "Red Delicious" almacenadas en AC, es diferente al de las manzanas almacenadas en RA. Después de primer mes de almacenamiento se produjeron principalmente ésteres, que ha sido descrito como a "frutal etéreo" y "fruta dulce"; como el butil acetato y el 2-metil butil acetato (Yahia 1994). Por su parte, las manzanas almacenadas en AC producen altas concentraciones de compuestos del tipo ésteres de etilo, como acetato de etilo, etil butanoato y etil-2 metil butanoato, que han sido descritos "como a brandi", "intenso" y "olor picante", respectivamente (Yahia, 1994). En particular, el acetato de etilo es un indicador de posible generación de olores indeseables durante el almacenamiento en CA (Lara *et al.*, 2006), inducidos por la respiración anaeróbica en el fruto, reportado por Mattheis *et al.* (1991).

Como se pudo observar, hay un decremento en la síntesis de acetato de butilo, en las manzanas "Red Delicious" almacenadas en AC, este compuesto es considerado uno de los principales compuestos volátiles que contribuyen en

(1988) reported residual respiratory depression and decreased ethylene production as a result of long-term AC storage. For what is suggested, the evaluation of different post-storage periods in controlled atmospheres at different temperatures.

After the third month of storage the apples in RA mainly produce butyl acetate, 2-methyl 1-butanol, 2-methyl butyl acetate, 2-hexenal and 1-hexanol which represents 96% of the total CV, whereas apples in AC, mainly produce 2-methyl-1-butanol, 2-hexenal, *cis*-3-hexenal, butyl acetate and hexenal, which comprise 94%. And apples with the AC+RA treatment mainly produce 2-methyl 1-butanol, *cis*-3-hexenal, 2-methyl butyl acetate, 2-hexenal, 1-hexanol and butyl acetate (Table 1).

These results show that storage in AC generated a reduction in the concentration of volatile compounds in apple "Red Delicious"; this reduction in CV production during AC storage has been reported in other varieties such as como 'Redchief Delicious' and 'Jonagold' apples (Fellman *et al.*, 2003 and Saquet *et al.*, 2003).

In addition to the above, the results showed that the CV profile of "Red Delicious" apples stored in AC, is different from that of apples stored in RA. After the first month of storage, mainly esters were produced, which has been described as "ethereal fruit" and "sweet fruit"; Such as butyl acetate and 2-methyl butyl acetate (Yahia 1994). For its part, apples stored in AC produce high concentrations of ethyl esters such as ethyl acetate, ethyl butanoate and ethyl 2-methyl butanoate, which have been described as "brandy", "intense" and "odor spicy", respectively (Yahia, 1994). In particular, ethyl acetate is an indicator of possible generation of undesirable odors during storage in CA (Lara *et al.*, 2006), induced by anaerobic respiration in the fruit, reported by Mattheis *et al.* (1991).

As can be seen, there is a decrease in the synthesis of butyl acetate in "Red Delicious" apples stored in AC, this compound is considered one of the main volatile compounds that contribute to the aroma and flavor of most varieties of apple (Fellman *et al.*, 2000). The same decrease in the concentration of butyl acetate has been observed in other varieties stored in CA, such as: Golden Delicious", "Redchief Delicious, "Royal Gala", "Pink Lady" (Fellman *et al.*, 2003; Moya-León *et al.*, 2007; López *et al.*, 2007; Harb *et al.*, 2008)

aroma y sabor de la mayoría de las variedades de manzana (Fellman *et al.*, 2000). Mismo decremento en la concentración de acetato de butilo ha sido observado en otras variedades almacenadas en AC como: “Golden Delicious”, “Redchief Delicious”, “Royal Gala”, “Pink Lady” (Fellman *et al.*, 2003; Moya-León *et al.*, 2007; López *et al.*, 2007; Harb *et al.*, 2008).

Conclusiones

El almacenamiento en atmósferas controladas, ejerce una influencia significativa en el perfil y en la producción total de compuestos volátiles del aroma de manzana “Red Delicious” almacenada después de tres meses. Con el fin de ofrecer una mejor calidad de aroma, por un mayor periodo de tiempo, las regulaciones para las condiciones de almacenamiento de atmósferas controladas deben ser evaluadas. Por su parte, la baja respuesta al tratamiento posterior al almacenamiento en atmósfera controlada, para lograr un incremento en la producción de compuestos volátiles, en este estudio, puede ser debido a la temperatura. Se sugiere evaluar diferentes periodos y temperatura posterior al almacenamiento en atmósfera controlada.

Literatura citada

- Bismark. 2002. Banco de investigación y marketing. Manzano: las variedades de más interés. 1st (Ed.). Irta, Barcelona, España.
- Defilippi, B. G.; Manríquez, D.; Luengwilai, K. and González, A. M. 2009. Aroma volátiles: Biosynthesis and mechanisms of modulation during fruit ripening. *Adv. Bot. Res.* 50:1-37.
- Dimick, P. S. and Hoskin, J. C. 1981. Review of apple flavor state of the art. *CRC Crit. Rev. Food Sci.* 18:387-409.
- Dixon, J. and Hewett, E. 2000. Factors affecting apple aroma/flavour volatile concentration: a review. *J. Crop Hortic. Sci.* 28:155-173.
- Echeverría, G.; Fuentes, T.; Graell, J.; Lara, I. and López, M. L. 2004. Relationship between volatile production, fruit quality and sensory evaluation of ‘Fuji’ apples stored in different atmospheres by means of multivariate analysis. *J. Sci. Food Agr.* 84:5-20.
- Fellman, J. K.; Rudell, D. R.; Mattison, D. S. and Mattheis, J. P. 2003. Relationship of harvest maturity to flavor regeneration after CA storage of “Delicious” apples. *Postharvest Biol. Technol.* 27:39-51.
- Fellman, J. K.; Miller, T. W.; Mattinson, D. S. and Mattheis, J. P. 2000. Factors that influence biosynthesis of volatile flavor compounds in apple fruits. *HortSci.* 35:1026-1033.
- Forney, C. F. 2009. Postharvest issues in blueberry and cranberry and methods to improve market-life. *Acta Hort.* 810:785-798.

Conclusions

The storage in controlled atmospheres exerts a significant influence on the profile and on the total production of volatile compounds of the “Red Delicious” apple aroma stored after 3 months. In order to provide a better flavor quality, for a longer period of time, regulations for storage conditions of controlled atmospheres should be evaluated. On the other hand, the low response to the post-storage treatment in controlled atmosphere, to achieve an increase in the production of volatile compounds, in this study, may be due to the temperature. It is suggested to evaluate different periods and temperature after storage in a controlled atmosphere.

End of the English version



- Harb, J.; Streif, J. and Bangerth, F. 2008. Aroma volatiles of apples as influenced by ripening and storage procedures. *Acta Hort.* 796:93-103.
- Karder, A. A. 1986. Biosynthese des produits volatils de la pomme: formation des alcools et des esters a partir des acides gras. *Phytochemistry.* 18:1165-1171.
- Knee, M. 1993. Pome Fruit: Biochemistry. In: Seymour, G. B.; Taylor, J. E.; Tucker, G. A. Chapman, P. and Hall, E. (Eds.). *Biochemistry of fruit ripening.* University Press. Cambridge, UK. 329-336 pp.
- Lara, I.; Graell, J.; López, M. L. and Echeverría, G. 2006. Multivariate analysis of modifications in biosynthesis of volatile compounds after CA storage of ‘Fuji’ apples. *Postharvest Biol. Technol.* 39:19-28.
- López, M. L.; Lavilla, T.; Recasens, I.; Riba, M. and Vendrell, M. 1998. 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.; Recasens, I.; Graell, J. and Vendrell, M. 2000. Changes in aroma quality of ‘Golden Delicious’ apples after storage at different oxygen and carbon dioxide concentrations. *J. Sci. Food Agric.* 80:311-324.
- López, M. L.; Villatoro, C.; Fuentes, T.; Graell, J.; Lara, I. and Echeverría, G. 2007. Volatile compounds, quality parameters and consumer acceptance of ‘Pink Lady’ apples stored in different conditions. *Postharvest. Biol. Tec.* 43:55-66.
- Mattheis, J. P.; Fellman, J. K.; Chen, P.M. and Patterson, M. E. 1991. Changes in headspace volatiles during physiological development of bisbee Delicious apple fruit. *J. Agric. Food Chem.* 39:1902-1906
- Moya, L. M. A.; Vergara, M.; Bravo, C.; Pereira, M. and Moggia, C. 2007. Development of aroma compounds and sensory quality of ‘Royal Gala’ apples during storage. *The J. Hortic. Sci. Biotech.* 82:403-413.

- Rizzolo, A.; Polesello, A. and Teleky, V. G. Y. 1989. CGC/Sensory analysis of volatile compounds developed from ripening apple fruit. *J. High Res. Chromatog.* 12:824-827.
- Salas, N. A.; Molina, F. J.; González, A. G. A.; Otero, A.; Sepulveda, D. R. and Olivas, G. I. 2011. Volatile production by 'Golden Delicious' apples is affected by preharvest application of aminoethoxyvinylglycine. *Sci. Hort.* 130:436-444.
- Saquet, A. A.; Streif, J. and Bangerth, F. 2003. Impaired aroma production of CA-stored "Jonagold" apples as affected by adenine and pyridine nucleotide levels and fatty acid concentrations. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 78:695-705.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación)- Sistema de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP). 2015. Resumen nacional de avances agrícolas por estado de la República Mexicana. Producción anual. Cierre de la producción agrícola por cultivo. www.siap.gob.mx.
- Streif, J. and F. Bangerth. 1988. Production of volatile aroma substances by Golden Delicious apple fruits after storage for various times in different CO₂ and O₂ concentrations. *J. Hort. Sci.* 63:193-199.
- Yahia, E. M. 1994. Apple flavor. *Hortic. Rev.* 16:197-234.