

PERFIL DE COMPUESTOS VOLÁTILES Y PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE CUATRO VARIETADES DE MANZANA, DURANTE SU MADURACIÓN EN ÁRBOL

Aztrid Elena Estrada-Beltrán, Nora Aideé Salas-Salazar, Rafael Ángel Parra-Quezada, Guadalupe Isela Olivas Orozco, Juan Luis Jacobo-Cuellar, María Antonia Flores-Córdova, Loreto Robles-Hernández, Mayra Cristina Soto-Caballero y María Noemí Frías-Moreno

RESUMEN

La manzana es un fruto climatérico, cuyo proceso de maduración es regulado por la síntesis del etileno. Durante la maduración las manzanas sufren cambios fisiológicos y estructurales, modificando la biosíntesis de compuestos volátiles, la acidez, la firmeza, el color y el contenido en sólidos solubles totales, por lo que el conocimiento de cómo estos parámetros van evolucionando durante su desarrollo es de interés. En este trabajo se evaluó la evolución de distintos parámetros fisicoquímicos de calidad en la producción de etileno y la concentración de compuestos volátiles, de cuatro variedades de manzana durante su desarrollo en árbol. Los resultados obtenidos mostraron que la

variedad Top Red Delicious fue la primera en producir etileno y la más tardía resultó ser Pink Lady; a su vez esta variedad presentó el mayor contenido de ácido málico. Por su parte, la variedad Fuji presentó la mayor firmeza al momento de la cosecha y mayor contenido en sólidos solubles. En las manzanas Pink Lady se identificó la mayor variedad de compuestos volátiles, pero en la suma total de abundancias de compuestos volátiles fueron las manzanas Fuji, las de mayor valor. Por su parte, la variedad Jazz presentó el mayor contenido de los compuestos volátiles considerados de impacto en el aroma de manzana.

Introducción

La manzana (*Malus domestica*) es considerada como una de las especies frutales más cultivadas y más consumidas en

todo el mundo (Yi *et al.*, 2016). Es muy aceptada por el consumidor debido a sus características de calidad, que involucran atributos visuales como apariencia, tamaño y color, y no

visuales tales como textura y sabor (Cunningham *et al.*, 1986). Comúnmente, la elección de un fruto se basa en sus atributos visuales, mientras que la repetición de compra está

determinada por los rasgos internos de calidad, como son el olor y el sabor (Wyllie, 2008). Estos atributos van evolucionando durante el proceso de maduración, experimentando

PALABRAS CLAVE / Aroma / Calidad / Etileno / *Malus domestica* / Sabor /

Recibido: 21/08/2020. Modificado: 31/03/2021. Aceptado: 19/04/2021.

Aztrid Elena Estrada Beltrán. Candidata a Doctora Ciencias Hortofrutícolas, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, México. e-mail: aztrid_eb@hotmail.com.

Nora Aideé Salas Salazar (Autora de correspondencia). Doctora en Ciencias, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), México. Académica, Universidad Autónoma de

Chihuahua (UACH), México. Dirección: Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, UACH. Presa de La Amistad 2015, La Presa, C.P. 31510. Cd Cuauhtémoc, Chih., México. e-mail: nsalas@uach.mx.

Rafael Ángel Parra Quezada. Doctor en Ciencias, Colegio de Posgraduados. Académico, UACH, México. e-mail: raparra@uach.mx.

Guadalupe Isela Olivas Orozco. Doctora en Ciencias, Washington Sate University, EEUU.

Investigadora, CIAD, México. e-mail: golivas@ciad.mx.

Juan Luis Jacobo Cuéllar. Doctor en Ciencias, Colegio de Posgraduados, México. Académico, UACH, México. e-mail: jljacobo@uach.mx.

María Antonia Flores Córdova. Doctora en Ciencias, Universidad Autónoma de Chapingo, México. Académica, UACH, México. e-mail: maflores@uach.mx.

Loreto Robles Hernández. Doctor en Ciencias, Universty of Idaho,

EEUU. Académico, UACH, México. e-mail: lrobles@uach.mx.

Mayra Cristina Soto Caballero. Doctora en Ciencias, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. Académico, UACH, México. e-mail: masotoc@uach.mx.

María Noemí Frías Moreno. Doctora en Ciencias, UACH, México. Académico, UACH, México. e-mail: friasnoemil1@gmail.com.

PROFILE OF VOLATILE COMPOUNDS AND PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF FOUR APPLE VARIETIES, DURING THEIR TREE MATURATION

Aztrid Elena Estrada-Beltrán, Nora Aideé Salas-Salazar, Rafael Ángel Parra-Quezada, Guadalupe Isela Olivas Orozco, Juan Luis Jacobo-Cuellar, María Antonia Flores-Córdova, Loreto Robles-Hernández, Mayra Cristina Soto-Caballero and María Noemí Frías-Moreno

SUMMARY

Apple is a climacteric fruit; its ripening process is regulated by the synthesis of ethylene. During ripening, apples go through physiological and structural changes, modifying the content of volatile compounds, acidity, firmness, color and soluble solids; thus, knowledge of how these parameters develop during ripening is of interest. We evaluated the evolution of quality parameters, ethylene and volatile compounds of four apple varieties during tree development. Results showed that the Top Red Delicious variety was the first to present the pres-

ence of ethylene, while the latest was Pink Lady; in turn, this variety had the highest content of malic acid. For its part, the Fuji variety presented the highest skin firmness at the time of harvest and the highest content of soluble solids. In Pink Lady apples the largest variety of volatile compounds was identified, but in the sum of total abundances of volatile compounds Fuji apples were the most valuable. The Jazz variety had the highest content of volatile compounds considered to have an impact on apple flavor.

PERFIL DE COMPOSTOS VOLÁTEIS E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE QUATRO VARIEDADES DE MAÇÃ, DURANTE SEU AMADURECIMENTO EM ÁRVORE

Aztrid Elena Estrada-Beltrán, Nora Aideé Salas-Salazar, Rafael Ángel Parra-Quezada, Guadalupe Isela Olivas Orozco, Juan Luis Jacobo-Cuellar, María Antonia Flores-Córdova, Loreto Robles-Hernández, Mayra Cristina Soto-Caballero e Maria Noemí Frías-Moreno

RESUMO

A maçã é uma fruta climatérica, cujo processo de amadurecimento é regulado pela síntese do etileno. Durante o amadurecimento, as maçãs sofrem mudanças fisiológicas e estruturais, modificando a biossíntese de compostos voláteis, acidez, firmeza, cor e teor de sólidos solúveis totais, por isso é de interesse o conhecimento de como estes parâmetros evoluem durante seu desenvolvimento. Neste trabalho, foi avaliada a evolução de diferentes parâmetros físico-químicos de qualidade na produção de etileno e a concentração de compostos voláteis de quatro variedades de maçã durante seu desenvolvimento em árvore. Os

resultados obtidos mostraram que a variedade Top Red Delicious foi a primeira a produzir etileno e a mais tardia resultou ser Pink Lady; por sua vez, esta variedade apresentou o maior teor de ácido málico. Já a variedade Fuji apresentou a maior firmeza na hora da colheita e maior teor de sólidos solúveis. Nas maçãs Pink Lady foi identificada a maior variedade de compostos voláteis, mas na soma total de abundâncias de compostos voláteis, foram as maçãs Fuji as de maior valor. Por sua vez, a variedade Jazz apresentou o maior conteúdo dos compostos voláteis considerados de impacto no aroma de maçã.

cambios físicos, metabólicos y bioquímicos; algunos de ellos son iniciados por el etileno, hormona que genera modificaciones del color, ablandamiento de los tejidos y desarrollo del sabor característico del fruto (Wills *et al.*, 1997).

El sabor está integrado por una combinación de gustos dulce y ácido, olor y aroma; estos últimos son determinados por la presencia de compuestos volátiles (Kays y Paull, 2004). Gracias a la tecnología se han identificado más de 400 compuestos volátiles en manzana (Forney *et al.*, 2009), entre los cuales se encuentran ésteres, alcoholes, aldehídos, ácidos, éteres, hidrocarburos y cetonas. Un grupo de entre 20 y 40 de los compuestos volátiles presentes en las manzanas,

tienen un impacto decisivo en la calidad sensorial y son denominados 'compuestos impacto' (Cunningham *et al.*, 1986). La composición y concentración de compuestos volátiles en la manzana puede fluctuar dependiendo de la variedad, condiciones de cultivo, cosecha y almacenamiento (Forney *et al.*, 2009; Salas y Olivas, 2011).

En México, la manzana es producida en la región noreste del país, principalmente en los estados de Chihuahua, Durango y Coahuila, siendo el primero de ellos el principal productor de manzana, contribuyendo con el 89% de la producción nacional (SIAP, 2018). La manzana que se produce en Chihuahua es preferida por el consumidor mexicano debido a

su intenso sabor (Bismark, 2010). En este contexto, el objetivo de este estudio fue determinar los parámetros de calidad y el perfil aromático durante el desarrollo del fruto y posterior cosecha de cuatro variedades de manzana: *Fuji*, *Pink Lady*, *Jazz* y *Top Red Delicious*.

Material y métodos

Material vegetal y diseño experimental

Para este estudio fueron seleccionados árboles de 6 años de un huerto comercial localizado en Cuauhtémoc, Chihuahua, México (28°26'14,60"N, 106°55'15,49"O; 2062msnm). De cada variedad (*Fuji*, *Pink Lady*, *Jazz* y *Top Red*

Delicious) fueron tomadas 40 manzanas de los mismos 10 árboles, las que fueron cosechadas durante su desarrollo en árbol del lado occidental de la copa de cada unidad experimental (árbol) y llevadas al laboratorio para análisis. El contenido total de sólidos solubles, color, firmeza y acidez titulable fueron determinados el mismo día de su cosecha utilizando 8 manzanas por cada una de tres repeticiones. Para la evaluación posterior de compuestos volátiles, se colocaron 20ml de jugo en viales, congelados inmediatamente en nitrógeno líquido y conservado a -79°C. Para la concentración interna de etileno (CIE), se usaron otras 10 manzanas de cada variedad.

Concentración interna de etileno (CIE)

La determinación de la CIE se llevó a cabo introduciendo una jeringa de 1ml con aguja hipodérmica a través del cáliz de la fruta, para extraer 0,2 ml de gas del espacio interior. Las muestras de gas del cáliz fueron analizadas en un cromatógrafo de gases (Varian 3800, EEUU) equipado con una columna empacada Hayesep Q Chromapack de 1,8m y un detector de ionización de flama (FID), utilizando He como gas portador con un flujo de 30ml/min. Las condiciones cromatográficas fueron: temperatura inicial del horno 60°C, sostenida durante 2min, incrementando a 120°C a razón de 60°C/min, sosteniendo esa temperatura por 1,5min. El promedio de la CIE fue calculado del análisis de 10 manzanas por variedad.

Compuestos volátiles (CV)

La concentración de CV en las manzanas se determinó por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (Agilent Technologies 7890B/5977A GC/MS), utilizando la técnica de microextracción en fase sólida (SPME). Se obtuvo jugo de 8 manzanas por repetición, con un procesador de alimentos (Turmix). Se colocaron 20ml del jugo en viales PTFE de 20ml, congelados en nitrógeno líquido y conservados a -78°C hasta su análisis. El jugo fue descongelado a una temperatura de 25°C, en un termobañó (Felisa); posteriormente se tomó una alícuota de 2ml de jugo y fue colocada en un vial de 4ml con 0,65g de NaCl y agitada mientras la fibra SPME (6 µm, PDMS-DVB, Agilent USA) fue expuesta al espacio de cabeza de la muestra por 60min, a temperatura ambiente. Para la desorción de CV, la fibra fue colocada en el puerto de inyección por 5min a 200°C dentro del sistema de GC-MS (Agilent), equipado con una columna DB-WAX (60m×0,25mm, 0,25µm, Agilent USA). Las condiciones cromatográficas fueron:

temperatura del inyector 200°C, temperatura inicial del horno 33°C, sostenida durante 5min, incrementando a 50°C a razón de 2°C/min, incrementando nuevamente la temperatura a 250°C a razón de 5°C/min, sosteniéndola durante 6,5min. Se utilizó He como gas portador con una velocidad lineal de 30cm·s⁻¹. Los espectros de masas se obtuvieron mediante ionización electrónica a 70eV. Las temperaturas de la línea de transferencia y de la trampa de iones fueron 250 y 180°C, respectivamente. La identificación de los CV se realizó por comparación de los espectros de masas obtenidos de las muestras contra los reportados en la biblioteca NIST MS 2014, y contra los espectros obtenidos a partir de estándares de alta pureza adquiridos en Sigma-Aldrich (acetato de n-propilo, acetato de butilo, hexanal, butanol, acetato de pentilo, butil 2-metilbutanoato, trans 2-hexenal, acetato de hexilo, butanoato de hexilo, hexil 2-metilbutanoato, hexanol) analizados bajo idénticas condiciones que las muestras. Todos los valores representan el promedio de tres repeticiones.

Sólidos solubles (°Brix)

Los sólidos solubles se determinaron en un refractómetro de mesa Atago DR-A1, con el jugo de 8 manzanas como repetición. Los análisis se realizaron por triplicado. Los resultados obtenidos se expresaron en °Brix.

Acidez titulable

Se tomaron 10 ml de jugo de manzana obtenido de ocho frutos por repetición, los cuales fueron valorados con NaOH 0,1N y fenolftaleína como indicador. Los valores se expresaron como % de ácido málico. Los análisis se realizaron por triplicado.

Color

Para evaluar el color se utilizó un colorímetro CM-700d/600d (Konica, Minolta).

Se realizaron dos mediciones por manzana (24 manzanas por variedad), en dos lados opuestos del área ecuatorial. Los valores se obtuvieron en el espacio de color CIELab (L, a, b), y fue calculado el tono o °Hue. En la variedad *Pink Lady*, por ser una manzana bicolor, se midió en la cara expuesta a la luz (CE) y en la cara sombreada (CS), separando los valores de °HUE.

Firmeza

La firmeza se determinó a 24 manzanas por variedad, de acuerdo a Shafiee *et al.*, 2008, con modificaciones. Se usó un analizador de textura (CT3, Brookfield Engineering Laboratories, Inc., EEUU) mediante el método de punción con punta cilíndrica de 7mm de diámetro, fuerza inicial de 10g, deformación de 10mm y velocidad de 10mm·s⁻¹. Los resultados se expresaron en Newton (N).

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9 (SAS Institute, Cary, NC, EEUU). Se utilizó un diseño completamente aleatorio, con arreglo de tratamientos en parcelas divididas, con variedad como parcela grande y tiempo anidado en ella. Las medias fueron separadas por mínimos cuadrados (LS) con un nivel de confiabilidad del 95%. Los datos de compuestos volátiles se analizaron mediante PROC MIXED y la comparación estadística de medias fue realizada con la prueba de Tukey. Los datos de CIE se analizaron bajo la prueba no paramétrica de Mann-Whitney.

Resultados y Discusión

Firmeza, contenido en ácido málico y sólidos solubles totales durante el desarrollo

La Tabla I muestra la evolución de parámetros de calidad de las cuatro variedades de manzana analizadas en este estudio. Se puede observar que la variedad *Fuji* presenta los

valores más altos de firmeza en la fecha de cosecha comercial (185 ddpf). Varias investigaciones indican que la firmeza de la fruta es uno de los principales parámetros de aceptación por parte del consumidor (Daillant-Spinnler *et al.*, 1996).

La variedad *Pink Lady* fue la que resultó con mayor porcentaje de ácido málico; del día 150 al 171 después de plena floración (ddpf) no muestra disminución significativa en su contenido durante su desarrollo en árbol y al momento de la cosecha comercial al día 171 ddpf mantiene valores de 0,79%, contrastando con la *Top Red Delicious* que al momento de su cosecha comercial presenta 0,28% de ácido málico. En el momento de la cosecha de todas las variedades, aquella que mostró un mayor contenido en sólidos solubles fue la variedad *Fuji* (15,66 °Brix), que juntamente con la variedad *Top Red Delicious* (15,50 °Brix) fueron las que mostraron valores más altos y, por tanto, se consideran las más adecuadas para la elaboración de jugos.

Color de las manzanas durante su desarrollo

El color superficial constituye el parámetro de calidad más visible en las manzanas, el cual está asociado a la aceptación visual del consumidor. El pigmento responsable del color en las manzanas son las antocianinas, cuya síntesis es afectada entre otras cosas, por la madurez y variedad (Iglesias *et al.*, 1999). La Tabla I muestra el cambio de color en °Hue, durante el desarrollo de tres variedades rojas analizadas: *Fuji*, *Jazz* y *Top Red Delicious*. En el rango de valores de las tres variedades comparadas, valores más bajos de °Hue, indican mayor coloración del fruto, siendo la manzana *Top Red Delicious* la que presenta al momento de la cosecha el valor más bajo (23,61 °Hue), mientras que el valor más alto fue en la variedad *Fuji* (65,49 °Hue), variedad que también presentó la mayor abundancia de compuestos volátiles.

TABLA I
PARÁMETROS DE CALIDAD DE CUATRO VARIEDADES DE MANZANA

| Variedad | Días después de plena floración | | | | | |
|---------------------------|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 144 | 158 | 172 | 176 | 185 | |
| <i>Fuji</i> | | | | | | |
| Firmeza (N) | 44,49 a | 39,87 b | 40,58 b | 40,81 b | 38,10 b | |
| Acidez (% ácido málico) | 0,25 a | 0,43 b | 0,39 c | 0,37 c | 0,34 c | |
| Sólidos Solubles (° Brix) | 12,86 a | 12,86 ab | 14,96 b | 15,10 b | 15,66 b | |
| Color (° Hue) | 87,24 a | 85,33 ab | 76,84 bc | 73,17 c | 65,49 d | |
| CIE (ppm) | 0,10 a | 0,44 a | 0,24 a | 0,37 a | 6,42 a | |
| <i>Jazz</i> | | | | | | |
| Firmeza (N) | 44,93 a | 39,80 b | 37,95 bd | 37,42 bd | 36,50 cd | 36,12 cd |
| Acidez (% ácido málico) | 0,31 a | 0,55 b | 0,53 b | 0,48 c | 0,47 c | 0,51 c |
| Sólidos Solubles (° Brix) | 12,23 a | 14,53 b | 15,10 b | 14,73 b | 15,00 b | 14,23 b |
| Color (° Hue) | 82,95 a | 70,38 b | 52,47 c | 40,53 c | 43,12 c | 41,26 c |
| CIE (ppm) | 0,02 a | 0,16 a | 1,14 a | 2,61 a | 5,86 a | 6,42 a |
| <i>Top Red Delicious</i> | | | | | | |
| Firmeza (N) | 41,43 a | 39,50 a | 38,50 ab | 35,94 b | | |
| Acidez (% ácido málico) | 0,28 a | 0,35 b | 0,32 b | 0,28 b | | |
| Sólidos Solubles (° Brix) | 12,66 a | 15,56 b | 15,80 b | 15,50 b | | |
| Color (° Hue) | 30,64 a | 27,74 ab | 25,09 b | 23,61 b | | |
| CIE (ppm) | 0,15 a | 0,24 a | 12,44 b | 18,95 b | | |
| <i>Pink Lady</i> | | | | | | |
| Firmeza (N) | 37,34 a | 34,55 ab | 34,28 ab | 34,33 ab | 32,68 b | |
| Acidez (% ácido málico) | 0,48 a | 0,86 b | 0,81 b | 0,79 b | 0,79 b | |
| Sólidos Solubles (° Brix) | 14,00 a | 14,26 a | 13,70 a | 13,50 a | 14,30 a | |
| Color (° Hue) CE | 101,92 a | 89,29 b | 83,07 bc | 76,34 cd | 68,63 d | |
| Color (° Hue) CS | 102,33 a | 99,50 ab | 98,02 ab | 98,5 ab | 90,41 b | |
| CIE (ppm) | 0,17 a | 0,10 a | 0,14 a | 0,20 a | 0,27 a | |

Medias a través del desarrollo en el árbol y en la cosecha comercial, con diferente letra minúscula son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$ - Tukey) y etileno ($\alpha \leq 0,05$ - prueba no paramétrica de Mann-Whitney). CE: cara expuesta al sol, CS: cara sombreada.

Iglesias *et al.* (2012) reportaron que la manzana con mayor porcentaje de compuestos volátiles y menor °Hue fue la que presentó una mayor aceptabilidad entre los consumidores. En cuanto a la variedad *Pink Lady*, al momento de la cosecha la cara expuesta al sol tuvo un valor de 68,63 °Hue, con tonalidades más al rojo rosado, en comparación con el lado sombreado que tuvo un valor de 90,41° Hue, con tonalidades más al verde-amarillo.

CIE de las manzanas durante su desarrollo

Cada cultivar mostró un patrón distinto de producción de etileno durante el período de muestreo. Únicamente en las manzanas *Top Red Delicious* se produjo un aumento en la producción de etileno cerca de la cosecha comercial. En *Fuji*, *Jazz* y *Pink Lady*, la producción de etileno aumentó constantemente; sin embargo, este

incremento no fue significativo comparado con la CIE al momento de la cosecha comercial de estas variedades (Tabla I).

La CIE es un indicador adecuado de la maduración climática. Fellman *et al.* (2003) señala que la manzana mantiene su calidad durante su almacenamiento si se cosecha justo antes del aumento autocatalítico del etileno.

Compuestos volátiles de manzanas durante su desarrollo

En la Figura 1 se puede apreciar la abundancia de volátiles a través del desarrollo del fruto en el árbol. La variedad *Jazz* fue la que presentó mayor contenido de compuestos volátiles a los 185 ddpf, mientras que la variedad *Pink Lady* presentó la menor abundancia relativa de compuestos volátiles a los 170 ddpf, lo cual puede estar relacionado con la producción de etileno,

ya que éste es un factor limitante para la producción de aquellos compuestos volátiles que dependen del etileno en la fruta cosechada (Song y Bangert, 1996).

La Tabla II muestra los compuestos volátiles encontrados en la variedad *Fuji*, siendo un total de 25, los cuales fueron 7 aldehídos, 6 ésteres, 8 alcoholes, 1 cetona y 3 ácidos carboxílicos. Los ésteres que se presentaron en mayor abundancia al momento de la cosecha, fueron el acetato de 2-metilbutilo, el acetato de butilo y el acetato de hexilo, los cuales se encuentran dentro de los que contribuyen al perfil del aroma de la manzana *Fuji* (Lara *et al.*, 2006).

En la Tabla III se muestra los compuestos volátiles encontrados en la variedad *Jazz*, siendo un total de 41, que fueron 17 ésteres, 12 alcoholes, 4 aldehídos, 2 ácidos carboxílicos, 1 cetona, 1 éter, 1 fenol y 1 diol. Esta fue la variedad que presentó una mayor diversidad de compuestos volátiles, y entre estos los de mayor abundancia fueron acetato de 2-metilbutilo, acetato de butilo, acetato de hexilo, hexanol y (E)-2-hexenal.

La Tabla IV muestra un total de 27 compuestos volátiles encontrados en la variedad *Pink Lady*, que fueron 5 ésteres, 9 alcoholes, 8 aldehídos, 2 ácidos carboxílicos, 3 cetonas, 1 diol y 2 éteres. El acetato de hexilo fue el éster más abundante al momento de la cosecha, seguido por el acetato de 2-metilbutilo, habiendo sido ambos

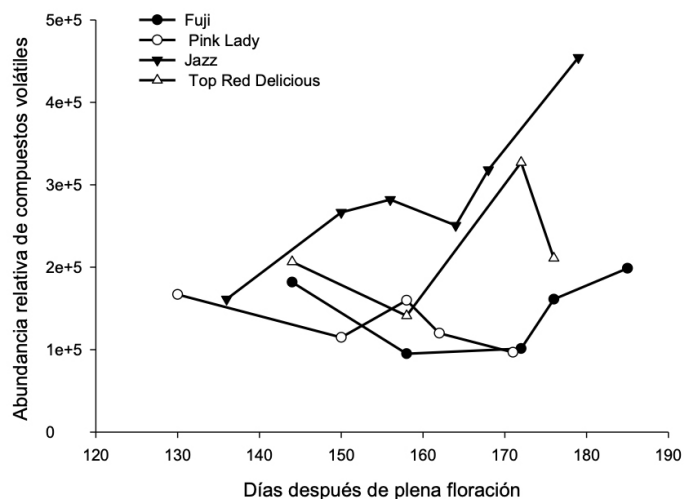


Figura 1. Abundancia de volátiles durante el desarrollo de distintas variedades de manzana.

TABLA II
COMPUESTOS VOLÁTILES DURANTE EL DESARROLLO DE MANZANA FUJI

| TR | Compuestos volátiles | Iones de diagnóstico (m/z) | Días después de plena floración | | | | |
|-------|--|--------------------------------------|---------------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| | | | 144 | 158 | 172 | 176 | 185 |
| 18,25 | Acetato de butilo | 43(999)56(371)41(189)73(181)61(146) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 3,54 ±1,15 |
| 18,64 | Hexanal | 56(999)44(889)41(810)57(668)43(569) | 23,26 ±3,67 | 34,78 ±5,62 | 27,01 ±4,52 | 19,04 ±3,55 | 16,06 ±1,19 |
| 20,48 | Acetato de 2-metil butilo | 43(999)70(298)55(143)41(128)29(117) | 2,07 ±0,18 | 2,91±0,62 | 6,45 ±1,13 | 5,45 ±0,47 | 20,16 ±2,93 |
| 20,58 | 3-Metil 2-butenal | 84(999)55(765)41(573)83(532)39(500) | n.d. | 0,61 ±0,01 | n.d. | n.d. | n.d. |
| 21,31 | 3-Hexenal | 41(999)69(516)55(398)39(352)42(190) | 39,26 ±6,67 | 26,22 ±9,14 | 21,81 ±10,11 | 11,20 ±1,65 | 4,31 ±1,74 |
| 21,51 | 2-Metil 4-pental | 41(999)39(302)56(266)69(248)42(223) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 2,53 ±0,01 |
| 22,57 | Acetato de pentilo | 43(999)70(538)42(498)61(409)55(375) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,48 ±0,01 |
| 23,90 | 2-Metil 1-butanol | 57(999)41(877)56(877)29(700)70(423) | 1,00 ±0,29 | 2,38 ±0,44 | 6,67 ±2,60 | 3,83 ±0,74 | 5,92 ±0,63 |
| 24,30 | 2-Hexenal | 41(999)39(631)27(604)55(586)42(557) | 7,51 ±0,75 | 3,98 ±0,18 | 4,62 ±2,69 | 38,76 ±0,31 | 39,17 ±6,88 |
| 25,27 | Acetato de (E)-2-metilbut-2-enilo | 43(999)67(617)68(588)41(368)86(325) | n.d. | 0,43 ±0,12 | n.d. | n.d. | 0,85 ±0,27 |
| 26,14 | Acetato de hexilo | 43(999)56(573)55(292)61(246)42(224) | 0,96 ±0,05 | 1,09 ±0,13 | 1,47 ±0,01 | 0,95 ±0,05 | 1,64 ±0,06 |
| 27,10 | 1-Hidroxil 2- propanona | 43(999)31(179)74(107)29(66)42(55) | 0,82 ±0,01 | 0,82 ±0,01 | n.d. | n.d. | n.d. |
| 27,39 | 2-Metil 2-butenol | 71(999)86(500)43(470)41(420)39(250) | n.d. | n.d. | 0,95 ±0,41 | n.d. | n.d. |
| 27,55 | Acetato de (Z)- hex-3-enilo | 43(999) 67(846)82(487)41(212)39(165) | 2,66 ±0,63 | 1,47 ±0,18 | 1,55 ±0,37 | n.d. | n.d. |
| 28,72 | Hexanol | 56(999)43(831)41(590)55(569)42(534) | 5,68 ±1,38 | 4,28 ±0,86 | 9,51 ±3,92 | 3,87 ±0,88 | 4,64 ± 0,17 |
| 29,08 | (E)-2-Hexen-1-ol | 57(999)41(432)27(205)82(205)44(182) | 0,50 ±0,01 | 2,96 ±0,53 | n.d. | n.d. | n.d. |
| 29,65 | (3Z)-3-Hexen-1-ol | 67(999)41(750)39(390)55(382)82(321) | 8,24 ±2,09 | 5,13 ±0,90 | 7,16 ±2,71 | 6,03 ±3,65 | n.d. |
| 30,27 | (E)-Hex-2-en-1-ol | 57(999)41(474)67(323)39(295)82(283) | 1,95 ±0,32 | 1,95 ±0,32 | 4,68 ±1,83 | 2,42 ±0,71 | 0,75 ±0,04 |
| 31,96 | Furan-2-carbaldehído | 96(999)95(991)39(644)38(226)29(201) | 2,97 ±0,01 | 2,97 ±0,01 | n.d. | 2,09 ±0,01 | 0,97 ±0,01 |
| 36,87 | Furano | 98(999)41(630)53(573)81(562)39(550) | 3,03 ±0,01 | 2,47 ±1,67 | 0,91 ±0,17 | 2,57 ±0,01 | n.d. |
| 37,45 | Ácido 2-metil butanoico | 74(999)57(638)29(621)41(528)27(323) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,95 ±0,01 |
| 39,55 | (2E)-4-Oxo-2-hexenal | 83(999)55(483)112(176)84(152)57(129) | 1,09 ±0,34 | 5,16 ±0,51 | 2,04 ±0,84 | 3,16 ±0,98 | n.d. |
| 41,69 | 2- Metil propanoato de 3 hidroxil 2,4,4-trimetil pentilo | 56(999)43(406)57(318)55(284)41(267) | 1,41 ±0,36 | 1,54 ±0,21 | 2,08 ±0,94 | 1,48 ±1,16 | 0,49 ±0,05 |
| 42,19 | 2-Metilpropanoato de 2,2,4-trimetil -3-(2-metil propano iloxi) pentilo | 71(999)43(667)56(199)41(168)83(131) | 1,30 ±0,18 | 0,53 ±0,37 | 0,68 ±0,01 | 1,01 ±0,57 | n.d. |
| 43,68 | Tetrahidropiran-2-metanol | 85(999)29(583)41(569)31(374)57(349) | 1,96 ±0,65 | 5,44 ±0,30 | 2,77 ±0,96 | 1,88 ±0,40 | n.d. |

reportados como importantes para la aceptación de la manzana *Pink Lady* (López *et al.*, 2007).

La Tabla V muestra un total de 37 compuestos volátiles encontrados en la variedad *Top Red Delicious*, los cuales fueron 12 ésteres, 11 alcoholes, 7 aldehídos, 2 ácidos carboxílicos, 2 cetonas, 1 diol y 1 éter.

La Tabla VI muestra las concentraciones de los compuestos impacto en el sabor encontrados en las variedades de manzana analizadas. Se observa que la variedad que presentó más de estos compuestos descritos como de impacto en el sabor fue la *Jazz* con diez compuestos, a diferencia de la *Pink Lady* que solo presentó cinco. También se observa que los cuatro compuestos que se presentaron en todas las variedades fueron el hexanal, el 2-hexenal, el acetato de hexilo y el hexanol, los cuales han sido descritos con

aroma afrutado. El hexanal y el 2-hexenal aportan un sabor intenso a verde (Rizzolo *et al.*, 1989), el acetato de hexilo ha sido descrito con aroma afrutado (Dimick y Hoskin., 1983) y el hexanol por su parte tiene olor a fresco, verde (Mehinagic *et al.*, 2006).

Conclusiones

De las cuatro variedades analizadas en este estudio, la variedad *Top Red Delicious* fue la única en presentar un aumento significativo en la CIE durante su desarrollo en árbol y la más tardía fue *Pink Lady*; a su vez, esta última variedad presentó el mayor contenido de ácido málico, por lo que pudiera ser cosechada con mayor cantidad de días después de plena floración. Por su parte, la variedad *Fuji* presentó la mayor firmeza de piel al momento de la cosecha y mayor contenido en sólidos solubles. La

mayor diversidad de compuestos volátiles se identificó en la variedad *Pink Lady* y la mayor abundancia en la variedad *Fuji*, sin embargo, las manzanas *Jazz* presentaron el mayor contenido de los compuestos volátiles considerados de impacto, los cuales por orden de concentración fueron: acetato de butilo, 2-hexenal E, hexanol, butanol, acetato de hexilo, butil 2-metilbutanoato, hexanal, hexil 2-metilbutanoato, acetato de n-propilo y acetato de pentilo, lo que la convierte en la variedad más aromática de las cuatro analizadas.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México, a través del proyecto 226106 Infraestructura 2014 y por el Ing. Hugo Flores Medina, quién permitió el acceso a su

huerta y aportó la materia prima para el desarrollo del trabajo.

REFERENCIAS

- Bismark (2010) *Competitividad de la Manzana Mexicana de Diferentes Orígenes en 5 Ciudades del Bajío*. Procesos y Análisis Estadísticos. México. 56 pp.
- Cunningham D, Acree T, Barnard J, Butts R, Braell, P (1986) Charm analysis of apple volatiles. *Food Chem. 19*: 137-147.
- Daillant-Spinnler B, MacFie HJH, Beyts PK, Hedderley D (1996) Relationships between perceived sensory properties and major preference directions of 12 varieties of apples from the southern hemisphere. *Food Qual. Pref. 7*: 113-126.
- Dimick, PS, Hoskin, JC (1983). Review of apple flavor state of the art. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 18*: 387-409.
- Fellman, JK, Rudell DR, Mattinson DS, Mattheis JP (2003) Relationship of harvest maturity

TABLA III
COMPUESTOS VOLÁTILES DURANTE EL DESARROLLO DE MANZANA JAZZ

| TR | Compuestos volátiles | Iones de diagnóstico (m/z) | Días después de plena floración | | | | | |
|-------|---|---|---------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | 143 | 157 | 163 | 171 | 175 | 186 |
| 13,03 | Acetato de propilo | 43(999)61(226)73(99)42(78)41(55) | n.d. | n.d. | 0,95 ±0,25 | 0,53 ±0,11 | 0,53 ±0,15 | 0,64 ±0,03 |
| 15,42 | Acetato de isobutilo | 43(999)56(230)15(150)73(147)41(129) | n.d. | n.d. | 0,41 ±0,01 | n.d. | n.d. | n.d. |
| 16,71 | Propanoato de propilo | 57(999)75(427)43(182)29(177)27(143) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,27 ±0,01 |
| 17,64 | Acetato de butilo | 43(999)56(550)41(279)73(273)61(187) | 1,92 ±0,56 | 2,77 ±1,57 | 17,06 ±1,08 | 4,83 ±1,92 | 9,85 ±1,22 | 20,20 ±0,36 |
| 18,46 | Hexanal | 56(999)44(889)41(810)57(668)43(569) | 9,13 ±3,05 | 3,73 ±2,14 | 7,73 ±0,63 | 4,85 ±1,39 | 3,71 ±0,47 | 1,29 ±0,03 |
| 20,02 | Acetato de 2-metil butilo | 43(999)70(298)55(143)41(128)29(117) | 7,12 ±1,29 | 6,72 ±4,78 | 35,51 ±4,25 | 22,92 ±3,06 | 20,76 ±2,48 | 22,80 ±0,19 |
| 21,05 | 3-Hexenal | 41(999)69(516)55(389)39(352)42(190) | 1,82 ±0,68 | 0,03 ±0,01 | n.d. | 0,68 ±0,01 | n.d. | n.d. |
| 21,17 | Propanoato de butilo | 57(999)56(387)75(342)29(206)41(186) | n.d. | 0,04 ±0,01 | 0,74 ±0,01 | 1,01 ±0,13 | 0,62 ±0,08 | 1,41 ±0,01 |
| 21,40 | Butanol | 56(999)31(833)41(655)43(592)27(326) | n.d. | 0,47 ±0,41 | 1,63 ±0,56 | 1,91 ±0,47 | 1,63 ±0,44 | 0,85 ±0,06 |
| 21,70 | Acetato de isopentilo | 43(999)70(298)55(143)41(128)29(117) | n.d. | n.d. | n.d. | 1,40 ±0,01 | n.d. | n.d. |
| 22,48 | Acetato de pentilo | 43(999)70(538)42(498)61(409)55(375) | 1,70 ±1,11 | 0,66 ±0,30 | 2,36 ±0,33 | 1,90 ±0,08 | 1,42 ±0,19 | 1,32 ±0,54 |
| 23,67 | Acetato de 2-metil butilo | 43(999)70(298)55(143)41(128)29(117) | 4,48 ±2,49 | 2,41 ±1,31 | 5,64 ±1,10 | 12,73 ±4,87 | 6,58 ±0,89 | 2,78 ±0,04 |
| 24,00 | (E)-Hex-2-enal | 41(999)55(994)69(838)39(798)83(669) | 57,04 ±1,88 | 18,86 ±8,80 | n.d. | n.d. | 19,04 ±0,55 | 9,02 ±0,10 |
| 24,70 | 2-Metil butanoato de butilo | 57(999)103(630)29(537)85(477)56(443) | n.d. | n.d. | n.d. | 0,27 ±0,01 | 0,31 ±0,04 | 0,31 ±0,02 |
| 25,18 | Pentanol | 42(999)55(949)41(689)70(489)31(369) | n.d. | 0,05 ±0,01 | 0,42 ±0,01 | 2,14 ±1,70 | 0,36 ±0,03 | n.d. |
| 25,21 | Acetato de (E)-2-metilbut-2-enilo | 43(999)67(617)68(588)41(368)86(325) | 1,13 ±0,03 | 0,57 ±0,32 | 1,46 ±0,15 | 0,66 ±0,18 | 0,49 ±0,11 | 0,21 ±0,01 |
| 26,01 | Acetato de hexilo | 43(999)56(573)55(292)61(246)42(224) | 2,40 ±0,10 | 3,05 ±1,23 | 8,54 ±0,35 | 8,06 ±3,81 | 8,16 ±0,57 | 17,57 ±0,74 |
| 27,69 | 2-Metil-2-butenol | 71(999)86(500)43(470)41(420)39(250) | 0,60 ±0,01 | 0,04 ±0,01 | 0,32 ±0,01 | n.d. | n.d. | n.d. |
| 27,84 | Acetato de etilo | 43(999)54(635)67(622)82(367)41(225) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 1,05 ±0,01 | 0,39 ±0,01 |
| 28,07 | Acetato de (Z)-2-hexen-1-ol | 43(999)67(514)82(376)100(238)41(206) | 0,97 ±0,08 | 0,40 ±0,18 | 1,23 ±0,01 | 1,08 ±0,06 | 0,50 ±0,04 | 0,51 ±0,06 |
| 28,21 | Propanoato de hexilo | 57(999)56(444)29(399)75(398)43(394) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,26 ±0,01 |
| 28,74 | Hexanol | 56(999)55(531)43(492)41(387)42(340) | 4,55 ±0,47 | 35,83 ±27,24 | 10,95 ±0,46 | 18,40 ±1,09 | 13,50 ±2,59 | 12,75 ±0,50 |
| 30,25 | Butanoato de hexilo | 43(999)56(573)55(292)61(246)42(224) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,29 ±0,05 | n.d. |
| 30,42 | (E)-Hex-2-en-1-ol | 57(999)41(474)67(323)39(295)82(283) | 3,72 ±0,91 | 1,00 ±0,49 | 1,19 ±0,30 | 1,81 ±0,11 | 1,38 ±0,09 | 0,29 ±0,02 |
| 30,87 | 2-Metil butanoato de hexilo | 103(999)57(583)85(502)43(352)84(304) | n.d. | 0,04 ±0,01 | n.d. | 0,35 ±0,03 | 0,48 ±0,13 | 0,26 ±0,02 |
| 31,63 | Heptanol | 70(999)41(998)56(853)55(737)43(717) | n.d. | 0,24 ±0,20 | 0,52 ±0,01 | 0,71 ±0,03 | 0,44 ±0,03 | 0,47 ±0,01 |
| 31,83 | Furan-2-carbaldehído | 96(999)95(991)39(644)38(226)29(201) | n.d. | 1,64 ±1,30 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| 31,89 | 1,2 Etanodiol | 147(999)73(719)66(226)103(153)148(151) | n.d. | n.d. | n.d. | 0,90 ±0,48 | 0,28 ±0,06 | n.d. |
| 34,33 | Octanol | 41(999)56(987)55(913)43(830)70(663) | n.d. | n.d. | 0,37 ±0,01 | 0,86 ±0,11 | 0,43 ±0,05 | 0,48 ±0,07 |
| 35,86 | (Z)-5-Octen-1-ol | 67(999)41(861)68(650)81(626)82(580) | n.d. | n.d. | n.d. | 0,32 ±0,02 | 0,26 ±0,04 | n.d. |
| 36,86 | Furano | 98(999)41(630)53(573)81(562)39(550) | n.d. | 0,93 ±0,68 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| 37,33 | 1-Metoxi-4-(prop-2-en-1-ilo) benceno | 148(999)147(571)121(423)117(405)77(303) | n.d. | 1,74 ±0,73 | 3,07 ±0,93 | 10,31 ±1,62 | 5,45 ±0,30 | 4,77 ±0,49 |
| 38,71 | (2-Metil ciclo hexen-1-il) metanol | 95(999)93(294)41(169)55(162)108(153) | n.d. | n.d. | 0,70 ±0,01 | 0,82 ±0,06 | n.d. | n.d. |
| 38,79 | 1-Hidroximetil-2-metil-1-ciclohexeno | 95(999)67(515)93(427)41(400)55(369) | n.d. | n.d. | n.d. | 0,29 ±0,01 | 0,94 ±0,09 | 0,52 ±0,01 |
| 40,93 | (E)-1-Metoxi-4-(prop-1-enilo) benceno | 148(999)147(520)117(285)77(271)133(231) | n.d. | n.d. | n.d. | 0,53 ±0,08 | 2,95 ±2,48 | 0,51 ±0,08 |
| 41,69 | 2-Metil propanoato de 3 hidroxi 2,4,4-trimetil pentilo | 71(999)56(793)89(722)43(600)41(221) | 2,48 ±1,26 | 0,48 ±0,23 | 1,64 ±0,52 | 1,42 ±0,23 | 0,76 ±0,01 | 0,33 ±0,02 |
| 42,20 | 2-Metilpropanoato de 2,2,4-trimetil-3-(2-metil propano iloxi) pentilo | 71(999)43(667)56(199)41(168)83(131) | 2,57 ±1,07 | n.d. | 1,30 ±0,26 | 0,74 ±0,12 | 0,39 ±0,01 | n.d. |
| 49,81 | 3,5-Dihidroxi-6-metil-2,3-dihidropiran-4-ona | 43(999)144(884)44(730)101(723)72(396) | n.d. | 4,06 ±3,15 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| 50,19 | 2,4-Di-terc-butilfenol | 191(999)57(324)41(158)206(155)192(143) | n.d. | n.d. | n.d. | 0,39 ±0,07 | n.d. | n.d. |
| 53,67 | 5-Hidroximetil 2-furaldehído | 97(999)41(725)126(669)39(388)69(358) | n.d. | 14,59 ±10,57 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |

to flavor regeneration after CA storage of Delicious apples. *Postharv. Biol. Technol.* 27: 39-51.

Forney CF, Mattheis JP, Baldwin EA (2009) Effects on flavor. En Yahia EM (Ed.) *Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural*

Commodities. CRC Press. Boca Ratón, FL, EEUU. pp 119-159.

Kays SJ, Paul RE (2004) *Postharvest Biology*. Exon Press. Athens, GA, EEUU. 196 pp.

Iglesias I, Graell J, Echeverria G, Vendrell M (1999) Differences in fruit color development, anthocyanin content, yield and

quality of seven Delicious apple strains. *Fruit Var. J.* 53: 133-145.

Iglesias I, Echeverria G, Lopez M (2012) Fruit color development, anthocyanin content, standard quality, volatile compound emissions and consumer acceptability of several 'Fuji' apple strains. *Sci. Horticult.* 137: 138-147.

Lara I, Graell J, López M, Echeverria G (2006) Multivariate analysis of modifications in biosynthesis of volatile compounds after CA storage of Fuji apples. *Postharv. Biol. Technol.* 39: 19-28.

López M, Villatoro C, Fuentes T, Graell J, Lara I, Echeverria G (2007) Volatile compounds,

TABLA IV
COMPUESTOS VOLÁTILES DURANTE EL DESARROLLO DE MANZANA *PINK LADY*

| TR | Compuestos volátiles | Iones de diagnóstico (m/z) | Días después de plena floración | | | | |
|-------|---|--|---------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| | | | 130 | 150 | 158 | 162 | 171 |
| 17,96 | Hexanal | 56(999)44(889)41(810)57(668)43(569) | 18,41 ± 4,65 | 11,81 ± 1,80 | 13,37 ± 0,46 | 14,83 ± 0,11 | 9,73 ± 0,83 |
| 20,41 | Acetato de 2-metil butilo | 43(999)70(298)55(143)41(128)29(117) | 1,41 ± 0,89 | 0,76 ± 0,06 | 3,77 ± 0,01 | 1,04 ± 0,37 | 2,56 ± 1,80 |
| 20,59 | 3-Hexenal | 41(999)69(516)55(398)39(352)42(190) | 16,66 ± 2,29 | 3,30 ± 0,26 | 2,70 ± 0,78 | 10,02 ± 12,25 | 0,93 ± 0,19 |
| 21,06 | 2-Metil 4-pental | 41(999)39(302)56(266)69(248)42(223) | n.d. | n.d. | 1,78 ± 0,01 | n.d. | n.d. |
| 23,27 | (E)-Hex-2-enal | 41(999)55(994)69(838)39(798)83(669) | 43,15 ± 4,32 | 65,95 ± 2,82 | 9,27 ± 0,10 | 62,59 ± 3,01 | 65,20 ± 1,57 |
| 23,60 | 2-Hexenal | 41(999)39(631)27(604)55(586)42(557) | n.d. | n.d. | 58,50 ± 0,40 | n.d. | n.d. |
| 23,87 | Acetato de 2-metil butilo | 43(999)70(298)55(143)41(128)29(117) | n.d. | 1,42 ± 0,01 | n.d. | n.d. | 1,51 ± 0,11 |
| 25,93 | Acetato de hexilo | 43(999)56(573)55(292)61(246)42(224) | 1,84 ± 0,14 | 1,86 ± 0,31 | 0,80 ± 0,12 | 1,03 ± 0,01 | 3,04 ± 0,65 |
| 27,10 | 1-Hidroxil 2-propanona | 43(999)31(179)74(107)29(66)42(55) | n.d. | 0,56 ± 0,01 | n.d. | 6,28 ± 4,72 | 0,68 ± 0,01 |
| 27,59 | Acetato de (E)- hex-2-enilo | 43(999)67(670)82(580)41(510)27(340) | n.d. | n.d. | 0,92 ± 0,01 | n.d. | 2,62 ± 0,01 |
| 27,82 | Acetato de (Z)- hex-3-enilo | 43(999)67(846)82(487)41(212)39(165) | 1,26 ± 0,36 | n.d. | n.d. | 0,75 ± 0,01 | n.d. |
| 27,98 | Acetato de (Z)- hex-2-enilo | 43(999)67(514)82(376)100(238)41(206) | 0,87 ± 0,19 | 1,53 ± 0,15 | n.d. | 16,58 ± 10,20 | 1,29 ± 0,31 |
| 28,60 | Hexanol | 56(999)43(831)41(590)55(569)42(534) | 3,67 ± 0,42 | 4,20 ± 0,69 | 3,28 ± 0,74 | 5,39 ± 3,75 | 5,39 ± 1,30 |
| 29,60 | (3Z)-3-Hexen-1-ol | 67(999)41(750)39(390)55(382)82(321) | 2,24 ± 0,33 | 0,72 ± 0,06 | n.d. | n.d. | n.d. |
| 30,19 | (E)-Hex-2-en-1-ol | 57(999)41(474)67(323)39(295)82(283) | 2,61 ± 0,11 | 5,50 ± 0,21 | 4,02 ± 0,45 | 10,94 ± 6,43 | 4,50 ± 0,16 |
| 31,88 | 1,2 Etanodiol | 147(999)73(719)66(226)103(153)148(151) | 1,18 ± 0,39 | 1,01 ± 0,01 | n.d. | n.d. | 0,82 ± 0,01 |
| 31,94 | Furan-2-carbaldehído | 96(999)95(991)39(644)38(226)29(201) | n.d. | 2,39 ± 0,01 | n.d. | n.d. | 3,05 ± 0,01 |
| 35,35 | (2E)-4-Oxo-2-hexenal | 83(999)55(483)112(176)84(152)57(129) | 0,79 ± 0,01 | 1,35 ± 0,01 | n.d. | n.d. | n.d. |
| 36,87 | Furano | 98(999)41(630)53(573)81(562)39(550) | 0,57 ± 0,01 | 1,98 ± 0,01 | n.d. | n.d. | 2,84 ± 0,01 |
| 38,70 | Metoxifenil oxima | 133(999)151(649)135(262)73(167)42(165) | 0,64 ± 0,24 | 0,61 ± 0,01 | n.d. | 4,54 ± 3,55 | 0,84 ± 0,19 |
| 40,68 | Ácido acético | 104(999)45(589)91(182)105(116)65(69) | n.d. | 0,63 ± 0,01 | n.d. | n.d. | n.d. |
| 41,68 | 2- Metil propanoato de 3 hidroxil 2,4,4-trimetil pentilo | 71(999)56(793)89(722)43(600)41(221) | 1,78 ± 0,68 | 1,18 ± 0,22 | n.d. | n.d. | 1,96 ± 0,26 |
| 42,17 | 2-Metilpropanoato de 2,2,4-trimetil-3-(2-metil propano iloxi) pentilo | 71(999)43(667)56(199)41(168)83(131) | 1,97 ± 0,23 | 0,60 ± 0,01 | n.d. | n.d. | 0,97 ± 0,11 |
| 42,74 | 2-Fenil etanol | 91(999)92(557)65(228)122(223)39(120) | n.d. | 0,83 ± 0,01 | n.d. | n.d. | n.d. |
| 43,67 | Tetrahidropiran-2-metanol | 85(999)29(583)41(569)31(374)57(349) | 1,23 ± 0,67 | 0,90 ± 0,01 | 0,62 ± 0,01 | 3,55 ± 1,93 | n.d. |
| 49,80 | 3,5-Dihidroxil-6-metil-2,3-dihidropiran-4-ona | 43(999)144(884)44(730)101(723)72(396) | 0,76 ± 0,01 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| 50,10 | 2,4-Di-terc-butilfenol | 191(999)57(324)41(158)206(155)192(143) | n.d. | n.d. | 0,74 ± 0,01 | n.d. | n.d. |
| 53,64 | 5-Hidroximetil-2-furaldehído | 97(999)41(725)126(669)39(388)69(358) | 5,36 ± 0,01 | n.d. | 8,30 ± 0,01 | n.d. | n.d. |

quality parameters and consumer acceptance of *Pink Lady* apples stored in different conditions. *Postharv. Biol. Technol.* 43: 55-66.

Mehinagic E, Royer G, Symoneaux R, Jourjon F, Prost C (2006) Characterization of odor-active volatiles in apples: influence of cultivars and maturity stage. *J. Agric. Food Chem.* 54: 2678-2687.

Rizzolo A, Polesello A, Teleky-Vamosy GY (1989) CGC/ Sensory analysis of volatile compounds developed from ripening apple fruit. *J. High Resolut. Chromatogr.* 12: 824-827.

Salas-Salazar N, Olivas-Orozco G (2011). El aroma de la manzana. *Interciencia* 36: 365-271.

Shafiee S, Motlagh AM, Didar AR, Minaee S (2008) Investigation the effect of skin on mechanical behavior of apple. *J. Food Technol.* 6: 86-91.

SIAP (2018) *Datos Productivos y Económicos del Cultivo de Manzana a Nivel Nacional y Estatal*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo>

Song J, Bangerth FF (1996) The effect of harvest date on aroma compound production from Golden Delicious apple fruit and relationship to respiration and ethylene production. *Postharv. Biol. Technol.* 8: 259-269.

Wills RBH, Lee TH, Graham D, McGlasson WB, Hall EG (1997) *Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit and Vegetables*. 4^a ed. New South Wales University Press. New South Wales, Australia. 174 pp.

Wyllie SG (2008) Flavour quality of fruit and vegetables: are we on the brink of major advances? En Bruckner B, Grant W S (Eds.) *Fruit and Vegetable Flavour*. Woodhead. Cambridge, RU. pp 3-9.

Yi JY, Zhou LY, Bi JF, Wang P, Liu X, Wu XY (2016) Influence of number of puffing times on physicochemical, color, texture, and microstructure of explosion puffing dried apple chips. *Drying Technol.* 34: 773-782.

TABLA V
COMPUESTOS VOLÁTILES DURANTE EL DESARROLLO DE MANZANA *TOP RED DELICIOUS*

| TR | Compuestos volátiles | Iones de diagnóstico (m/z) | Días después de plena floración | | | |
|-------|---|---|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | 144 | 158 | 172 | 176 |
| 13,28 | Acetato de propilo | 43(999)61(226)73(99)42(78)41(55) | n.d. | n.d. | 0,64 ± 0,07 | n.d. |
| 16,45 | Butanoato de etilo | 71(999)43(937)29(588)88(568)27(491) | n.d. | n.d. | 0,19 ± 0,01 | n.d. |
| 16,88 | Propanoato de propilo | 57(999)75(427)43(182)29(177)27(143) | n.d. | n.d. | 0,59 ± 0,01 | n.d. |
| 18,11 | Acetato de butilo | 43(999)56(550)41(279)73(273)61(187) | 0,70 ± 0,01 | 1,48 ± 0,57 | 3,81 ± 0,47 | 4,66 ± 0,81 |
| 18,49 | Hexanal | 56(999)44(889)41(810)57(668)43(569) | 13,32 ± 0,23 | 12,32 ± 2,53 | 9,09 ± 2,07 | 11,42 ± 2,86 |
| 20,34 | Acetato de 2-metil butilo | 43(999)70(298)55(143)41(128)29(117) | 1,22 ± 0,21 | 12,54 ± 5,70 | 19,43 ± 1,30 | 26,17 ± 3,82 |
| 20,92 | 2-Metil 4-pental | 41(999)39(302)56(266)69(248)42(223) | n.d. | 0,60 ± 0,25 | 0,65 ± 0,01 | 0,44 ± 0,35 |
| 20,99 | 3-Hexenal | 41(999)69(516)55(398)39(352)42(190) | 5,22 ± 2,06 | 2,61 ± 1,12 | 0,35 ± 0,09 | 1,23 ± 0,64 |
| 21,05 | Propanoato de butilo | 57(999)56(387)75(342)29(206)41(186) | n.d. | 0,56 ± 0,01 | 0,84 ± 0,13 | 0,45 ± 0,01 |
| 21,16 | Butanoato de isobutilo | 57(999)85(631)103(608)43(444)41(431) | n.d. | n.d. | 0,41 ± 0,01 | n.d. |
| 21,49 | Butanol | 56(999)31(833)41(655)43(592)27(326) | n.d. | n.d. | 0,59 ± 0,10 | 0,46 ± 0,01 |
| 22,56 | Acetato de pentilo | 43(999)70(538)42(498)61(409)55(375) | n.d. | 0,65 ± 0,01 | 0,81 ± 0,07 | 0,91 ± 0,14 |
| 23,06 | Propanoato de 2-metil butilo | 57(999)70(520)55(148)29(118)87(112) | n.d. | n.d. | 0,35 ± 0,08 | n.d. |
| 23,84 | 2-Metil 1-butanol | 57(999)41(877)56(877)29(700)70(423) | 1,07 ± 0,01 | 7,87 ± 0,23 | 7,14 ± 0,91 | 7,06 ± 0,70 |
| 24,27 | (E)-Hex-2-enal | 41(999)55(994)69(838)39(798)83(669) | 55,55 ± 2,81 | 48,39 ± 3,88 | 29,79 ± 5,51 | 36,80 ± 5,55 |
| 24,49 | Acetato de (E)-2-metilbut-2-enilo | 43(999)67(617)68(588)41(368)86(325) | n.d. | 0,72 ± 0,01 | 0,46 ± 0,10 | 0,56 ± 0,08 |
| 24,73 | 2-Metil butanoato de butilo | 57(999)103(630)29(537)85(477)56(443) | n.d. | n.d. | 0,24 ± 0,01 | n.d. |
| 25,40 | Pentanol | 42(999)55(949)41(689)70(489)31(369) | n.d. | n.d. | 0,33 ± 0,01 | n.d. |
| 26,10 | Acetato de hexilo | 43(999)56(573)55(292)61(246)42(224) | 1,91 ± 0,33 | 2,08 ± 0,41 | 3,05 ± 0,23 | 3,64 ± 0,52 |
| 28,06 | (Z)-2-Hexen-1-ol | 43(999)67(710)41(500)39(380)27(370) | 2,06 ± 0,28 | 0,53 ± 0,08 | 0,39 ± 0,02 | 4,56 ± 3,84 |
| 28,69 | Hexanol | 56(999)43(831)41(590)55(569)42(534) | 4,71 ± 0,03 | 5,76 ± 0,80 | 7,01 ± 0,31 | 7,29 ± 0,52 |
| 29,64 | (Z)-3-Hexenol | 41(999)67(599)39(390)55(343)82(282) | 1,28 ± 0,01 | 0,53 ± 0,01 | n.d. | n.d. |
| 30,25 | (E)-Hex-2-en-1-ol | 57(999)41(474)67(323)39(295)82(283) | 5,17 ± 0,20 | 2,21 ± 0,49 | 0,97 ± 0,23 | 1,93 ± 0,47 |
| 31,93 | Furan 2-carbaldehído | 96(999)95(991)39(644)38(226)29(201) | n.d. | n.d. | 1,32 ± 0,01 | n.d. |
| 35,87 | 1,2 Etanodiol | 147(999)73(719)66(226)103(153)148(151) | 0,58 ± 0,01 | 0,65 ± 0,01 | n.d. | 0,41 ± 0,01 |
| 36,88 | Furano | 98(999)41(630)53(573)81(562)39(550) | n.d. | 0,59 ± 0,01 | 1,05 ± 0,01 | n.d. |
| 37,30 | 1-Metoxi-4-(prop-2-en-1-ilo) benceno | 148(999)147(571)121(423)117(405)77(303) | n.d. | n.d. | 1,56 ± 0,91 | n.d. |
| 37,38 | Ácido 2-metil butanoico | 74(999)57(638)29(621)41(528)27(323) | n.d. | 2,99 ± 0,01 | 5,40 ± 1,25 | 4,73 ± 1,36 |
| 38,72 | Metoxifenil oxima | 133(999)151(649)135(262)73(167)42(165) | 3,27 ± 0,01 | 0,77 ± 0,18 | 0,57 ± 0,01 | n.d. |
| 39,53 | (2E)-4-Oxo-2-hexenal | 83(999)55(483)112(176)84(152)57(129) | n.d. | 0,67 ± 0,01 | n.d. | 0,54 ± 0,15 |
| 41,70 | 2- Metil propanoato de 3 hidroxil-2,4,4-trimetil pentilo | 71(999)56(793)89(722)43(600)41(221) | 3,93 ± 1,17 | 0,62 ± 0,26 | 1,18 ± 0,42 | 2,15 ± 0,80 |
| 42,20 | 2-Metilpropanoato de 2,2,4-trimetil-3-(2-metil propano iloxi) pentilo | 71(999)43(667)56(199)41(168)83(131) | 3,45 ± 1,05 | n.d. | 0,77 ± 0,17 | 1,07 ± 0,31 |
| 43,67 | Tetrahidropiran-2-metanol | 85(999)29(583)41(569)31(374)57(349) | n.d. | 0,95 ± 0,01 | n.d. | 0,92 ± 0,01 |
| 49,81 | 3,5-Dihidroxi-6-metil-2,3-dihidropiran-4-ona | 43(999)144(884)44(730)101(723)72(396) | n.d. | 1,74 ± 0,01 | 4,30 ± 0,01 | n.d. |
| 50,10 | 2,4-Di-terc-butilfenol | 191(999)57(324)41(158)206(155)192(143) | n.d. | 1,19 ± 0,01 | n.d. | n.d. |
| 53,68 | 5-Hidroximetil-2-furaldehído | 97(999)41(725)126(669)39(388)69(358) | n.d. | n.d. | 2,15 ± 0,01 | n.d. |
| 55,42 | 3,6,9,12,15,18-Hexaoxaicosano-1,20-diol | 45(999)89(281)44(140)43(131)87(112) | n.d. | n.d. | 0,28 ± 0,01 | n.d. |

TABLA VI
COMPUESTOS DE IMPACTO (PPM) PRESENTES EN LA COSECHA DE DISTINTAS
VARIEDADES DE MANZANA

| Compuesto | Jazz | Pink Lady | Top Red Delicious | Fuji |
|-----------------------------|--------|-----------|-------------------|--------|
| Acetato de propilo | 0,22 | n.d. | 0,13 | n.d. |
| Acetato de butilo | 8,27 | n.d. | 0,72 | 0,54 |
| Hexanal | 0,46 a | 0,6 a | 0,7 a | 2,66 b |
| Butanol | 2,83 | n.d. | 0,27 | n.d. |
| Acetato de pentilo | 0,11 | n.d. | n.d. | 0,30 |
| Butil 2-metil butanoato | 0,54 | n.d. | n.d. | n.d. |
| (E)-2-Hexenal | 7,54 a | 7,36 a | 9,06 a | 3,44 a |
| Acetato de hexilo | 0,59 a | 1,09 b | 1,06 bc | 0,83 c |
| Butanoato de hexilo | n.d. | 1,09 | n.d. | n.d. |
| 2-Metil butanoato de hexilo | 0,14 | n.d. | n.d. | n.d. |
| Hexanol | 3,10 a | 1,57 b | 0,94 bc | 0,51 c |

Medias por variedad en la cosecha comercial, con diferente letra minúscula son significativamente diferentes (p≤0,05; Tukey).