

COMPUESTOS ACTIVOS DEL AROMA DEL MANGO

Jorge A. Pino^{1,2}

¹Instituto de investigaciones para la Industria Alimenticia. Carretera al Guatao km 3 ½,
La Habana, CP 19200, Cuba.

²Dpto. Alimentos. Instituto de Farmacia y Alimentos. Universidad de La Habana. La Habana, CP 13600,
Cuba.

E-mail: jpino@iiaa.edu.cu

Recibido: 22-03-2021 / Revisado: 12-04-2021 / Aceptado: 19-04-2021 / Publicado: 30-04-2021

RESUMEN

Este trabajo presenta una revisión de los principios y aspectos aplicados a los compuestos activos del aroma de la fruta de mango. Con el uso de distintas técnicas de aislamiento, los compuestos volátiles se han analizado principalmente con la combinación de la cromatografía gaseosa-espectrometría de masas y cromatografía gaseosa-olfatometría. En la fruta del mango se han informado casi 600 compuestos volátiles, donde predominan los terpenos, ésteres, alcoholes, aldehídos, cetonas, lactonas y ácidos. Sólo algunos de los compuestos identificados son considerados como importantes compuestos activos del aroma de mango. Esta aroma es muy difícil de definir en una base universal debido a que son muchas variedades y a que las regiones agroclimáticas diferentes causan una gran variación perfil del aroma. En general, el aroma es normalmente dulce, cremoso, frutal y floral con un carácter del melocotón en conserva con una nota terpénica resinosa. Todas estas notas muestran una variación significativa entre las variedades.

Palabras clave: mango, *Mangifera indica*, compuestos del aroma, técnicas analíticas.

ABSTRACT

Aroma-active compounds from mango

This paper presents a review on fundamental and applied aspects of aroma-active compounds from mango fruit. Using different isolation techniques, the volatile compounds have been analyzed in conjunction mainly with gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-olfactometry. In mango fruit, nearly 600 constituents have been reported with the dominating compounds being terpenes, esters, alcohols, aldehydes, ketones, lactones, and acids. Only few of the identified compounds are considered important aroma-active compounds from mango. This aroma is very difficult to define on a universal basis as there are many varieties and different agroclimatic regions causing a broad variation in the aroma profile. In general, the aroma is usually sweet, creamy, fruity, and floral with a canned peach character with a terpeny resinous note. All these notes showed significant variance in different varieties.

Keywords: mango, *Mangifera indica*, aroma compounds, analytical techniques.

INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L., fam. Anacardiaceae) es una de las frutas tropicales más importantes de acuerdo con su producción y áreas de cultivo, debido en gran parte por su aroma y sabor exótico y delicioso (1). Este

Jorge A. Pino: Investigador Titular del Dpto. de Aromas del IIIA. Doctor en Ciencias Técnicas (CNIC, La Habana, 1980) y Doctor en Ciencias (IFAL, La Habana, 2011). Miembro Titular de la Academia de Ciencias de Cuba. Investiga en la química y tecnología del aroma de los alimentos y aceites esenciales.

tiene la misma popularidad en los trópicos que posee la manzana en las regiones templadas. En años recientes, las excelentes cualidades de esta fruta han sido bien recibidas en muchas partes del mundo gracias a avances en el almacenamiento y transportación a largas distancias como fruta fresca o procesada.

Datos fitogeográficos y estudios de taxonomía filogenética de variedades de mango indican que esta especie es originaria de la región indica. El árbol del mango crece en un amplio rango de condiciones medioambientales, aunque se considera que las regiones de mejor cultivo tienen temperaturas entre 21 y 26,5 °C, y que las temperaturas extremas son indeseables para el crecimiento normal y fructificación (2). La India es el mayor productor mundial, pero otras regiones importantes son China, Tailandia, Pakistán, México, Indonesia, Brasil, Bangladesh, Filipinas y Nigeria (3).

Existen miles de variedades en el mundo, las que varían en color de la fruta, tamaño, forma, olor, sabor, textura y período de maduración (4). La fruta del mango se origina de árboles de semillas monoembriónicas o de semillas poliembriónicas (5). Ambos tipos son propagados vegetativamente por injerto. La mayoría del mango fresco comercializado y procesado que se vende en el mundo se origina de variedades monoembriónicas.

En este trabajo, se resume la composición del aroma de la fruta del mango, con énfasis en aquellos compuestos que más contribuyen a su aroma. Para tal fin se recopiló la información de la mayoría de los estudios publicados entre 1974 y 2018, así como de varias revisiones (6-10).

Procedimientos analíticos aplicados

La investigación del aroma está asociada al estudio de los compuestos volátiles en un alimento. Sin el aroma, es muy difícil identificar el gusto de un producto alimenticio. La identificación de los compuestos volátiles, particularmente en los alimentos, es una de las tareas más complejas en la química analítica. El primer obstáculo es que los instrumentos de medición son menos sensibles a muchos compuestos en comparación con el olfato humano, por lo que es necesario aislar y concentrar antes a estos compuestos. Debido a que los compuestos del aroma están distribuidos en una matriz a su vez compleja, los procedimientos de aislamiento y concentración

son complicados. La mayoría de las técnicas usadas en el aislamiento de aromas tienen en cuenta la solubilidad o volatilidad de los compuestos del aroma. El análisis de los compuestos del aroma ha sido objeto de estudio en tratados especializados (11-18) y la presente revisión solo se enfocará en aquellos aplicados en las investigaciones del mango.

La etapa de aislamiento puede generar compuestos nuevos (artefactos) o producir pérdidas, por lo que el contenido total de compuestos volátiles, en muchos casos, es difícil de relacionar con el perfil sensorial del alimento determinado por una comisión de catadores. De esta forma, el aislamiento de los compuestos del aroma ha sido informado como una fuente de variación en los resultados de frutas. Una revisión en la base de datos Scopus en el período desde 1974, cuando se reportó el primer trabajo del aroma de mango, hasta el año 2020, se encontraron 114 trabajos de investigación. A partir de esta información, los métodos más comúnmente usados en el aislamiento de compuestos volátiles en el mango incluyen a la microextracción en fase sólida del espacio de cabeza, conocida por las siglas HS-SPME (40 %), destilación-extracción simultáneas (18 %), destilación (16 %), análisis del espacio de cabeza convencional (14 %), extracción con disolvente (8 %), extracción del aroma asistida con disolvente, conocida por las siglas SAFE (3 %) y extracción en fase sólida (1 %). Como no existe un método universal, es esencial seleccionar un método que produzca un extracto tan representativo como sea posible del aroma de la fruta.

En la actualidad es conocido que no todos los constituyentes volátiles de un alimento interactúan con los receptores olfativos humanos. Solamente un reducido número de ellos, conocidos como compuestos claves, son detectados por el olfato y consecuentemente, participan en la creación de la impresión del aroma en el cerebro (19). Una vía para separar los compuestos activos del aroma del conjunto de aquellos aislados es a través de la cromatografía de gases-olfatometría (GC-O) mediante técnicas cuantitativas como, por ejemplo, el análisis de dilución del extracto de aroma (AEDA) (19). Las técnicas de dilución como AEDA son útiles para discriminar los compuestos importantes del aroma en los alimentos, pero estas técnicas no permiten estudiar la influencia de la matriz del alimento en el atrapamiento de los compuestos volátiles ni las interacciones entre ellos. Estas limitaciones son resueltas

cuando las concentraciones de los odorantes individuales son relacionadas con los umbrales de detección de olor mediante el cálculo de los valores de actividad de olor (VAO) (19). Solo unos pocos estudios han aplicado el concepto de VAO: en mango verde (20) y en mango maduro (21-25, 43-45).

En la actualidad, es generalizada la idea de que para obtener resultados confiables se hace necesario aplicar alguna técnica cuantitativa de GC-O combinada con el cálculo del VAO.

Constituyentes importantes en el aroma del mango

El aroma y sabor del mango están constituidos mayoritariamente por compuestos volátiles lipofílicos, donde los compuestos poco volátiles y no volátiles también tienen una función en la sensación global. Como en otras muchas frutas, el aroma y sabor del mango es una combinación de compuestos volátiles percibidos por el olfato humano y de compuestos no volátiles (principalmente azúcares y ácidos) reconocidos en la boca (26).

Muchos de los compuestos del aroma del mango han sido identificados y reportados la fruta fresca y productos procesados (6-10). Sin embargo, la comparación de estos resultados es difícil, debido a que fueron diferentes variedades y métodos de aislamiento, así como que en ocasiones los resultados son en concentraciones relativas. Se ha reportado casi 600 compuestos volátiles que incluyen monoterpenos y sesquiterpenos, ésteres alifáticos, hidroxílicos y aromáticos, δ - y γ -lactonas, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos, furanos, fenoles y derivados azufrados, pero cualitativa y cuantitativamente los terpenos y ésteres son los mayoritarios (27).

El aroma y sabor del mango es muy difícil de definir dado el gran número de variedades y regiones agroclimáticas que causan una amplia variación del perfil del aroma (9). En general, el sabor puede variar desde muy dulce a pulposo o muy ácido, mientras que el aroma es generalmente dulce, cremoso, frutal, floral con un carácter de melocotón en conserva y una nota terpénica resinosa. Todas estas notas muestran una variación significativa entre las diferentes variedades. El mango Alfonso de la India posee un carácter dulce y terpénico con un sabor a melocotón, mientras que el mango Carabao de Filipinas tiene una nota tope terpénica en combinación con un aroma a albaricoque (10). Los

mangos de Sri Lanka y Malasia poseen notas terpénicas resinosa y verde. Estas notas terpénicas son modificadas principalmente por la presencia de ésteres, δ - y γ -lactonas, y furanos para lograr una percepción del sabor global.

Estudios del aroma, basados en evaluaciones sensoriales y en la concentración de los compuestos volátiles han sugerido que ciertos hidrocarburos monoterpénicos son importantes en el aroma del mango (28, 29). Los ésteres y compuestos carbonílicos imparten una nota frutal y las lactonas y algunos ácidos grasos son también considerados importantes en el aroma del mango (30-34). Sin embargo, son pocos los estudios que se han propuesto determinar los compuestos del aroma más importantes (30). Teniendo en cuenta la complejidad de los constituyentes volátiles en el mango, algunos investigadores han sugerido que no existe una formulación única para esta fruta (30, 31, 33). Varias variedades de mango poseen un aroma que recuerda al melocotón (35, 36). Los estudios reportados en relación con el aroma del melocotón demostraron que varias lactonas son contribuyentes importantes al aroma (37). Muchas de estas lactonas reportadas en melocotones también han sido encontradas en el mango. En el mango Alfonso, 14 lactonas fueron identificadas y muchas de ellas han sido informadas como contribuyentes importantes al aroma de la nectarina, melocotón, albaricoque o coco (38). Debido al carácter a melocotón de algunas variedades de mango, es probable que ciertas lactonas tengan una contribución positiva al aroma del mango.

Algunas variedades de mango poseen un aroma que recuerda a la piña. El Furaneol o 2,5-dimetil-4-hidroxi-3(2H)-furanona contribuye al aroma de la piña con una nota a caramelo o azúcar quemado a altas concentraciones, pero a bajas concentraciones aporta notas herbal, dulce, frutal o similar a la fresa. Así, esta furanona pudiera ser responsable de algunos atributos de las variedades que tienen un aroma similar a la piña. La contribución al mango de siete lactonas en cantidades presentes en las variedades Alfonso y Baladi fue evaluada para dos lactonas presentes en la variedad Keitt, y la 2,5-dimetil-4-hidroxi-3(2H)-furanona mediante una mezcla en un pureé del mango Tommy Atkins (39). La mezcla de lactonas adicionada al pureé de Tommy Atkins en las concentraciones reportadas en el mango Alfonso fue significativamente preferida en relación con el pureé solo y a la mezcla de lactonas adicionada a las altas concentraciones en que se encuentran en el mango

Baladi. Los catadores prefirieron significativamente la mezcla de lactonas adicionada al pureé. Sin embargo, la 2,5-dimetil-4-hidroxi-(3*H*)-furanona no tuvo una contribución positiva al aroma de mango y algunos catadores sugirieron que aporta un sabor a sobremaduro.

Seis variedades comerciales de mango brasileños (Carlota, Haden, Espada, Coração de boi, Rubi y Tommy Atkins) fueron analizadas por GC-O (40). Todas ellas mostraron que el butanoato de etilo fue el principal constituyente que aporta a su aroma. Los ésteres etílicos de los ácidos 2-metilbutanoico y 3-metilbutanoico también fueron importantes. En la variedad Rubi, ambos isómeros contribuyen a la nota frutal caprícola observada. En las variedades Haden, Espada, Rubi y Tommy Atkins, el δ -3-careno fue el segundo compuesto de impacto. En Tommy Atkins, el α -pineno también tuvo una contribución importante.

En otro estudio, a partir de la cáscara y pulpa del mango tailandés Khieo Sawoei en estado verde, se aislaron los compuestos volátiles mediante una técnica similar a la que se usa para obtener los aceites esenciales y se evaluaron por el cálculo de los VAO (20). De los 67 constituyentes identificados, solo nueve tuvieron VAO > 1 en la pulpa, donde sobresalieron el hexanal y (*E*)-2-hexenal; mientras que otros 16 compuestos mostraron VAO > 1 en la cáscara, donde tuvieron mayor aporte el 2,4-decadienal, (*E*)-2-decenal, γ -terpineno, (*E*)- β -ocimeno, (*E*)-2-hexenal y hexanal.

Los constituyentes volátiles de 20 variedades cubanas de mango (Delicioso, Haden, Super-Haden, Manga Amarilla, Macho, Manga Blanca, Ordoñez, Obispo, Corazón, Delicia, Filipino, Huevo de Toro, San Diego, Manzano, Smith, Florida, Minin, La Paz, Keith y Kent) fueron evaluados mediante el cálculo de los VAO (21). Entre ellos, los más importantes fueron el 2-metilpropanoato de etilo, butanoato de etilo, (*E,Z*)-2,6-nonadienal, (*E*)-2-nonenal, benzoato de metilo, (*E*)- β -ionona, decanal y 2,5-dimetil-4-metoxi-3(2*H*)-furanona.

Los compuestos activos del aroma en cinco variedades de mangos (Haden, White Alfonso, Praya Sowoy, Royal Special and Malindi) madurados en el árbol y cultivados en la Florida fueron evaluados mediante la técnica de GC-O (22). La aplicación del AEDA mostró 54 compuestos activos del aroma con factores de dilución del aroma (FD) en el rango de 4 a ≥ 2048 . Un total de 16 de ellos fueron reportados por primera vez

como activos en el mango. Los resultados revelaron que la 4-hidroxi-2,5-dimetil-3(2*H*)-furanona es un contribuyente importante en todas las variedades. Del total de ellos, 27 estuvieron presentes en, al menos, una de las variedades. Las diferencias en los factores FD de estos compuestos entre las variedades sugieren que ellos contribuyen al aroma típico de cada variedad.

Como continuación del estudio anterior, 34 compuestos activos del aroma, previamente caracterizados por sus altos factores FD, fueron cuantificados en frutas maduras en el árbol de la variedad Haden (23). A partir de esta información se calcularon los VAO. Se obtuvieron VAO > 1 para 24 compuestos, donde se destacan como más potentes al 2-metilbutanoato de etilo (frutal, VAO 2100), (3*E*, 5*Z*)-undeca-1,3,5-trieno (piña, VAO 1900), 3-metilbutanoato de etilo (frutal, VAO 1600) y butanoato de etilo (frutal, VAO 980), seguidos del (*E,Z*)-2,6-nonadienal (pepino), 2-metilpropanoato de etilo (frutal), (*E*)- β -damascenona (manzana cocida), hexanoato de etilo (frutal), 4-hidroxi-2,5-dimetil-3(2*H*)-furanona (caramelo), 3-metilbut-2-en-1-tiol (azufrado), γ -decalactona (melocotón), mirceno (terpénico), (*Z*)-3-hexenal (verde), 4-metil-4-sulfanilpentan-2-ona (fruta tropical) y octanoato de etilo (frutal). Los experimentos sensoriales de simulación y omisión revelaron que 13 de los 15 compuestos, cuando se combinan en una mezcla modelo en sus concentraciones naturales imitaron el aroma de la fruta.

Por otra parte, el limoneno, mirceno, δ -3-careno, β -cariofileno, γ -butirolactona y butanoato de 3-metilbutilo fueron informados como contribuyentes del aroma en el mango peruano Keitt, en estado fresco y deshidratado, mediante el empleo del cálculo de VAO (41). El mesifurano o 2,5-dimetil-4-metoxi-3(2*H*)-furanona tuvo un alto VAO sólo en la fruta fresca, mientras que el hexanal y heptanal lo fueron solamente en la fruta deshidratada.

El estudio de los compuestos volátiles del mango Corazón, cultivado en Cuba, permitió la identificación de 167 constituyentes (24). Los compuestos activos del aroma se determinaron por AEDA y VAO. Se detectaron 18 odorantes, donde los más importantes fueron la (*E*)- β -damascenona, butanoato de etilo, (*E,Z*)-nonadienal, 2-metilpropanoato de etilo, (*E*)-2-nonenal, (*E*)- β -ionona, terpinoleno, δ -3-careno, β -cariofileno, 2-metilbutanoato de etilo, limoneno, mirceno, linalol, γ -octalactona, nonanal, benzoato de metilo, 2,5-dimetil-4-metoxi-3(2*H*)-furanona y hexanal.

Una investigación sobre el aroma del mango reveló la presencia de un compuesto activo del aroma que imparte un fuerte olor a madera (43). El aislamiento por la técnica SAFE y análisis por HPLC permitió la identificación de la rotundona o (3S,5R,8S)-5-isopropenil-3,8-dimetil-3,4,5,6,7,8-hexahidro-1(2H)-azulenona. Mediante análisis sensorial se evaluó el efecto de esta sustancia al adicionarse a una bebida de mango y se determinó que la adición de concentraciones por debajo de su umbral de detección de olor no impartió el olor a madera, pero tuvo efectos significativos en el aroma y sabor global de la bebida.

Para discriminar los compuestos aromáticos activos en el jugo fresco de mango Keitt, se utilizaron, en colaboración, análisis de frecuencia de detección y OAV (44). Se identificaron un total de 12 componentes como compuestos aromáticos principales, a saber, 3-careno, mirceno, (*E*)- β -ocimeno, terpinoleno, 2,4-dimetilestireno, (*E*)-2-heptenal, (*E*)-2-nonenal, (*E,Z*)-2,6-nonadienal, (*E,Z*)-3,6-nonadien-1-ol, butanoato de etilo, γ -octalactona y β -ionona.

Se analizaron los compuestos volátiles encontrados en tres cultivares de mango (Tainong no. 1, Keitt y Zill) cultivados en China (45). Los resultados mostraron que se encontraron 19, 14 y 20 compuestos en el Tainong no. 1, Keitt y Zill, respectivamente, como importantes odorantes con VAO superiores a uno. De estos, 5, 7 y 5 compuestos de azufre fueron identificados en las tres muestras, respectivamente. Metanotiol, etanotiol, 1-propanotiol, disulfuro de metilo y propilo y 3-mercaptohexan-1-ol se detectaron por primera vez en mango. Se seleccionaron cinco compuestos de azufre para estudiar interacciones utilizando el modelo aditivo de Feller, OAV y modelo vectorial. Entre estas mezclas, seis mezclas mostraron un efecto de enmascaramiento, tres mezclas presentaron un efecto aditivo y una mezcla mostró un efecto sinérgico.

Los compuestos activos del aroma de cinco variedades de mango chino se investigaron mediante HS-SPME y GC-MS-O (44). El análisis por GC-O (detección de frecuencia [FD]/estimación de magnitud específica de orden [OSME]) identificó 23, 20, 20, 24 y 24 compuestos volátiles en Jinmang, Qingmang, Guifei, Hongyu y Tainong, respectivamente. Además, se encontraron 11, 9, 9, 8 y 17 odorantes con $OAV \geq 1$ en Jinmang, Qingmang, Guifei, Hongyu y Tainong, respectivamente. Un análisis sensorial posterior mostró que los métodos

OAV y GC-O (FD/OSME) concuerdan con los principales perfiles aromáticos sensoriales (aromas de frutas, dulces, flores y colofonia) de las cinco pulpas de mango. Aproximadamente 29 compuestos aromáticos activos ($FD \geq 6$, $OSME \geq 2$, $OAV \geq 1$) se identificaron en las variedades de mango, a saber, γ -terpineno, hexan-1-ol, hexanal, terpinoleno (*E*)-2-heptenal y *p*-cimeno, como los responsables de su aroma.

Recientemente, los compuestos volátiles de la variedad Aaulfo en México fueron aislados por HS-SPME y SAFE (25). La contribución al aroma de los compuestos fue evaluada por AEDA y VAO. Un total de 108 constituyentes fueron identificados, donde predominaron el δ -3-careno, terpinoleno, α -pineno, limoneno y mirceno. Se determinó que 28 de estos constituyentes son odorantes activos de esta variedad de mango. Por primera vez, el hexan-1-ol, heptan-1-ol, β -pineno, α -felandreno, γ -terpineno, dodecanal y α -humuleno se informan como contribuyentes importantes del aroma del mango.

La Tabla 1 resume los resultados hasta la fecha, basado en aquellos estudios donde se ha empleado, al menos, alguna técnica cuantitativa de GC-O y VAO para la determinación de la contribución sensorial.

COMENTARIOS FINALES

El aroma del mango es muy difícil de definir dado el gran número de variedades y regiones agroclimáticas que causan una amplia variación. El estudio del aroma de muchas variedades de mango ha permitido la identificación de casi 600 compuestos volátiles en fruta fresca y productos procesados. Entre ellos, los compuestos terpénicos, ésteres y furanonas parecen ser los más importantes en el aroma. En la actualidad, es generalizada la idea de que para obtener resultados confiables se hace necesario aplicar alguna técnica cuantitativa de GC-O combinada con el cálculo del VAO. Sin embargo, la información en relación con los compuestos de impacto en el aroma y sus cambios durante el procesamiento es limitada, por lo que deben hacerse esfuerzos para ampliar estos conocimientos.

Tabla 1. Resumen de los compuestos activos del aroma en variedades de mango¹

| Compuesto | Variedad ² (referencia) |
|----------------------|--|
| <i>Ácidos</i> | |
| acético | H (22,23), WA (22), PS (22), M (22) |
| butanoico | C (21), H (22), WA (22), PS (22), RS (22), M (22) |
| 2-metilbutanoico | H (22), WA (22), PS (22), M (22) |
| 3-metilbutanoico | H (22), WA (22), PS (22), M (22) |
| <i>Alcoholes</i> | |
| butan-1-ol | D (21), MB (21), C (21) |
| 2-metilbutan-1-ol | MA (21), F (21), HT (21) |
| 3-metilbutan-1-ol | D (21), MA (21), O (21), Ob (21), C (21), HT (21) |
| 1-penten-3-ol | Ke (21) |
| (Z)-3-hexen-1-ol | H (21), D (21), MA (21), Ob (21), F (21), A (25) |
| hexan-1-ol | A (25) |
| heptan-1-ol | A (25) |
| 1-octen-3-ol | SH (21), O (21), Ob (21), De (21), SD (21), S (21), LP (21) |
| 2-feniletanol | H (22,23), WA (22), RS (22) |
| <i>Aldehídos</i> | |
| (Z)-3-hexenal | KS (20), H (22,23), WA (22), PS (22), A (25) |
| (E)-3-hexenal | H (22), WA (22), PS (22), RS (22), M (22) |
| hexanal | KS (20), SH (21), Ma (21), Ob (21), Ke (21), H (22), C (24), A (25) |
| (E)-2-hexenal | KS (20), H (21), D (21), SH (21), MA (21), Ma (21), Ob (21), C (21), De (21), F (21), HT (21), SD (21), Man (21), Fl (21), LP (21), Ke (21), A (25) |
| heptanal | D (21), MA (21), Ma (21), Ob (21), Mi (21), K (21), Ke (21), A (25) |
| (E)-2-heptenal | D (21), Ma (21), Ob (21), De (21), Man (21), S (21), Fl (21), LP (21), Ke (21) |
| nonanal | D (21), H (21), SH (21), MA (21), O (21), De (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), Mi (21), LP (21), K (21), Ke (21), C (24), A (25) |
| (E)-2-nonenal | D (21), H (21,22), SH (21), MA (21), Ma (21), Ob (21), De (21), Man (21), S (21), C (21,24), Fl (21), Mi (21), LP (21), K (21), Ke (21), WA (22), PS (22), RS (22), M (22) |
| (E,Z)-2,6-nonadienal | D (21), H (21-23), SH (21), MA (21), Ma (21), O (21), Ob (21), De (21), F (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), Mi (21), LP (21), K (21), Ke (21), WA (22), PS (22), RS (22), M (22), C (24) |
| decanal | D (21), SH (21), Ma (21), O (21), De (21), F (21), HT (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), Mi (21), LP (21), K (21), H (22), A (25) |
| (E)-2-decenal | KS (20), SH (21), SD (21), Man (21), Fl (21), Mi (21) |
| undecanal | De (21) |
| dodecanal | A (25) |
| fenilacetaldéhid | H (21,22), Ma (21), Ob (21), C (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), Mi (21), LP (21), K (21), WA (22), A (25) |

Tabla 1. Resumen de los compuestos activos del aroma en variedades de mango¹ (Cont.)

| Compuesto | Variedad ² (referencia) |
|--------------------------------------|--|
| <i>Cetonas</i> | |
| 2,3-butanodiona | H (22), WA (22), PS (22), RS (22), M (22) |
| 1-penten-3-ona | H (21), SH (21), Ma (21), Ob (21), De (21), SD (21), Mi (21), LP (21), A (25) |
| 1-octen-3-ona | WA (22), PS (22), |
| (Z)-1,5-octadien-3-ona | H (22), RS (22) |
| 3-metil-2,4-nonadiona | H (22), WA (22), PS (22), M (22) |
| <i>Ésteres</i> | |
| acetato de etilo | Ob (21), Man (21) |
| acetato de butilo | O (21), De (21) |
| acetato de 3-metilbutilo | HT (21), K (21), A (25) |
| propanoato de etilo | H (21), SH (21), MA (21), Ma (21), Man (21), Mi (21), K (21), Ke (21) |
| butanoato de metilo | O (21), HT (21), S (21), D (21), H (21-23), SH (21), MA (21), MB (21), O (21), C (21,24), De (21), F (21), HT (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), Mi (21), LP (21), K (21), WA (22), PS (22), RS (22), A (25) |
| butanoato de etilo | K (41) |
| butanoato de 3-metilbutilo | H (22) |
| butanoato de (Z)-3-hexenilo | D (21), C (21,24), H (21-23), SD (21), Man (21), S (21), Mi (21), K (21), WA (22), PS (22), M (22) |
| 2-metilpropanoato de etilo | O (21), H (22,23), WA (22), C (24) |
| 2-metilbutanoato de etilo | O (21), S (21), H (22,23), RS (22), M (22) |
| 3-metilbutanoato de etilo | S (21), LP (21) |
| hexanoato de metilo | D (21), H (21-23), F (21), HT (21), LP (21), WA (22), M (22) |
| hexanoato de etilo | C (21), S (21), H (22,23), WA (22) |
| octanoato de etilo | H (22), WA (22) |
| acetato de 2-feniletilo | D (21), H (21), SH (21), MA (21), Ma (21), O (21), Ob (21), C (21,24), De (21), F (21), HT (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), Mi (21), LP (21), K (21), Ke (21), A (25) |
| benzoato de metilo | SH (21) |
| benzoato de etilo | D (21), Ob (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), Mi (21), LP (21) |
| hexadecanoato de etilo | |
| <i>Furanos</i> | |
| 2,5-dimetil-4-metoxi-3(2H)-furanona | SH (21), MA (21), Ma (21), Ob (21), C (21,24), SD (21), S (21), LP (21), K (41), H (22,23), WA (22), PS (22), RS (22), M (22) |
| 2,5-dimetil-4-hidroxi-3(2H)-furanona | H (22,23), WA (22), PS (22), RS (22), M (22) |
| 4,5-dimetil-3-hidroxi-2(5H)-furanona | H (22), WA (22), PS (22), RS (22) |
| <i>Lactonas</i> | |
| γ -butirolactona | K (41) |
| γ -octalactona | D (21), H (21-23), Ma (21), Ob (21), C (21,24), De (21), Man (21), S (21), Fl (21), LP (21), K (21), Ke (21), WA (22), PS (22), RS (22), M (22) |
| δ -octalactona | H (22,23), WA (22), RS (22), M (22) |

Tabla 1. Resumen de los compuestos activos del aroma en variedades de mango¹ (Cont.)

| Compuesto | Variedad ² (referencia) |
|--------------------------------|--|
| γ -decalactona | D (21), H (21,23), SH (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), WA (22), PS (22), RS (22) |
| δ -decalactona | H (22,23), WA (22), PS (22), RS (22) |
| <i>Terpenos</i> | |
| α -pineno | KS (20), D (21), H (21), SH (21), MA (21), Ma (21), MB (21), O (21), Ob (21), C (21), De (21), F (21), HT (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), Mi (21), LP (21), K (21), Ke (21), WA (22), RS (22), M (22), A (25) |
| β -pineno | MA (21), O (21), Ob (21), C (21), A (25) |
| mirreno | KS (20), D (21), H (21-23), SH (21), MA (21), Ma (21), MB (21), O (21), Ob (21), C (21,24), De (21), F (21), HT (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), Mi (21), LP (21), K (21,41), Ke (21), WA (22), RS (22), M (22), A (25) |
| α -felandreno | D (21), H (21), SH (21), MA (21), Ma (21), O (21), Ob (21), C (21), F (21), HT (21), SD (21), Man (21), Fl (21), Mi (21), K (21,41), Ke (21), A (25) |
| δ -3-careno | D (21), H (21), SH (21), Ma (21), MB (21), Ob (21), C (21,24), De (21), HT (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), Mi (21), LP (21), K (21,41), Ke (21), A (25) |
| <i>p</i> -cimeno | D (21), H (21), SH (21), MA (21), Ma (21), MB (21), O (21), Ob (21), C (21), De (21), F (21), HT (21), SD (21), S (21), Fl (21), Mi (21), LP (21), K (21), Ke (21), A (25) |
| limoneno | D (21), H (21), SH (21), MA (21), Ma (21), MB (21), O (21), Ob (21), C (21,24), De (21), F (21), HT (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), Mi (21), LP (21), K (21,41), Ke (21), A (25) |
| (<i>Z</i>)- β -ocimeno | KS (20), H (22), WA (22), PS (22), M (22), A (25) |
| (<i>E</i>)- β -ocimeno | KS (20), H (22), WA (22) |
| γ -terpineno | KS (20), A (25) |
| terpinoleno | D (21), H (21), SH (21), MA (21), Ma (21), MB (21), O (21), Ob (21), C (21,24), De (21), F (21), HT (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), LP (21), K (21,41), Ke (21), A (25) |
| linalol | D (21), H (21,22), SH (21), MA (21), Ma (21), O (21), Ob (21), C (21,24), De (21), F (21), HT (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), Mi (21), LP (21), K (21), WA (22), PS (22), RS (22), M (22), A (25) |
| α -terpineol | MA (21), C (21) |
| geranial | D (21), SH (21), Ma (21), De (21), SD (21), Man (21), S (21) |
| carvona | Ob (21), De (21), S (21) |
| β -cariofileno | SH (21), Ma (21), MB (21), O (21), Ob (21), C (21,24), De (21), HT (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), LP (21), K (21,41), Ke (21), A (25) |
| α -humuleno | SH (21), MA (21), Ma (21), MB (21), Ob (21), C (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), Mi (21), LP (21), K (21), A (25) |
| geranil acetona | SH (21), Ob (21), Ke (21) |

Tabla 1. Resumen de los compuestos activos del aroma en variedades de mango¹ (Cont.)

| Compuesto | Variedad ² (referencia) |
|--|---|
| <i>Variados</i> | |
| (<i>E,Z</i>)-1,3,5-undacetrieno | H (22,23), WA (22), RS (22), M (22) |
| (<i>E,Z,Z</i>)-1,3,5,8-undecatetraeno | WA (22), RS (22), M (22) |
| trisulfuro de dimetilo | H (22,23) |
| (<i>E</i>)-2-buten-1-tiol | H (22) |
| 3-metil-2-buten-1-tiol | H (22,23), PS (22), |
| 3-(metiltio)propanal | H (22), WA (22), RS (22), M (22) |
| 4-mercapto-4-metil-2-pentanona | H (22,23), WA (22), PS (22), RS (22), M (22) |
| (<i>E</i>)- β -ionona | H (21), SH (21), MA (21), Ma (21), MB (21), O (21), Ob (21), C (21,24), De (21), F (21), HT (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), Mi (21), LP (21), K (21), Ke (21), WA (22), RS (22), M (22) |
| dihidro- β -ionona | RS (22) |
| (<i>E</i>)- β -damascenona | D (21), SH (21), H (22,23), C (21,24), De (21), SD (21), Fl (21), Mi (21), K (21), Ke (21), WA (22), PS (22), |
| 1-acetil-1-pirrolina | H (22,23), WA (22), PS (22), RS (22), M (22) |
| 2-isopropil-3-metoxipirazina | H (22), WA (22) |
| 2,3-dietil-5-metilpirazina | H (22), WA (22), RS (22), M (22) |
| 2-aminoacetofenona | H (22), WA (22), RS (22) |
| antranilato de metilo | H (21), SH (21), Ob (21), De (21), SD (21), Man (21), S (21), Fl (21), K (21) |
| <i>trans</i> -4,5-epoxi-(<i>E</i>)-2-decenal | H (22), WA (22), RS (22) |
| <i>trans</i> -4,5-epoxi-(<i>E</i>)-2-undecenal | WA (22), RS (22), M (22) |
| 4-metilacetofenona | Ob (21) |
| 2-metoxifenol | WA (22), PS (22), |
| 4-vinilguayacol | SH (21) |
| 4-metilfenol | H (22), WA (22), PS (22), RS (22) |
| (<i>E</i>)-anetol | D (21) |
| eugenol | SH (21), SD (21) |
| 4-hidroxi-3-metoxibenzaldehído | H (22), WA (22), PS (22), RS (22), M (22) |

¹con el empleo de alguna técnica cuantitativa de GC-O y VAO.

²KS: Khieo Sawoei, D: Delicioso, SH: Super Haden, MA: Manga Amarilla, Ma: Macho, MB: Manga Blanca, O: Ordoñez, Ob: Obispo, De: Delicia, F: Filipino, HT: Huevo de Toro, SD: San Diego, Man: Manzano, S: Smith, Fl: Florida, Mi: Minin, LP: La Paz, K: Keith, Ke: Kent, H: Haden, WA: White Alphonso, PS: Praya Sowoy, RS: Royal Special, M: Malindi, C: Corazón, A: Ataulfo.

REFERENCIAS

- Palma-Orozco G, Osorio-Esquivel O, Nájera H. Mango: Chemical composition and health benefits. En: Young EP, Ed. Mango: Production, Properties and Health Benefits, New York: Nova Publishers Inc.; 2016. pp. 33-46.
- Subramanyam H, Krishnamurthy S, Parpia HAB. Physiology and biochemistry of mango fruit. En: Chichester CO, Mark EM, Stewart GF, Eds. Advances in Food Research, New York: Academic Press; 1975. pp. 223-305.
- Singh Z, Singh RK, Sane VA, Nath P. Mango - Postharvest biology and biotechnology. Crit Rev Plant Sci 2013; 32(4):217-36.
- Deshpande AB, Anamika K, Jha V, Chidley HG, Oak PS, Kadoo NY, Pujari KH, Giri AP, Gupta VS. Transcriptional transitions in Alphonso mango (*Mangifera indica* L.) during fruit development and ripening explain its distinct aroma and shelf life characteristics. Scientific Rep 2017; 7(1): article number 8711.
- Purseglove JW. Anacardiaceae. En: Tropical Crops Dicotyledons, London: Longman Group; 1974. pp. 18-32.

6. Winterhalter P. Fruit IV. En: Maarse H, Ed. Volatile Compounds in Foods and Beverages, New York: Marcel Dekker; 1991. pp. 389-409.
7. Pino J. The volatile constituents of mango (*Mangifera indica* L.). *Alimentaria* 1993; (242):79-87.
8. Nijssen LM, Visscher CA, Maarse H, Willemsens LC, Boelens MH. Mango (*Mangifera indica* L.). En: Volatile Compounds in Food. Qualitative and Quantitative Data, Zeist, The Netherlands: TNO Nutrition and Food Research Institute; 1996. pp. 1-10.
9. Singh Z, Lalel HJD, Suresh N. A review of mango fruit aroma volatile compounds – State of the art research. *Acta Horti* 2004; 645:519-27.
10. Chauhan OP, Raju PS, Bawa AS. Mango flavor. En: Hui YH, Ed. Handbook of Fruit and Vegetable Flavors, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.; 2010. pp. 319-344.
11. Stephan A, Bücking M, Steinhart H. Novel analytical tools for food flavours. *Food Res Int* 2000; 33:199-209.
12. Van Ruth SM. Aroma measurement: Recent developments in isolation and characterisation. En: Physics and Chemistry Basis of Biotechnology, Kluwer De Cuyper M, Bulte JWM, Eds. Amsterdam, The Netherlands: Academic Publishers; 2001. pp. 305-28.
13. Reineccius GA. Instrumental methods of analysis. En: Taylor AJ, Ed. Food Flavour Technology, Sheffield, UK: Sheffield Academic Press; 2002. pp. 210-51.
14. Reineccius GA. Choosing the correct analytical technique in aroma analysis. En: Voilley A, Etiévant P, Eds. Flavour in Food, Cambridge, UK: Woodhead Publishing; 2006. pp. 81-97.
15. Deibler KD, Delwiche J. Handbook of Flavor Characterization, New York: Marcel Dekker, 2004.
16. Le Quéré J-L. Advanced analytical methodology. En: Hui YH, Ed. Handbook of Fruit and Vegetable Flavors, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.; 2010. pp. 177-94.
17. Pessoa FLP, Mendes MF, Queiroz EM, Vieira de Melo SAB. Extraction and distillation. En: Hui YH, Ed. Handbook of Fruit and Vegetable Flavors, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.; 2010. pp. 195-210.
18. Coelho GLV, Mendes MF, Pessoa FLP. Flavor extraction: Headspace, SDE, or SFE. En: Hui YH, Ed. Handbook of Fruit and Vegetable Flavors, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.; 2010. pp. 211-28.
19. Schieberle P. Recent developments in methods for analysis of flavor compounds and their precursors. En: Goankar A, Ed. Characterization of Food: Emerging Methods, Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 1995. pp. 403-31.
20. Tamura H, Boonbumrung S, Yoshizawa T, Varanyanon W. The volatile constituents in the peel and pulp of a green Thai mango, Khieo Sawoei cultivar (*Mangifera indica* L.). *Food Sci Technol Res* 2001; 7:72-7.
21. Pino J, Mesa J. Contribution of volatile compounds to mango (*Mangifera indica* L.) aroma. *Flavour Fragr J* 2006; 21(1):214-21.
22. Munafó JP Jr, Didzbalis J, Schnell RJ, Schieberle P, Steinhaus M. Characterization of the major aroma-active compounds in mango (*Mangifera indica* L.) cultivars Haden, White Alfonso, Praya Sowoy, Royal Special, and Malindi by application of a comparative aroma extract dilution analysis. *J Agric Food Chem* 2014; 62:4544-51.
23. Munafó JP Jr, Didzbalis J, Schnell RJ, Steinhaus M. Insights into the key aroma compounds in mango (*Mangifera indica* L. ‘Haden’) fruits by stable isotope dilution quantitation and aroma simulation experiments. *J Agric Food Chem*, 2016; 64:4312-8.
24. Pino JA. Odour-active compounds in mango (*Mangifera indica* L. cv. Corazón). *Int J Food Sci Technol* 2012; 47:1944-50.
25. Cuevas-Glory LF, Sauri-Duch E, Sosa-Moguel O, Pino JA. Characterization of odor-active compounds in mango ‘Ataulfo’ (*Mangifera indica* L.) fruit. *Chemical Papers* 2020 DOI: 10.1007/s11696-020-01217-y
26. Reineccius GA. Flavor Chemistry and Technology, Boca Raton, FL, USA: Taylor & Francis Group; 2006. pp. 3-18.
27. Singh Z, Zaharah SS. Controlled atmosphere storage of mango fruit – an overview. *Acta Horti* 2013; 992:481-92.
28. MacLeod AJ, Gonzalez de Troconis N. Volatile flavour components of mango fruit. *Phytochem* 1982; 21:2523-36.
29. Engel K, Tressl R. Studies on the volatile components of two mango varieties. *J Agric Food Chem* 1983; 31:796-801.
30. Hunter G, Bucek W, Radford I. Volatile components of canned Alphonso mango. *J Food Sci* 1974; 39:900-3.
31. MacLeod AJ, Gonzalez de Troconis N. Volatile flavour components of mango fruit. *Phytochem* 1982; 21:2523-36.
32. Engel K, Tressl R. Studies on the volatile components of two mango varieties. *J Agric Food Chem* 1983; 31:796-801.
33. MacLeod AJ, Snyder CH. Volatile components of two cultivars of mango from Florida. *J Agric Food Chem* 1985; 33:380-84.
34. MacLeod AJ, Pieris N. Comparison of the volatile components of some mango cultivars. *Phytochem* 1984; 23:361-6.
35. Lakshminarayana S. Mango. En: Nagy S, Shaw PE, Eds. Tropical and Subtropical Fruits, Westport, CT, USA: AVI; 1980. pp. 184-257.
36. Bautista JG, Balagot AH, Meimban EJ. Flavor profile of Philippine mango. *J Food Sci Technol* 1982; 26:102-7.
37. Horvat RJ, Chapman GW, Robertson JA, Meredith FI, Scorza R, Callahan IAM, Morgens P. Comparison of the volatile compounds from several commercial peach cultivars. *J Agric Food Chem* 1990; 38:234-7.

38. Idstein H, Schreier P. Volatile constituents of Alphonso mango. *Phytochem* 1985; 24:2313-36.
39. Wilson C III, Shaw PE, Knight RJ. Importance of some lactones and 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2*H*)-furanone to mango (*Mangifera indica* L.) aroma. *J Agric Food Chem* 1990; 38:1556-9.
40. Lopes DC, Fraga SR, Rezende CM. Principais substâncias responsáveis pelo aroma de mangas comerciais brasileiras identificadas por cromatografia gasosa de alta resolução/olfatometria/espectrometria de masas. *Química Nova* 1999; 22:31-6.
41. Bonneau A, Boulanger R, Lebrun M, Maraval I, Gunata Z. Aroma compounds in fresh and dried mango fruit (*Mangifera indica* L. cv. Kent): impact of drying on volatile composition. *Int J Food Sci Technol* 2016; 51:789-800.
42. Nakanishi A, Fukushima Y, Miyazawa N, Yoshikawa K, Maeda T, Kurobayashi Y. Identification of rotundone as a potent odor-active compound of several kinds of fruits. *J Agric Food Chem* 2017; 65:4464-71.
43. Zhang W, Dong P, Lao F, Liu J, Lia X, Wu J. Characterization of the major aroma-active compounds in Keitt mango juice: Comparison among fresh, pasteurization and high hydrostatic pressure processing juices. *Food Chem* 2019 289:215-22.
44. Xiao Z, Xiang P, Zhu J, Zhu Q, Liu Y, Niu Y. Evaluation of the perceptual interaction among sulfur compounds in mango by Feller's additive model, odor activity value, and vector model. *J Agric Food Chem* 2019; 67:8926-37.
45. Liu H, An K, Su K, Yu Y, Wu J, Xiao G, Xu Y. Aromatic characterization of mangoes (*Mangifera indica* L.) using solid phase extraction coupled with gas chromatography–mass spectrometry and olfactometry and sensory analyses. *Foods* 2020; 9:75. DOI:10.3390/foods9010075