

# Compuestos orgánicos volátiles presentes en el aroma de 17 frutas exóticas en Colombia: revisión

## Volatile organic compounds present in the aroma of 17 exotic fruits in Colombia: review

Daniela Andrea Aguirre-López<sup>a</sup> [luckydani0904@gmail.com](mailto:luckydani0904@gmail.com); Angela María López-Calvo<sup>a</sup> [angela.l.c.chem@gmail.com](mailto:angela.l.c.chem@gmail.com); Sandra Milena López-Calvo<sup>b</sup> [sanmlopezcal@unal.edu.co](mailto:sanmlopezcal@unal.edu.co); Gonzalo Taborda-Ocampo<sup>a</sup> [gtaborda@ucaldas.edu.co](mailto:gtaborda@ucaldas.edu.co)

<sup>a</sup>Universidad de Caldas. Grupo de Investigación en Cromatografía y Técnicas Afines – GICTA. Programa de Maestría en Química. Departamento de Química.

<sup>b</sup>Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Grupo de Investigación en Modelos Estadísticos. Programa de Matemáticas.

Recibido: 14/10/2022 Aceptado: 07/12/2023

**Citar, APA:** Aguirre-López, D. A., López-Calvo, A. M., López-Calvo, S. M. y, Taborda-Ocampo, G. (2023). Compuestos orgánicos volátiles presentes en el aroma de 17 frutas exóticas en Colombia: revisión. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 10 (2), 117-142. <https://doi.org/10.23850/24220582.5208>

**Resumen** El aroma es la sensación obtenida con la activación de los receptores olfativos en la nariz humana y animal, ante la presencia de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV o en inglés VOC's) que son liberados por los organismos como producto de procesos biogénicos. Las frutas a menudo liberan compuestos orgánicos volátiles o semivolátiles que incluyen diferentes grupos funcionales y heteroátomos como el azufre y el nitrógeno, aportando notas olfativas particulares y diferenciadoras entre los diversos frutos, éste hecho, les permite realizar procesos de comunicación química o ecología química y les confiere características organolépticas útiles para establecer parámetros de calidad y de aceptación al consumidor. La metodología analítica más frecuente para el muestreo del entorno volátil de las frutas, es la Microextracción en Fase Sólida (MEFS o en inglés SPME) acompañado de una Cromatografía de Gases acoplada a espectrometría de masas (CG/EM ó GC/MS en inglés), para separar e identificar compuestos. Esta revisión realiza un inventario de los compuestos orgánicos volátiles más abundantes, presentes en frutos catalogados como exóticos en etapa de maduración a punto de consumo, para establecer diferencias y similitudes a fin de considerar potenciales biomarcadores de calidad. También se pretende visualizar como han evolucionado los métodos de análisis de COV, en estos últimos 20 años. Las frutas catalogadas en este estudio como exóticas podían ser originarias de Colombia o con una alta aceptación y consumo en este país, seleccionando así a: el aguacate, el arazá, el carambolo, la chirimoya, la guanábana, la guayaba agria, la guayaba dulce, la guayaba manzana, la gulupa, el lulo, el mango, el maracuyá, el melón, la papaya, el tomate de árbol, la uchuva y el zapote. Empleamos diferentes métodos de búsqueda en frutas exóticas en redes bibliométricas, usando los siguientes descriptores: compuestos volátiles, volátiles, aroma, MEFS y CG/EM (*volatile compounds, volatile, aroma, SPME y GC/MS en inglés*). Los resultados de los diversos estudios analizados, registraron 194 compuestos volátiles del aroma así: aldehídos (24,2 %), alcoholes (16,5 %), ésteres (34,0 %) y otros -terpenos, cetonas, furanos, lactonas y compuestos azufrados- (25,3 %), con sus correspondientes descriptores del aroma para cada compuesto. Dado que cada compuesto puede repetirse en varias frutas, el listado final presentó 39 tipos de compuestos diferentes, a los cuales se le realizó un análisis de correspondencias múltiples (ACM), que mostró un porcentaje de variabilidad superior al 80 %; con características distintivas que relacionan a aromas agradables y desagradables (*off-flavor*). Los diferentes estudios de las fracciones volátiles de frutas exóticas como la carambola, la gulupa, el lulo, el mango, la papaya y la uchuva determinaron moléculas representativas mediante el ACM como: 1-octen-3-ona, 1-hexanol, 1-butanol, linalol, disulfuro de dimetilo, metional, acetato de 3-sulfanyl-hexilo entre otros. Igualmente se encontró que los principales descriptores de aromas de las frutas exóticas en Colombia son: afrutado, verde, menta, dulce, floral y aromas desagradables como azufrado, sudoroso, graso, mohoso, papa cocida, rancio, cebolla o aroma a hongos. Finalmente, este estudio aporta una herramienta que contiene los COV y los descriptores de aroma de las frutas exóticas incluidas en este estudio..

**Palabras clave:** análisis de correspondencias múltiples, bibliometría, CG/EM, MEFS.

**Abstract** Aroma is the sensation obtained with the activation of olfactory receptors in the human and animal nose, in the presence of Volatile Organic Compounds (VOCs) that are released by organisms as a product of biogenic processes. Fruits often release volatile or semivolatile organic compounds that include different functional groups and heteroatoms such as sulfur and nitrogen, providing particular and differentiating olfactory notes among the different fruits. This fact allows them to carry out chemical communication processes or chemical ecology and confers them organoleptic characteristics useful to establish quality and consumer acceptance parameters. The most common analytical methodology for sampling the volatile environment of fruits is Solid Phase Microextraction (SPME) coupled with Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC/MS) to separate and identify compounds. This review makes an inventory of the most abundant volatile organic compounds present in fruits catalogued as exotic in the ripening stage at the point of consumption, to establish differences and similarities in order to consider potential biomarkers of quality. It is also intended to visualize how VOC analysis methods have evolved over the last 20 years. The fruits catalogued in this study as exotic could be native to Colombia or with a high acceptance and consumption in this country, thus selecting: avocado, arazá, carambola, custard apple, sour sop, sour guava, sweet guava, apple guava, gulupa, lulo, mango, passion fruit, melon, papaya, tree tomato, uchuva and sapote. We employed different search methods on exotic fruits in bibliometric networks, using the following descriptors: volatile compounds, volatile, aroma, MEFS and GC/MS (*volatile compounds, volatile, aroma, SPME and GC/MS*). The results of the various studies analyzed recorded 194 volatile aroma compounds as follows: aldehydes (24,2 %), alcohols (16,5 %), esters (34,0 %) and others -terpenes, ketones, furans, lactones and sulfur compounds- (25,3 %), with their corresponding aroma descriptors for each compound. Since each compound can be repeated in several fruits, the final list presented 39 different types of compounds, to which a multiple correspondence analysis (MCA) was performed, showing a percentage of variability higher than 80 %; with distinctive characteristics that relate to pleasant and unpleasant aromas (*off-flavor*). The different studies of the volatile fractions of exotic fruits such as carambola, gulupa, lulo, mango, papaya and cape gooseberry determined representative molecules by MCA such as: 1-octen-3-one, 1-hexanol, 1-butanol, linalool, dimethyl disulfide, methional, 3-sulfanyl-hexyl acetate, among others. It was also found that the main aroma descriptors of exotic fruits in Colombia are: fruity, green, mint, sweet, floral and unpleasant aromas such as sulfur, sweaty, greasy, moldy, cooked potato, rancid, onion or mushroom aroma. Finally, this study provides a tool containing the VOCs and aroma descriptors of the exotic fruits included in this study.

**Keywords:** bibliometrics, GC/MS, multiple correspondence analysis, SPME.

## Introducción

Los compuestos orgánicos volátiles (COV o en inglés VOCs) están presentes en sistemas biológicos y hacen referencia a moléculas de bajo peso molecular, con polaridad muy variada debido a la presencia de diferentes grupos funcionales como alcoholes, ésteres, cetonas, aldehídos y terpenos principalmente (Rivera, 2014). La mayoría de los COV están presentes en bajas proporciones, siendo suficientes para difundirse en el ambiente y llegar a sensores olfatorios tanto de animales como humanos, sitio en el cual se discriminan estos aromas característicos de cada especie o variedad (Rivera, 2014; Clark, 2017). Los COV en un organismo vegetal pueden variar de acuerdo a diferentes condiciones: variedad, región geográfica, condición climática, cosecha o a la etapa de maduración (Yang *et al.*, 2013; Pino, 2018).

Los COV en plantas son importantes ya que permiten elucidar procesos referentes al crecimiento de la planta, competencia planta-planta, co-evolución, mecanismos de defensa contra plagas - patógenos - insectos y de alimentación contra herbívoros; de igual forma se observa la importancia de los COV en los procesos de polinización (Qiao *et al.*, 2008).

En frutas los COV son sustancias liberadas en procesos bioquímicos de maduración, que incluyen procesos metabólicos e hidrólisis enzimática para consolidar el potencial del aroma. Mediante el análisis de estos compuestos se puede realizar la caracterización de variedades, calidad, estado de maduración y senescencia (Corpas-Iguarán *et al.*, 2018). No todos los COV recuperados de una muestra y presentes en un perfil cromatográfico tienen la capacidad de ser censados por los receptores olfativos de la nariz humana o de los animales, debido a la presencia de COV inodoros y COV

activos del aroma (Pino, 2012). Es importante destacar que el umbral de percepción olfativa, varía de un compuesto a otro, por lo cual puede haber compuestos volátiles en cantidades muy diluidas generando un aroma ampliamente perceptible, mientras que otros requieren mayor cantidad para ser detectados (Steinhaus *et al.*, 2008). La valoración de la actividad de olor OAV (*Odor Activity Value*) a veces llamada “unidad de olor” o “valor de olor” se usa para estimar la potencia del olor en términos de la relación entre la concentración de un compuesto volátil y su umbral de detección de olor (Beaulieu & Grimm, 2001). Por su parte, las técnicas olfatométricas son metodologías sensoriales empleadas para determinar la concentración de olor y sus descriptores. La técnica de Análisis de dilución de extracto de aroma - AEDA (*Aroma Extract Dilution Analysis*), permite la jerarquización de los odorantes y es muy empleada para el análisis sensorial descriptivo, que permite discriminar los compuestos importantes en el aroma global (Echeverría *et al.*, 2004).

El aroma es un atributo de calidad que indica la aceptación o rechazo de un producto, y por lo tanto es incluido como requisito de control en procesos de producción y distribución de alimentos (Carpenter *et al.*, 2002; Souza-Silva *et al.*, 2015). Así, las percepciones se evalúan por medio del análisis sensorial, el cual se presenta en un sensograma (Valls *et al.*, 1999). Esta percepción es basada en el estudio organoléptico del olor y aroma específicamente de las frutas (Plutowska & Wardencki, 2007; Jeleń *et al.*, 2012).

El aroma se presenta como un atributo positivo respecto a la preferencia de un producto, por ello es tan importante su caracterización como criterio de aceptación del producto (Berrocal, 2012; Ayala-Jara *et al.*, 2018). La base de la comercialización de vinos, mieles, café y frutas en general se basan en la composición de su aroma (Goff & Klee, 2006; Guillot *et al.*, 2006)

El principal método para el muestreo y obtención de COV en frutas, ha sido la microextracción en fase sólida (MEFS o SPME en inglés), por tratarse de una técnica eficiente, fácil de usar, y que ofrece mínima manipulación de muestra. Esta técnica de preparación de muestras MEFS, ha eliminado el uso de solvente, mediante el uso de un material adsorbente sólido, mejorando la extracción de la fracción volátil, para su posterior desorción térmica directamente en el cromatógrafo de gases (Arthur & Pawliszyn, 1990; Augusto *et al.*, 2000). Este método permite obtener COV, de una manera rápida y sencilla, con un gran poder de preconcentración de los analitos (Kataoka *et al.*, 2000; Japan, 2002; Pawliszyn, 2011; Bagheri *et al.*, 2014). Dado que se trata de compuestos volátiles, otra de las técnicas de análisis frecuentemente usada ha sido la cromatografía de gases con detección de espectrometría de masas (GC/MS) (Jalili *et al.*, 2020).

La olfatometría realizada con cromatografía de gases denominada GC-O, ha contribuido al conocimiento de la composición del aroma, estableciendo una correlación entre los compuestos orgánicos volátiles y el aroma que se percibe por medio del sistema sensorial olfativo. Así, el perfil aromático se encuentra correlacionado con los COV permitiendo que los estudios se enfoquen en la cromatografía de gases acoplada a la olfatometría evaluando la contribución de cada volátil en el aroma global de las muestras (Díaz-Maroto & Pérez-Coello, 2006).

Durante muchos años el análisis de COV estuvo direccionado a la determinación de perfiles cromatográficos, mostrando la diversidad molecular y su composición relativa, actualmente, la volatilómica busca comprender la biogénesis de los compuestos aromáticos, permitiendo definir además de los compuestos responsables del aroma, las rutas metabólicas de donde proceden (Baena-Pedroza *et al.*, 2020). Las frutas exóticas a menudo exhiben

compuestos orgánicos volátiles o semivolátiles que incluyen heteroátomos como el azufre, y el nitrógeno, los cuales aportan notas olfativas muy particulares y diferenciadoras que podrían ser considerados biomarcadores (Cannon & Ho, 2018), siendo a nivel nacional escasos los estudios donde se relaciona esta temática. El objetivo de la presente revisión busca consolidar una matriz de los principales COV responsables del aroma de las frutas colombianas a fin de conocer su identidad sensorial y su correlación con el desarrollo de los métodos para análisis de COV en frutas.

## Materiales y métodos

### Análisis bibliométrico

Se realizó una búsqueda durante los últimos 20 años en las bases de datos: *Web of Science Core Collection* (WOS) y Scopus; considerando solo aquellos papers que vincularan la temática: “análisis de compuestos orgánicos volátiles responsables del aroma y olor en frutas por cromatografía de gases y espectrometría de masas.” Se eliminó el sesgo de estudios en relación a la producción de aromas a partir de hongos y vinos.

Aunque el presente estudio bibliométrico tiene énfasis en el aroma y los COV de frutas exóticas colombianas, se presenta inicialmente la búsqueda global de la temática. La **Tabla 1**, muestra el volumen de consultas realizadas en las bases de datos de WOS y SCOPUS relacionando las publicaciones con diferentes algoritmos para el periodo comprendido entre 2000 y 2022.

La búsqueda se refinó con el siguiente algoritmo:

**Fórmula general:** (*chromatography OR GC OR GC/MS OR GC-MS OR GCMS OR Gas Chromatography*) AND (*odor*) AND ((*fruits OR juice*) AND NOT (*wine OR fungi OR mushroom*)) AND (*volatile organic compound OR VOC OR VOCs*) AND (*aroma*).

Se desarrolló un Análisis de Acoplamiento siguiendo la metodología propuesta por Ávila

– Toscano *et al.* (2014) y Van Eck & Waltman, (2028), empleando el software VOSviewer.

**Tabla 1**

*Total de artículos hallados y revisados en las bases de datos Web of Science y Scopus*

Algoritmo de búsqueda	Resultados de las bases de datos	
	Web of Science	Scopus
Volatile Organic Compounds AND fruit	1165	3274
Volatile Organic Compounds AND fruit AND gas chromatography	345	1311
Fruit AND aroma	4251	6360
Volatile Organic Compounds AND fruit AND gas chromatography AND aroma	164	603

## Análisis estadístico

Empleando el software R (Team & R Development Core Team, 2016), se evaluaron los resultados de los compuestos orgánicos volátiles responsables del aroma de frutas mediante un análisis de correspondencias múltiples (ACM), para explorar y comprender las relaciones entre las características en las diversas dimensiones, en este caso: moléculas, grupos funcionales, frutas exóticas en Colombia y aromas reportados por medio de diferentes librerías y paquetes estadísticos ya establecidos (Kassambara & Mundt, 2017; Le *et al.*, 2008), para identificar patrones de asociación de los artículos seleccionados.

## Resultados y discusión

### Análisis bibliométrico

Las búsquedas preliminares con los descriptores [Fruta + Aroma] y [Compuestos orgánicos volátiles + Frutas], mostraron mayor número de artículos, posteriormente al incluir el descriptor

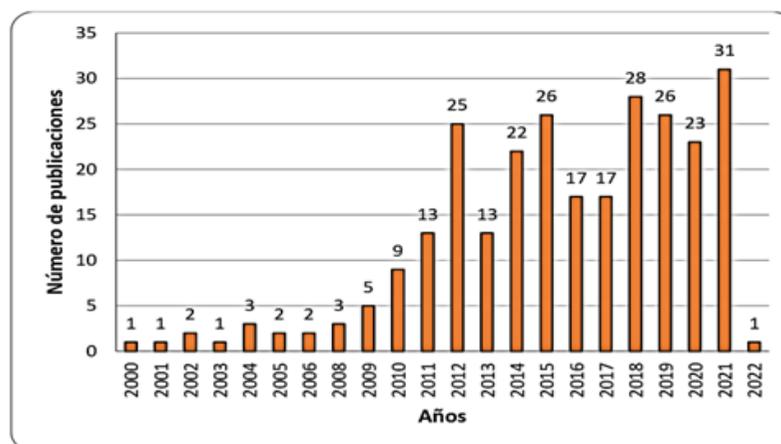
[cromatografía de gases], disminuyeron ostensiblemente.

Empleando la **Formula general** refinada, se observó que: en Scopus se encontraron 272 documentos, de los cuales 265 correspondieron a artículos científicos, 3 a revisiones y 4 a ponencias. Revisando cada uno de los artículos se encontró que sólo 154 correspondían al propósito del estudio.

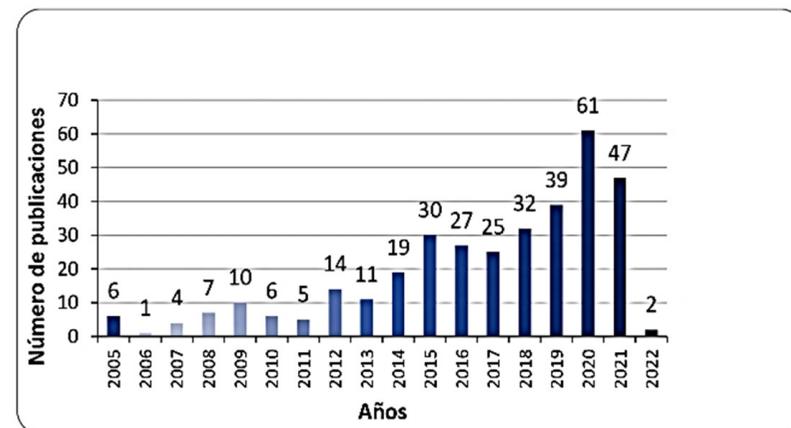
En la Web of Science se encontraron 346 documentos con la misma fórmula de búsqueda de los cuales 334 correspondieron a artículos científicos, 9 a revisiones y 3 a ponencias. Revisando cada uno de los artículos se encontró que sólo 48 se ajustaban al propósito del estudio. La **Figura 1**, muestra el número de publicaciones por año en Wos y Scopus en la temática de estudio. Las publicaciones de este período han mostrado un incremento a medida que pasan los años, donde el 76,4 % correspondió a las publicaciones generadas desde el 2015 hasta el 2021 en la Web of Science, y el 89,3 % se adjudicó a las publicaciones producidas desde el 2011 hasta el 2021 en Scopus.

**Figura 1**

Número de publicaciones por año a) Scopus y b) Web Of Science



a)



b)

## Red bibliométrica

El resultado de la búsqueda analizando los 17,473 artículos en relación a la temática de COV se reflejan en el diagrama de redes bibliométricas, propuesto por Perianes-Rodríguez *et al.* (2016), sobre la comparación entre el conteo completo y fraccionado en la construcción de redes, visualizando las interacciones de acoplamiento bibliográfico y redes de co-citas, de los artículos científicos revisados. los artículos científicos. La **Figura 2** evidencia un análisis de redes de acoplamiento de la búsqueda realizada, mediante el uso del software VOSviewer según la metodología propuesta por Ávila-Toscano *et*

*al.* (2014) y van Eck & Waltman, (2018), siendo notoria la gran convergencia en palabras clave como: aroma, compuestos orgánicos volátiles y GC- EM, luego, en segundo orden se entrelazan las palabras clave como: análisis sensorial, MEFS, GC y compuestos volátiles activos del aroma.

Los aumentos de tamaño de las esferas en la **Figura 2**, indican mayor convergencia en la temática estudiada, por parte de los autores revisados. El color de las esferas está relacionado con el año de publicación, siendo el azul cercano al 2000 y el amarillo al 2020.



## Métodos de extracción de COV:

De acuerdo con los artículos estudiados y sistematizados en la **Tabla 2**, se encontró que los métodos empleados para la extracción de Compuestos Orgánicos Volátiles de frutas han sido principalmente:

a. La Extracción líquido – líquido (ELL) apoyada con el uso de solventes orgánicos como el pentano, diclorometano, clorometano, ciclohexanona y mezclas de ellos, considerándose eficiente en la obtención de COV de naturaleza no polar.

b. La técnica tradicional de análisis de dilución del extracto de aroma en agua destilada (ADEA) conocida por su sigla en inglés AEDA (Aroma Extract Dilution Assay), permite el análisis de los COV por su transferencia a la fracción volátil, que a menudo se ve favorecida por la adición de sales para aumentar la polaridad y propiciar el escape de los COV de la fase líquida, a este efecto se le denomina “*salting out*”.

c. Destilación por arrastre de vapor, es una técnica viable para la obtención de esencias o aceites esenciales que agrupan compuestos responsables del aroma que co-destilan con el agua a la temperatura de ebullición de esta. La gran mayoría de estos compuestos son de naturaleza terpénica.

d. La destilación – extracción del flavor asistida con solvente (DEAS) conocida como SAFE por sus siglas en inglés (Solvent Assisted Flavour Evaporation), permite la pre-concentración de los COV, aumentando su límite de detección.

e. Extracción Destilación Simultánea - EDS (Steam Destillation Extraction - SDE en inglés), es una variación de la SAFE y está basada en la

metodología Likens y Nickerson (1964). Una alternativa metodológica reportada en esta revisión es el uso de la EDS a presión reducida, la cual, permite separar y concentrar sustancias volátiles de una muestra en una etapa y mínima manipulación, evitando pérdidas de los analitos.

f. Microextracción en fase sólida (MEFS) Esta técnica es la más usada en el análisis de COV, debido a su fácil manejo, al garantizar menor tiempo de análisis, mínima manipulación de muestra, técnica amigable con el medio ambiente y eficaz en la extracción de compuestos volátiles y semivolátiles, entre otras ventajas (Júnior & Soares, 2014; Pena-Pereira, 2014). Este método además de la reducción del uso de solvente, ha permitido, aumentar la sensibilidad y la selectividad (Borges *et al.*, 2015; Quintana *et al.*, 2014), dado que permite la concentración de muestras muy diluidas o en contenido traza, para un análisis confiable y preciso (De La Guardia, 1999; Kataoka, 2011; Winefordner, 2011). La MEFS emplea una fase sólida en forma de fibra, con adsorbentes químicos que de manera selectiva rescatan COV del espacio de cabeza EC (*head space* – HS en inglés) o del líquido por inmersión en el que están contenidos, de acuerdo con su polaridad. Los principales materiales de las fibras de MEFS reportadas en la revisión fueron; DVB: divinil benceno; CAR: carboxeno; PDMS: polidimetil siloxano; PA: poliacrilato. La fibra más usada es la fibra gris caracterizada por la presencia de tres compuestos adsorbentes (DVD, CAR y PDMS), que garantiza mayor número de COV rescatados (Soursop *et al.*, 2011; Jimenez *et al.*, 2011; Cardozo *et al.*, 2013; Corpas *et al.*, 2016).

## Métodos de análisis cromatográfico de COV:

Sin lugar a dudas la técnica más empleada para el análisis de COV, es la Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas – CG/EM, frecuentemente citada por sus siglas en inglés como GC/MS ó HRCG/MS (high resolution – HR es decir, alta resolución). Diferente sucede

con los métodos de preparación de muestras volátiles y semivolátiles de frutas, realizados esencialmente por medio de la Microextracción en Fase Sólida y Cromatografía de Gases acoplado a Espectrometría de Masas -SPME-GC/MS- (Lasekan & Abbas, 2012).

Nuestra revisión muestra estudios que comparan la cromatografía de gases con sus diferentes detectores como: **a.** Cromatografía de gases de alta resolución con detector de Infrarrojo con Transformada de Fourier cuyas siglas en inglés son: HRGC-FTIR (high resolution gas chromatography with Fourier Transform Infrared detector); **b.** cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID: gas chromatography with flame ionization detector); **c.** Cromatografía de gases con detector de conductividad térmica (GC-TCD: Gas chromatography with thermal conductivity detector); **d.** detector de resonancia magnética nuclear RMN o en inglés NMR (nuclear magnetic resonance detector) y **e.** Cromatografía de gases con detector de espectrometría de masas CG/EM (Werkhoff *et al.*, 1998). También se reportó el uso de Espectrometría de Masas en Tándem que se simboliza por MS/MS, indicando que se tiene más de un detector de espectrometría de masas, con el propósito de optimizar el proceso de identificación de los COV y la Cromatografía de Gases Bidimensional (GCxGC) que emplea 2 columnas en continuo, para optimizar la separación (Sinuco *et al.*, 2010).

### Métodos de análisis cromatográfico acoplado a olfatometría GC-O:

En el perfil aromático generalmente se describe la presencia de compuestos como: aminoácidos y grasas, ácidos carboxílicos, alcoholes, compuestos carbonílicos, lactonas o durante la maduración de la fruta terpenos, ésteres y éteres los cuales componen al aroma característico de cada fruta (González *et al.*, 2000). La cromatografía de gases acoplada a

olfatometría (GC-O), consiste, en separar las moléculas, identificarlas (mediante el detector de masas) y describir el aroma correspondiente (mediante un catador o panel sensorial), es decir que a la columna se le adapta un divisor de flujo, para llevar una línea al detector y la otra a la nariz del catador, a esta última se le denomina puerto “sniffing” (Díaz-Maroto & Pérez-Coello, 2006). En la revisión que realizamos se observó, una apuesta alta a esta técnica que vincula no solamente la capacidad de separación del cromatógrafo de gases y su poder de identificación por el espectrómetro de masas, sino también la capacidad sensorial de un panel para identificar los umbrales y de esta manera caracterizar el aroma. En complemento, algunos autores recomiendan reportar el pH y los grados Brix de las frutas que se analizan, así como la valoración de la actividad del olor (OAV).

De esta manera, sobre la base de la literatura revisada, siempre se recomienda respecto a la caracterización de los COV y el aroma de las frutas exóticas de alto consumo en Colombia, el método de la microextracción en fase sólida del espacio de cabeza en asocio con la Cromatografía de gases y espectrometría de masas con olfatómetro EC/MEFS-CG/EM-O (mejor conocida en inglés como HS-SPME-GC-O-MS: *head space solid phase microextraction and gas chromatography - mass spectrometry with olfactometry*. Dejando claro que actualmente hay una tendencia al uso de sensores tipo nariz electrónica entrenados, que continúan en etapa de prueba para efectos de detección en campo de COV con dispositivos sencillos de fácil manejo, económicos y sensibles.

Seguidamente en la **Tabla 2** se presentan de manera específica para cada fruta exótica de un total de 17 frutas consideradas, los métodos de extracción y sus condiciones, los métodos de análisis cromatográfico y el tipo de fibra empleados.

Tabla 2

Métodos de extracción y análisis de compuestos orgánicos volátiles en frutas colombianas

Fruta	Extracción	Análisis	Tipo fibra	Referencia
<i>Aguacate (Persea americana Mill., cv. Hass)</i>	Espacio de cabeza estático (HS) – SPME a 40 °C a baño maría por 30 min	HS-SPME / GC-FID	CAR/PDMS	(Obenland <i>et al.</i> , 2012)
<i>Arazá (Eugenia stipitata McVaugh)</i>	1 kg de pulpa se diluyó en una 1L agua destilada y centrifugó a 10 000 rpm durante 20 min.	GC-FID / GC-MS		(Pino & Quijano, 2007)
<i>Chirimoya cimarrona (Annona chrysophylla Boj.)</i>	Extracción líquido-líquido (ELL) con destilación a alto vacío con pentano-diclorometano (2:1) HS-SPME: 2 g a 30 °C con agitación 800 rpm	HRGC-FTIR / GC-FID / GC-MS / GC-O	DVB/ CAR/PDMS	(Baena-Pedroza <i>et al.</i> , 2020)
<i>Carambolo (Averrhoa carambola L.)</i>	Se homogeneizó 5 g de fruta con NaCl al 30 % (p/p), en un baño de agua a 40 °C (15: 45 min)	HS-SPME / GC-MS / GC-O	DVB /CAR/PDMS	(Mahattanatawee <i>et al.</i> , 2005)
<i>Guanabana (Annona muricata L. cv. Elita)</i>	30 g de pulpa fue homogenizada por 5 min; se extrajo en un frasco de 110 mL a 20 °C.	HS-SPME / GC-MS	DVB/CAR/PDMS	(Soursop <i>et al.</i> , 2011)
<i>Guanabana (Annona muricata L. cv. Elita)</i>	30 g de pulpa se homogeneizó en un frasco de 110 mL a 20 °C con LOD 1 ppm.	HS-SPME / GC-MS / nariz electrónica (NE)	DVB/CAR/PDMS	(Cardozo <i>et al.</i> , 2013)
<i>Guanabana (Annona muricata L. cv. Elita)</i>	350 g pulpa con 100 mL de agua, por 1,5 h con 10 mL de 2-metilbutano y se concentró a 0,5 mL por destilación a baja temperatura y alto vacío.	GC-FID / GC-MS / Panel		(MacLeod & Pieris, 1981)
<i>Gulupa (Passiflora edulis f. edulis)</i>	10 g de pulpa en un vial de 20 mL a 40 °C	HS-SPME / GC-MS / HPLC-MS	DVB/CAR/PDMS	(Jiménez <i>et al.</i> , 2011)
<i>Gulupa (Passiflora edulis f. edulis)</i>	100 g de fruta homogénea con 300 mL diclorometano en un baño de hielo con agitación y Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , la fase orgánica se sometió a destilación SAFE y se concentró a 1 mL	HS-SPME / GC-FID / GC-MS / GC-O / OAV		(Conde-Martínez <i>et al.</i> , 2013)
<i>Guayaba-manzana (Psidium guajava L., Psidium cattleianum)</i>	5 g en una licuadora en un vial de 10 mL a 40 °C por 15 min	HS-SPME / GC-MS		(Paniandy <i>et al.</i> , 2000)
<i>Guayaba rosa (Psidium guajava, L.)</i>	Destilación de alto vacío: COV > 250 ug/kg a 1250 ug/kg	ELL / GC-MS		(Idstein & Schreiber, 1985)
<i>Guayaba rosa (Psidium guajava, L.)</i>	Aplicación de AEDA /destilación con SAFE	AEDA / GC-FID / GC-O/GC-MS/HPLC		(Ávila-Toscano <i>et al.</i> , 2014) (Steinhaus <i>et al.</i> , 2009)
<i>Guayaba rosa (Psidium guajava, L.)</i>	120 g de muestra con ciclohexanona/ cloruro de metileno agitando 1 h y centrifugando 5000 rpm, junto con destilación-rectificación con flujo de nitrógeno.	ELL / HS-SPME / GC-MS		(Dembitsky <i>et al.</i> , 2011; Jordán <i>et al.</i> , 2003)
<i>Guayaba rosa (Psidium guajava, L.)</i>	OAV: material no volátil se eliminó por destilación por SAFE.	GC-GC-MS	DVB/CAR/PDMS -CAR/PDMS - PDMS - PA	(Sinuco <i>et al.</i> , 2010)
<i>Guayaba rosa (Psidium guajava, L.)</i>		HS-SPME / GC-MS		(Carasek & Pawliszyn, 2006)
<i>Guayaba agria (Psidium friedrichsthalianum Nied.)</i>	330 g de fruta homogénea con 150 mL diclorometano en un baño de hielo con agitación y Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , la fase orgánica se sometió a destilación con SAFE y se concentró a 1 mL	HS-SPME / GC-FID / GC-MS / GC-O / OAV		(Cuadrado-Silva <i>et al.</i> , 2017)
<i>Lulo o Naranjilla (Solanum quitoense Lam.)</i>	HS-SPME 10 g de la pulpa a un vial de 20 ml de capacidad, baño maría a 40 o 60 °C, por 30 min.	SDE/GC-MS y HS-SPME/GC-MS	PDMS, CAR/PDMS, PDMS/DVB y DVB/ CAR/PDMS	(Corpas <i>et al.</i> , 2016)
<i>Lulo o Naranjilla (Solanum quitoense Lam.)</i>	10 g de pulpa con 1 g NaCl en un vial de 20 mL, se sometió a baño maría 60 °C y se extrajo por 30 min.	HS-SPME / GC-MS	CAR / PDMS	(Forero <i>et al.</i> , 2015)

Fruta	Extracción	Análisis	Tipo fibra	Referencia	
Lulo o Naranja ( <i>Solanum quitoense</i> Lam.)	700 g de pulpa a pH = 3,45 y Brix de 8,9 %; extracción de VOCs por 1 h por destilación con arrastre de vapor de agua y extracción con solvente orgánico. Los VOCs llevados a sequedad con Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y concentrados a 0.2 mL	GC-FID / GC-MS / GC-O		(Silva <i>et al.</i> , 2010)	
Lulo o Naranja ( <i>Solanum quitoense</i> Lam.)	250 g pulpa con extracción con disolvente diclorometano-éter etílico (7:3) y con SAFE se concentró a 1 mL.	HS-SPME / GC-FID / GC-MS / GC-O / OAV		(Qiao <i>et al.</i> , 2008)	
Lulo o Naranja ( <i>Solanum quitoense</i> Lam.)	Fruta madura (pH= 3,5 y °Brix = 8,9). La pulpa a pH natural. La cáscara con pentano-éter etílico (1:1) y pH 7,0 por extracción L-L con pentano diclorometano (2:1) después por destilación por arrastre con vapor y por SDE con solvente orgánico.	HRGC / HRGC-MS		(Duque-Beltrán & Morales-Pérez, 2005)	
Maracuyá ( <i>Passiflora edulis</i> f. flavicarp)	ELL con SDE en el espacio de cabeza (HS); con extracción a presión atmosférica (SDE) y a presión reducida (SDEV).	GC-MS / IR / NMR		(Werkhoff <i>et al.</i> , 1998)	
Maracuyá ( <i>Passiflora edulis</i> f. flavicarp)		HS-SPME / GC-MS	DVB/CAR/PDMS -CAR/PDMS - PDMS - PA	(Carasek & Pawliszyn, 2006)	
Melón cantalupo ( <i>Cucumis melo</i> var. <i>reticulatus</i> cv. Sol Real)		HS-SPME.	GC-MS	PDMS	(Perianes-Rodríguez <i>et al.</i> , 2016)
Melón de olor ( <i>Sicana odorifera</i> )	El extracto de la pulpa homogéneo y con 200 mL pentano-diclorometano (2:1) para ELL.	HRGC / HRGC-O / HRGC-MS		(Duque-Beltrán & Morales-Pérez, 2005)	
Mango ( <i>Mangifera indica</i> L.)	Dilución con agua destilada (1:1), centrifugó por 15 minutos, se filtró y se trató durante 90 min a 25 °C.	GC-MS		(Sakho <i>et al.</i> , 1997)	
Mango ( <i>Mangifera indica</i> L.)	HS-SPME / ELL (metanol, agua, acetona y hexano).	HPLC / GC-MS		(Jordán <i>et al.</i> , 2003)	
Mango ( <i>Mangifera indica</i> L.)	SDE.	GC-FID / GC-MS		(Quijano <i>et al.</i> , 2007)	
Mango ( <i>Mangifera indica</i> L.)	SDE-ELL / panel de cata.	OAV / GC-MS		(Pino & Mesa, 2006)	
Mango ( <i>Mangifera indica</i> L.)	5 g de fruta con NaCl al 30 % (p/p), en un baño de agua a 40 °C (15:45 min).	HS-SPME / GC-MS / GC-O	DVB/CAR/ PDMS	(Mahattanatawee <i>et al.</i> , 2005)	
Uchuva ( <i>Physalis peruviana</i> )	Una solución de MetOH/EtOH y se neutralizó con NaHCO <sub>3</sub> , se extrajo con pentano/cloruro de metileno; con SDE y por cromatografía fraccionada.	ELL / HPLC / GC-FID / GC-MS		(Berger <i>et al.</i> , 1989)	
Uchuva ( <i>Physalis peruviana</i> )	Se homogeneizó en solución acuosa con pH 7 y centrifugó por 30 min, para la separación	HRGC / HRGC-MS / ESI-MS / MS		(Mayorga <i>et al.</i> , 2001)	
Uchuva ( <i>Physalis peruviana</i> )	La fruta se licuó y centrifugo a 9000 rpm, 4 °C, 30 min, el extracto por ELL con pentano: diclorometano 2:1, por 48 h.	HRGC/MS		(Duque-Beltrán & Morales-Pérez, 2005)	
Uchuva ( <i>Physalis peruviana</i> )	Extracción en frío, para destilar en baño de hielo, posterior se agito a 750 rpm por 30 min con atm N <sub>2</sub> (g). Se centrifugo por 15 min; la fase orgánica se destilo/filtro con pre-concentración.	ELL-OAV / GC-FID / GC-MS / HRGC-MS		54,05 ± 0,01a 54,05 ± 0,01a	
Uchuva ( <i>Physalis peruviana</i> )	Extracción LL-SAFE para 300 g pulpa se centrifugo con 200 mL pentano-diclorometano por 24h y con Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y concentrando a 0.2 mL.	LL-SAFE / HS-SPME / GC-FID / GC-MS / GC-O / OAV	DVB/CAR/ PDMS	(Gutiérrez <i>et al.</i> , 2010)	
Papaya / Papayuela ( <i>Carica pubescens</i> )	50 g de fruta con extracción por microdestilación con vapor por 1 h con 2 mL de CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , se secó sobre Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y concentró a 0.1 mL	GC-FID / GC-MS		(Morales & Duque, 1987)	

Fruta	Extracción	Análisis	Tipo fibra	Referencia
Papaya / Papayuela ( <i>Carica pubescens</i> )	Fruta madura con pH entre 3,9 - 4,1 y 15° Brix. El extracto del aroma se obtuvo por destilación a presión reducida en atmósfera de N <sub>2</sub> (g), Espacio de cabeza dinámico y adsorción sobre polímeros porosos y SDE con CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> ..	HRGC-MS en modo: Ionización electrónica y química		(Duque-Beltrán & Morales-Pérez, 2005)
Papaya / Papayuela ( <i>Carica pubescens</i> )	200 g pulpa con 800 mL de agua, a pH 7,0 se destiló y se extrajo por 90 min con 25 mL de éter dietílico, se secó con Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y concentró a 40°C hasta 0.6 mL	GC-FID / GC-TCD / GC-MS		(Pino <i>et al.</i> , 2003)
Tomate de árbol ( <i>Solanum betaceum</i> Cav.)	Fruta madura, a pH de 3,5 y 11,5 ° Brix. Técnicas de extracción LL: con pentano-diclorometano (2:1) y por Destilación con arrastre con vapor-SDE y extracción con CO, supercrítico (SFE) y SDEV	SDE - ELL / HRGC / HRGC/MS		(Duque Beltrán & Morales Pérez, 2005)
Tomate de árbol ( <i>Solanum betaceum</i> Cav.)	492 g pulpa con 100 mL de diclorometano en baño de hielo con agitación se añadió sulfato de sodio se filtró y SAFE con sulfato anhidro y concentró a 1 mL.	HS-SPME / GC-FID / GC-MS / GC-O / OAV		(García, Prieto <i>et al.</i> , 2016)
Zapote ( <i>Quararibea cordata</i> Vischer)	983 g de pulpa con 400 mL agua, se extrajo por 3 h con la metodología Likens y Nickerson (1964) con 2-metilbutano.	GC-MS		(Carvalho <i>et al.</i> , 2012; MacLeod & de Troconis, 1982)

**Nota.** ELL: Extracción Líquido - Líquido; LOD: Límite de Detección; OAV: Valoración de la actividad de olor; SAFE: evaporación asistida con solvente; AEDA: análisis de dilución de extracto de aroma; SDE: Extracción destilación simultánea; SDEV: Extracción destilación simultánea a presión reducida; SFE: Extracción por fluidos supercríticos; HS: Espacio de cabeza; SPME: microextracción en fase sólida; HRGC-FTIR: Cromatografía de gases de alta resolución con detector de Infrarrojo con Transformada de Fourier; GC-FID: cromatografía de gases con detector de ionización de llama; GC-MS: Cromatografía de gases con detector de espectrometría de masas; GC-TDC: Cromatografía de gases con detector de conductividad térmica; IR: detector de infrarrojo; NMR: detector de resonancia magnética nuclear; GC-O: Olfatometría acoplado a cromatografía de gases; ESI: Ionización por aspersión electrónica; MS/MS: Espectrometría de masas en tándem; GC-GC: Cromatografía de gases bidimensional (con 2 columnas); NE: nariz electrónica; HPLC: Cromatografía líquida de alta eficiencia; DVB: Fibra de divinil benceno; CAR: Fibra de Carboxeno; PDMS: fibra de polidimetil siloxano; PA: Fibra de poliacrílico.

## Compuestos responsables del aroma de frutas exóticas colombianas

Esta revisión contemplo el estudio de 17 frutas catalogadas como exóticas, las cuales eran originarias de Colombia o que a su vez presentaban alta aceptación y consumo en este y otros países, destacándose a: el aguacate, el arazá, el carambolo, la chirimoya, la guanabana, la guayaba agria, la guayaba dulce, la guayaba manzana, la gulupa, el lulo, el mango, el maracuyá, el melón, la papaya, el tomate de árbol, la uchuva y el zapote.

El perfil aromático es un indicador de la calidad de las frutas y actualmente los análisis y metodologías químicas además de medir propiedades como la textura, el olor y el sabor, destacan numerosos COV, cuya mezcla compleja

define sus atributos sensoriales.(Moya & Angulo, 2001). Dicha mezcla incluye compuestos como: alcoholes, ésteres, aldehídos, cetonas, ácidos, furanos y terpenos que contribuyen al aroma (Gómez *et al.*, 2016). De acuerdo con esto, en la presente revisión se encontró además de las familias de compuestos volátiles ya mencionados y otros como: las lactonas y compuestos azufrados.

Con la presente revisión se generó una matriz que recopiló los diferentes compuestos orgánicos volátiles presentes en las 17 frutas exóticas de interés, indicando, su familia química y los descriptores de aroma reportados por los diferentes referentes y complementados por la base de datos Flavornet. Esta matriz forma parte del material suplementario (Apéndice) del presente manuscrito.

## Análisis global de los resultados obtenidos en la compilación de COV presentes en frutas exóticas y sus correspondientes aromas

De las 17 frutas consideradas en esta revisión, se registraron 194 compuestos, de los cuales, los aldehídos, los alcoholes y los ésteres fueron los más abundantes con porcentajes iguales a 24,2 %, 16,5 % y 34,0 % respectivamente, lo que correspondió a un 74,5 % del total de compuestos orgánicos volátiles presentes en los frutos del estudio. El 25,3 % se relacionó principalmente a terpenos, cetonas, furanos, lactonas y compuestos azufrados. Las frutas que presentaron mayor número de COV (cerca de 20 compuestos) incluyeron a: la guayaba dulce, el lulo, la papaya y la uchuva, seguidas de la gulupa y el mango con aproximadamente 15 compuestos. Con 10 COV reportados, se encontró el aguacate, el arazá, la guanábana, la guayaba agria, el maracuyá, el tomate de árbol y el zapote. Finalmente, las frutas que presentaron menos compuestos volátiles (por debajo de 7 compuestos), fueron: el carambolo, la guayaba manzana, la chirimoya y el melón.

Con relación al tipo de familia de compuestos que predominó, se encontró que el aguacate, la guayaba dulce, el lulo y la uchuva tienen alto contenido de aldehídos (6, 7, 5 y 5 respectivamente), los demás frutos presentaban menos de tres aldehídos. Cabe resaltar que el

arázá, el carambolo, la chirimoya y el melón no presentaron aldehídos. Por su parte la guayaba dulce, el lulo, la papaya y la uchuva presentaron mayor contenido de ésteres (alrededor de 7 compuestos), los frutos restantes, presentaron menos de 5 compuestos. Las frutas que mostraron mayor contenido de alcoholes incluyeron a la papaya y la uchuva con 6 y 4 compuestos respectivamente, las demás frutas presentaron menos de 3 compuestos, excepto el carambolo y la gulupa que carecían de alcoholes.

La **Tabla 3**, muestra la relación de familias de compuestos orgánicos volátiles presentes en frutas exóticas. En la **Figura 4** se observa la correlación entre las 17 frutas y los COV reportados por los autores asociados a los artículos de esta revisión, resaltando 4 categorías representadas por círculos de 4 colores diferentes, donde se agruparon los compuestos volátiles y las frutas afines. Se ve una fuerte correlación entre el aguacate, la uchuva, la papaya, el maracuyá y el zapote, con los alcoholes y ésteres (categoría verde); la guayaba agria, la guayaba manzana, la guayaba dulce, el tomate de árbol, la chirimoya y la guanábana se correlacionaron principalmente con aldehídos y ésteres (categoría violeta). Por último, el arazá, el melón y el mango se correlacionaron con menor intensidad con las lactonas y los ésteres (categoría naranja); finalmente el carambolo y la gulupa arrojaron baja correlación (categoría azul).

**Tabla 3**

*Métodos de extracción y análisis de compuestos orgánicos volátiles en frutas colombianas*

Fruta	Aldehídos	Alcoholes	Ésteres	Cetonas	Terpenos	Lactonas	Azufrados	Ácidos	Furanos	Total	Porcentaje
1 Aguacate	6	1	1		1					9	4,6
2 Araza		2	5			1				8	4,1
3 Carambolo			3	1	2	1				7	3,6
4 Chirimoya		1	2		1					4	2,1
5 Guanabana	3	2	5		1			1		12	6,2
6 Guayaba agria	2	1	2		1		3			9	4,6
7 Guayaba dulce	7	3	6		1		1		2	20	10,3
8 Guayaba manzana	3	1	2							6	3,1
9 Gulupa	2		4	2	2		2	2	1	15	7,7
10 Lulo	5	2	7		1		1	2	1	19	9,8
11 Mango	3	2	3	1	2	2			1	14	7,2
12 Maracuya	2	2	4		2					10	5,2
13 Melon		1	1							2	1,0
14 Papaya	3	6	7	1	2			1		20	10,3
15 Tomate de árbol	3	2	4							9	4,6
16 Uchuva	5	4	7	1	1	1			2	21	10,8
17 Zapote	3	2	3				1			9	4,6
total	47	32	66	6	17	5	8	6	7	194	100,0
Porcentaje	24,2	16,5	34,0	3,1	8,8	2,6	4,1	3,1	3,6	100,0	



Los principales alcoholes producto de la revisión asociados a las frutas exóticas y sus descriptores de aroma fueron: el 1-hexanol (resina, flor, herbal), el (Z)-3-hexenol (herbal), el 3-metil-1-butanol (afrutado), el 1-butanol (alcohol), el 2-fenil etanol (rosa, miel) y el alcohol bencílico (dulce, floral, afrutado). El hexanol resulto ser un compuesto muy frecuente en las 14 frutas analizadas (de un total de 17) excepto en la gulupa, el carambolo y el melón. Por su parte, el (Z)-3-hexenol fue reportado únicamente en: el arazá, la guanábana, la guayaba dulce, el lulo, el mango, el maracuyá, la papaya y el tomate de árbol. El 3-metil-1-butanol fue encontrado en la guayaba dulce y en la papaya. Por último, el 1-butanol, el 2-fenil-etanol, el alcohol bencílico estuvieron presentes en la papaya y la uchuva.

Los aldehídos presentes en las frutas reportadas con sus descriptores fueron: el acetaldehído (solvente, acre), el benzaldehído (almendra, cereza), el furfural (dulce, amaderado), el hexanal (verde, fresco), el nonanal (graso, cítrico, floral), el (E)-2-hexenal (verde, afrutado), el (Z) -3-hexenal (verde) y (E) -2-pental (fresa). Siendo el aguacate, la guayaba dulce y la uchuva, las frutas que presentaron mayor número de aldehídos. Los ésteres encontrados en las frutas estudiadas con sus descriptores correspondieron a: el acetato de hexilo (afrutado), el butanoato de metilo (afrutado), el butanoato de etilo (afrutado), el 3-hidroxibutanoato de etilo (verde, floral), el hexanoato de metilo (afrutado, piña y dulce), el hexanoato de etilo (afrutado, piña), el octanoato de etilo (coco), el benzoato de metilo (caramelo, dulce), el benzoato de etilo (caramelo, floral, miel) y el cinamato de etilo (floral). La distribución de los aldehídos y ésteres en las diferentes frutas es variable, lo que contribuye a consolidar la identidad del aroma de cada fruta.

Respecto a los compuestos orgánicos volátiles minoritarios encontramos: las

cetonas, las lactonas, los ácidos, los furanos, los compuestos azufrados y los terpenos, los cuales pueden contribuir significativamente con el aroma de las frutas por estar presentes de manera diferencial en algunas de ellas. La cetona representativa del carambolo, la gulupa, el mango, la papaya y la uchuva, fue la 1-octen-3-ona, que confiere aroma a hongo. Por otra parte, las lactonas, incluyeron la  $\delta$  -decalactona (en el arazá, carambolo y el mango) y la  $\gamma$  -octalactona (en el mango y la uchuva), que le confieren descriptores de aroma a coco, dulce y afrutado.

En cuanto a los ácidos carboxílicos con mayor reporte se destacan: el ácido acético y el ácido butírico, que se relacionan con descriptores de olor a rancio, vinagre y ácido y fueron encontrados en la guanabana, la gulupa, el lulo y la papaya. En cuanto a los furanos, responsables de los aromas a caramelo y dulce se destacaron: la 4-hidroxi-2,5-dimetil-3 (2H) -furanona (en guayaba dulce, gulupa y lulo) y la 4-metoxi-2,5-dimetil-3 (2H) -furanona (en la guayaba dulce, el mango y la uchuva). Los compuestos azufrados encontrados correspondieron a: el acetato de 3-sulfanil hexilo (en la guayaba agria, la gulupa y el lulo), que describe olor a sulfuro y a sudor; el disulfuro de dimetilo (en la guayaba agria y el zapote), que describe olor a cebolla y el metional (en la guayaba agria, la guayaba dulce y la gulupa) que describe olor a papa cocida.

Finalmente, los principales terpenos reportados fueron: el limoneno (en el aguacate, el lulo, la papaya y el maracuya), que describe aroma cítrico; el edulan 1 (en el mango y el carambolo), que propicia el aroma a menta y a verde; la  $\beta$ -ionona (en el carambolo, la gulupa y la uchuva), característico del aroma dulce floral; no menos importante se reportó la presencia del linalool el cual incide en el aroma floral y cítrico de frutos como: (la chirimoya, la guanabana, la guayaba agria, la guayaba dulce, la gulupa, el mango, el maracuya y la papaya).

## Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM)

El análisis de correspondencias múltiples realizado a los datos recopilados en la matriz dispuesta en el Apéndice de la presente investigación, incluyó los diferentes compuestos orgánicos volátiles presentes en las 17 frutas exóticas, así como la familia química y los descriptores de su aroma. Este análisis, se enfocó en encontrar relaciones entre múltiples variables y datos nominales, es decir, datos de escalas no numéricas.

La correlación de las características: (moléculas, grupos funcionales, frutas exóticas en Colombia y aromas), estableció

asociación para 39 moléculas, que van desde alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, lactonas, compuestos azufrados, furanos, y terpenos; para 17 frutas exóticas del estudio y el respectivo aroma reportado para cada molécula. La relación entre estas variables con el AMC explicó una correlación estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ), evidencia como las características de molécula/aromas tienen una fuerte correlación, como se explica en los componentes para las tres primeras dimensiones (Tabla 4). Se evidencia, que la correlación establecida entre frutas es independiente, y por ende es necesario emplear un mayor número de datos para establecer mejor el comportamiento y sus correlaciones. Para explicar el comportamiento de las características estudiadas se obtuvo la dimensionalidad del modelo, explicado en la Tabla 5.

**Tabla 4**

*Relación de las categorías con cada una de las dimensiones*

	Variables categóricas		
	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3
<b>Moléculas</b>	0,939	0,959	0,958
<b>Familias</b>	0,890	0,944	0,927
<b>Frutas</b>	0,521	0,375	0,230
<b>Aromas</b>	0,929	0,973	0,930

**Tabla 5**

*Porcentaje de la dimensionalidad explicada por medio de la varianza de los datos*

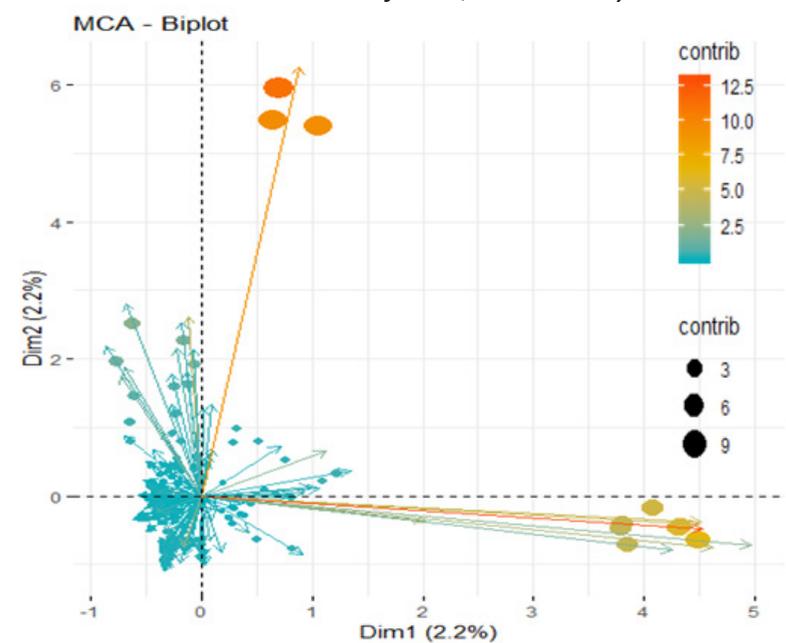
Valores propios	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 4
<b>Varianza</b>	0,939	0,939	0,939	0,939
<b>% de var.</b>	0,939	0,939	0,939	0,939
<b>% acumulado de var.</b>	0,939	0,939	0,939	0,939

En la tabla anterior (Tabla 5), se explica la varianza de los datos, y en esta se pueden interpretar las dimensiones uno y dos, cada una de ellas con un porcentaje de variabilidad

superior al 80 % y su relación entre sí con un porcentaje de la dimensionalidad explicada del 4,2 %, lo que nos permite observar un biplot de correlación en dos dimensiones (Figura 6).

**Figura 6**

*Biplot de análisis de correspondencias múltiples para el análisis correlacionado entre frutas, moléculas y aroma*



El segundo grupo se evidencio como el más representativo, realizando una mayor contribución para las frutas de la carambola, la gulupa, el lulo, el mango, la papaya y la uchuva; con las moléculas: 1-octen-3-one, 1-hexanol y el 1-butanol. Para este grupo es notorio que la correlación organoléptica se estableció porque parte de su estadio es de color amarillo y con aromas descritos asociados al olor a hongo, dulce, floral y afrutado. Por último, el linalol y 1-hexanol con aromas relacionados a frutas, floral, cítrico, herbal, dulce.

### Tendencias futuras de la investigación de COV del aroma en frutas

Las perspectivas futuras de los compuestos orgánicos volátiles activos del aroma en

frutas son prometedoras y están relacionadas con el desarrollo de técnicas analíticas más sensibles y específicas, que permitirán aislar, detectar y cuantificar COV a niveles aún más bajos de concentración, lo que es crucial para comprender completamente el aroma de las frutas. Esta comprensión desempeñara un papel clave en la calidad sensorial de los alimentos. La técnica más empleada para el análisis de COV, es y posiblemente continúe siendo la microextracción en fase solida del espacio de cabeza y la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (HS-SPME-GC/MS), con los nuevos desarrollos tecnológicos en materia de: fibras con adsorbentes para MEFS con mayor alcance en términos de polaridad, columnas cromatográficas con mayor eficiencia, y sistemas de detección más sensibles (Guillot, *et al.*, 2006).

---

Para garantizar la captura más eficiente de los compuestos volátiles se requiere de la mejora en las técnicas de extracción y por lo tanto, el desarrollo de nuevas fases adsorbentes que incrementen el espectro de compuestos volátiles a capturar, así como la miniaturización de los métodos, como la microextracción en fase sólida (MEFS) y la microextracción líquido-líquido (MELL), que permitan el análisis de muestras pequeñas y de escaso contenido de COV, por otro lado, se apunta al diseño de metodologías para la toma de muestras en campo (Kataoka, H. 2011). Para una óptima separación de COV, se apuesta a la cromatografía de gases bidimensional (CGxCG), es decir el uso de al menos dos columnas con fases estacionarias diferentes para aumentar la resolución en la separación y facilitar su identificación y cuantificación.

La espectrometría de masas en tiempo real (PTR-MS y SIFT-MS) permite la detección y cuantificación en línea de olores y aromas en tiempo real de compuestos volátiles a niveles muy bajos (Esteban-Fernández *et al.*, 2015). Igualmente, la Espectrometría de movilidad iónica (EMI) puede separar y cuantificar compuestos volátiles basándose en su movilidad iónica en un campo eléctrico, optimizando y depurando el proceso de detección de compuestos a nivel de trazas (Borsdorf *et al.*, 2011).

Otra tendencia es la aplicación de la nanotecnología, enfocada en el desarrollo de sensores altamente sensibles y específicos para el análisis de COV, que se orienten al análisis sensorial avanzado en apoyo de una nariz y una lengua electrónica, permitiendo, obtener resultados más asertivos y rápidos en los análisis del aroma. Estos sensores pueden ser utilizados en dispositivos portátiles y sistemas de control de calidad. (Delgado-Rodríguez *et al.*, 2012).

Otro enfoque de la investigación apunta hacia la química del aroma, en especial al descubrimiento de nuevos COV y a la búsqueda

de aromas personalizados y exclusivos en la industria alimentaria, así como hacia la sostenibilidad y conservación de los compuestos responsables del aroma que es fundamental para mantener la calidad y autenticidad de los productos alimentarios (Carpenter *et al.*, 2002).

La Inteligencia artificial y el aprendizaje automático mediante el diseño y uso de algoritmos basados en las señales de cromatografía de gases y de espectrometría de masas, para analizar patrones en datos de compuestos volátiles puede ayudar en la identificación de perfiles aromáticos y la evaluación de la calidad del aroma de manera más precisa y eficiente (Cardozo *et al.*, 2013).

La metabolómica del aroma es una asignatura pendiente, que parte de la aplicación de herramientas analíticas, quimiométricas y bioinformáticas para la comprensión de los flujos metabólicos y rutas bioquímicas, que explican la producción de sustancias volátiles activas del aroma en frutos (Baena-Pedroza *et al.*, 2020). Finalmente, la combinación de técnicas analíticas tradicionales y las tecnologías emergentes, junto con la aplicación de la inteligencia artificial y la metabolómica, nos conducirán a los avances significativos en el campo del análisis de compuestos volátiles responsables del aroma.

## Conclusiones

La presente revisión ha permitido visualizar la evolución de las metodologías para el análisis de los compuestos orgánicos volátiles presentes en las principales frutas estudiadas en los últimos 20 años y reportadas en las bases de datos Web Of Science y Scopus. La cromatografía de gases asociada al análisis olfatométrico GC-O-MS como la metodología de análisis más empleada junto con la técnica de microextracción en fase sólida (MEFS), ha permitido discriminar los COV que contribuyen a la comprensión del aroma total de las frutas.

Se encontraron 194 compuestos orgánicos volátiles reportados para las 17 frutas de la revisión, pertenecientes a las siguientes familias de compuestos así: ésteres (34 %), aldehídos (24,2 %) y alcoholes (16,5 %), lo que correspondió al 74,5 % del total de compuestos orgánicos volátiles presentes en los frutos del estudio. El 25,3 % correspondió principalmente a terpenos, cetonas, furanos, lactonas y compuestos azufrados. Dado que cada compuesto puede repetirse en varias frutas, el listado final presentó 39 tipos de compuestos diferentes, a lo cual se le realizó un análisis de correspondencias múltiples (ACM).

Los resultados arrojaron un porcentaje de variabilidad superior al 80 %; las características distintivas se relacionan con aromas agradables y aromas desagradables (*off flavor*), reportando aromas como: afrutado, verde, menta, dulce y floral a diferencia de aromas desagradables como azufrado, sudoroso, graso, mohoso, patata cocida, rancio, cebolla o aroma a hongos; y las moléculas más representativas como el 1-octen-3-ona, 1-hexanol, 1-butanol disulfuro de dimetilo, metional, acetato de 3-sulfanil hexilo y el grupo que consta de linalool y 1-hexanol; correlacionadas con el carambolo, la gulupa, el lulo, el mango, la papaya y la uchuva. Este trabajo puede considerarse un referente de estudios con énfasis en las frutas exóticas en Colombia a nivel de sus aromas.

## Referencias

- Arthur, C. L., & Pawliszyn, J. (1990). Solid phase microextraction with thermal desorption using fused silica optical fibers. *Anal. Chem.*, 62(19), 2145–2148. <https://doi.org/10.1021/ac00218a019>
- Augusto, F., Valente, a. L. P., Dos Santos Tada, E., & Rivellino, S. R. (2000). Screening of brazilian fruit aromas using solid-phase microextraction- gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 873(1), 117–127. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(99\)01282-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(99)01282-0)
- Ávila-Toscano, J. H., Marengo-Escuderos, A., & Orozco, C. M. (2014). Indicadores bibliométricos, redes de coautorías y colaboración institucional en revistas Colombianas de psicología. *Avances en psicología latinoamericana*, 32(1), 167–182. <https://doi.org/10.12804/apl32.1.2014.12>
- Ayala-Jara, C. I., Castillo-Saavedra, E. F., Alfaro-Avalos, K. Y., Aspiros-Freyre, E., & Seclén-Ayala, L. E. (2018). Development of a cosmetic dye based on the seed of *Bixa orellana* L. (*Bixaceae*) and evaluation of its *in vitro* effect. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 133–141. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.14>
- Baena-Pedroza, A., Londoño-Giraldo, L. M., & Tabora-Ocampo, G. (2020). Volatilome study of the feijoa fruit [*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret.] with headspace solid phase microextraction and gas chromatography coupled with mass spectrometry. *Food Chemistry*, 328, 127109. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127109>
- Bagheri, H., Piri-Moghadam, H., Naderi, M., Es'haghi, A., & Roostaie, A. (2014). Solid-phase microextraction and related techniques. *Miniaturization in Sample Preparation*, (3).
- Baraldi, R., Rapparini, F., Rossi, F., Latella, A., & Ciccioli, P. (1999). Volatile organic compound emissions from flowers of the most occurring and economically important species of fruit trees. *Physics and chemistry of the earth, Part B: Hydrology, oceans and atmosphere*, 24(6), 729–732. [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(99\)00073-8](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(99)00073-8)
- Beaulieu, J. C., & Grimm, C. C. (2001). Identification of volatile compounds in cantaloupe at various developmental stages using solid phase microextraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 1345–1352. <https://doi.org/10.1021/jf0005768>
- Berger, R. G., Drawert, F., & Kollmannsberger, H. (1989). The flavour of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Zeitschrift Für Lebensmittel-Untersuchung Und -Forschung*, 188(2), 122–126. <https://doi.org/10.1007/BF01042735>
- Berrocal, D. I. I. (2012). *Captura y caracterización de compuestos aromáticos volátiles en alimentos cocinados*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Borsdorf, H., Mayer, T., Zarejousheghani, M., & Eiceman, G. A. (2011). Recent developments in ion mobility spectrometry. *Applied spectroscopy reviews*, 46(6), 472–521.
- Borges, K. B., Figueiredo, E. C., & Queiroz, M. E. C. (2015). Preparo de amostras para análise de compostos orgânicos. *Editora LTC, Rio de Janeiro*.
- Cannon, R. J., & Ho, C. T. (2018). Volatile sulfur compounds in tropical fruits. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(2), 445–468. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.01.014>
- Carasek, E., & Pawliszyn, J. (2006). Screening of

- tropical fruit volatile compounds using solid-phase microextraction (SPME) fibers and internally cooled SPME fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(23), 8688–8696. <https://doi.org/10.1021/jf0613942>
- Cardozo, C. J. M., Valenzuela, J. R. C., & Londono, G. A. C. (2013). Determination of Soursop (*Annona muricata* L. cv. Elita) Fruit Volatiles during Ripening by Electronic Nose and Gas Chromatography Coupled to Mass Spectroscopy. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 66(2), 7117–7128. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0304-28472013000200012&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0304-28472013000200012&script=sci_arttext&tlng=es)
- Carpenter, R. P., Lyon, D. H., Aguilera, M. A., & Hasdell, T. A. (2002). *Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de alimentos*. Acribia. Retrieved from [https://books.google.com.co/books?id=Rm\\_cPQAACAAJ](https://books.google.com.co/books?id=Rm_cPQAACAAJ)
- Carvalho, V. S., Damiani, C., Asquiere, E. R., Orsi, D. C., & Nishi, A. C. F. (2012). Development and antioxidant capacity of sapota pulp jelly (*Quararibea cordata* Vischer). *Ciencia e Agrotecnologia*, 36(3), 341–347. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542012000300010>
- Clark, S. (2017). *Sensory evaluation of food: principles and practices*. New York: Springer.
- Conde-Martínez, N., Jiménez, A., Steinhaus, M., Schieberle, P., Sinuco, D., & Osorio, C. (2013). Key aroma volatile compounds of gulupa (*Passiflora edulis* Sims fo *edulis*) fruit. *European Food Research and Technology*, 236(6), 1085–1091. <https://doi.org/10.1007/s00217-013-1979-9>
- Corpas, E. J., Taborda, G., Tapasco, O. A., & Ortíz, A. (2016). Comparison between extraction methods to obtain volatiles from lulo (*Solanum quitoense*) pulp. *Revista Colombiana de Química*, 45(3). <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v45n3.61359>
- Corpas Iguarán, E., Taborda Ocampo, G., & Tapasco Alzate, O. (2018). Identification of volatile compound markers during the ripening and senescence of lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 437–442. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2924-x>
- Cuadrado-Silva, C. T., Pozo-Bayón, M. Á., & Osorio, C. (2017). Identification of aroma compounds and precursors of sour guava (*Psidium friedrichsthalianum* Nied.) following a sensomics approach. *European Food Research and Technology*, 243(1). <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2716-y>
- Delgado-Rodríguez, M., Ruiz-Montoya, M., Giraldez, I., López, R., Madejón, E., & Díaz, M. J. (2012). Use of electronic nose and GC-MS in detection and monitoring some VOC. *Atmospheric Environment*, 51, 278–285.
- De La Guardia, M. (1999). An Integrated Approach of Analytical Chemistry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 10(6), 429–437. <https://doi.org/10.1590/S0103-50531999000600002>
- Dembitsky, V. M., Poovarodom, S., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Vearasilp, S., Trakhtenberg, S., & Gorinstein, S. (2011). The multiple nutrition properties of some exotic fruits: Biological activity and active metabolites. *Food Research International*, 44(7), 1671–1701. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.003>
- Díaz-Maroto, M. C., & Pérez-Coello, M. S. (2006). Análisis de los compuestos responsables del aroma de las especias. *Análisis Químicos*, 102(3), 31–35.
- Dudareva, N., Klempien, A., Muhlemann, J. K., & Kaplan, I. (2013). Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds. *New Phytologist*, 198(1), 16–32. <https://doi.org/10.1111/nph.12145>
- Duque-Beltrán, B., & Morales Pérez, P. (2005). *El aroma frutal de Colombia*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Química. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=RvyKoN3j4RCc>
- Echeverría, G., Graell, J., López, M. L., & Lara, I. (2004). Volatile production, quality and aroma-related enzyme activities during maturation of “Fuji” apples. *Postharvest Biology and Technology*, 31(3), 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.09.003>
- Esteban-Fernández, A., Muñoz-González, C., Moreno-Arribas, M., & Pozo-Bayón, M. (2015). Aproximaciones analíticas—in vitro e—in vivo para evaluar la liberación del aroma en condiciones de consumo de vino.
- Forero, D. P., Orrego, C. E., Peterson, D. G., & Osorio, C. (2015). Chemical and sensory comparison of fresh and dried lulo (*Solanum quitoense* Lam.) fruit aroma. *Food Chemistry*, 169, 85–91. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.111>
- García, J. M., Prieto, L. J., Guevara, A., Malagon, D., & Osorio, C. (2016). Chemical studies of yellow tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) fruit flavor by using a molecular sensory approach. *Molecules*, 21(12), 1–11. <https://doi.org/10.3390/molecules21121729>
- Goff, S. A., & Klee, H. J. (2006). Plant volatile compounds: Sensory cues for health and nutritional value? *Science*, 311(5762), 815–819. <https://doi.org/10.1126/science.1112614>
- Gómez, Z., Jesús, F., Peñafiel, L., & Tovar, H. (2016). Perfil químico y organoléptico de los compuestos volátiles del mezcal, 1(1), 916–923.

- González, M., Pérez-Pavón, J. L., González-Pérez, C., Hernández-Méndez, J., & Álvarez-García, N. (2000). Differentiation of products derived from Iberian breed swine by electronic olfactometry (electronic nose). *Analytica Chimica Acta*, 424(2), 279–287. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)01106-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)01106-5)
- Guillot, S., Peytavi, L., Bureau, S., Boulanger, R., Lepoutre, J. P., Crouzet, J., & Schorr-Galindo, S. (2006). Aroma characterization of various apricot varieties using headspace-solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-olfactometry. *Food Chemistry*, 96(1), 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.016>
- Gutiérrez, D., Sinuco, D. C., & Osorio, C. (2010). Characterization of odor-active volatiles in uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Colombiana de Química*, 39(August 2014), 389–399.
- Idstein, H., & Schreier, P. (1985). Volatile constituents from guava. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 33(1), 138–143. <https://doi.org/10.1021/jf00061a039>
- Jalili, V., Barkhordari, A., & Ghiasvand, A. (2020). A comprehensive look at solid-phase microextraction technique: A review of reviews. *Microchemical Journal*, 152, 104319. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104319>
- Japan, E. of. (2002). Standard guidelines for the environmental monitoring of chemicals. In *Water* (pp. 41–130). Japon. Retrieved from <https://www.env.go.jp/en/chemi/pops/Appendix/04-GuideLine/04Chapter3.pdf>
- Jeleń, H. H., Majcher, M., & Dziadas, M. (2012). Microextraction techniques in the analysis of food flavor compounds: A review. *Analytica Chimica Acta*, 738, 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2012.06.006>
- Jiménez, A. M., Sierra, C. A., Rodríguez-Pulido, F. J., González-Miret, M. L., Heredia, F. J., & Osorio, C. (2011). Physicochemical characterisation of gulupa (*Passiflora edulis* Sims. *fo edulis*) fruit from Colombia during the ripening. *Food Research International*, 44(7), 1912–1918. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.007>
- Jordán, M. J., Margaría, C. A., Shaw, P. E., & Goodner, K. L. (2003). Volatile components and aroma active compounds in aqueous essence and fresh pink guava fruit puree (*Psidium quajava* L.) by GC-MS and multidimensional GC/GC-O. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5), 1421–1426. <https://doi.org/10.1021/jf0207651>
- Júnior, S. V., & Soares, I. P. (2014). Análise Química Da Biomassa – Uma Revisão Das Técnicas E Aplicações. *Química Nova*, 37(4), 709–715. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20140111>
- Kassambara, A., & Mundt, F. (2017). Extract and visualize the results of multivariate data analyses package “factoextra,” 1.0.5. <https://doi.org/https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>
- Kataoka, H. (2011). Current developments and future trends in solid-phase microextraction Techniques for Pharmaceutical and Biomedical Analyses. *Analytical Sciences: The International Journal of the Japan Society for Analytical Chemistry*, 27(9), 893. <https://doi.org/10.2116/analsci.27.893>
- Kataoka, H., Lord, H. L., & Pawliszyn, J. (2000). Applications of solid-phase microextraction in food analysis. *Journal of Chromatography A*, 880, 35–62. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00309-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00309-5)
- Lasekan, O., & Abbas, K. A. (2012). Distinctive exotic flavor and aroma compounds of some exotic tropical fruits and berries: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(8), 726–735. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.507910>
- Le, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 177–214. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.06.007>
- MacLeod, A. J., & de Troconis, N. G. (1982). Volatile flavor components of sapodilla fruit (*Achras sapota* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 30(3), 515–517. <https://doi.org/10.1021/jf00111a026>
- MacLeod, A. J., & Pieris, N. M. (1981). Volatile flavor components of soursop (*Annona muricata*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 29(3), 488–490. <https://doi.org/10.1021/jf00105a012>
- Mahattanatawee, K., Goodner, K. L., & Baldwin, E. a. (2005). Volatile constituents and character impact compounds of selected Florida's tropical fruit. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 118, 414–418.
- Mayorga, H., Knapp, H., Winterhalter, P., & Duque, C. (2001). Glycosidically bound flavor compounds of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(4), 1904–1908. <https://doi.org/10.1021/jf0011743>
- Morales, A. L., & Duque, C. (1987). Aroma constituents of the fruit of the mountain papaya (*Carica pubescens*) from Colombia. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 35(4), 538–540. <https://doi.org/10.1021/jf00076a024>
- Moya, F. I., & Angulo, Y. B. (2001). *Análisis sensorial de alimentos: métodos y aplicaciones*. Springer Iberica. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=wiSulMouZ-UC>

- Muhlemann, J. K., Klempien, A., & Dudareva, N. (2014). Floral volatiles: From biosynthesis to function. *Plant, Cell and Environment*, 37(8), 1936–1949. <https://doi.org/10.1111/pce.12314>
- Obenland, D., Collin, S., Sievert, J., Negm, F., & Arpaia, M. L. (2012). Influence of maturity and ripening on aroma volatiles and flavor in “Hass” avocado. *Postharvest Biology and Technology*, 71, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.03.006>
- Paniandy, J.-C., Chane-Ming, J., & Pieribattesti, J.-C. (2000). Chemical composition of the essential oil and headspace solid-phase microextraction of the guava fruit (*Psidium guajava* L.). *Journal of Essential Oil Research*, 12(2), 153–158. <https://doi.org/10.1080/10412905.2000.9699486>
- Pawliszyn, J. (2011). *Handbook of Solid Phase Microextraction*. Elsevier. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=V4RsOL4TkUYC>
- Pena-pereira, F. (2014). From conventional to miniaturized analytical systems. *Analytical and Food Chemistry Department*, 1–28.
- Perianes-Rodríguez, A., Waltman, L., & van Eck, N. J. (2016). Constructing bibliometric networks: A comparison between full and fractional counting. *Journal of Informetrics*, 10(4), 1178–1195. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2016.10.006>
- Pino, J. A. (2012). Odour-active compounds in mango (*Mangifera indica* L. cv. Corazón). *International Journal of Food Science and Technology*, 47(9), 1944–1950. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03054.x>
- Pino, J. A. (2018). Conocimientos actuales sobre los compuestos del aroma de la chirimoya. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 28(1), 1–6.
- Pino, J. A., Almora, K., & Marbot, R. (2003). Volatile components of papaya (*Carica papaya* L., Maradol variety) fruit. *Flavour and Fragrance Journal*, 18(6), 492–496. <https://doi.org/10.1002/ffj.1248>
- Pino, J. A., & Mesa, J. (2006). Contribution of volatile compounds to mango (*Mangifera indica* L.) aroma. *Flavour and Fragrance Journal*, 21(2), 207–213. <https://doi.org/10.1002/ffj.1703>
- Pino, J. A., & Quijano, C. E. (2007). Volatile compounds of araza fruit (*Eugenia stipitata* McVaught). *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 38(3), 363–366.
- Plutowska, B., & Wardencki, W. (2007). Aromagrams - Aromatic profiles in the appreciation of food quality. *Food Chemistry*, 101(2), 845–872. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.028>
- Qiao, Y., Bi, J. X., Zhang, Y., Zhang, Y., Fan, G., Xiao, L. Y., & Si, Y. P. (2008). Characterization of aroma active compounds in fruit juice and peel oil of Jincheng sweet orange fruit (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) by GC-MS and GC-O. *Molecules*, 13(6), 1333–1344. <https://doi.org/10.3390/molecules13061333>
- Quijano, C. E., Salamanca, G., & Pino, J. A. (2007). Aroma volatile constituents of Colombian varieties of mango (*Mangifera indica* L.). *Flavour and Fragrance Journal*, 22(November), 401–406. <https://doi.org/10.1002/ffj>
- Quintana, J. B., Ramil, M., Rodil, R., Rodríguez, I., & Cela, R. (2014). *New Sample Preparation Strategies for Analytical Determinations*. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1002/9780470027318.a9392>
- Rivera, R. C. P. y J. M. (2014). ¿Qué es el olor y cómo lo percibimos?, 2014. Retrieved from <https://www.uv.mx/cienciauv/blog/quimicadelolor/>
- Sakho, M., Chassagne, D., & Crouzet, J. (1997). African Mango Glycosidically Bound Volatile Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(3), 883–888. <https://doi.org/10.1021/jf960277b>
- Silva, J., Suárez, M., & Duque, C. (2010). Preparación de una esencia de lulo (*Solanum vestissimum* d.) a partir del estudio de la contribución de los componentes volátiles al aroma de la fruta. *Revista Colombiana de Química; Vol. 19, Nm. 2* (1990); 47–54. 0120–2804. Retrieved from <http://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/15328>
- Sinuco, D. C., Steinhaus, M., Schieberle, P., & Osorio, C. (2010). Changes in odour-active compounds of two varieties of Colombian guava (*Psidium guajava* L.) during ripening. *European Food Research and Technology*, 230(6), 859–864. <https://doi.org/10.1007/s00217-010-1232-8>
- Soursop, C., Elita, L., Durante, E., & Maduración, S. U. (2011). Volatile compounds during the ripening of colombian soursop (*Annona muricata* L. cv. Elita). *Fruits*, 245–250.
- Souza-Silva, É. A., Gionfriddo, E., & Pawliszyn, J. (2015). A critical review of the state of the art of solid-phase microextraction of complex matrices II. Food analysis. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 71, 236–248. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.04.018>
- Steinhaus, M., Sinuco, D., Polster, J., Osorio, C., & Schieberle, P. (2008). Characterization of the aroma-active compounds in pink guava (*Psidium guajava*, L.) by application of the aroma extract dilution analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(11), 4120–4127. <https://doi.org/10.1021/jf8005245>
- Steinhaus, M., Sinuco, D., Polster, J., Osorio, C., & Schieberle, P. (2009). Characterization of the key aroma compounds in pink guava (*Psidium guajava* L.) by means of aroma re-engineering experiments and omission tests. *Journal of*

*Agricultural and Food Chemistry*, 1, 2882–2888. <https://doi.org/10.1021/jf803728n>

Team, R. D. C., & R Development core team, R. (2016). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74686-7>

Valls, J. S., Prieto, E. B., & de Castro Mart\in, J. J. (1999). *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*. Universitat de Barcelona. Retrieved from [https://books.google.com.co/books?id=cw1\\_dn02I8C](https://books.google.com.co/books?id=cw1_dn02I8C)

van Eck, N. J., & Waltman, L. (2018). VOSviewer version 1.6.7. Leiden: Univeriteit Leiden. Retrieved from: [http://www.vosviewer.com/documentation/Manual\\_VOSviewer\\_1.6.1.pdf](http://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.1.pdf)

Werkhoff, P., Güntert, M., Krammer, G., Sommer, H., & Kaulen, J. (1998). Vacuum headspace method in aroma research: flavor chemistry of

yellow passion fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(3), 1076–1093. <https://doi.org/10.1021/jf970655s>

Winefordner, J.D. (2011). *Sample Preparation Techniques in Analytical Chemistry*. (Somenath Mitra, Ed.), John Wiley & Sons, Inc. (Department, Vol. 162). <https://doi.org/10.1016/j.epl.2011.09.024>

Yang, C., Wang, J., & Li, D. (2013). Microextraction techniques for the determination of volatile and semivolatile organic compounds from plants: A review. *Analytica Chimica Acta*, 799, 8–22. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2013.07.069>

Yilmaztekin, M. (2014). Characterization of potent aroma compounds of cape gooseberry (*Physalis Peruviana L.*) fruits grown in antalya through the determination of odor activity values. *International Journal of Food Properties*, 17(3), 469–480. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.642446>

## Apéndice

### *Compuestos orgánicos volátiles presentes en frutas exóticas en colombianas y sus correspondientes aromas*

Moléculas	Familias químicas	Frutas	Aromas
(E)-2-hexenal	aldehído		verde, afrutado
1-hexanol	alcohol		resina, flor, herbal
acetaldehído	aldehído		solvente, acre
benzaldehído	aldehído	aguacate	almendra, cereza
furfural	aldehído	( <i>Persea americana</i> Mill., cv. Hass)	dulce, amaderado
hexanal	aldehído		verde, fresco
hexanoato de metilo	éster		afrutado
limoneno	terpeno		cítrico
nonanal	aldehído		graso, cítrico, floral
(Z)-3-hexenol	alcohol		herbal
1-hexanol	alcohol		resina, flor, herbal
3-hidroxi-butanoato de etilo	éster		verde, floral, graso, dulce
acetato de hexilo	éster	arazá	afrutado
butanoato de etilo	éster	( <i>Eugenia stipitata</i> McVaugh)	afrutado
hexanoato de etilo	éster		dulce
octanoato de etilo	éster		afrutado
δ-decalactona	lactona		coco, dulce, afrutado

Moléculas	Familias químicas	Frutas	Aromas
1-octen-3-ona	cetona		hongo
benzoato de etilo	éster		sulfuro, tropical, floral
cinamato de etilo	éster		verde, mentol, dulce
edulan1	terpeno	carambolo ( <i>Averrhoa carambola</i> )	menta, verde
hexanoato de etilo	éster		verde, afrutado
$\beta$ -ionona	terpeno		dulce, floral, frambuesa
$\delta$ -decalactona	lactona		coco, dulce, afrutado
1-hexanol	alcohol		frutos secos, crudos
butanoato de metilo	éster	chirimoya cimarrona ( <i>Annona chrysophylla</i> Boj.)	afrutado
hexanoato de etilo	éster		afrutado, piña, dulce
linalool	terpeno		floral, cítrico
(E)-2-hexenal	aldehído		verde, afrutado
(Z)-3-hexenal	aldehído		verde
(Z)-3-hexenol	alcohol		herbal
1-hexanol	alcohol		frutos secos, crudos
ácido butanoico	ácido		rancio
butanoato de etilo	éster	guanábana ( <i>Annona muricata</i> L. cv. Elita)	afrutado, manzanas
butanoato de metilo	éster		afrutado
hexanoato de etilo	éster		afrutado, piña, dulce
hexanoato de metilo	éster		afrutado, pera, dulce
linalool	terpeno		floral, cítrico
nonanal	aldehído		graso, cítrico, floral
octanoato de etilo	éster		dulce, afrutado, coco
(E)-2-pentenal	aldehído		fresa
(Z)-3-hexenal	aldehído		verde
1-hexanol	alcohol		herbal, afrutado
acetato de 3-sulfanil hexilo	azufrado	guayaba agria ( <i>Psidium friedrichsthalianum</i> Nied.)	sulfuro, sudor
butanoato de etilo	éster		afrutado
disulfuro de dimetilo	azufrado		cebolla
hexanoato de etilo	éster		afrutado, piña, dulce
linalool	terpeno		floral, cítrico
metional	azufrado		patata cocida
(E)-2-hexenal	aldehído		herbal, verde, afrutado
(Z)-3-hexenal	aldehído		verde, herbal
1-hexanol	alcohol	guayaba manzana ( <i>Psidium guajava</i> L. <i>Psidium cattleianum</i> )	herbal, afrutado
hexanal	aldehído		verde, fresco
hexanoato de etilo	éster		afrutado, piña, dulce
hexanoato de metilo	éster		afrutado, pera, dulce
(E)-2-hexenal	aldehído		herbal, verde, afrutado
(E)-2-pentenal	aldehído		fresa
(Z)-3-hexenal	aldehído	guayaba rosa ( <i>Psidium guajava</i> , L.)	verde, herbal
(Z)-3-hexenol	alcohol		herbal
1-hexanol	alcohol		herbal, afrutado
3-metil-1-butanol	alcohol		solvente, pies sucios, almendra

Moléculas	Familias químicas	Frutas	Aromas
4-hidroxi-2,5-dimetil-3 (2h) -furanona	furano		caramelo, dulce
4-metoxi-2,5-dimetil-3 (2h) -furanona	furano		caramelo, dulce
acetaldehído	aldehído		picante, fresco
acetato de hexilo	éster		afrutado, melocotón
benzoato de etilo	éster		caramelo, floral, miel
benzoato de metilo	éster		caramelo, dulce, mentol, verde
butanoato de etilo	éster	guayaba rosa	afrutado
hexanal	aldehído	( <i>Psidium guajava</i> , L.)	herbal
hexanal	aldehído		verde, herbal
hexanoato de etilo	éster		floral, afrutado, anís
linalool	terpeno		limón, perejil
metional	azufrado		patata cocida
nonanal	aldehído		graso, cítrico, floral
octanoato de etilo	éster		verde, mentol, floral, anís
(Z) -3-hexenal	aldehído		herbal
(Z) -3-hexenal	aldehído		verde, herbal
1-octen-3-ona	cetona		hongo
1-octen-3-ona	cetona		hongo
acetato de 3-sulfanil hexilo	azufrado		sulfuro, sudor
4-hidroxi-2,5-dimetil-3 (2H) -furanona	furano		caramelo, dulce
ácido acético	ácido	gulupa	ácido
ácido butanoico	ácido	( <i>Passiflora edulis f. edulis</i> )	rancio
butanoato de etilo	éster		afrutado
cinamato de etilo	éster		floral
hexanoato de etilo	éster		afrutado
linalool	terpeno		floral, cítrico
metional	azufrado		patata cocida
octanoato de etilo	éster		coco
$\beta$ -ionona	terpeno		floral, dulce
(E) -2-hexenal	aldehído		verde, herbal
(E) -2-pental	aldehído		dulce, afrutado
(Z) -3-hexenal	aldehído		verde, herbal
(Z)-3-hexenol	alcohol		herbal
1-hexanol	alcohol		herbal, afrutado
acetato de 3-sulfanil hexilo	azufrado		sulfuro, sudor
4-hidroxi-2,5-dimetil-3 (2H) -furanona	furano		dulce, caramelo
acetato de hexilo	éster	lulo	afrutado, melocotón
ácido acético	ácido	( <i>Solanum quitoense Lam.</i> )	vinagre
ácido butanoico	ácido		rancio
benzoato de etilo	éster		floral, afrutado
benzoato de metilo	éster		herbal, afrutado
butanoato de etilo	éster		afrutado, dulce
butanoato de metilo	éster		afrutado, dulce, éter, lulo
hexanal	aldehído		verde, metálico

Moléculas	Familias químicas	Frutas	Aromas
hexanoato de etilo	éster	lulo ( <i>Solanum quitoense</i> Lam.)	afrutado, piña
hexanoato de metilo	éster		afrutado, dulce, piña
limoneno	terpeno		limón
nonanal	aldehído		graso, cítrico, floral
(E)-2-hexenal	aldehído	mango ( <i>Mangifera indica</i> L.)	herbal, verde, afrutado
(Z)-3-hexenol	alcohol		verde, herbal
1-hexanol	alcohol		verde, nuez mohosa
1-octen-3-ona	cetona		hongo
2,5-dimetil-4-metoxi-3(2H)-furanona	furano		caramelo, dulce
3-hidroxi-butanoato de etilo	éster		verde, floral, graso, dulce
benzoato de metilo	éster		dulce, floral
edulan1	terpeno		menta, verde
hexanal	aldehído		verde, afrutado
linalool	terpeno		cítrico
nonanal	aldehído		graso, cítrico, floral
octanoato de etilo	éster		dulce, afrutado
$\gamma$ -octalactona	lactona		coco, dulce, herbal
$\delta$ -decalactona	lactona		afrutado, dulce
(Z)-3-hexenol	alcohol	maracuyá ( <i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarp</i> )	verde
1-hexanol	alcohol		afrutado
3-hidroxi-butanoato de etilo	éster		verde floral, graso, dulce
acetato de hexilo	éster		afrutado, melocotón
benzaldehído	aldehído		almendra, cereza
butanoato de etilo	éster		herbal afrutado
hexanoato de etilo	éster		afrutado - piña
limoneno	terpeno		cítrico
linalool	terpeno		floral
nonanal	aldehído		graso, cítrico, floral
(Z)-3-hexenol	alcohol		melón de olor ( <i>Sicana odorífera</i> )
3-hidroxi-butanoato de etilo	éster	verde, floral, graso, dulce	
(Z)-3-hexenol	alcohol	papaya ( <i>Carica pubescens</i> )	herbal
1-butanol	alcohol		alcohol
1-hexanol	alcohol		afrutado
1-octen-3-ona	cetona		hongo
2-fenil etanol	alcohol		rosa-miel
3-hidroxi-butanoato de etilo	éster		verde, floral, graso, dulce
3-metil-1-butanol	alcohol		afrutado
acetaldehído	aldehído		vino
ácido acético	ácido		vinagre
alcohol bencílico	alcohol		dulce, floral, afrutado
benzoato de etilo	éster		floral, afrutado
benzoato de metilo	éster		afrutado, dulce
butanoato de etilo	éster		sabroso
butanoato de metilo	éster		herbal, afrutado

Moléculas	Familias químicas	Frutas	Aromas
furfural	aldehído		quemado
hexanoato de etilo	éster		afrutado, piña
hexanoato de metilo	éster	papaya	sabroso
limoneno	terpeno	( <i>Carica pubescens</i> )	cítrico
linalool	terpeno		floral
nonanal	aldehído		graso, floral
(E)-2-hexenal	aldehído		herbal, verde, afrutado, manzana
(Z)-3-hexenal	aldehído		verde
(Z)-3-hexenol	alcohol		verde
1-hexanol	alcohol		afrutado
3-hidroxi-butanoato de etilo	éster	tomate de árbol	verde, floral, graso, dulce
butanoato de etilo	éster	( <i>Solanum betaceum</i> Cav.)	afrutado, cítrico
butanoato de metilo	éster		dulce, afrutado
hexanal	aldehído		verde, herbal
hexanoato de metilo	éster		eter, piña
(E)-2-hexenal	aldehído		herbal, verde, afrutado, manzana
(E)-2-pentenal	aldehído		dulce, afrutado
1-butanol	alcohol		dulce, floral, afrutado
1-hexanol	alcohol		floral, afrutado
1-octen-3-ona	cetona		hongo
2,5-dimetil-4-metoxi-3(2H)-furanona	furano		dulce
2-fenil etanol	alcohol		dulce, floral, rosa
3-hidroxi-butanoato de etilo	éster		verde, floral, graso, dulce
4-metoxi-2,5-dimetil-3(2H)-furanona	furano		caramelo
acetato de hexilo	éster		afrutado
alcohol bencílico	alcohol	uchuva ( <i>Physalis peruviana</i> )	dulce, floral, afrutado
benzaldehído	aldehído		cereza
benzoato de metilo	éster		floral
butanoato de etilo	éster		afrutado
butanoato de metilo	éster		dulce afrutado, eter
hexanal	aldehído		verde, graso
hexanoato de etilo	éster		dulce
nonanal	aldehído		graso, cítrico, floral
octanoato de etilo	éster		dulce, afrutado
$\beta$ -ionona	terpeno		floral, dulce
$\gamma$ -octalactona	lactona		afrutado, melocotón
1-hexanol	alcohol		afrutado
acetato de hexilo	éster		afrutado, melocotón
alcohol bencílico	alcohol		afrutado, heno, cereal
benzaldehído	aldehído	zapote	almendras
benzoato de etilo	éster	( <i>Quararibea cordata</i> Vischer)	medicinal, afrutado
benzoato de metilo	éster		medicinal, fenólico
disulfuro de dimetilo	azufrado		herbal, verde
furfural	aldehído		cocinado, carne asada
hexanal	aldehído		mohoso