
EL AROMA DE LA MANZANA

NORA SALAS SALAZAR
y GUADALUPE OLIVAS OROZCO

RESUMEN

Las manzanas producen compuestos químicos volátiles que son responsables del aroma característico del fruto. Estos compuestos son de interés porque tienen gran influencia en la calidad de la manzana, ya que determinan su aroma. La tecnología actual ha permitido conocer cerca de 400 compuestos volátiles presentes en la manzana. Su biosíntesis involucra enzimas tales como lipoxigenasa (LOX), alcohol deshidrogenasa (ADH), alcohol aciltransferasa (AAT) y substratos tales como carbohidratos, proteínas y lípidos, siendo estos últimos los prin-

cipales precursores de compuestos volátiles en la manzana. La composición y concentración de los compuestos volátiles en la manzana puede variar dependiendo de la variedad, condiciones de cultivo, de cosecha y de almacenamiento. En esta revisión se recopila información referente a la biosíntesis de compuestos volátiles que definen el aroma de la manzana, así como las rutas metabólicas, enzimas y substratos involucrados. Además, se detallan los principales factores precosecha, cosecha y poscosecha que afectan la biosíntesis de compuestos volátiles.

La manzana es un fruto consumido por el hombre desde la antigüedad, que gracias a la enorme adaptabilidad de sus variedades a los diversos ecosistemas, se ha dispersado a diversas regiones, de tal forma que está entre los frutos más comercializados (SAGARPA, 2003). Las manzanas probablemente se originaron en Asia Central, desde donde llegaron a España con los ejércitos romanos y con los invasores árabes; posteriormente, a principios del siglo XVII, fueron introducidas a América con la colonización (Fálder, 2003).

La calidad de la manzana involucra atributos visuales tales como apariencia, tamaño, uniformidad y color; y atributos no visuales como el sabor y aroma (ambos atributos incluidos en el gusto, en inglés *flavor*) y la textura (Cunningham *et al.*, 1986). El sabor y el aroma juegan un papel central en la calidad de la manzana, ya que determinan la aceptación del consumidor; cuando las

expectativas son excedidas, la experiencia se comunica y la compra se repite (Wyllie, 2008). Los compuestos volátiles que contiene la manzana son muy importantes ya que definen el aroma característico al fruto y éste, a su vez, tiene un gran peso dentro del atributo denominado sabor, en el sentido de *flavor*.

En la manzana se han identificado alrededor de 400 compuestos volátiles (Forney *et al.*, 2009), los cuales están presentes en cantidades de partes por millón (Kays y Paull, 2004). La biosíntesis de estos compuestos volátiles involucra vías bioquímicas con diferentes enzimas y substratos, siendo los ácidos grasos los principales precursores, los cuales son catabolizados a través de dos principales rutas oxidativas: β -oxidación y lipoxigenasa (Pérez y Sanz, 2008). A partir de aminoácidos también se sintetizan importantes compuestos volátiles como ésteres de cadena ramificada (Wyllie y Fellman, 2000). La biosíntesis de los compuestos volátiles puede ser alterada por

diferentes factores en precosecha y poscosecha (Kays y Paull, 2004).

El objetivo de esta revisión es compilar y analizar la información actual referente a la biosíntesis de compuestos volátiles que definen el aroma de la manzana, así como las rutas metabólicas, enzimas y substratos involucrados. Así mismo se analizan los principales factores precosecha, cosecha y poscosecha que afectan la biosíntesis de compuestos volátiles.

El sabor de la manzana

El sabor, entendido como la suma de gusto y aroma (o *flavor* en inglés) de la manzana está definido por una mezcla de numerosas sensaciones actuando simultáneamente; el cerebro procesa toda la información y da lugar a una experiencia integrada. Los componentes del sabor se dividen en dos principales: el gusto y el aroma. La percepción del sabor por medio del gusto es a través de los receptores gustati-

PALABRAS CLAVE / Aroma / Compuestos Volátiles / Enzimas / Flavor / Manzana / Sabor /

Recibido: 19/08/2010. Modificado: 04/03/2011. Aceptado: 10/03/2011.

'Nora Aideé Salas Salazar. Candidata a Doctora en Ciencias, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), México.

Guadalupe Isela Olivás Orozco. Doctora en Ciencias, Washington State University, EEUU. Investigadora, CIAD, México. Dirección: CIAD, Apartado Postal 781, C.P. 31570. Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México. e-mail: golivas@ciad.mx

vos presentes en la lengua; las cinco percepciones básicas del gusto son dulce, ácido, salado, amargo, y unami (Beaulieu y Baldwin, 2002). El segundo componente es el aroma, el cual tiene una primordial contribución en el sabor característico del fruto (Pérez y Sanz, 2008). El aroma de la manzana está definido por compuestos químicos volátiles (Baldwin, 2002). Éstos están presentes en fase gaseosa (Kays y Paull, 2004), de manera que las moléculas son capaces de alcanzar el epitelio olfatorio nasal a través de dos diferentes caminos. El primero, en el cual las moléculas volátiles son directamente aspiradas por la nariz, interactuando con los receptores produciendo la sensación conocida como olor. El segundo, en el que las sustancias volátiles que son liberadas por los alimentos en la boca y alcanzan el epitelio olfatorio por la ruta retro nasal, produciendo la sensación conocida como aroma (Crouzet *et al.*, 1984).

Compuestos Volátiles que Definen el Aroma de la Manzana

Las propiedades del aroma de la manzana dependen de la combinación de los compuestos volátiles, así como de la concentración y umbrales de olor de cada compuesto (Sanz *et al.*, 1997). A la fecha han sido identificados en la manzana más de 400 compuestos volátiles (Forney *et al.*, 2009), entre los cuales se encuentran ésteres, alcoholes, aldehídos, alcoholes, aldehídos, ácidos, acetales, éteres, hidrocarburos y cetonas (Rowan *et al.*, 1999; Tabla I). Los aldehídos son los compuestos volátiles predominantes en manzanas inmaduras (De Pooter *et al.*, 1987), mientras que en frutas maduras se encuentran en mayor con-

centración alcoholes y ésteres (Dixon y Hewett, 2000). Estos últimos son los compuestos cualitativamente y cuantitativamente predominantes en la mayoría de los cultivos de manzana. Los ésteres llegan a ocupar grandes porcentajes del total de los compuestos volátiles presentes en las manzanas. Por ejemplo, en manzanas *Golden Delicious* ocupan un 80% (López *et al.*,

1998a), en las *Granny Smith* un 88% (Lavilla *et al.*, 1999), en las *Fuji* un 90% (Echeverría *et al.*, 2004) y en manzanas *Starking Delicious* llegan hasta un 98% (López *et al.*, 1998b).

De todos estos compuestos volátiles, solo unos cuantos (entre 20 y 40) tienen un impacto decisivo en la calidad sensorial de las manzanas. A estos

TABLA I
COMPUESTOS VOLÁTILES PRESENTES EN LA MANZANA*

Alcoholes	Éter metil propílico	Acetato de t-butilo	Heptanoato de butilo
Metanol	Éter dibutílico	Acetato de pentilo	Octanoato de etilo
Etanol	Éter 2,3 metil butílico	Acetato de 2-metil-butilo	Octanoato de propilo
Isopropanol	Éter dihexílico	Acetato de 3-metil-butilo	Octanoato de butilo
Butanol	Éter Metilfenilo	Acetato de hexilo	Octanoato de isobutilo
2-Butanol	4 Metoxialilbenceno	Acetato de heptilo	Octanoato de pentilo
Isobutanol	Óxido de <i>cis</i> -linalool	Acetato de octilo	Octanoato de isopentilo
Pentanol	Óxido de <i>trans</i> - linalool	Acetato de bencilo	Octanoato de hexilo
2-Metil butanol	Ácidos	Acetato de <i>cis</i> -3-hexenilo	Nonanoato de etilo
2-Metil-2-butanol	Fórmico	Acetato de <i>trans</i> -2-hexenilo	Decanoato de etilo
3-Metil butanol	Acético	Acetato de 2-feniletilo	Decanoato de butilo
2 Pentanol	Propanoico	Nonil acetato	Decanoato de isobutilo
3 Pentanol	Butanoico	Decil acetato	Decanoato de pentilo
4 Pentanol	Isobutanoico	Propionato de n-metilo	Decanoato de isopentilo
2-Metil-2-pentanol	2-Metilbutanoico	Propionato de etilo	Decanoato de hexilo
3-Metil pentanol	3-Metilbutanoico	Propionato de etil 2-metilo	Dodecanoato de etilo
Hexanol	Pentanoico	Propionato de hidroxietilo	Dodecanoato de hexilo
<i>cis</i> -2-Hexenol	Pentenoico	Propionato de propilo	Dodecanoato de butilo
<i>cis</i> -3-Hexenol	4-Metilpentanoico	Propionato de butilo	Cetonas
<i>trans</i> -2-Hexenol	Hexanoico	Propionato de isobutilo	Propanona
<i>trans</i> -3-Hexenol	<i>trans</i> -2-Hexenoico	Propionato de 2,3-metil butilo	2-Butanona
1-Hexenol 3-ol	Heptanoico	Propionato de hexilo	3 Hidroxibutan-2-ona
5-Hexenol	<i>cis</i> -3-Heptenoico	Butanoato de metilo	2,3-Butanediona
Heptanol	Octanoico	Butanoato de etilo	2-Pentanona
2-Heptanol	<i>cis</i> -3-Octenoico	Butanoato de propilo	3-Pentanona
2-Octanol	Nonanoico	Butanoato de isopropilo	4-Metilpentan-2-ona
3-Octanol	<i>cis</i> -3-Nonenoico	Butanoato de butilo	2-Hexanona
An etil hexanol	Decanoico	Butanoato de isobutilo	2-Heptanona
Nonanol	Decenoico	Butanoato de pentilo	3-Heptanona
2 Nonanol	Undecanoico	Butanoato de isopentilo	4-Heptanona
6-Metil-5-heptenol	Undecenoico	Butanoato de hexilo	2-Octanona
Decanol	Dodecanoico	Butanoato de cinamilo	7-Metiloctan-4-ona
3-Octenol	Dodecenoico	Crotonato de etilo	Acetofenona
Bencil alcohol	Tridecanoico	Isobutanoato de metilo	Bases
2-fenil etanol	Tridecenoico	Isobutanoato de etilo	Etilamina
4-Terpinenol	Tetradecanoico	Isobutanoato de butilo	Butilamina
α -terpineol	Tetradecenoico	Isobutanoato de isobutilo	Isoamilamina
Isobareol	Pentadecanoico	Isobutanoato de pentilo	Hexilamina
Citronelol	Pentadecenoico	Isobutanoato de hexilo	Acetales
Geraniol	Hexadecanoico	Metil-2-metil butanoato	Dietoximetano
Aldehídos	Hexadecenoico	Etil-2-metil butanoato	Dibutoximetano
Formaldehído	Heptadecanoico	Propil-2-metil butanoato	Dihexoximetano
Acetaldehído	Heptadecenoico	Butil-2-metil butanoato	1-Etoxi-1-propoxietano
Propanal	Octadecanoico	Isobutil 2-metil butanoato	1-Butoxi-1-etoxietano
2 Propenal	9-Octadecenoico	Pentil-2-metil butanoato	1-Etoxi-1-hexoxietano
2-Oxopropanal butanal	9, 12-Octadecadienoico	Hexil-2-metil butanoato	Hidrocarburos
Isobutanal	9,12-15-Octadecatrienoico	Pentanoato de metilo	Etano
2-Metil butanal	Nonadecanoico	Pentanoato de etilo	Etileno
<i>trans</i> -2-Butenal	Nonadecenoico	Pentanoato de propilo	α -Farneseno
Pentanal	Eicosanoico	Pentanoato de butilo	β -Farneseno
Isopentanal	Benzoico	Pentanoato de amilo	Benceno
Hexanal	Ésteres	Pentanoato de isoamilo	Etil benceno
<i>trans</i> -2-Hexenal	Formato de metilo	Isopentanoato de metilo	1-Metilnaftaleno
<i>trans</i> -3-Hexenal	Formato de etilo	Isopentanoato de etilo	2-Metilnaftaleno
<i>cis</i> -3-Hexenal	Formato de propilo	Isopentanoato de isopentilo	Damascenona
Heptanal	Formato de butilo	Hexanoato de metilo	α -Pinenos
<i>trans</i> -2-Heptanal	Formato de 2,3 metil butilo	Hexanoato de etilo	Otros
Octanal	Formato de pentilo	Hexanoato de propilo	Dietil succinato
Nonanal	Formato de i-pentilo	Hexanoato de butilo	2-Fenilacetato de dietilo
Decanal	Formato de hexilo	Hexanoato de isobutilo	Dimetilftalato
Undecanal	Acetato de metilo	Hexanoato de pentilo	Dietilftalato
Dodecanal benzaldehído	Acetato de etilo	Hexanoato de 2,3 metil-butilo	Dipropilftalato
Fenilacetaldelhidó	Acetato de propilo	Butil <i>trans</i> -2-hexenoato	
Éteres	Acetato de butilo	Heptanoato de etilo	
Dietiléter	Acetato de isobutilo	Heptanoato de propilo	

* Adaptado de Dimick y Hoskin (1983).

compuestos se les conoce como 'compuestos de impacto' (Cunningham *et al.*, 1986). Ejemplo de ellos son: acetato de butilo, acetato de 2-metil-butilo y acetato de hexilo. Estos compuestos contribuyen en mayor proporción al aroma característico de la mayoría de las variedades de manzana (Fellman *et al.*, 2000). Sin embargo, todos los compuestos volátiles son importantes para producir el perfil completo característico de la manzana (Paillard, 1990).

La contribución relativa de cada uno de estos compuestos volátiles es conocida como unidad de olor, y se determina mediante el cociente de la concentración de un compuesto y su umbral de percepción olfativa (Takeota *et al.*, 1992). En la Tabla II se muestran los compuestos volátiles de más impacto en el aroma a manzana, sus umbrales de percepción olfativa y su descripción olfativa.

Síntesis de Compuestos Volátiles del Aroma de la Manzana

La producción de compuestos volátiles involucra la participación de enzimas, sustratos y diversas rutas metabólicas (Sanz *et al.*, 1997). En la manzana, los compuestos volátiles son sintetizados principalmente a partir de lípidos, de los cuales se obtienen ésteres de cadena lineal. Por su parte, los aminoácidos son precursores de importantes ésteres de cadena ramificada, que también contribuyen al aroma de la manzana (Pérez y Sanz, 2008).

Los ácidos grasos como principales precursores de compuestos volátiles en la mayoría de los frutos, y también en manzana, son liberados a partir de los lípidos de la membrana celular por las lipasas (Fellman *et al.*, 2000). Después hay dos posibles rutas involucradas en la síntesis de compuestos volátiles:

Ruta de la β-oxidación. Los ácidos grasos experimentan una activación, mediante la cual, pueden atravesar la membrana mitocondrial interna y llegar a la matriz mitocondrial, donde se realiza la β-oxidación que consta de cuatro pasos: oxidación por el flavín adenín dinucleótido (FAD), hidratación, deshidrogenación por nicotinamida adenina dinucleótido (NAD) y tiólisis (Mathews *et al.*, 2002). En la Figura 1 se presenta un esquema

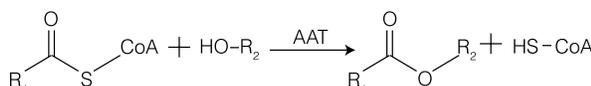
TABLA II
COMPUESTOS VOLÁTILES MÁS IMPORTANTES EN LA MANZANA, SUS UMBRALES DE PERCEPCIÓN OLFATIVA EN PPB (EN SOLUCIÓN ACUOSA) Y SU DESCRIPCIÓN OLFATIVA

Compuesto	UPO	Olor descriptivo	Referencia
Etil 2-metil butanoato	0,1	Afrutado	Mehinagic <i>et al.</i> (2006)
Butanoato de etilo	1	Manzana	Wang <i>et al.</i> (2005)
Hexanoato de etilo	1	Afrutado	Buettner y Shieberle (2001)
Acetato de Hexilo	2	Afrutado	Dimick y Hoskin (1983)
Acetato de 2-metil butilo	5	Banana	Dimick y Hoskin (1983)
Hexil 2 metil butanoato	22	Fruta fresca verde	Dimick y Hoskin (1983)
Propanoato de butilo	25	Débil olor dulce	Burdock (2002)
Acetato de butilo	66	Manzana roja	Young <i>et al.</i> (1996)
Butanoato de butilo	100	Manzana podrida	Plotto (1998)

UPO: Umbrales de percepción olfativa según Leffingwell y Leffingwell (1991).

ma de la β-oxidación del ácido linoléico (Conn y Stumpf, 1963), el cual es el ácido graso más abundante en la manzana (Galliard, 1968).

Los acil CoA formados a partir de la β-oxidación se unen posteriormente a un alcohol para formar los ésteres. Esta reacción es catalizada por la enzima alcohol acil transferasa (AAT), como se muestra a continuación (Sanz *et al.*, 1997):



Ruta de la lipoxigenasa (LOX). De manera general se acepta que la ruta de la LOX para la producción de compuestos volátiles de 6 y 9 carbonos se activa con la ruptura de las células vegetales. Pero no está abso-

lutamente restringida a esto. Durante la maduración, las enzimas de la LOX y sus sustratos tienen diferentes localizaciones subcelulares, por lo que la emisión de compuestos volátiles a través de esta ruta no es posible; sin embargo, conforme avanza la maduración las paredes celulares y las membranas comienzan a ser más permeables a los diferentes sustratos y entonces puede activarse esta ruta (Sanz *et al.*, 1997).

La mayoría de los alcoholes, aldehídos, ácidos y ésteres que contribuyen al aroma de las frutas y vegetales son generados por la degradación oxidativa del ácido linoléico y linolénico, los cuales son los principales sustratos de la LOX en el reino vegetal (Pérez y Sanz, 2008). Una vista general de la formación de aromas a través de la ruta LOX se muestra en la Figura 2; esta degradación enzimática oxidativa es precedida por la acción de acil hidrolasas que liberan, entre otras cosas, ácidos grasos poliinsaturados de los triacilgliceroles, fosfolípidos o glicolípidos. La acción de la LOX es clave en esta ruta (Sanz *et al.*, 1997).

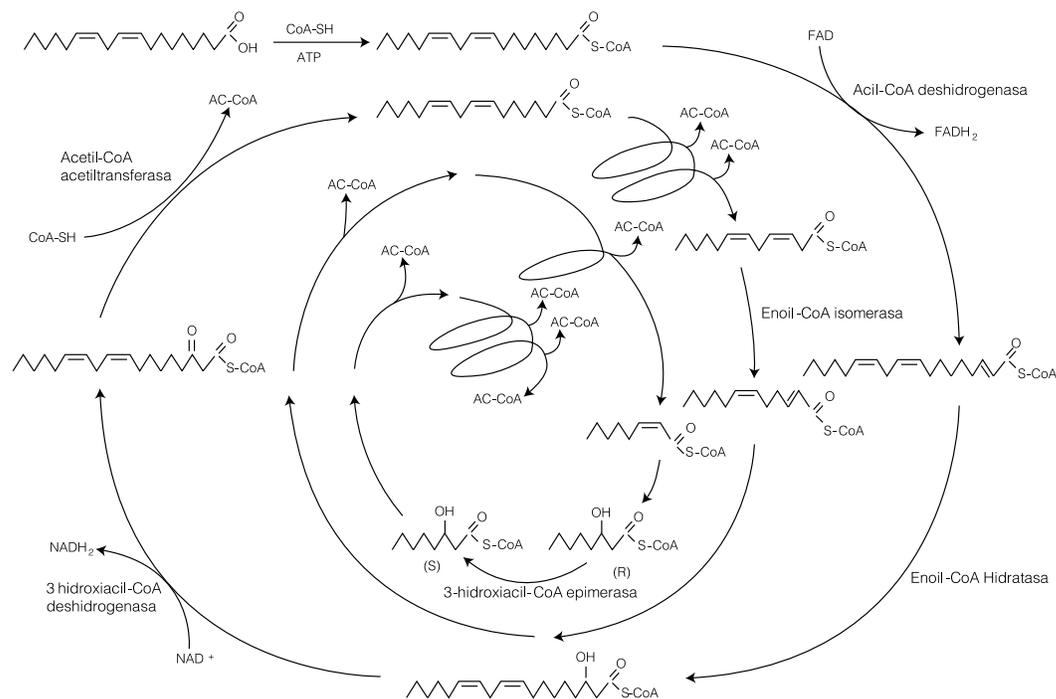


Figura 1. Esquema de β-oxidación del ácido linoléico. Tomado de Conn y Stumpf (1963).

Por otra parte, los alcoholes de cadena ramificada que se transformarán a ésteres de cadena ramificada, se obtienen mediante el metabolismo de los aminoácidos. Los aminoácidos más importantes en la generación de compuestos volátiles son alanina, valina, leucina, isoleucina, fenilalanina y ácido aspártico (Hansen y Poll, 1993; Sanz *et al.*, 1997; Baldwin, 2002). Como ejemplo, en la Figura 3, se muestra cómo el aminoácido leucina es transformado a 3-metil butanol.

Factores que Influyen en la Síntesis de Compuestos Volátiles

Existen varios factores que influyen en la síntesis de compuestos volátiles, entre los cuales se encuentran la madurez (Paillard, 1981), variedad (Cunningham *et al.*, 1986), clima (Yahia, 1994), fertilización (Forsyth y Webster, 1971), uso de reguladores del crecimiento (Abeles *et al.*, 1991; Sisler *et al.*, 1996) y condiciones de almacenamiento (Yahia, 1994). A continuación se detalla la influencia de estos factores sobre la producción de compuestos volátiles.

Madurez

La manzana es un fruto climatérico que presenta un pico típico en la tasa de respiración que precede o es paralela a un aumento autocatalítico de la producción del etileno (Lurie, 1998). La maduración de un fruto climatérico es un proceso que incluye cambios físicos, metabólicos y bioquímicos iniciados y/o coordinados por el etileno, ya sea en el árbol o una vez que ya fueron cosechados. Estos cambios incluyen el cambio de color, el ablandamiento de los tejidos, el desarrollo del gusto y aroma característicos (Wills *et al.*, 1997). Si una fruta es cosechada en etapas tempranas de maduración, será muy probable que no desarrolle completamente sus características de gusto y aroma (Brown *et al.*, 1966) y por otra parte, si la fruta se cosecha sobremadura produce menos compuestos volátiles, que una cosecha en tiempo óptimo (Hansen *et al.*, 1992).

Variedad

Diversos estudios indican que diferentes variedades de manzana, difieren en el contenido y concentración de

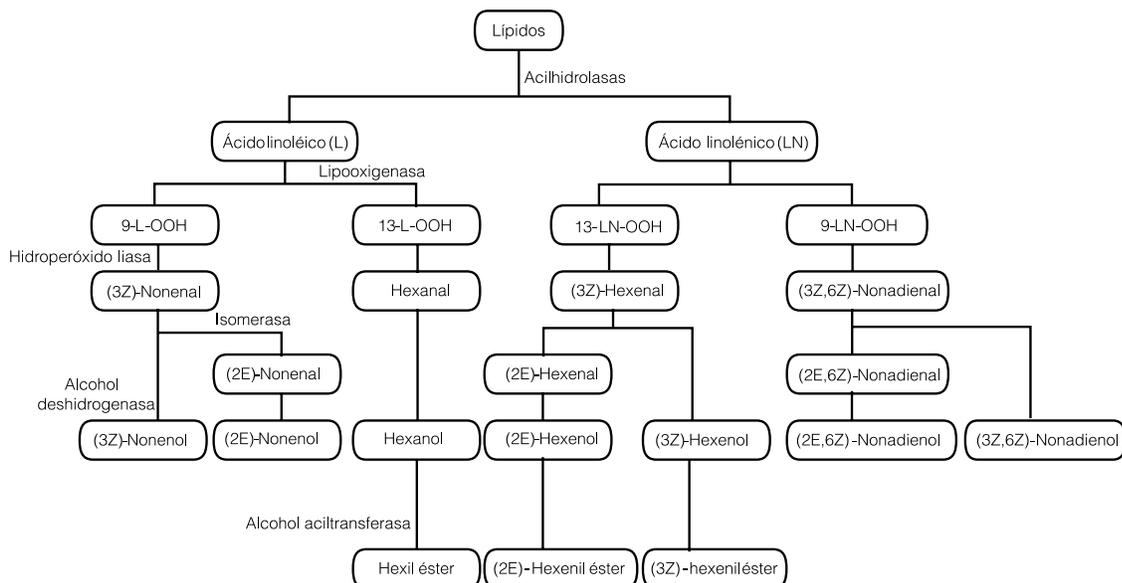


Figura 2. Actividad enzimática y productos involucrados en la ruta de la lipoxigenasa. Tomado de Sanz *et al.* (1997).

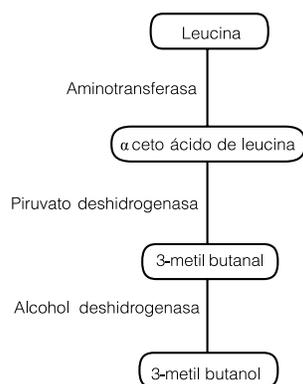


Figura 3. Formación de volátiles a partir de aminoácidos. Tomado de Sanz *et al.* (1997).

compuestos volátiles. En la Tabla III se muestran los compuestos volátiles que más contribuyen al aroma de algunas variedades de manzana.

Medio ambiente y variación estacional

La altitud y el clima donde se cultiva la manzana tienen influencia en la síntesis de compuestos volátiles. Un estudio realizado con manzana *Golden Delicious* cultivada en diferentes localidades, reveló que esa manzana posee mayor concentración de volátiles cuando es cultivada en montaña (Rizzolo y Visai, 1990). Así mismo se ha observado que manzanas cultivadas en climas cálidos tienen una producción ligeramente mayor de ésteres después de almacenamiento en atmósfera controlada (Fellman *et al.*, 1997).

Por otro lado, una misma variedad de manzana puede diferir en la

composición de volátiles, dependiendo de la variación estacional del año en que es cultivada. López *et al.* (1998a) mostraron este efecto en manzana *Golden Delicious*, la cual fue cosechada en 1993 y sus principales volátiles fueron el propanoato de etilo y acetato de butilo, mientras que al cosecharse en 1994, los principales volátiles fueron el acetato de etilo, propanoato de etilo y acetato de propilo. En manzana *Granny Smith*, cultivada en 1993, el perfil aromático no mostró el predominio de ningún compuesto volátil mientras que la cosecha en 1994, tuvo mayor concentración de propanoato de etilo y acetato de propilo. En manzana *Fuji* Echeverría *et al.* (2004) observaron un efecto significativo de la variación estacional sobre etil 2-metil butanoato, acetato de 2-metil butilo y acetato de hexilo.

Fertilización

Manzanos fertilizados pobremente producen generalmente frutos pobres en sabor, y la aplicación de altas concentraciones de nitrógeno y fósforo aumenta la producción de algunos compuestos volátiles (Brown *et al.*, 1968), pero altos niveles de P también pueden inhibir la producción de otros compuestos volátiles después de almacenamiento en refrigeración (Forsyth y Webster, 1971).

Reguladores del crecimiento

El tratamiento pre-cosecha con aminoetoxivinilglicina (AVG) reduce la caída del fruto, retarda la maduración y reduce la pérdida de calidad durante el almacenamiento (Williams, 1980). Sin em-

bargo, tiene un efecto negativo sobre la biosíntesis de compuestos volátiles (Halder-Doll y Bangerth, 1987). Estudios realizados por Fan *et al.* (1998) mostraron que el uso de AVG disminuye la producción de ésteres en las etapa pre y pos climatérica en manzanas *Red Delicious*, lo cual es debido a que se requiere una continua producción de etileno para la adecuada síntesis de ésteres (Defilippi *et al.*, 2005), por lo que el uso de compuestos que inhiben la síntesis de etileno tiene un efecto negativo en la producción de ésteres.

Por otro lado, 1-metilciclopropeno (1-MCP) es un inhibidor de la acción del etileno, que se une de manera irreversible a los receptores del etileno en la célula (Sisler *et al.*, 1996; Sisler y Serek, 1997). El 1-MCP reduce efectivamente la maduración de la manzana, mediante la reducción de la síntesis de etileno y de la tasa respiratoria, de la pérdida de la firmeza y de la acidez titulable (Fan *et al.*, 1999), pero también afecta la producción de volátiles (Rupasinghe *et al.*, 2000) y la aceptación sensorial de la manzana (Lurie *et al.*, 2002). Fan-Mattheis (1999) y Defilippi *et al.* (2004) encontraron que la concentración de alcoholes y ésteres se reduce al aplicar 1-MCP. El efecto del 1-MCP sobre los aldehídos varía dependiendo de la variedad de manzana. En manzana *Gala* la concentración de aldehídos fue reducida (Mattheis *et al.*, 2005) mientras que en manzana *Greensleeves* no se observó ningún efecto (Defilippi *et al.*, 2004)

Condiciones de almacenamiento

Hoy en día, la mayor parte de la manzana producida es almacenada para su posterior comercialización. Una parte se almacena en refrigeración convencional para mantener la fruta disponible en el mercado durante un periodo prolongado (Knee, 1993). Otra parte es almacenada en frío bajo atmósfera controlada, la cual mantiene en mejores condiciones los atributos de calidad como firmeza, color, acidez y

TABLA III
PRINCIPALES COMPUESTOS VOLÁTILES IDENTIFICADOS
EN DIFERENTES VARIEDADES DE MANZANA

Variedad de manzana	Principales compuestos volátiles	Referencia
Esencia de <i>Delicious</i>	Etil 2-metil butanoato Hexanal	Flath <i>et al.</i> (1967)
<i>Fuji</i>	2-Hexenal Etil 2-metil butanoato Acetato de 2-metil butilo Acetato de hexilo	Echeverría <i>et al.</i> (2003)
<i>Golden Delicious</i>	Acetato de butilo Acetato de hexilo Acetato de 2-metil butilo	Drawert <i>et al.</i> (1973)
<i>Pink Lady</i>	Etil 2-metil butanoato Butanoato de etilo Etil 2-metil butanoato Acetato de 2-metil butilo Acetato de hexilo Propanoato de hexilo	López <i>et al.</i> (2007)
<i>Rome</i>	Acetato de etilo Acetato de butilo Acetato de 2-metil butilo Acetato de hexilo Butanoato de hexilo Butil 2-metil butanoato	Fellman <i>et al.</i> (1993)
<i>Bisbee Delicious</i>	Acetato de hexilo Acetato de butilo Acetato de 2-metil butilo Acetato de etilo Etil 2-metil butanoato Acetato de pentilo	Mattheis <i>et al.</i> (1991)
<i>Royal Gala</i>	Acetato de 2-metil butilo Butanol	Young <i>et al.</i> (1996)
<i>Starking Delicious</i>	Acetato de hexilo Etil 2-metil butanoato Butanoato de etilo Hexanoato de etilo	López <i>et al.</i> (1998b)
<i>Mondial Gala</i>	Acetato de butilo Acetato de hexilo Acetato de 2-metil butilo Propanoato de hexilo Butanoato de etilo Hexanoato de etilo	Echeverría <i>et al.</i> (2008)
<i>Granny Smith</i>	Etil 2-metil butanoato Butanol Acetato de pentilo propanoato de <i>tert</i> -butilo	Lavilla <i>et al.</i> (1999)
<i>Red Delicious</i>	Acetato de hexilo Hexanoato de butilo Octanoato de Propilo Octanoato de hexilo α -farneseno	Paliyath <i>et al.</i> (1997)

otros, en comparación con la refrigeración convencional (Kader, 1986; Dixon y Hewett, 2000).

En los últimos años se ha observado que las atmósferas controladas pueden afectar negativamente la producción de compuestos volátiles característicos del aroma en la manzana (Fellman *et al.*, 2003; Yahia, 1994). Bajas concentraciones de O₂ y altas concentraciones de CO₂ por largos periodos en almacenamiento dan como resultado la supresión del sabor en las manzanas (Fellman *et al.*, 2000).

Por su parte, López *et al.*, (2000) mencionan que la manzana *Golden Delicious* almacenada en atmósferas con bajo nivel de oxígeno, tiene la mayor emisión de compuestos volátiles después de cinco meses de almacenamiento y además mantiene adecuados niveles de firmeza, acidez, sólidos solubles y color. A pesar de una disminución en el total de la producción de aroma, este tipo de almacenamiento da a la fruta con los niveles más altos de ésteres de cadenas ramificadas, lo cual contribuye a intensificar el sabor de la manzana, lo que ha sido confirmado por análisis sensorial. En 2007, López *et al.* confirmaron que la manzana almacenada en atmósfera controlada muestra concentraciones de la mayoría de los compuestos volátiles considerablemente bajas, pero que a pesar de estas pérdidas, y según los resultados, este tipo de almacenamiento parece ser sumamente aconsejable para conseguir aceptación del consumidor de manzanas *Pink Lady* después de largos periodos de almacenamiento. Por su parte Echeverría *et al.* (2003) encontraron la mayor concentración de compuestos volátiles en manzanas *Fuji*, después de cinco meses en almacenamiento en tres diferentes condiciones: en refrigeración (21kPa O₂+0,03kPa CO₂), atmósfera controlada estándar (3kPa O₂ + 2kPa CO₂), y oxígeno ultra bajo (UBO; 1kPaO₂ + 2kPa CO₂). En ese estudio se menciona además que los efectos de supresión de compuestos volátiles en atmósfera controlada, comparada con almacenamiento en refrigeración, solo fueron significativos después de cinco meses, y que el UBO

tiene un efecto depresivo sobre el contenido total de compuestos volátiles. Resultados similares se observan con la manzana *Granny Smith*, en la cual el almacenamiento en BO (2,8-3kPa O₂ y 2,8-3kPa CO₂) y UBO (0,8-1kPa O₂ y 0,8-1kPa CO₂) no tuvo un efecto depresivo significativo en la producción de esos compuestos. Los parámetros de calidad se mantuvieron en niveles aceptables y la manzana maduró apropiadamente en almacenamiento posterior en atmósfera controlada a 20°C (Lavilla *et al.*, 1999).

Conclusiones

El sabor (gusto + aroma) a manzana es dependiente de la percepción y de una compleja combinación de compuestos volátiles y no volátiles. De estos componentes, los compuestos volátiles son los responsables de las características únicas del aroma que distinguen a la manzana y ejercen una gran influencia en la aceptación del consumidor. Por ello es relevante el conocimiento de los aspectos relacionados con los compuestos volátiles presentes en la manzana, así como de los factores que pueden afectar la síntesis y concentración de éstos.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen el financiamiento por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México y Gobierno del Estado de Chihuahua, a través del proyecto FOMIX CHIH-2008-C01-92083.

REFERENCIAS

Abeles FB, Morgan PW, Salveit ME (1991) Ethylene. En *Plant Biology*. Academic Press, Londres, RU. 414 pp.

Baldwin E (2002) Fruit flavour, volatile metabolism and consumer perceptions. En Knee M (Ed.) *Fruit Quality and its Biological Basis*. CRC. Boca Raton, FL, EEUU. pp. 89-106.

Beaulieu JC, Baldwin EA (2002) Flavor and aroma of fresh-cut fruits and vegetables. En Lamikanra O (Ed.) *Fresh-cut Fruits and Vegetables Science, Technology, and Market*. CRC. Boca Raton, FL, EEUU. pp. 391-438.

Brown DS, Buchanan JR, Hicks JR (1966) Volatiles from apple fruits as related to variety, maturity, and ripeness. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 88: 98-104.

Brown DS, Buchanan JR, Hicks JR, Uriu K, Muraka T (1968) Volatiles from apple fruits as affected by phosphorus fertilization. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 93: 705-715.

Buettner A, Schieberle P (2001) Evaluation of aroma differences between hand-squeezed juices from Valencia Late and Navel oranges by quantification of key odorants and flavor reconstitution experiments. *J. Agric. Food Chem.* 49: 2387-2394.

Burdock GA (2002) *Handbook of Flavor Ingredients*. 4ª ed. CRC. Boca Raton, FL, EEUU. 1834 pp.

Conn EE, Stumpf PK (1963) *Outlines of Biochemistry*. Wiley, Nueva York, EEUU. 356 pp.

Crouzet J, Nicolas M, Molina I, Valentin G (1984) Enzymes occurring in the formation of six-carbon aldehydes and alcohols in grapes. En Adda J (ed.) *Progress in Flavour Research*. Elsevier. Amsterdam, Holanda. pp. 401-408.

Cunningham DG, Acree TE, Barnard J, Butts R, Braell P (1986) Charm analysis of apple volatiles. *Food Chem.* 19: 137-147.

Defilippi BG, Dandekar AM, Kader AA (2004) Impact of suppression of ethylene action or biosynthesis on flavor metabolites in apple

(*Malus domestica* Borkh) fruits. *J. Agric. Food Chem.* 52: 5694-5701.

Defilippi BG, Dandekar AM, Kader AA (2005) Relationship of ethylene biosynthesis to volatile production, related enzymes, and precursor availability in apple peel and cortex tissues. *J. Agric. Food Chem.* 53: 3133-3141.

De Pooter HL, Van Acker M, Schamp NM (1987) Aldehyde metabolism and the aroma quality of stored Golden Delicious apples. *Phytochemistry* 26: 89-92.

Dimick PS, Hoskin JC (1983) Review of apple flavor state of the art. *CRC Crit. Rev. Food Sci.* 18: 387-409.

Dixon JA, Hewett E (2000) Factors affecting apple aroma/flavour volatile concentration: a review. *J. Crop Hortic. Sci.* 28: 155-173.

Drawert F, Tressl R, Heimann W, Emberger R, Speck M (1973) Über die Biogenese von Aromastoffen bei Pflanzen und Früchten. XV. Enzymatisch-oxidative Bildung von Cs-Aldehyden und Alkoholen und deren Vorstufen bei Äpfeln und Trauben. *Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm.* 2: 10-22.

Echeverría G, Fuentes MT, Graell J, López ML (2003) Relationships between volatile production, fruit quality and sensory evaluation of Fuji apples stored in different atmospheres by means of multivariate analysis. *J. Sci. Food Agric.* 84: 5-20.

Echeverría G, Fuentes T, Graell J, Lara I, López ML (2004) Aroma volatile compounds of 'Fuji' apples in relation to harvest date and cold storage technology A comparison of two seasons. *Postharv. Biol. Technol.* 32: 29-44.

Echeverría G, Graell J, Lara I, López ML (2008) Physicochemical measurements in 'Mondial Gala®' apples stored at different atmospheres: Influence on consumer acceptability. *Postharv. Biol. Technol.* 50: 135-144

Fälder RA (2003) *Enciclopedia de los Alimentos*. Frutas "Distribución y consumo". 69: 75-111.

Fan X, Mattheis JP (1999) Impact of 1-Methylcyclopropene and methyl jasmonate on apple volatile production. *J. Agric. Food Chem.* 47: 2847-2853.

Fan X, Mattheis JP, Buchanan D (1998) Continuous requirement of ethylene for apple fruit volatile synthesis. *J. Agric. Food Chem.* 46: 1959-1963.

Fellman JK, Mattison DS, Fan X, Mattheis JP (1997) 'Fuji' apple storage characteristics in relation to growing conditions and harvest maturity in Washington State. En Mitcham EJ (Ed.) *Apples and Pears. Proceedings of 7th International CA Conference*. Vol. 2. p. 234.

Fellman JK, Miller TW, Mattinson DS, Mattheis JP (2000) Factors that influence biosynthesis of volatile flavor compounds in apple fruits. *HortScience* 35: 1026-1033.

Fellman JK, Rudell DR, Mattison DS, Mattheis JP (2003) Relationship of harvest maturity to flavor regeneration after CA storage of "Delicious" apples. *Postharv. Biol. Technol.* 27: 39-51.

Fellman JK, Mattison DS, Bostick BC, Mattheis JP, Patterson ME (1993) Ester biosynthesis in "Rome" apples subjected to low-oxygen atmospheres. *Postharv Biol. Technol.* 3: 201-214.

Flath RA, Black DR, Guadagni DG, McFadden WH, Schultz TH (1967) Identification and organoleptic evaluation of compounds in Delicious apple essence. *J. Agric. Food Chem.* 15: 29-35.

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

Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities. CRC. Boca Raton, FL, EEUU. pp.119-159.

Forsyth FR, Webster DH (1971) Volatiles from McIntosh apple fruits as affected by phosphorus and potassium nutrition. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 96: 259-263.

Galliard T (1968) Aspects of lipid metabolism in higher plants-II. The identification and quantitative analysis of lipids from the pulp of pre- and post-climateric apples. *Phytochemistry* 7: 1915-1922.

Halder-Doll H, Bangerth F (1987) Inhibition of autocatalytic C₂H₄-biosynthesis by AVG applications and consequences on the physiological behavior and quality of apple fruits in cool storage. *Sci. Hort.* 33: 87-96.

Hansen K, Poll L (1993) Conversion of L-isoleucine into 2-methylbut-2-enyl esters in apples. *Lebensm. Wissm. Technol.* 26: 178-180.

Hansen K, Poll L, Olsen CE, Lewis MJ (1992) The influence of oxygen concentration in storage atmospheres on the post-storage volatile ester production of 'Jonagold' apples. *Lebensm. Wissm. Technol.* 25: 457-461.

Kader AA (1986) Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technol.* 40: 99.

Kays SJ, Paull RE (2004) *Postharvest Biology*. Exon. Athens, GA, EEUU. pp. 188-195.

Knee M (1993) Pome fruit: Biochemistry. En Seymour GB, Taylor JE, Tucker GA, (Eds.) *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman and Hall, Londres, RU. pp. 329-336.

Lavilla T, Puy J, López ML, Recasens I, Vendrell M (1999) Relationships between volatile production, fruit quality, and sensory evaluation in Granny Smith apples stored in different controlled-atmosphere treatments by means of multivariate analysis. *J. Agric. Food Chem.* 47: 3791-3803.

Leffingwell JC, Leffingwell D (1991) GRAS flavor chemicals-Detection Thresholds. *Perfumer & Flavorist*. 16: 1-19.

López ML, Lavilla MT, Riba M, Vendrell M (1998a) Comparison of volatile compounds in two seasons in apples: 'Golden Delicious' and 'Granny Smith'. *J. Food Qual.* 21: 155-166.

López ML, Lavilla MT, Recasens I, Riba M, Vendrell M (1998b) 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 ML, Lavilla MT, Recasens I, Graell J, 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 ML, Villatoro C, Fuentes T, Graell J, Lara I, Echeverría G (2007) Volatile compounds, quality parameters and consumer acceptance of 'Pink Lady' apples stored in different conditions. *Postharv. Biol. Technol.* 43: 55-66.

Lurie S (1998) Postharvest heat treatments of horticultural crops. *Hort. Rev.* 22: 91-121.

Lurie S, Pre-Aymard C, Ravid U, Larkov O, Fallik E (2002) Effect of 1-methylcyclopropene on volatile emission and aroma in cv. Anna apples. *J. Agric. Food Chem.* 50: 4251-4256.

Mattheis JP, Fellman JK, Chen PM, Patterson ME (1991) Changes in headspace volatiles during physiological development of Bisbee Delicious apple fruit. *J. Agric. Food Chem.* 39: 1902-1906.

- Mattheis JP, Fan X, Argenta LC (2005) Interactive responses of Gala apple fruit volatile production to controlled atmosphere storage and chemical inhibition of ethylene action. *J. Agric. Food Chem.* 53: 4510-4516.
- Mathews CK, Van Holde KE, Ahern KG (2002) Oxidación de los ácidos grasos. En *Bioquímica*. Pearson. Madrid. España. pp. 628-629.
- 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.
- Paillard NMM (1981) Factors influencing flavor formation in fruits. En Schreier P (Ed.) *Flavour 81*. Gruyter. Berlin, Alemania. pp. 419-507.
- Paillard NMM (1990) The flavour of apples, pears, and quinces. En Marton I, McLeod AJ (Eds.) *Food Flavours Part C: The Flavour of Fruits*. Elsevier. Amsterdam, Holanda. pp. 1-41.
- Paliyath G, Whiting MD, Stasiak MA, Murr DP, Clegg BS (1997) Volatile production and fruit quality during development of superficial scald in Red Delicious apples. *Food Res. Int.* 30: 95-103.
- Pérez AG, Sanz C (2008) Formation of fruit flavor. En Bruckner B, Grant WS (Eds.) *Fruit and Vegetable Flavour*. Cambridge, RU. pp 41-70.
- Plotto A (1998) Instrumental and sensory analysis of 'Gala' apple (*Malus domestica*, Borkh) aroma. Tesis. Oregon State University. Corvallis, OR, EEUU. 193 pp.
- Rizzolo A, Visai C (1990) Studies on the quality of 'Golden Delicious' apples coming from different localities of Trentino. XXIII Int. Horticultural Congress. Florencia, Italia. Abstract 2411.
- Rowan DD, Allen JM, Fielder S, Hunt MB (1999) Biosynthesis of straight-chain volatiles in 'Red Delicious' and 'Granny Smith' apples using deuterium-labeled precursors. *J. Agric. Food Chem.* 47: 2553-2562.
- Rupasinghe HP, Murr DP, Paliyath G, Skog L (2000) Inhibitory effect of 1-MCP on ripening and superficial scald development in 'McIntosh' and 'Delicious' apples. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 75: 271-276.
- SAGARPA (2003) Claridades agropecuarias. Boletines. www.sagarpa.gob.mx.boletines.
- Sanz C, Olias JM, Pérez AG (1997) Aroma biochemistry of fruits and vegetables. En Tomas-Barberan FA, Robins RJ (Eds.) *Phytochemistry of Fruit and Vegetables*. Clarendon. Oxford, RU. pp. 125-155.
- Sisler EC, Serek M (1997) Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent development. *Physiol. Plant.* 100: 577-582.
- Sisler EC, Dupille E, Serek M (1996) Effect of 1-methylcyclopropane and amethylenecyclopropane on ethylene binding and ethylene action on cut carnations. *Plant Growth Regul.* 18: 79-86.
- Takeota GR, Buttery RG, Flath RA (1992) Volatile constituents of Asian Pear (*Pyrus serotina*) *J. Agric. Food Chem.* 40: 1925-1929.
- Yahia EM (1994) Apple flavor. *Hort. Rev.* 16: 197-234.
- Young H, Gilbert JM, Murray SH, Ball RD (1996) Causal effects of aroma compounds on Royal Gala apple flavours. *J. Sci. Food Agric.* 71: 329-336.
- Wang Y, Finn Ch, Qian MC (2005) Impact of growing environment on Chickasaw Blackberry (*Rubus L.*) aroma evaluated by gas chromatography olfactometry dilution analysis. *J. Agric. Food Chem.* 53: 3563-3571.
- 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. Australia. 174 pp.
- Williams MW (1980) Retention of fruit firmness and increase in vegetative growth and fruits of apples with aminoethoxyvinylglycine. *Horticulture* 15: 76.
- Wyllie S, Fellman JK (2000) Formation of volatile branched chain esters in bananas. *J. Agric. Food Chem.* 48: 3493-3496.
- Wyllie SG (2008) Flavour quality of fruit and vegetables: are we on the brink of major advances? En Bruckner B, Grant WS (Eds.) *Fruit and Vegetable Flavour*. CRC. Cambridge, RU. pp 3-9.

THE AROMA OF APPLES

Nora Salas Salazar and Guadalupe Olivas Orozco

SUMMARY

Apples produce volatile chemicals that are responsible for the characteristic aroma of the fruit. These compounds are of interest as they have a great influence in the quality of apples, as they determine the aroma. Current technology has allowed the recognition of about 400 volatile compounds present in apples. Their biosynthesis involves enzymes such as lipoxygenase (LOX), alcohol dehydrogenase (ADH), alcohol acyltransferase (AAT), and substrates such as carbohydrates, proteins and lipids, the latter being the main precursors of volatile compounds

in apples. The volatile compound composition and their concentration can vary in apples depending upon the variety, and the cultivation, harvesting and storage conditions. In this review, information regarding the biosynthesis of the volatile compounds that define the aroma of apples is gathered, as well as the metabolic pathways, enzymes and substrates involved. Also, the main pre-harvest, harvest and post-harvest factors affecting the biosynthesis of volatile compounds are reviewed.

O AROMA DA MAÇÃ

Nora Salas Salazar e Guadalupe Olivas Orozco

RESUMO

As maçãs produzem compostos químicos voláteis que são responsáveis pelo aroma característico da fruta. Estes compostos são de interesse porque têm grande influência na qualidade da maçã, já que determinam seu aroma. A tecnologia atual tem permitido conhecer cerca de 400 compostos voláteis presentes na maçã. Sua biossíntese envolve enzimas tais como lipoxigenase (LOX), álcool desidrogenase (ADH), álcool aciltransferase (AAT) e substratos tais como carboidratos, proteínas e lipídeos, sendo estes últimos os principais precursores de compostos

voláteis na maçã. A composição e concentração dos compostos voláteis na maçã pode variar dependendo da variedade, condições de cultivo, de colheita e de armazenamento. Nesta revisão é coletada informação referente à biossíntese de compostos voláteis que definem o aroma da maçã, assim como as rotas metabólicas, enzimas e substratos envolvidos. Além disso, se detalham os principais fatores pré-colheita, colheita e pós-colheita que afetam a biossíntese de compostos voláteis.