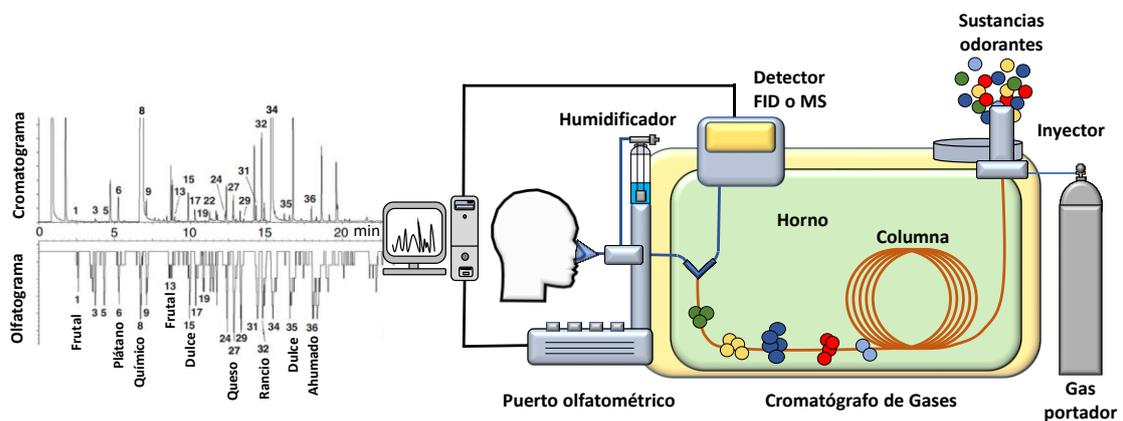




UNIVERSIDAD DE SEVILLA
FACULTAD DE FARMACIA
GRADO DE FARMACIA



AROMAS, ANÁLISIS QUÍMICO Y SENSORIAL
(Trabajo Fin de Grado, Bibliográfico)

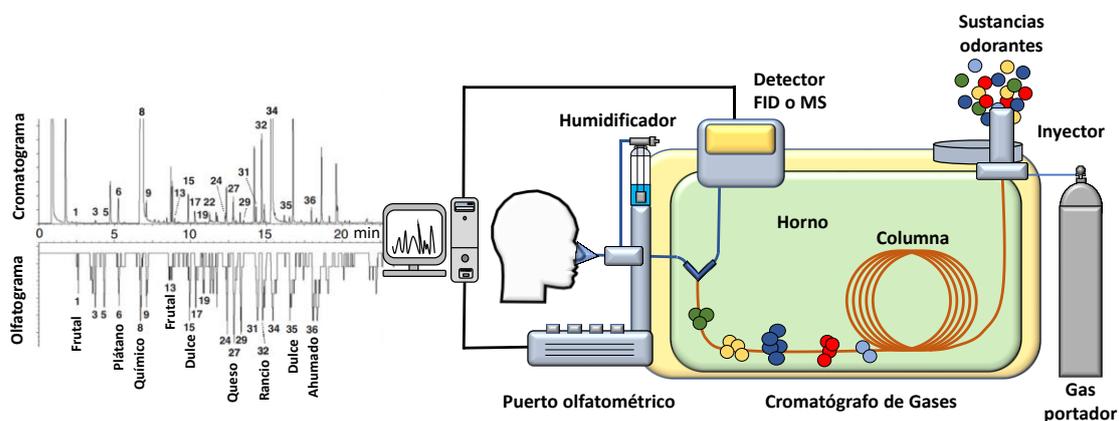
Ana Vigara Alés



UNIVERSIDAD DE SEVILLA
FACULTAD DE FARMACIA



TRABAJO FIN DE GRADO
GRADO EN FARMACIA



AROMAS, ANÁLISIS QUÍMICO Y SENSORIAL

ANA VIGARA ÁLES

Sevilla, julio 2023

Departamento de Química Analítica
Tutora: Dra. DOLORES HERNANZ VILA
Tipología: Revisión Bibliográfica

RESUMEN: El presente Trabajo Fin de Grado se centra en la importancia del aparato olfativo en el proceso de identificación de aromas y la relevancia del análisis sensorial y la cromatografía de gases acoplada a la olfatometría (GC-O). Para ello se ha realizado un estudio bibliográfico desde los comienzos de la identificación de los aromas, hasta las últimas aportaciones científicas en el campo del análisis instrumental. El interés por los aromas se inicia desde los tiempos prehistóricos y ha ido de la mano del desarrollo de la industria de las fragancias y de las técnicas sensoriales de análisis de los alimentos. El aparato olfativo posee una alta capacidad para identificar sustancias odorantes y una sensibilidad superior a la de las técnicas instrumentales. La estructura química de estas sustancias está ligada a su aroma y a su umbral de percepción, además pequeños cambios estructurales aportan aromas diferentes. En la identificación de estas moléculas odorantes el panel de evaluadores analíticos juega un papel fundamental, tanto en el análisis sensorial, como en la GC-O, y requiere de proceso de selección y entrenamiento previo al desarrollo del análisis. El estudio biográfico realizado de las aplicaciones de la GC-O pone de manifiesto los aspectos más destacados sobre las técnicas de extracción de odorantes, las técnicas olfatométricas utilizadas y el número de panelistas utilizados, entre otros aspectos.

Palabras Claves: análisis sensorial, GC-O, panel de evaluadores analíticos, técnicas olfatométricas, técnicas de extracción.

ABSTRACT: This Final Degree Project focuses on the importance of the olfactory apparatus in the process of identifying aromas and the relevance of sensory analysis and gas chromatography coupled to olfactometry (GC-O). For this purpose, a bibliographic study has been carried out from the beginnings of the identification of aromas to the latest scientific contributions in the field of instrumental analysis. The interest in aromas began in prehistoric times and has gone hand in hand with the development of the fragrance industry and sensory techniques of food analysis. The olfactory apparatus has a high capacity to identify odorant substances and a sensitivity higher than that of instrumental techniques. The chemical structure of these substances is linked to their aroma and their perception threshold, and small structural changes bring different aromas. In the identification of these odorant molecules, the panel of analytical evaluators plays a fundamental role, both in sensory analysis and in GC-O, and requires a selection process and training prior to the development of the analysis. The biographical study carried out on the applications of the GC-O highlights the most important aspects of odorant extraction techniques, the olfactometric techniques used and the number of panelists used, among other aspects.

Keywords: sensory analysis, GC-O, analytical panelists, olfactometric techniques, extraction techniques.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Aroma y fragancias, conceptos e historia	5
1.2. Fisiología del sentido del olfato.....	8
2. OBJETIVOS....	10
3. METODOLOGÍA.....	10
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
4.1. Sustancias Odorantes	11
4.1.1. Clasificación.....	11
4.1.2. Estructura química y aromas	12
4.2. Análisis sensorial de aromas. La cata.....	16
4.2.1. El panel de catadores	16
4.2.2. Las pruebas del análisis sensorial	18
4.2.3. Ejemplo de análisis sensorial de aromas: la cata del vino.....	20
4.3. Cromatografía de Gases-Olfatometría. Técnica y aplicaciones.....	22
4.3.1. Componentes del cromatógrafo de gases acoplado a olfatometría.	22
4.3.2. Técnicas olfatométricas.....	24
4.3.3. Técnicas de extracción en GC-O	26
4.3.4. Aplicaciones de la GC-O.....	26
5. CONCLUSIONES.....	31
6. BIBLIOGRAFÍA.....	32

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Aroma y fragancias, conceptos e historia

Existen una gran variabilidad de conceptos relacionados con el sentido del olfato tales como olor, aroma, fragancia, hedor, *flavor*, etc. La norma UNE-EN 13725 (AENC, 2006), define el olor como “*la propiedad organoléptica de identificar mediante el órgano del olfato sustancias suspendidas al momento de inspirar*”. La RAE diferencia el olor bueno o muy agradable a los aromas y fragancias, y el olor desagradable al hedor. Por su parte, el término *flavor* se asocia con una sensación más compleja y agradable, derivada de la estimulación de varios sentidos, que incluyen el olfato, el gusto, el tacto, y probablemente la vista y el oído (Sancho et al., 1999). Mientras que aroma es un término más amplio y genérico, y que permite definir olores que emanan de los alimentos (como la fresa), cosméticos (crema, perfume, etc.) y materiales (como el cuero y la madera), el término fragancia se asocia más con la industria de la perfumería, refiriéndose a notas olfativas y especialmente a la concentración de los componentes principales, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación las fragancias en términos de composición de concentración de etanol y agua.
Adaptada de (Teixeira et al., 2010) y de (Vila y Garcóia, 2014).

Fragancia	Aceite esencial (%) (v/v)	Etanol (%) (v/v)	Agua (%) (v/v)	Duración en piel	Duración (caducidad)	Aroma
<i>Parfum</i>	15-30	74-77	1-3	>8 h	6 a 9 meses	Muy intenso
<i>Eau de parfum</i>	8-15	75-80	9-13	6-8 h	1 año	Intenso
<i>Eau de toilette</i>	4-15	72-81	10-18	4-5 h	2	Suave
<i>Eau de cologne</i>	3-5	58-77	20-40	3-4 h	>2 años	Ligero
<i>Splash cologne</i>	2-3	49-68	30-50	1-2h	2-4 años	Fresco

La historia de los aromas está muy ligada a la de las fragancias y perfumes, cuyo interés ha existido desde hace muchos años en todas las civilizaciones. Así, se ha encontrado en la tumba de Tutankamon, en Egipto, frascos sellados con ungüentos con aroma a incienso y nardo, con más de 3000 años antigüedad. En Mesopotamia, se encontró una tablilla cuneiforme (del 3300 a.C.), que mostraba que los primeros perfumistas de la historia eran mujeres que creaban fragancias con mezclas de flores y plantas como el *Cyperus calamus* y la mirra. De la misma manera, se han encontrado estatuillas conteniendo incienso en ruinas de la civilización del valle del Indo (3300-100 a.C.) (Pybus y Sell, 1999; López-Mascaraque y Alonso, 2017).

Por su parte, las referencias de los aromas asiáticos se inician en la India, en el 3300 a.C.,

con la producción de una fragancia natural (pura y sin alcohol) denominada “ittar”, que se aplicaba en distintos usos; destacando también en la antigua China la utilización de las denominadas “bolsitas perfumadas” (saquitos de tela o hilo de oro, con hierbas aromáticas) anteriores al 2000 a.C (Otero de la Gándara, 2006).

Los griegos y los romanos utilizaban aceites esenciales extraídos de plantas con fines cosméticos y para baños, de hecho, se estima que en el siglo I a.C. los romanos consumían en torno a 3.000 toneladas de incienso y más de 500 toneladas de mirra. Ya a principio del siglo I d.C., el romano Plinio el Viejo desarrollo un método primitivo de condensación para la recolección de aceites esenciales en una cama de lana y también hizo los primeros experimentos tentativos de separación en “cromatografía”. Años más tarde, en el siglo III d.C., el alquimista griego Zósimo de Panópolis atribuye a María la Judía la invención del alambique, para la preparación de destilados. Tras la caída del imperio Romano, hubo que esperar al imperio Bizantino (330-1453 d.C.) para producirse de nuevo un resurgimiento de las fragancias en toda la zona del Mediterráneo oriental que, junto con la cultura aromática de la civilización árabe, supuso un impulso en la producción de fragancias, especialmente con la llegada de nuevas materias primas como el almizcle, el ámbar gris o el agua de rosas (Otero de la Gándara, 2006).

En el Renacimiento (S. XV y XVI) aparecen ingredientes nuevos como el jengibre, la pimienta o el alcanfor. Venecia con grandes perfumistas marca la tendencia de las fragancias, como el gusto por perfumar la ropa y artículos de marroquinería con idea de disimular el olor intenso a piel. El perfume de base alcohólica y aceites esenciales, tal y como se entiende hoy en día, surge a finales del siglo XVI con el “Agua de la Reina de Hungría”¹, un perfume famoso por tener un poder rejuvenecedor sobre la Reina de Hungría, de 70 años de edad (Figura 1). También destacan perfumes con base de rosa, lirio y mirra, y se perfeccionan la técnica del alambique, y el perfumista es cada vez un profesional más cualificado (Davis, 1988).



Figura 1. Frascos con perfume de “La Reina de Hungría” (Sanda-Days, 2013)

¹ Agua de la Reina de Hungría: 4 gotas de aceite de romero, 6 gotas de aceite de limón, 2 gotas de aceite de naranja, 5 ml de agua de azahar de fuerza tripla, 5 ml de agua de rosas de fuerza triple y 40 mL de alcohol etílico del 96% (Davis, 1988).

Ya en el Barroco (S. XVII-XVIII), Versalles se convierte en la cuna de las fragancias, que se extienden por Europa y con la corte de Luis XV, denominada “la corte perfumada”, el uso del perfume se pone de moda y emerge la industria de la perfumería de lujo, acompañada de la mejora del grado de pureza del alcohol que permite producir perfumes más delicados. Un hito importante de la perfumería fue la creación en 1709 del Eau de Cologne², por Jean-Marie Farina, inspirada en el Aqua Mirabilis, una solución producida en monasterios italianos, cuya formulación cambió incorporando la bergamota. Rápidamente se extendió su fama por sus propiedades refrescantes, restauradoras, desodorantes y antisépticas, hasta el punto de que Napoleón la utilizaba en grandes cantidades (unas 600 botellas por año) (Davis, 1988).

El verdadero progreso en la industria de los aromas se produjo en el XIX cuando se logró la producción de sustancias aromáticas por medio de la síntesis química, facilitando la accesibilidad de los ingredientes y abaratando los precios. Así, en 1837 se sintetiza el benzaldehído (aroma a almendras), en 1868 la cumarina (aroma a heno dulce), en 1887 la vainillina, en 1893 la ionona (aroma a violeta) y más tarde los almizcles sintéticos (aroma floral y amaderado), como el 3-tert-butiltolueno sintetizado accidentalmente por Albert Baur intentando obtener un explosivo más eficaz que el trinitrotolueno. Es en 1882 cuando se crea la primera fragancia, *Fougère Royale*, que incorpora en su formulación cumarina sintética (Pybus y Sell, 1999). Desde entonces hasta la actualidad la industria de las fragancias y aromas queda marcada por nuevos perfumes y tendencias, algunos de los cuales se mantiene hoy en la actualidad, como es el caso del perfume Chanel nº5, creado por Ernest Beaux en 1921 para Coco, que debe su carácter único a la incorporación de aldehídos sintéticos, en particular el 2-metilundecal, y cuyo frasco original continúa en vigor hoy en día (Vogue, 2021).

Aunque la historia de los aromas tiene su origen en la prehistoria y está asociada al desarrollo de las fragancias, las técnicas empleadas en el análisis sensorial son más recientes y han estado ligadas a la evaluación de la calidad sensorial de los alimentos. La ciencia sensorial se remonta a los inicios del siglo XIX con el desarrollo de teorías psicológicas para medir y predecir las respuestas humanas a los estímulos externos que, por ejemplo, puede provocar un alimento. No obstante, muchos autores atribuyen el inicio del análisis sensorial al año 1940. En esa fecha, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos desarrolló una metodología de aceptación, que se convirtió en una práctica habitual entre muchas empresas de alimentos estadounidenses. Desde entonces, se han desarrollado métodos científicos específicos para

² Agua de Colonia: 100 gotas de aceite de bergamota, 50 gotas de aceite de limón, 30 gotas de aceite de azahar, 50 gotas de aceite de lavanda, 10 gotas de aceite de romero y 150 mL de alcohol etílico (Davis, 1988).

medir o estimar de manera precisa, reproducible y objetiva las respuestas humanas en el análisis sensorial en general, y al de los aromas en particular, todo esto acompañado del desarrollo de técnicas instrumentales, como son la incorporación de cromatografía de gases a mediados del siglo XX (Faraldos y Goberna, 2021).

1.2. Fisiología del sentido del olfato

En la detección de los olores, el sentido del olfato adquiere un papel importante a nivel sensorial, e influye de manera decisiva a nivel industrial, especialmente en la selección de perfumes, alimentos, bebidas, cosméticos, detergentes, entre otros productos cotidianos, con el fin de aumentar la captación del consumidor. Así, se observan cuotas de mercado de fragancias en el año 2021 de 43.600 millones de USD (Statista GmbH, 2021). Distintos estudios indican cómo el aroma tiene un efecto positivo tanto en la evaluación del producto a consumir, como en el gasto realizado por el consumidor (Morrin y Charles, 2005). La capacidad que posee el individuo para evaluar un producto a partir del aroma se explica gracias a la fuerte relación que existe entre el sistema olfativo, la memoria a largo plazo y la experiencia emocional previa del consumidor. Esto hace que el sentido del olfato genere una mayor motivación emocional del consumidor comparado con los otros sentidos (Arboleda y Alonso, 2015).

La percepción olfatoria se basa en la interacción entre los compuestos volátiles aromáticos (odorantes) y los receptores olfativos que se encuentran en la cavidad nasal. El sistema olfativo (Figura 2) está integrado por el epitelio olfatorio y por regiones olfatorias del cerebro situadas en el bulbo olfativo. El epitelio olfativo está localizado en las partes superior y posterior de la cavidad nasal, y está cubierto por una fina capa mucosa. En los humanos, el epitelio olfativo contiene entre diez y veinte millones de neuronas olfativas. Cada una de estas neuronas poseen prolongaciones en forma de cilios hacia la mucosa, donde se encuentran los receptores olfativos encargados de la recepción de las moléculas olorosas y donde comienza el proceso de transducción química. Así, cuando una molécula odorante se enlaza con su receptor, se activa una proteína tipo G, está estimula la enzima adenilato ciclasa y se genera AMP cíclico, como mensajero secundario. El AMP cíclico actúa sobre los canales iónicos de los cilios produciendo una despolarización de las neuronas olfativas, generando impulsos bioeléctricos que, a través de los axones de las neuronas olfativas primarias, llegan hasta unos puntos de convergencia sináptica situados en el bulbo olfativo, denominados glomérulos (Figura 2), que son capaces de recoger la señal proveniente de entre 17.000 y 25.000 axones. Cada glomérulo está conectado, mediante neuronas secundarias, a una célula mitral (las principales dentro del bulbo olfativo), que puede recibir la señal de unos 25 glomérulos, y enlazan finalmente el bulbo olfativo con el córtex olfativo en el cerebro (López-Mascaraque y Alonso, 2017).

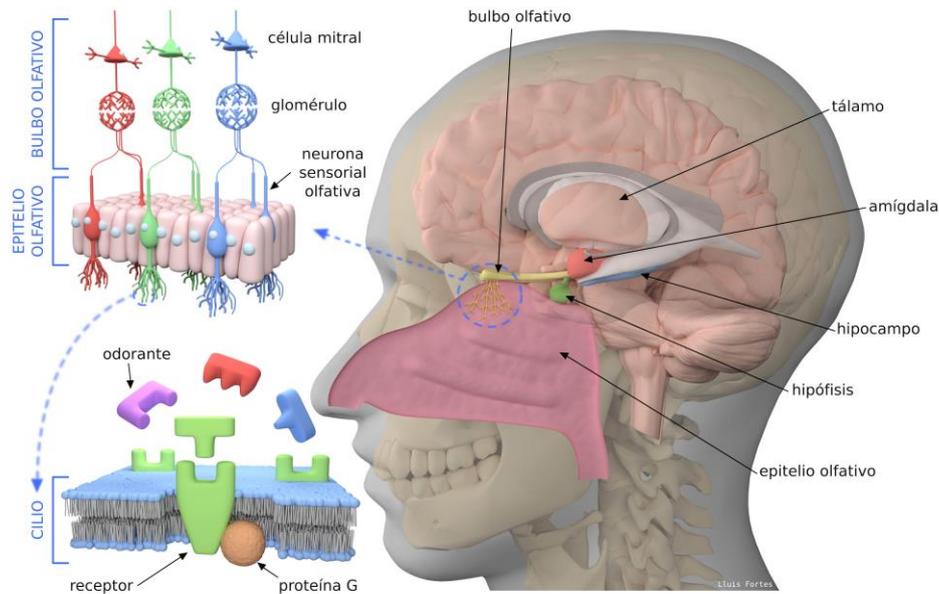


Figura 2. Sistema olfativo. Ilustración de Lluís Fortes (López-Mascaraque y Alonso, 2017).

A diferencia de los impulsos de otros sentidos, las señales aromáticas no son ordenadas en el tálamo, sino que van directamente al hipocampo, que es el centro de formación de la memoria, y a la amígdala (Figura 2). En el primero se produce la identificación de los olores, y en la amígdala se generan emociones y comportamientos frente al olor (Zuluaga et al., 2014). De esta forma se activa el lenguaje corporal y las emociones de la persona frente al aroma que está percibiendo, lo que nos permite reconocer y memorizar en torno a 10.000 aromas diferentes, utilizando un número limitado de receptores (en torno a 350) (Soler, 2009).

Existen diversas teorías que tratan de explicar el mecanismo mediante el cual los receptores reconocen las sustancias odorantes. A inicios de los 90 se aceptaba la *teoría de la forma* que proponía que únicamente la estructura molecular del odorante estaba relacionada con su carácter olfativo, de tal manera que las moléculas odorantes se unían al receptor olfativo selectivamente en un sistema llave-cerradura. Sin embargo, esta teoría no explica cómo somos capaces de reconocer más de 10.000 olores distintos con un número tan limitado de receptores olfativos. La *teoría vibracional*, propuesta por Lucas Turín en 1996, indicaba que los receptores olfativos no responderían a la forma de la molécula olorosa, sino que actuaban como pequeños espectroscopios que detectaban sus transiciones cuánticas vibracionales. La teoría más actual indica que percepción olfativa se produce por un *modelo combinatorio*. Este modelo, propuesto por Linda Buck y Richard Axel (Premio Nobel de Medicina y Fisiología en 2004) pone de manifiesto que cada receptor reconoce a varias moléculas y, a su vez, una misma molécula puede ser reconocida por varios receptores olfativos distintos (Mullol, 2004; Alonso, 2011) .

Buck y colaboradores estudiaron el efecto de diferentes alcoholes alifáticos sobre neuronas individuales en ratones. Así, comprobaron que el pentanol estimulaba sólo los receptores del tipo S3, mientras que el heptanol activaba además los receptores tipo S19 y S25. Otras moléculas como el nonanol activa los receptores de tipo S18, S19, S41, S51 y S83 (Börsch-Haubold, 2007). De este modo se explicarían cómo a partir de unos pocos receptores olfativos somos capaces de identificar más de 10.000 olores diferentes.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente Trabajo Fin de Grado es poner en valor el sentido del olfato en la evaluación analítica sensorial e instrumental de los aromas. Para conseguir este objetivo se proponen los siguientes objetivos parciales:

- a) Estudiar la relación aroma/estructura de las sustancias odorantes.
- b) Describir el proceso de evaluación sensorial y conocer el papel de los evaluadores/catadores.
- c) Conocer la técnica de la cromatografía de gases acoplada a la olfatometría, y realizar una búsqueda bibliográfica actualizada de la técnica.

3. METODOLOGÍA

Para realizar este trabajo bibliográfico se ha llevado a cabo una búsqueda de datos e información con diferentes herramientas bibliográficas, como *ScienceDirect*, *Scopus*, *PubMed*, así como el uso del Catálogo de la Biblioteca Universitaria (Universidad de Sevilla).

Para la búsqueda de libros y capítulos de libros en español e inglés, se ha utilizado principalmente el Catálogo de la Biblioteca. Esta potente herramienta permite localizar y visualizar físicamente o en línea (si está disponible) a través de *ProQuest Ebook Central* o *e-Libros.net*, distintos recursos bibliográficos (libros, capítulos, revistas científicas, artículos, revisiones, informes o patentes, entre otros), permitiendo una búsqueda a gran escala. Se han utilizado términos en español e inglés, en distintos campos de búsqueda (título, materia, autor, etc.). Así, por ejemplo, los manuales utilizados en la introducción, como *The Chemistry of fragrances* (Pybus y Sell, 1999) o *El Olfato: breve historia* (López-Mascaraque y Alonso, 2017), se han obtenido realizando búsquedas con términos como “olor OR aroma OR smell OR scent” junto con “historia OR history”. También se han utilizado otros términos de búsqueda combinada como “análisis sensorial” OR “sensorial analysis”; “estructura química” OR “chemical structure”; “sensory panel” OR panel; “cromatografía de gases olfatométrica” OR “gas

chromatography olfactometry”, que han permitido obtener la bibliografía utilizada en los capítulos del Trabajo Fin de Grado.

El Catálogo de la Biblioteca ha permitido también acceder a revistas científicas conectando directamente con *Web of Science*, *ScienceDirect*, MPDI, *Wiley Online Library* o la *American Chemical Society*, que se han utilizado especialmente para la búsqueda de aplicaciones de la olfatometría. Puntualmente también se han realizado búsquedas en internet mediante Google y Google Book (aunque en este caso la visualización de libros está limitada a ciertas páginas).

Como herramienta de gestión bibliográfica se ha utilizado RefWorks. Para cumplir con la normativa del Trabajo Fin de Grado en relación a los estilos bibliográficos, se ha tenido que realizar (en RefWorks) una versión modificada del estilo de citas Chicago, que ha permitido citar en texto en estilo similar al APA y hacer las referenciar en orden alfabético con una nomenclatura similar al estilo Vancouver (que, al utilizar los gestores bibliográficos, cita en el texto con números y refiere por orden de aparición, en lugar de alfabético).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Sustancias Odorantes

4.1.1. Clasificación

Una sustancia odorante es aquel compuesto químico volátil que provoca un olor característico al entrar en contacto con nuestro sistema olfativo. Existe una dificultad clara para clasificar las sustancias odorantes debido principalmente a que no existen palabras propias que los describan y normalmente se tiende a asociar con el material que lo produce o al que nos recuerda (López-Mascaraque y Alonso, 2017). A lo largo de la historia se ha tratado de clasificar los olores de diferentes maneras. Fue Carl Von Linneo quien en 1776 realizó la primera clasificación, diferenciando siete tipologías: olorosas o perfumadas; aromáticas; fuertes o con olor a ajo, olor a ambrosia o almizcle; pestilentes o con olor a cabra o sudor; repugnantes y nauseabundas. En 1895 Zwaardemaker incorporó dos nuevos olores, etéreo y quemado, a la lista de Linneo, y Hans Henning, en 1916, reclasificó los olores en seis clases: pútrido, fragante, etéreo, aromático, resinoso y quemado. Ya en los años 70 John Amoore, basándose en el tamaño y forma de las moléculas odorantes, las agrupó en siete olores primarios: flores, menta, alcanfor, almizcle, picante, éter y podrido (de Calvo, 2016). Desde entonces hasta la actualidad la clasificación de los olores aún no se ha cerrado, y ninguno de estos métodos ha alcanzado la aceptación universal. La clasificación más reciente es la realizada por Castro y colaboradores

(Castro et al., 2013), que se basa en un modelo estadístico utilizando una base de datos de 146 descriptores olfativos, lo que les permitió clasificar los olores en 10 categorías distintas:

- Fragancia floral (aromas florales)
- Frutal (aroma a frutas que no cítricas)
- Cítrico (limón, naranja, mandarina, etc.)
- Dulce (aromas a caramelo, canela o vainilla)
- Mentolado (como el eucalipto o la menta)
- Leñoso o resinoso (aroma a madera)
- Quemado o ahumado (se suele relacionar con las palomitas de maíz)
- Olor químico (como el de los productos de limpieza, el alcohol o el amoníaco)
- Acre o rancio (en mal estado)
- Descompuesto (podrido)

Previamente, y centrándose exclusivamente en los aromas de las fragancias, Teixeira y colaboradores (Teixeira et al., 2010) propusieron un modelo matemático basado en las familias olfativas utilizadas por los perfumistas, así como en el proceso de evaporación y la intensidad de olor del perfume. Así, clasificaron las fragancias en ocho familias, cuyas características básicas se describen a continuación:

- Cítricos: frescos y ligeros, como el limón o la naranja.
- Afrutado: como manzana, plátano o frambuesa.
- Floral: compuesto de flores (por ejemplo, geranio, jazmín, o rosa)
- Verde: hojas o tallos frescos y hierba segada.
- Herbácea: aromas más complejos que el verde (menta).
- Almizcle: característico de los ciervos y bueyes almizcleros (amaderado, más afrutado)
- Oriental: olores como a tierra, tabaco, cuero o musgo.
- Woody: de maderas como cedro, sándalo o pachulí.

4.1.2. Estructura química y aromas

La sensibilidad del sentido del olfato es muy superior al de cualquier instrumento analítico, detectando concentraciones molares pequeñas del odorante, alrededor de 10^{-18} M, lo que hace que el sentido del olfato sea veinte mil veces más sensible que el sentido del gusto. No obstante, el **umbral de percepción**, definido como la concentración necesaria para detectar un olor, varía con la naturaleza de la sustancia odorante y también con su interacción con los receptores olfativos. En la identificación de los aromas por el sentido del olfato, influyen varias propiedades moleculares (Gutiérrez, 2020):

- a) El peso molecular: la mayoría de los odorantes poseen bajo peso molecular (15-300 g/mol).
- b) La estereoquímica: pequeños cambios conformacionales, como el cambio de un isómero *cis* a *trans*, pueden provocar modificaciones en las propiedades odorantes de una molécula.
- c) La longitud de las cadenas hidrocarbonadas: cuanto más corta es la cadena mayor poder oloroso provoca.
- d) La rigidez molecular: la mayor flexibilidad molecular aumenta el poder odorante.
- e) Otros aspectos como la polaridad, aromaticidad o la distribución de cargas también afectan a la interacción con los receptores olfativos.

Moncrieff y Amoore relacionaron el aroma del odorante con su estructura química (Figura 3) postulando una correlación entre 9 olores primarios y sus correspondientes estructuras básicas (Sancho et al., 1999). Donde estructuras como la del naftaleno se asocia a olor viejo o antiguo (naftalínico), la del fenantreno a aromas leñosos o la del criseno a aromas almizclados.

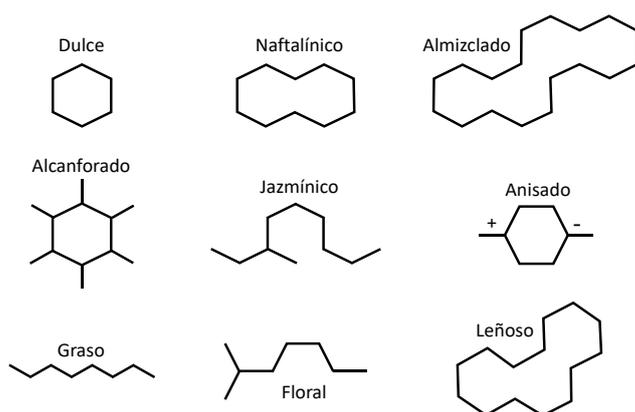


Figura 3. Olores primarios y estructura básica. Adaptada de (Sancho et al., 1999).

Los receptores del olfato nos permiten diferenciar entre moléculas químicamente muy similares, que se diferencian a veces sólo en el grupo funcional que poseen o en la longitud de la cadena. Así por ejemplo (Figura 4), la mayoría de los aldehídos, cetonas y ésteres, (con más de 4 átomos de carbono) tienen aromas frutales.

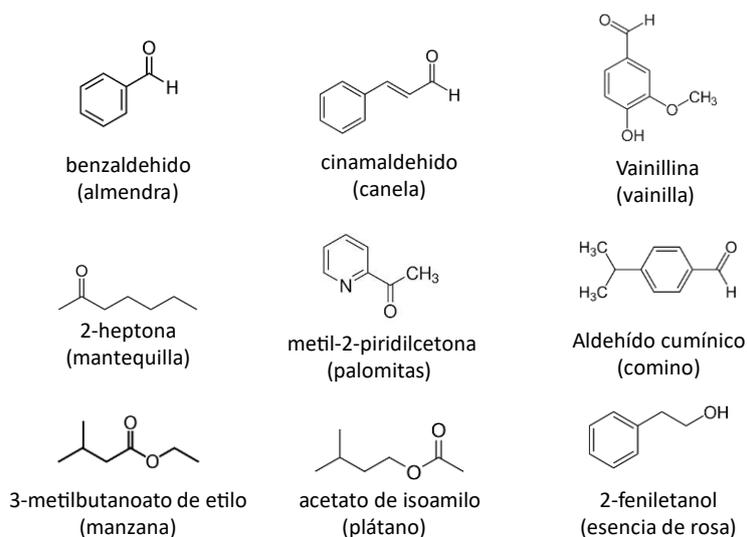


Figura 4. Aldehídos, cetonas y ésteres, y sus aromas.

Entre los aldehídos destacan el benzaldehído (almendras amargas), el cinamaldehído (canela), el 4-hidroxi-3-metoxibenzaldehído (vainilla) o el aldehído cumínico (comino). Respecto a las cetonas, destacan la 2-heptanona (pan blanco o mantequilla) o la metil-2-piridilcetona (palomitas de maíz). Como ejemplo de ésteres se puede citar al acetato de isoamilo (plátano) y el 3-metilbutanoato de etilo (manzana). Uno de los alcoholes más utilizados en perfumería es el 2-feniletanol compuesto principal del aroma a rosas. Como se muestra en la Figura 4, la variación de los sustituyentes del grupo fenilo proporcionan distintos aromas frutales y florales. Un cambio de posición del grupo carbonilo modifica el aroma de manzana a plátano y la presencia de un grupo vinilo (-CH=CH-) en el benzaldehído modifica el aroma de almendras amargas a canela (Alonso, 2011; Colorado y Rivera, 2014).

La elongación del sustituyente alquilo de las γ -lactonas aporta distintas descripciones aromáticas (Figura 5). Así la (R)- γ -octalactona presenta aroma intenso a coco con notas de almendra y verde, la (R)- γ -nonalactona a coco con matices de leche grasa y notas dulces, la (R)- γ -decalactona a caramelo con notas afrutadas dulces y ligero olor a coco, y la (R)- γ -undecalactona presenta notas menos grasas, más naturales y con aroma a melocotón" (Börsch-Haubold, 2007; Hanryk y Gracka, 2017). Los receptores olfativos son capaces de diferenciar entre enantiómeros (Figura 5), como es el caso de la (S)-carvona (aroma a alcaravea, parecido al del anís) y la (R)-carvona (con aroma fuerte a menta), o como en el caso del (S)-limoneno (aroma pino) y el (R)-limoneno (con aroma a naranja) (Alonso, 2011). Otros aromas muy característicos son el aroma a hierba recién cortada, producido por el *cis*-3-hexenol y el aroma a tierra mojada de la geosmina (Figura 6). La geosmina es un alcohol producido por la bacteria *Streptomyces coelicolor* que están presentes en la tierra, los receptores olfatorios son muy

sensibles a esta molécula y son capaces de detectar concentraciones de geosmina en el aire de 0,1 µg/L, lo que la convierte en la sustancia con mayor poder odorante (Alonso, 2011)

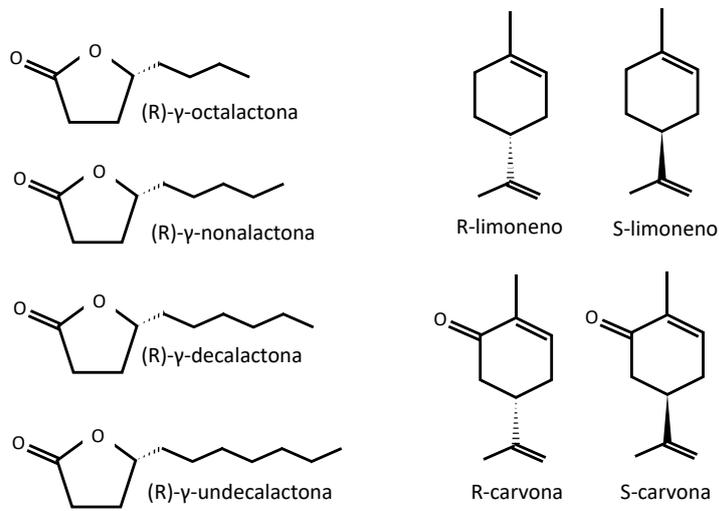


Figura 5. Efecto de la longitud de la cadena y la isomería en el aroma.

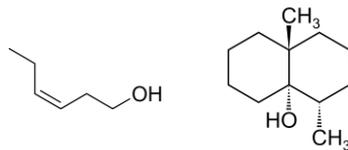


Figura 6. Estructura del *cis*-3-hexenol (hierba cortada) y de la geosmina (tierra mojada).

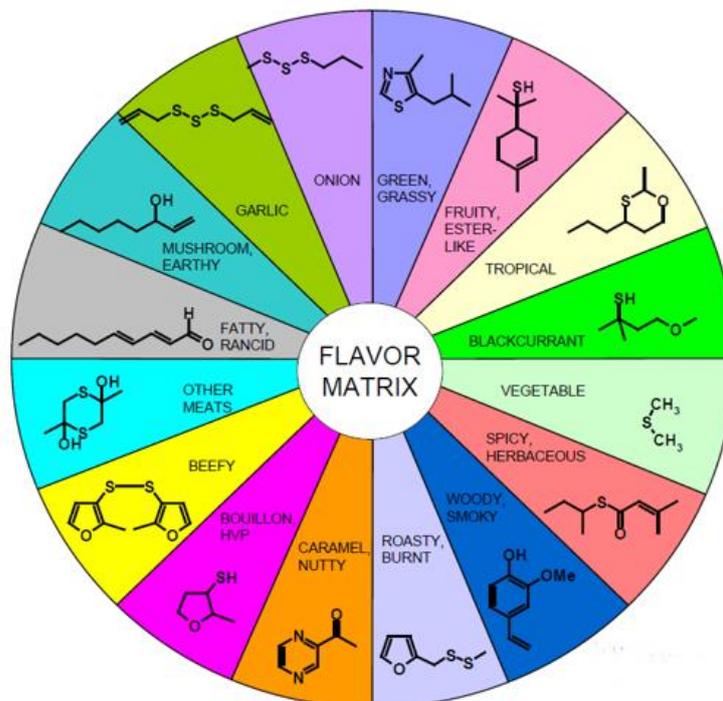


Figura 7. Rueda del olor para productos químicos de alto impacto. Adaptada de (Rowe, 2000).

David Jonh Rowe correlacionó el aroma y la estructura del compuesto odorante con el umbral de percepción en una rueda de aromas (Figura 7), considerando como odorantes de alto impacto a aquellos que poseían un umbral de percepción inferior a 10 µg/L (Rowe, 2000). Por otro lado, Parker et al. (2015) realizaron un estudio comparativo entre aromas y la estructura de distintos compuestos químicos, diferenciando entre aldehídos, alcoholes, cetonas, ésteres, lactonas, ácidos carboxílicos, terpenoides, furanonas, piranonas, fenoles, aminas, pirroles, pirazinas y compuestos aminados y azufrados.

4.2. Análisis sensorial de aromas. La cata

El Instituto de Alimentos de EE.UU. define la evaluación sensorial como *“la disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído”* (Schutz, 1971). El análisis sensorial está dirigido principalmente a la evaluación de alimentos y bebidas, implicando a los cinco sentidos, a los que se sumaría la *percepción somatosensorial*, que incluye sensaciones como el calor, el frío, la textura o la astringencia (Sancho et al., 1999). De esta forma, el análisis sensorial de aromas se engloba en una disciplina más amplia que implica al resto de los sentidos, con idea de definir las propiedades organolépticas de un producto determinado.

De la misma manera que cualquier método analítico instrumental está normalizado y calibrado, e incluso requiere casi siempre el uso de patrones o muestras control, el análisis sensorial se ajusta a normativas específicas con idea de conseguir una evaluación lo más adecuada posible. Así, el análisis sensorial sigue la norma europea UNE 87.001-68, la terminología a emplear se especifica en la norma UNE 87.001-81 y las instalaciones para llevar a cabo la cata se rigen por la norma UNE 87.004-79 (Sancho et al., 1999). En la cata, la correcta realización del análisis sensorial implica la disponibilidad de unos medios humanos y materiales adecuados, entre los que se encuentran: la sala de degustación, el tiempo de realización, la preparación de las muestras, la codificación y el orden de presentación, el material empleado, el tipo de pruebas utilizadas, el panel de catadores, el director del panel y los métodos estadísticos de análisis (Sancho et al., 1999; Espinosa, 2007; Ibáñez y Barcina, 2021).

4.2.1. El panel de catadores

Es importante destacar que en la evaluación sensorial el instrumento de medición lo forman las personas que analizan el producto con sus sentidos, y que conforma el panel de catadores. Éstos (al igual que cualquier instrumento analítico) deben emitir juicios (datos) precisos y reproducibles, lo cual sólo se consigue si se realiza de manera adecuada su selección y formación. Dependiendo de la cata a realizar, se diferencian dos tipos de catadores o

panelistas, los analíticos y los afectivos. Los **panelistas analíticos** son individuos que han demostrado una sensibilidad específica para uno o varios productos. Requieren un proceso de selección y adiestramiento en instalaciones estandarizadas, y conforman un grupo de expertos tanto en el análisis sensorial (cata), como el análisis instrumental (GC-O). Los **panelistas afectivos** son individuos que no tienen que ser seleccionados ni adiestrados, por tanto, se trata de consumidores que se escogen al azar y son representativos de la población a la que se dirige el producto a evaluar. En este caso, la cata no requiere una localización específica (Espinosa, 2007).

El proceso de conformación del **panel de analistas** consta de cuatro etapas: Preselección, Selección, Aprendizaje y Evaluación (Sancho et al., 1999).

Preselección: donde se conocen los aspectos personales de los catadores. Se realiza mediante entrevista para evaluar aspectos como el interés, la disponibilidad, la salud y la motivación.

Selección. Es la fase más compleja de la formación del panel definitivo, y se depende del análisis sensorial a analizar. En la evaluación de aromas, la norma ISO 5496 describe la metodología para la selección y también el entrenamiento del panel de evaluadores, e indica las sustancias aromáticas que se utilizan en la descripción e identificación de olores. Además, en el proceso de selección se utilizan herramientas estadísticas, como por ejemplo el análisis secuencial de Bradley (Sancho et al., 1999), donde la decisión de la selección del candidato se basa en los siguientes parámetros:

P_0 : porcentaje máximo de fallos para rechazar a un candidato. En una prueba triangular (descrita en la página 19) hay una probabilidad de $1/3$ de acertar al azar, por lo que este parámetro debe ser superior a 0,3, normalmente se fija a 0,5.

P_1 : porcentaje mínimo de aciertos para aceptar a un candidato. Debe ser siempre mayor que P_0 , siendo un valor normal de 0,8 (80%).

α : probabilidad de rechazar a un candidato que debería ser aceptado; y β : probabilidad de aceptar a un candidato que debería ser rechazado. Para " α " se recomienda un valor del 10% y para " β " del 1%, pues es menos grave rechazar a un candidato aceptable que aceptar uno rechazable.

En base a estos valores, y sustituyéndolos en las fórmulas establecidas por Bradley (Figura 8), se obtienen las ordenas en origen (h_0 y h_1) y la pendiente (s) de dos ecuaciones cuya representación permite obtener dos rectas paralelas (Y_1 e Y_0), que sitúan al conjunto de catadores en tres zonas: de aceptación, de rechazo y de indecisión. Como se aprecia en la Figura 8, para un total de 7 ensayos, el catador rojo sólo ha acertado el tercer ensayo, fallando el resto; mientras que el catador verde ha fallado el cuarto y el quinto, por lo que se

aceptaría el catador verde y se rechazaría el catador rojo.

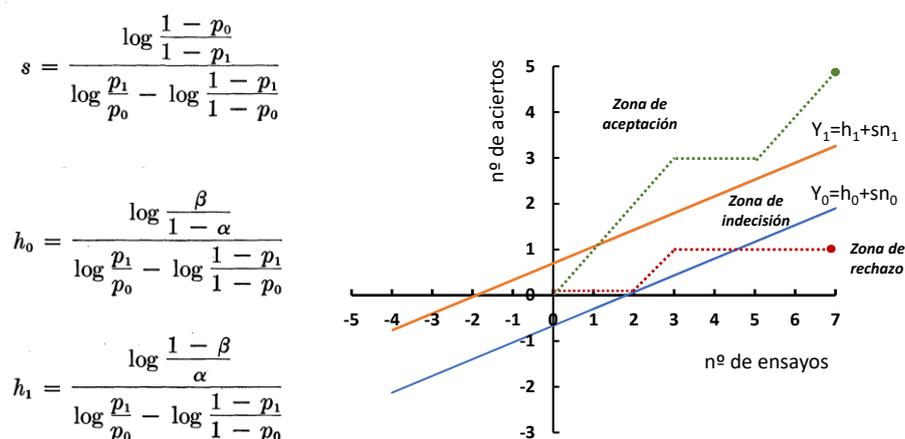


Figura 8. Gráfica de selección de catadores. Ecuaciones de Bradley (Bradley, 1953) y gráfica correspondiente. Adaptada de (Sancho et al., 1999).

Aprendizaje. Esta fase pretende familiarizar a los candidatos con los procedimientos de la prueba de cata, y mejorar las posibilidades de reconocer las características sensoriales de la muestra. Para ello es necesario dar a todos los candidatos seleccionados la misma muestra, evaluar los resultados y discutirlos con el director del panel (Sancho et al., 1999).

Comprobación del adiestramiento. Tras el proceso de adiestramiento, se realiza el proceso de evaluación, normalmente durante cuatro días, con tres sesiones por día y tres muestras por sesión. Como resultado se conforma el panel de catadores (Sancho et al., 1999).

Después del proceso de selección del panel de catadores suele mantenerse el 50 % de los candidatos iniciales, por lo que inicialmente el reclutamiento debe hacerse con un número de candidatos dos o tres veces superior requerido (Sancho et al., 1999).

4.2.2. Las pruebas del análisis sensorial

La selección del panel de catadores y el proceso de realización de la cata están condicionados por el tipo de prueba a realizar en el análisis sensorial. Estas pruebas se rigen por la norma ISO 8589 y, aunque existe un gran número, la mayoría de los autores las clasifican en dos grupos: las pruebas analíticas y las pruebas afectivas (Sancho et al., 1999; Espinosa, 2007). En el presente apartado nos vamos a centrar en las pruebas dirigidas a los panelistas analíticos, directamente implicados en el análisis sensorial y la GC-O.

4.2.2.1. Pruebas analíticas

Se realizan en instalaciones normalizadas y las llevan a cabo el grupo de panelistas analíticos seleccionados y adiestrados previamente. A su vez se dividen en pruebas *discriminatorias* y *descriptivas* (Sancho et al., 1999; Espinosa, 2007).

a) Pruebas analíticas discriminatorias: sencillas y de uso frecuente, permiten comparar dos o más productos. Entre ellas destacan:

- *Prueba Pareada*: es una de las pruebas más eficiente y más fácil de realizar. En ella se trabaja sólo con dos muestras o una serie de dos muestras, tratando de distinguir las propiedades organolépticas entre el par presentado.
- *Prueba de Dúo-trío*: en ella se presenta al panel de catadores una muestra control, y dos muestras más codificadas, teniendo en cuenta que una de ellas debe ser igual al control. Las muestras se disponen de forma aleatoria en cada serie, y el catador debe identificar la muestra idéntica al control.
- *Prueba Triangular*: con uso frecuente, especialmente en la selección de catadores, en esta prueba se utilizan tres muestras sin codificar. De las cuales dos son iguales y la tercera presenta diferencias, que debe localizar el catador.
- *Prueba de Ordenamiento*: en esta prueba las muestras se colocan de forma aleatoria y el catador debe ordenarlas en base a un atributo determinado.
- *Prueba de Comparación múltiple*: en esta prueba el catador debe indicar el nivel de diferencia que existe entre la muestra control y varias muestras suministradas de manera simultánea, incluyendo también la muestra control como una incógnita más.

b) Pruebas analíticas descriptivas: más complejas que las discriminatorias, pretenden definir las diferentes características sensoriales entre varios productos. Entre ellas podemos encontrar:

- *Prueba de Tiempo-Intensidad*: en esta prueba hay que describir y medir la intensidad de un atributo específico, desde el momento que interacciona con el órgano sensorial hasta que deja de percibirse.
- *Prueba de Perfil*: Se trata de una prueba, cualitativa y semi-cuantitativa, que permite describir atributos individuales (especificados por el director de la cata) de un producto. Esta prueba suele utilizarse en el control de la calidad, la estabilidad y en la caracterización del producto, y requiere un panel de catadores altamente adiestrados.
- *Prueba de análisis cuantitativo descriptivo*: esta prueba es similar a la anterior, pero a diferencia de ir atributo a atributo, permite cuantificar e identificar a la vez todas las características sensoriales del producto. Esta prueba es ampliamente utilizada en el análisis sensorial de alimentos, requiere de catadores muy bien entrenados, que trabajan primero de forma individual y luego en equipo discutiendo los resultados, por lo que requiere además un vocabulario común normalizado.

4.2.3. Ejemplo de análisis sensorial de aromas: la cata del vino.

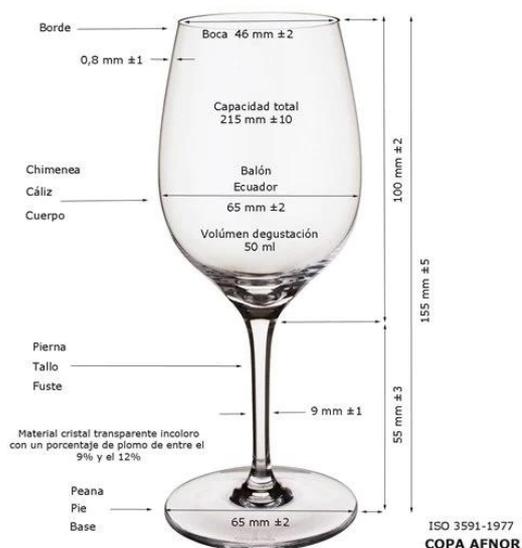


Figura 10. Dimensiones de copa catavinos AFNOR. (Lorenzo, 2020).

La única norma específica del proceso de la cata de vinos es la norma UNE 87022:1992 (ISO 3591:1997) referida al utensilio utilizado en la cata (la copa AFNOR, Figura 10). La norma aconseja dosificar entre 20 y 50 mL de muestra; además, indica el modo de coger la copa (por el pie) y, aunque no se especifica en la norma, se aconseja una temperatura óptima de servicio de 4-8 °C para vinos espumosos, de 8-12 °C para blancos y de 15-22 °C para tintos. Además, la descripción sensorial de los

aromas se recoge en varios idiomas en la norma UNE EN ISO 5492:2010 (Etalo y Sáenz, 2022).

La cata de los aromas del vino consta de varias fases (Aleixandre-Benavent y Aleixandre-Tudó, 2011):

- 1ª fase nasal: con el vino en reposo el catador huele las moléculas odorantes que son volátiles a la temperatura del vino en la copa.
- 2ª fase nasal: agitando el vino, la superficie de evaporación aumenta, facilitando así la volatilización de nuevos compuestos odorantes.
- Fase retronasal: con un pequeño sorbo de vino, pequeños movimientos con la lengua y mejillas, junto a una ligera aspiración, se estimula el desprendimiento de aromas, que regresan a las fosas nasales vía interna.

El análisis sensorial de aromas del vino se basa en la fracción de los componentes volátiles (Sancho et al., 1999; Ronald, 2014), en la que pueden destacar:

- Ácidos orgánicos: ácido acético (olor fuerte y agresivo) considera defecto a partir de 0,6 g/L; ácido butírico e isobutírico (aromas a queso) considerado defecto a partir de 2 mg/L; ácido valeriánico (pies sudados) se considera un defecto; ácido caprílico, caprónico y cáprico, (aroma a jabón o cera); ácido feniletílico (aroma a miel y rosas).
- Alcoholes: además del etanol destacan, el alcohol isoamílico (afrutado); hexanol (vegetal o herbáceo); feniletanol (rosas).
- Aldehídos y cetonas: etanal (levadura); hexanal (herbáceo); acetona (afrutado); acetoína (manteca rancia); diacetilo (mantequilla, o avellana); benzaldehído (almendras amargas).

4.3. Cromatografía de Gases-Olfatometría. Técnica y aplicaciones.

La cromatografía de gases-olfatometría (GC-O) es una técnica analítica instrumental que utiliza un panel de catadores analíticos formados para detectar y evaluar compuestos volátiles que eluyen de un cromatógrafo de gases. En este caso, los catadores, utilizando un puerto olfatométrico diseñado específicamente, complementan los datos aportados por un detector más convencional, como puede ser un detector de ionización de llama (FID) o un sistema acoplado a un espectrómetro de masas (MS) (Delahunty et al., 2006). La descripción del primer GC-O fue publicada en 1964 por Fuller y colaboradores, utilizando un panel de expertos perfumistas como evaluadores (Fuller et al., 1964). El cromatógrafo estaba equipado con una salida conectada a un puerto de inhalación, ubicado dentro de una cabina donde se situaba el panelista. Como el gas de salida estaba caliente y seco provocaba la deshidratación de las fosas nasales limitando la capacidad olfativa del evaluador. En 1971 se desarrolló un sistema de GC-O que añadía un humidificador de aire para evitar que la mucosa nasal se secase. En los años siguientes se fueron incorporando características de diseño de los puertos olfatométricos (d'Acampora et al., 2008). Todo esto supuso un impulso en el análisis del aroma, ya que permitía asignar a los picos cromatográficos descriptores olfativos específicos y, lo que es más importante, incluso detectar mediante el olfato olores de compuestos no registrados por los detectores instrumentales convencionales (Aceña, 2011).

4.3.1. Componentes del cromatógrafo de gases acoplado a olfatometría.

El GC-O se compone de una fase móvil (gas portador), el sistema de inyección, la fase estacionaria (columna cromatográfica), el detector instrumental, el puerto olfatométrico con un humidificador y el sistema de tratamiento de datos (Figura 9).

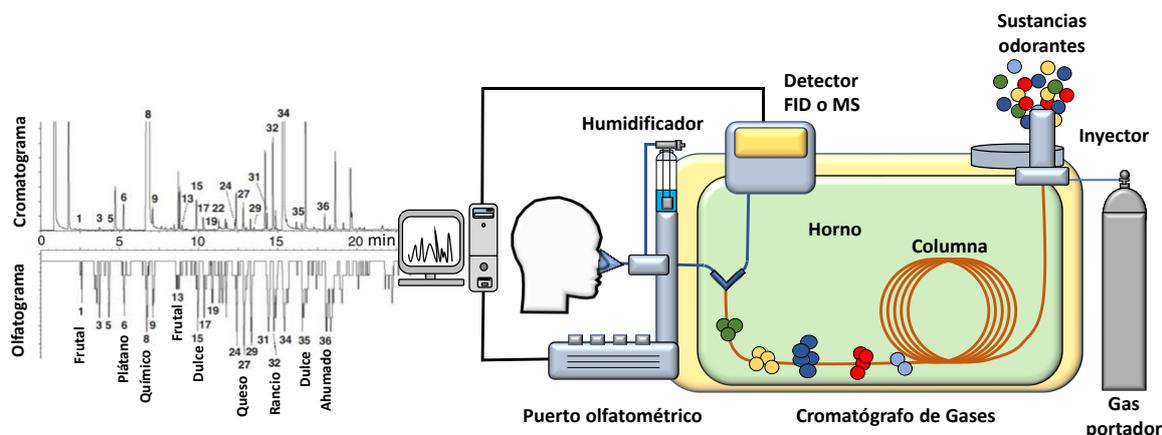


Figura 9. Esquema general de un cromatógrafo de gases-olfatómetro. La imagen incluye un cromatograma obtenido por un detector FID y un olfatograma por el puerto olfatométrico, de un análisis sensorial de vinos blancos de la variedad de uva Riesling (Komes et al., 2006).

Los componentes volátiles de la mezcla problema se vaporizan y disuelven en el gas portador y se separan en la columna cromatográfica. A la salida de la columna el gas se divide, una parte va hacia el detector químico, y la otra parte se dirige al puerto olfatométrico, que es donde el evaluador detecta el olor, mide su duración, lo identifica y cuantifica (Blank, 2020). La Figura 9 presenta un esquema de un GC-O con los distintos componentes, donde el detector asigna un cromatograma y el evaluador un olfatograma. Como se puede apreciar en la figura existen picos de alta intensidad en el cromatograma que presentan baja señal en el olfatograma (pico 1 u 8), mientras que en otros ocurre lo contrario (picos 3, 5 y 27).

El **gas portador** debe ser inerte y actúa como fase móvil, además debe tener elevada pureza y ser compatible con el detector, en la GC-O se utiliza normalmente He. El **horno** calienta la columna mediante aire de manera rápida y homogénea. La **fase estacionaria** permite diferenciar entre la “*cromatografía gás-líquido de reparto*” donde un líquido recubre la parte interna de la columna, y la “*cromatografía gas-sólido de absorción*” en la que el analito se absorbe sobre las partículas sólidas que forman la fase estacionaria. La mayoría de los métodos cromatográficos utilizan **columnas tubulares abiertas**, largas (15 a 100 m) y estrechas (0,1 y 0,53 mm), fabricadas de sílice fundida y recubiertas por una fina capa de (0,1-10 μm) de un polímero termoestable. A su vez, existen dos grades familias: las de pared recubierta (WCOT, *Wall Coated Open Tubular*) por una película líquida de un grosor de 0,1 a 0,5 μm , y las de capa porosa (PLOT, *Porous Layer Open*) en las que la fase estacionaria es un sólido poroso que se sitúa en la pared del tubo. Otro tipo de columnas utilizadas en la GC son las **columnas empaquetadas**, que contienen un soporte sólido que puede actuar directamente como fase estacionaria o bien estar recubierto de un líquido no volátil; estas columnas suelen ser de acero inoxidable, níquel o vidrio, con una longitud de 1 a 5 m y un diámetro de 3 a 5 mm. El **sistema inyector** (generalmente a una temperatura entre 150 y 250°C) es la zona donde se mezcla la muestra con el gas portador. Para columnas empaquetadas existe un único tipo de inyector, en el que la muestra se inyecta con una jeringa a través de un *septum*. Para las columnas tubulares hay cuatro tipos de inyectores: con división de flujo (*Split*), sin división de flujo (*Splitless*), en columna (*On-column*) y con vaporización programada (PTV). La inyección con o sin división de flujo se realiza con el mismo tipo de inyector, controlando el proceso con una válvula automatizada. La muestra se introduce, se vaporiza rápidamente y es arrastrada por el gas portador, cuando se trabaja en modo *Split* solo una pequeña cantidad de la muestra llega a la columna (con idea de evitar la saturación de la fase estacionaria), mientras que en modo *Splitless* la mayoría de la muestra se introduce en la columna. El inyector PTV es similar a los anteriores, pero se caracteriza porque se puede enfriar o calentar rápidamente; así, la muestra se inyecta en estado líquido a

temperatura baja (<10 °C), segundos después se calienta (de 10 hasta 300 °C en 20-30 s), como el disolvente posee un punto de ebullición más bajo, la mayoría se elimina por una salida, y el resto de componentes volátiles, una vez alcanzada la temperatura deseada, se conducen hasta la columna. En inyector *On-column* está diseñado para que la muestra se inyecte directamente en la columna sin evaporación previa (posee un sistema refrigerado) y requiere que la muestra esté limpia. Uno de los **detectores** más utilizado es el de ionización de llama (FID), en el que se utiliza una mezcla de H₂ y aire para quemar el gas eluido de la columna. Los átomos de carbono del analito (excepto el carbono carbonílico) producen cationes (CHO⁺) que generan una corriente eléctrica proporcional a la cantidad del analito y queda registrada. El detector FID puede utilizar H₂, N₂ o He como gas portador. Otros detectores también utilizados son el de conductividad térmica, el de captura electrónica, el de quimioluminiscencia de azufre e hidrógeno, térmico o de nitrógeno-fósforo, fotométrico de llamas o bien un sistema acoplado a un espectrómetro de masas (Harris, 2016; Faraldos y Goberna, 2021). El **puerto olfatométrico** es un sistema diseñado para la evaluación sensorial realizada por el panel analítico, actualmente existen sistemas con varios puertos (hasta 4) y por lo general el flujo de gas se suele dividir en proporciones iguales para todos los puertos (Delahunty et al., 2006).

4.3.2. Técnicas olfatométricas

La calidad de los resultados de la GC-O depende de la capacidad del panel de evaluadores, cuya selección y formación mejora notablemente la precisión de los datos obtenidos. Un aspecto importante del panel de evaluadores es identificar los odorantes más potentes y que contribuyen en mayor proporción al aroma del producto (Delahunty et al., 2006). Con esta intención, Rothe y Thomas definieron en 1963 el "**valor de actividad del olor**" (**OAV**), que es el cociente entre la concentración en la matriz del odorante y su umbral de percepción, de tal forma que, cuanto mayor sea el cociente el odorante participará en mayor medida en el aroma. No obstante, este valor no es fácil de obtener y requiere una inversión de tiempo importante, por lo que se han desarrollado distintas técnicas olfatométricas para la estimación de los diferentes odorantes de la muestra, entre las que destacan la técnica de dilución, la de frecuencia de detección y la de intensidad directa (Mayol y Acree, 2001).

En la **técnica de dilución** el panelista realiza el estudio de GC-O sobre diluciones sucesivas de la muestra a analizar, hasta que no se detecte ningún odorante. Los dos métodos de análisis más usados son el Análisis de Dilución de Extracto Aromático (**AEDA**), en el que el panelista mide la dilución máxima de un extracto en el que un olor se puede percibir (expresada en función del factor de dilución, FD); y la Medición Combinada de Respuesta de Aroma Hedónico (CharmAnalysis™), en este caso el panelista registra la duración de los olores (inicio

y fin), y el área del pico se expresa en unidades adimensionales del valor de **CHARM** (directamente proporcional a la concentración de odorante en la muestra e inversamente proporcional al umbral de percepción) (Delahunty et al., 2006; Brattoli et al., 2013).

En la **técnica de frecuencia de detección (FD)** se utiliza un panel de evaluadores que realizan la GC-O del mismo extracto, determinando la proporción del panel que es capaz de detectar un odorante (Frecuencia de Impacto Nasal, NIF). Además, también puede medirse la duración de la aparición de aroma y determinarse el área de pico obtenido (SNIF) (Delahunty et al., 2006).

En la **técnica de intensidad directa (ID)** el panel de evaluadores registra continuamente la intensidad del odorante separado por GC-O. Existen dos técnicas para el registro de la intensidad dependiendo del dispositivo a utilizar. En la técnica OSME (de *osmé*, olor en griego) se utiliza una escala predeterminada e informatizada; mientras que en la técnica *Finger Span Cross-modality Matching* (FSCM), el analista señala la intensidad del olor percibido utilizando un dispositivo en el que se utiliza el dedo pulgar y el índice (o el corazón), de tal forma que a mayor distancia entre los dedos mayor será la intensidad (Brattoli et al., 2013).

La Figura 10 muestra un estudio hipotético de diferentes técnicas olfatométricas. Como se puede apreciar, los picos 1 y 2 muestran una alta intensidad media de olor (d) y respuestas de frecuencia de detección (c), pero bajos factores FD y valores Charm. El pico 4 muestra una gran respuesta con AEDA y CharmAnalysisTM (a, b) lo que indica que su olor persiste en diluciones más altas, sin embargo, cuando se evalúa utilizando métodos a una sola concentración (c, d) su importancia relativa es menor (Delahunty et al., 2006).

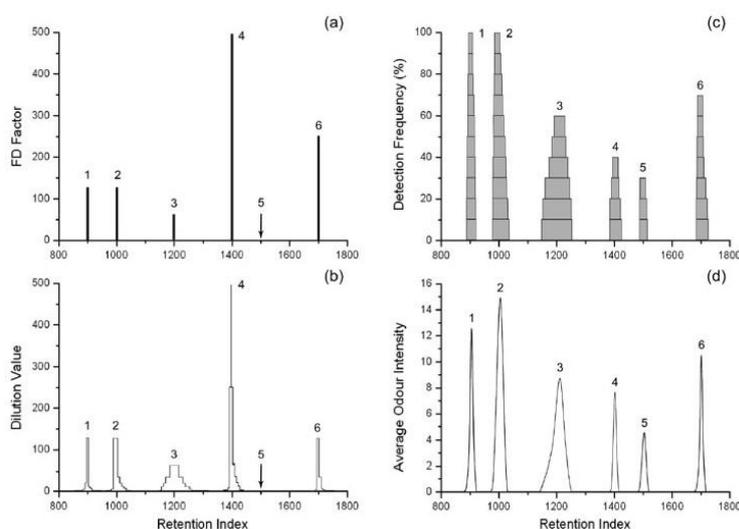


Figura 10. Comparación de resultados simulados para seis compuestos en el mismo extracto utilizando cuatro métodos diferentes de GC-O: (a) AEDA; (b) CharmAnalysisTM; (c) frecuencia de detección; y (d) intensidad directa (Osme) (Delahunty et al., 2006).

4.3.3. Técnicas de extracción en GC-O

La técnica de extracción de los compuestos odorantes afecta a los resultados obtenidos en la GC-O. Existen una gran variedad de métodos de extracción para muestras sólidas, líquidas y gaseosas (Faraldos y Goberna, 2021), aunque los métodos más utilizados son la evaporación del favor asistida por disolvente (*solvent-assisted flavor evaporation*, **SAFE**), la extracción líquido-líquido (*liquid-liquid extraction*, **LLE**), y la microextracción en fase sólida (*solid-phase microextraction*, **SPME**). En la extracción **SAFE** la muestra sólida se mezcla con un disolvente en un recipiente cerrado en caliente (200°C) y alta presión (100-140 bar) realizando una extracción efectiva y rápida de los analitos. La **LLE** es una técnica clásica de preparación de muestras líquidas. En este caso la disolución de la muestra se pone en contacto con un líquido inmisible, en el que el analito de interés debe ser muy soluble. La **SPME** es un método sencillo de extracción de sólidos, líquidos y gases, que no requiere disolvente. Se basa en la absorción de los analitos en una fibra de sílice fundida recubierta de una fina película, de 10 a 100 µm, de un líquido no volátil que extrae el analito. La microfibras, incorporada en una jeringa, absorbe los compuestos más volátiles al sumergirse en la muestra líquida (**SPME**) o al quedarse en la fase gaseosa (de una muestra sólida), en este último caso la técnica se define como de “espaciado de cabeza” (*headspace*, **HS-SPME**). El proceso se realiza con agitación y calor, tras la extracción la microfibras, acoplada a una jeringa, se introduce en el inyector donde los analitos se desorben térmicamente (Harris, 2016; Faraldos y Goberna, 2021). Otra técnica similar a la **SPME**, es la extracción por absorción con barras agitadoras (**SBSE**), donde la extracción de los analitos de la muestra líquida se realiza mediante agitación en presencia de una barra magnética recubierta de un polímero adsorbente. En este caso es la barra magnética la que se introduce en el inyector y los analitos se desorben térmicamente (Viera-Santana y Santana-Rodríguez, 2015).

4.3.4. Aplicaciones de la GC-O

Una búsqueda en Web of Science de los términos “Gas Chromatography-Olfactometry” OR “GC-Olfactometry”, desde el año 1990 hasta la actualidad, revela un total de 2155 publicaciones. En el período 1990-2000 hubo 173 aportaciones, en 2001-2011, 647; y en 2012-2023 (mayo) 1335. Para acotar se seleccionaron las que contenían los términos de búsqueda en el *abstract* (1326). Centrándonos en los últimos 3 años (2021-2023), aparecen un total de 206 publicaciones, de las cuales se han seleccionado las 100 que se incluyen en la Tabla 2. Como se puede apreciar en el período estudiado, la GC-O se utiliza principalmente para la caracterización de los odorantes claves en alimentos y bebidas, y en menor proporción para ver cómo afectan aspectos como la variedad de la especie, el almacenamiento, la fermentación o el cocinado. Puntualmente aparecen estudios de identificación de los olores desagradables (hedor) y se

indica un caso con aplicación médica. El gas portador usado es He, la técnica de extracción más utilizada es la SPME y HP-SPME. En cuanto a la técnica olfatométrica destacan el análisis AEDA y OAV, y como detector se utiliza mayoritariamente la MS, puntualmente se utiliza nariz electrónica (*E-nose*) y en algunos casos la GC es de doble dimensión (GCx2). El número de panelistas en la GC-O suele ser inferior a 10, no fumadores y con una edad media de 30 años, con tiempos de entrenamiento de entre 1 y 6 meses, en ocasiones con paridad de sexo. Para análisis sensorial el número de panelistas suele ser mayor (22,5 de media).

Tabla 2. Ejemplos de utilización de la GC-O en el análisis sensorial de aromas. Se indica producto analizado; técnica de extracción; nº de panelistas, sexo (H/M) y edad entre paréntesis; técnica olfatométrica; aplicación, detector instrumental y referencias bibliográficas. Abreviaturas a pie de página³

PRODUCTO ANALIZADO	Téc. Extrac.	Nº Panel.	Téc. Olfatom.	Aplicación	Detector Instru.	Referencia
Licor de arroz	SBSE	2	AEDA	Odorantes	MS	(Sasaki et al., 2023)
Licor Baijiu	LLE	2H-2M (25)	OAV	Odorantes	MS	(Li, H. et al., 2023)
Té verde	SPME	3	AEDA	Odorantes	GC2x/MS	(Zou et al., 2023)
Salsa de soja	SPME/LLE	1H-2M (25-35)	AEDA	Odorantes	MS E-nose	(Zhai et al., 2023)
Caldo de sebo picante	HP-SPME SAFE	5H-7M (26)	AEDA OAV	Odorantes / condimento	GCx2 / MS	(Yu, M. et al., 2023)
Zumo Pomelo <i>Citrus paradisi</i>	HP-SPME /SAFE	6H- 6M	OAV	Mejora aroma dulce	MS / FID	(Xiao,Zhang et al., 2023)
Naranja <i>Citrus sinensis</i>	HP-SPME	5H-5M (25-36)	OAV	Odorantes pulpa/piel	MS	(Xiao,He et al., 2023)
Granada <i>Punica granatum</i>	HP-SPME	4H-6M (24)	OAV	Odorantes	MS	(Lu et al., 2023)
Alcaparra <i>Capparis spinosa</i>	HS-SPME / SAFE	3	AEDA	Odorantes	MS FID	(Zhang, Z. et al., 2023)
Haba <i>Vicia faba</i>	SAFE	9	FD	Odorantes	MS FID	(Karolkowski et al., 2023)
Chile <i>Capsicum chinense</i>	HP-SPME	5	OAV	Odorantes	MS	(Heng et al., 2023)
Quinoa <i>Chenopodium quinoa</i>	HP-SPME / SAFE	3	AEDA	Odorantes	MS	(Almaguer et al., 2023)
Arroz japónica <i>Suxiang</i>	HS-SPME	6	OAV	Odorantes en molienda	MS E-nose	(Li, Z. et al., 2023)
Estofado cordero	SAFE	3	OAV	Odorantes	MS	(Qi et al., 2023)
Carne Dzo Tibet	SAFE	3	OAV	Huella de aromas	MS FID	(Wan et al., 2023)

³ Abreviaturas: AEDA (análisis de dilución de extracto aromático), CHARM (medición combinada de respuesta de aroma hedónico), E-nose (nariz electrónica), FD (frecuencia de detección), FID (detector de ionización de llama), ID (intensidad directa), LLE (extracción líquido-líquido), MS (espectroscopía de masas), NIF (frecuencia impacto nasal), OAV (valor de actividad del olor), SAFE (evaporación del favor asistida por disolvente), SBSE (extracción por absorción con barras agitadoras), SDE (extracción por destilación simulatnea, al vapor), SPE (extracción en fase sólida) , SPME (microextracción en fase sólida).

Larva de gusano <i>Hermetia illucens</i>	HP-SPME	3	Descripción olor	Odorantes hedor	MS	(Huseynli et al., 2023)
Hojas tabaco <i>Nicotiana tabacum</i>	disolvente orgánico	8	OAV	Odorantes	MS	(Li, R. et al., 2023)
Té negro (≠ especies)	HP-SPME / SAFE	5H-5M (24)	AEDA / OAV	Odorantes	MS E-nose	(Niu et al., 2022)
Té Qingxin	HP-SPME	2H-1M	AEDA / OAV	Odorantes / tueste	MS	(Lan, X. et al., 2022)
Té Rougui Wuyi	HP / SAFE	3	AEDA / OAV	Odorantes tostado	GCx2 MS	(Yang, P. et al., 2022)
Licor de melón	HP-SPME / LLE	2H-2M (25-32)	FD	Odorantes	MS	(Zhang, J. et al., 2022)
Licor de Huangjiu	SAFE / LLE	1H-2M	AEDA / OAV	Odorantes	MS	(Wang, J. et al., 2022)
Licor Zhizhonghe Wujiapi	SAFE / SBSE	30 (22-30)	AEDA / OAV	Odorantes	MS	(Ma, L. et al., 2022)
Brandy	SAFE	3H-2M (23-28)	AEDA	Odorantes	MS	(Tian et al., 2022)
Sidra	HP-SPME	3	AEDA	Odorantes	MS	(Wei, J. et al., 2022)
Vino helado (de uva helada)	SPE	19	FD	Odorantes	FID GCx2 MS	(Ma, Y. et al., 2022)
Vino Shiraz y Cabernet Sauvignon	SAFE	2H-4M (33-61)	ID	Aroma "verde"	MS	(Capone et al., 2022)
Vino jambolan <i>Syzygium cumini</i>	HP-SPME	5 (25-40)	AEDA / OAV	Odorantes	FID / MS	(Pino et al., 2022)
Aceite girasol	HP-SPME / SAFE	1H-2M	Descripción aroma	Adorantes por tueste semilla	MS	(Yin et al., 2022)
Aceite de huajiao (rojo y verde)	HP-SPME	5H-5M (20-30)	OAV	Odorantes aceite frito	MS	(Ni et al., 2022)
Romero <i>Conradina verticillata</i>	SAFE	2	AEDA / OAV	Odorantes	MS	(Gorman et al., 2022)
Menta (<i>Conradina verticillata</i>)	SAFE	2H-4M (21-41)	AEDA / OAV	Odorantes	FID MS	(Dein y Munafo, 2022)
Albahaca <i>Ocimum tenuiflorum</i>	Disol. orgánico	6H-4M (20)	AEDA	Odorantes	FID	(Kunihiro et al., 2022)
Orquídea <i>Dendrobium officinale</i>	SPME / SAFE	5	AEDA / OAV	Odorantes de la flor	MS	(Yang, Y. et al., 2022)
Flores de <i>Allium tenuissimum</i> fritas	SPME	8H-8M (25-35)	NIF	Odorantes según aceite	MS	(Zhang, C. et al., 2022)
Calabaza <i>Luffa cylindrica</i>	HP-SPME	5H-5M	AEDA / OAV	Odorantes	MS E-nose	(Li, J. et al., 2022)
Manzana roja	HP-SPME	2H-1M (28-57)	ID	Odorantes	FID MS	(Cervencik et al., 2022)
Arándano <i>Vaccinium aug. y cor.</i>	HP-SPME	9	FD	Odorantes Silvestre/ cultivado	GCx2 MS	(Forney et al., 2022)
Anacardo y Cagaita	SPME / SPE	2H-3M (20-37)	ID	Odorantes	FID MS	(Santos et al., 2022)
Fruta de <i>Morinda citrifolia</i>	HP-SPME	3	AEDA / OAV	Detección de hedor	MS	(Zhao, H. et al., 2022)

Yogur añejo	HP SPME	6H-6M (30)	OAV	Detección Hedor	MS	(Zhao, M. et al., 2022)
Leche infantil vaca/cabra	SPME	3H-3M (26)	AEDA / OAV	Odorantes	GCx2 MS	(Tang et al., 2022)
Queso GOUDA	SPME / SAFE	10H 10M	OAV	Odorantes	MS	(Chen, C. et al., 2022)
Queso Cheddar	SPME	2	ID	Odorantes	FID / MS	(Rizzo et al., 2022)
Queso de cabra Bouhezza	SPME / SDE	1	Descripción de olor	Odorantes	MS	(Senoussi et al., 2022)
Café (Arábica y Robusta)	SPME	4H-2M (24-35)	NIF	Odorantes	MS	(Caporaso et al., 2022)
Salvado de arroz	SPME	3H-4M (24-45)	ID	Odorantes de fermentación	FID MS	(Guneser et al., 2022)
Pan Chino	SAFE	3 (22-27)	AEDA / OAV	Odorantes fermentación	FID MS	(Huang et al., 2022)
Azúcar moreno	LLE	3	OAV	Odorantes / localidad	MS	(Chen, E. et al., 2022)
Chocolate negro	SAFE	8	AEDA / OVA	Odorantes	MS	(Schlueter et al., 2022)
Jamón curado (chino)	HP	3	AEDA / FD	Odorantes	MS	(Jiang et al., 2022)
Carne de res	SPME / SAFE / LLE	3	AEDA / OVA	Odorantes al cocinar	GCx2 MS	(Wang, H. et al., 2022)
Caldo de carne de burro	SAFE	10 (23-29)	AEDA	Odorantes tras cocción	MS	(Wang, S. et al., 2022)
Salsa de ostras	SPME	1H-2M (24)	AEDA / OAV	Odorantes	GCx2 MS	(Yu, M. et al., 2022)
Huevas salmonete asadas	HP-SPME	2H-6M (26)	AEDA	Odorantes	MS	(Liu, H. y Fang, 2022)
Caviar del esturión	HP-SPME / SAFE	4	Descripción aroma	Odorantes / microbiana	GCx2 MS	(Xu et al., 2022)
Pasta de camarones	SPME / SAFE	4	ID	Odorantes	MS E-nose	(Yu, J. et al., 2022)
R-limoneno	Disol. orgánico	3H-1M (23-30)	Descripción aroma	Odorantes / oxidación	FID	(Birk et al., 2022)
Cerveza Italiana	HP-SPME	1H-6M (35-50)	ID	Odorantes levaduras	FID / MS	(Carbone et al., 2021)
Cerveza Tsingtao	HP-SPME	5H-5M (22)	OAV	Odorantes	MS	(Yu, Haiyan et al., 2021)
Vino blanco (uva fiano)	LLE	2	AEDA	Odorante / levadura	FID / MS	(Genovese et al., 2021)
Vinos Sauternes y Viognier	LLE	4	ID	Odorantes	MS	(Siebert et al., 2021)
Vino dulce (<i>Vitis vinífera</i>)	SAFE	3	AEDA	Odorantes	MS	(Lan, Y. et al., 2021)
Aceite de sésamo	HP-SPME / SDE	2H-1M	AEDA	Odorantes prensado	MS	(Yin et al., 2021)
Aceite de pimiento <i>Litsea cubeba</i>	HP-SPME	5H-5M (20-30)	OAV	Odorantes / fritura	MS E-nose	(Ni et al., 2021)
Aceite oliva virgen adulterado	Extracción en frío	3	AEDA	Odorantes huella	FID / MS	(Drira et al., 2021)

Aceite esencial menta Piemonte	Inyección directa	6	AEDA	Odorantes Huella	FID / MS	(Gabetti et al., 2021)
Olivo dulce <i>Osmanthus fragrans</i>	SPME / SAFE	4	OAV	Odorantes	MS	(Sheng et al., 2021)
Esencia Rosa <i>roxburghii</i>	HP-SPME	15	OAV	Odorantes	MS	(Niu,Wang et al., 2021)
Esencia de peonía (<i>Paeonia</i>)	HP-SPME	3	OAV	Odorantes / almacén	FID / MS	(Zhang, Y. et al., 2021)
Esencia Arroz <i>Oryza sativa</i>	HP-SPME	4	ID	Aroma palomitas	FID / MS	(Wei, X. et al., 2021)
Trigo sarraceno <i>Fagopyrum tataricum</i>	SAFE	3	AEDA / OAV	Odorantes	MS	(Shi et al., 2021)
Sorgo cocido	HP-SPME	1H-2M	OAV 2 meses	Odorantes	GCx2 MS	(Chen, S. et al., 2021)
Pan de cebolla	SAFE	8H-8M (21-27)	AEDA / OAV	Odorantes / almacén	FID MS	(Liu, B. et al., 2021)
Pan de trigo	SAFE	3	AEDA / OAV	Odorantes / + malta	FID	(Roegner et al., 2021)
Seta-Shiitake <i>Lentinus edodes</i>	HP-SPME / SAFE	2H 2M	AEDA / OAV	Odorantes	MS	(Wang, S. et al., 2021)
Planta <i>Brassicaceae</i>	HP-SPME	3	ID	Odorantes 4 especies	MS	(Bell et al., 2021)
Apio <i>Apium graveoles</i>	SPME	2	ID	Odorantes 2 genotipos	MS	(Turner et al., 2021)
Rábanos	SPME	E-nose	detección	Odorantes	FID / MS	(Hong et al., 2021)
Brócoli <i>Brassica oleracea</i>	SPME / SPE /SAFE	2	AEDA	Odorantes cruda/cocida	GCx2 MS	(Wieczorek et al., 2021)
Papaya <i>Carica papaya</i>	SPME	2	ID	Odorantes (#variedades)	MS	(Brewer et al., 2021)
Higo seco <i>Ficus carica</i>	SPME/ SAFE/SDE	5H-5M	AEDA / OAV 1 mes	Odorantes	FID / MS	(Yao et al., 2021)
Plátano rojo	HP-SPME	2H-2M (20-30)	OAV	Odorantes	FID MS	(Xiao,Chen et al., 2021)
Melocotón <i>Prunus persica</i>	HP-SPME / SAFE	2H-3M (22-30)	AEDA / OAV	Odorantes	FID MS	(Niu,Deng et al., 2021)
Melón chino (<i>Cucumis melo</i>)	HP-SPME	2H-3M	ID	Odorantes	FID / MS	(Xiao,Xie et al., 2021)
Yaca <i>Artocarpus heterophyllus</i>	SPME / SPE	3	ID	Aroma a chocolate	GCx2 MS	(Spada et al., 2021)
Zumo calabaza, mango y azufaifa	HP-SPME	4	FD / OAV	Odorantes	MS	(Yuan et al., 2021)
Yogur líquido	SAFE	8H-3M (23-52)	CHARM	Detección hedor	MS	(Miyaji et al., 2021)
Leche agria	SAFE	3	OAV	Odorante / moho	FID MS	(Szudera-Konczal et al., 2021)

Suplemento nutricional adultos (Danone)	SPME	4H 2M (30) 3H 3M (74)	OAV	Odorantes	MS	(Lester et al., 2021)
Queso Canastra	HP-SPME	10 (22-39)	ID	Odorantes	FID	(de Jesus et al., 2021)
Huevo pato	HP-SPME	4H-5M (22-26)	OAV	Detección hedor	MS	(Ren et al., 2021)
Lomo de Res	HP-SPME	6	ID	Odorantes seco/húmedo	MS	(Li, Z. et al., 2021)
Carne de Ganso	SAFE	3	AEDA / OAV	Odorantes / cocinado	FID MS	(Gasior et al., 2021)
Carne de vacuno Wagyu	SAFE	2	AEDA	Odorantes cocinada	MS	(Ueda et al., 2021)
Caballa <i>Scomberomorus niphonius</i>	HP-SPME	2H-1M	AEDA	Odorantes	GCx2 MS E-nose	(Wu et al., 2021)
Sichuan Paocai (encurtido chino)	HP-SPME	1H-2M	OAV	Odorantes	MS	(Zhao, Y. et al., 2021)
Hidrolizado de Grillo y gusano	SPME	15	ID	Odorantes	MS	(Grossmann et al., 2021)
Vainillina sintética	Disolv. orgánico	5H-5M (23-26)	ID	Subproductos odorantes	FID / MS	(Yu, H. et al., 2021)
Polimorfismo del gen OBPIIa (A/G) (humanos)	HP	41 H 11 M	ID	Capacidad para oler ≠ Odorantes	FID	(Melis et al., 2021)

5. CONCLUSIONES

1. La propia naturaleza del aparato olfativo pone de manifiesto su alta capacidad para la identificación de sustancias odorantes (más de 10.000) con un número limitado de receptores olfativos.
2. El aroma de las sustancias odorantes depende de su estructura química, y pequeñas diferencias como son la longitud de la cadena, la presencia de grupos funcionales o la isomería, produce modificación del aroma, que son detectadas por el sistema olfativo.
3. La alta sensibilidad del aparato olfativo pone en valor a los evaluadores sensoriales de aromas (panelistas analíticos), cuya selección, entrenamiento y pruebas sensoriales están perfectamente normalizados. El proceso de conformación del panel analítico requiere de cuatro etapas: Preselección, Selección, Aprendizaje y Evaluación, siendo la etapa de selección la más compleja del proceso. El papel de los panelistas analíticos es esencial tanto en el análisis sensorial como en la cromatografía de gases acoplada a la olfatometría.
4. La GC-O se utiliza principalmente en el análisis sensorial de aromas en alimentos y bebidas, y además de los componentes clásicos del GC requiere de un puerto adaptado para el

análisis olfatométrico. El estudio bibliográfico (2023-2021) realizado de las aplicaciones de la CG-O indica que la técnica de extracción SPME es la más utilizada. En el olfatograma se identifican y cuantifican los olores, utilizando principalmente la AEDA como técnica olfatométrica, un número inferior a 10 panelistas entrenados y como detector químico mayoritariamente se usa la espectrometría de masas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aceña, Laura. "Aplicación De La Cromatografía De Gases-Olfatometría En La Caracterización Del Aroma Del Vinagre De Vino, De Los Pistachos Y Del Aceite De Oliva." Tesis Doctoral. Universidad Rovira i Virgili, 2011.
- AENC. Asociación española de normalización y certificación. UNE-EN 13725:2004/AC. (2006).
- Aleixandre-Benavent JL y Aleixandre-Tudó JL. Conocimiento Del Vino Cata Y Degustación. En: Spain: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia; 2011.
- Almaguer C, Kollmannsberger H, Gastl M, Becker T. Characterization of the aroma profile of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and assessment of the impact of malting on the odor-active volatile composition. *Journal of the science of food and agriculture*. 2023; 103(5): 2283-2294.
- Alonso, Mercedes. La Química Del Olfato. 2011 [en línea]. [Consultado en 2023]. Disponible en: <http://www.quimica2011.es/qu%c3%admica-de-lo-cotidiano/la-qu%c3%admica-de-los-sentidos.html>.
- Arboleda AM, Alonso JC. El aroma al evaluar el involucramiento del consumidor con un producto y su percepción de calidad. *Estudios gerenciales; estud.gerenc*. 2015; 31(137): 403-410.
- Bell L, Kitsopanou E, Oloyede OO, Lignou S. Important Odorants of Four Brassicaceae Species, and Discrepancies between Glucosinolate Profiles and Observed Hydrolysis Products. *Foods*. 2021; 10(5): 1055.
- Birk F, Hausmann H, Fraatz MA, Kirste A, Aust NC, Pelzer R, Zorn H. Generation of Flavor-Active Compounds by Electrochemical Oxidation of (R)-Limonene. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022; 70(23): 7220-7229.
- Blank I. Gas Chromatography–olfactometry in Food Aroma Analysis. En: *Techniques for Analyzing*. CRC Press; 2020. p.293-329.
- Börsch-Haubold A. Small molecules make scents. *Science in School*. 2007; (6): 69-74.
- Bradley RA. Some statistical methods in taste testing and quality evaluation. *Biometrics*. 1953; 9(1): 22-38.
- Brattoli M, Cisternino E, Dambruoso PR, de Gennaro G, Giungato P, Mazzone A, Palmisani J, Tutino M. Gas chromatography analysis with olfactometric detection (GC-O) as a useful methodology for chemical characterization of odorous compounds. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2013; 13(12): 16759-16800.
- Brewer S, Plotto A, Bai J, Crane J, Chambers A. Evaluation of 21 papaya (*Carica papaya* L.) accessions in southern Florida for fruit quality, aroma, plant height, and yield components. *Scientia Horticulturae*. 2021; 288: 110387.
- Capone DL, Francis IL, Clingeffer PR, Maffei SM, Boss PK. Evidence that methoxypyrazine accumulation is elevated in Shiraz rachis grown on Ramsey rootstock, increasing 'green' flavour in wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2022; 28(2): 304-315.

- Caporaso N, Whitworth MB, Fisk ID. Prediction of coffee aroma from single roasted coffee beans by hyperspectral imaging. *Food Chemistry*. 2022; 371: 131159.
- Carbone K, Bianchi G, Petrozziello M, Bonello F, Macchioni V, Parisse B, De Natale F, Alilla R, Cravero MC. Tasting the Italian Terroir through Craft Beer: Quality and Sensory Assessment of Cascade Hops Grown in Central Italy and Derived Monovarietal Beers. *Foods*. 2021; 10(9): 2085.
- Castro JB, Ramanathan A, Chennubhotla CS. Categorical Dimensions of Human Odor Descriptor Space Revealed by Non-Negative Matrix Factorization. *PloS one; PLoS One*. 2013; 8(9): e73289.
- Cervencik K, Dimitrov F, Tobolkova B, Zemlicka L, Birosova L, Hrouzkova S, Sadecka J. Principal aroma-active compounds of Red Moon RM-1 apple fruit cultivar as determined by a combined technique of gas chromatography-olfactometry. *Journal of Food and Nutrition Research*. 2022; 61(3): 251-263.
- Chen C, Tian T, Yu H, Yuan H, Wang B, Xu Z, Tian H. Characterisation of the key volatile compounds of commercial Gouda cheeses and their contribution to aromas according to Chinese consumers' preferences. *Food Chemistry-X*. 2022; 15: 100416.
- Chen E, Zhao S, Song H, Zhang Y, Lu W. Analysis and Comparison of Aroma Compounds of Brown Sugar in Guangdong, Guangxi and Yunnan Using GC-O-MS. *Molecules*. 2022; 27(18): 5878.
- Chen S, Wang L, Ni D, Lin L, Wang H, Xu Y. Characterization of Aroma Compounds in Cooked Sorghum Using Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography-Time-of-Flight Mass Spectrometry and Gas Chromatography-Olfactometry-Mass Spectrometry. *Molecules*. 2021; 26(16): 4796.
- Colorado, R., and J. M. Rivera. *Química Del Olor*. 2014 [en línea]. [Consultado en 2023]. Disponible en: <https://www.uv.mx/cienciauv/blog/quimicadelolor/>.
- d'Acampora B, Dugo P, Dugo G, Mondello L. Gas chromatography-olfactometry in food flavour analysis. *Journal of Chromatography A*. 2008; 1186(1): 123-143.
- Davis P. *Aromaterapia de la A a la Z*. Editorial EDAF Madrid ed.1988.
- de Calvo O. *Fisiología Humana*. En: *Fisiología del Olfato*. Editado por: J. A. Fernández-Tresguerres, C. Ariznavarreta Ruiz, V. Cachofeiro, et al. McGraw Hill, 4e; 2016.
- de Jesus M, Klein B, Wagner R, Godoy H. Key aroma compounds of Canastra cheese: HS-SPME optimization assisted by olfactometry and chemometrics. *Food Research International*. 2021; 150: 110788.
- Dein M, Munafo JP, Jr. Characterization of Odorants in Southern Mountain Mint, *Pycnanthemum pycnanthemoides*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022; 70(31): 9722-9729.
- Delahunty CM, Eyres G, Dufour JP. Gas chromatography-olfactometry. *Journal of separation science; J.Sep.Science*. 2006; 29(14): 2107-2125.
- Dira M, Guclu G, Portoles T, Jabeur H, Kelebek H, Selli S, Bouaziz M. Safe and Fast Fingerprint Aroma Detection in Adulterated Extra Virgin Olive Oil Using Gas Chromatography-Olfactometry-Mass Spectrometry Combined with Chemometrics. *Food Analytical Methods*. 2021; 14(10): 2121-2135.
- Espinosa J. *Evaluación sensorial de los alimentos*. La Habana: Editorial Universitaria, 2007.
- Etalo I y Sáenz MP. *Análisis Sensorial De Alimentos Y Respuesta Del Consumidor*. En: Editado por: M. D. SalvadoryF. J. Pérez-ElortondoZaragoza: Acribia; 2022.
- Faraldos M y Goberna C. *Técnicas de análisis y caracterización de materiales*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2021.

- Forney CF, Qiu S, Jordan MA, McCarthy D, Fillmore S. Comparison of Volatile Compounds Contributing to Flavor of Wild Lowbush (*Vaccinium augustifolium*) and Cultivated Highbush (*Vaccinium corymbosum*) Blueberry Fruit Using Gas Chromatography-Olfactometry. *Foods*. 2022; 11(16): 2516.
- Fuller, Steltenkamp R, Tisserand GA. The gas chromatograph with human sensor: Perfumer model. *Ann.N.Y.Acad.Sci.* (1964) 116(2):711-724.
- Gabetti E, Sgorbini B, Stilo F, Bicchi C, Rubiolo P, Chialva F, Reichenbach SE, Bongiovanni V, Cordero C, Cavallero A. Chemical fingerprinting strategies based on comprehensive two-dimensional gas chromatography combined with gas chromatography-olfactometry to capture the unique signature of Piemonte peppermint essential oil (*Mentha x piperita* var *Italo-Mitcham*). *Journal of Chromatography a*. 2021; 1645: 462101.
- Gasior R, Wojtycza K, Majcher MA, Bielinska H, Odrzywolska A, Baczkowicz M, Migdal W. Key Aroma Compounds in Roasted White Koluda Goose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2021; 69(21): 5986-5996.
- Genovese A, Caporaso N, Moio L. Influence of Yeast Strain on Odor-Active Compounds in Fiano Wine. *Applied Sciences-Basel*. 2021; 11(17): 7767.
- Gorman C, Murray A, Dein M, Munafo J. Characterization of Key Odorants in Cumberland Rosemary, *Conradina verticillata*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022; .
- Grossmann KK, Merz M, Appel D, De Araujo MM, Fischer L. New insights into the flavoring potential of cricket (*Acheta domesticus*) and mealworm (*Tenebrio molitor*) protein hydrolysates and their Maillard products. *Food Chemistry*. 2021; 364: 130336.
- Guneser O, Yuceer YK, Hosoglu MI, Togay SO, Elibol M. Production of flavor compounds from rice bran by yeasts metabolisms of *Kluyveromyces marxianus* and *Debaryomyces hansenii*. *Brazilian Journal of Microbiology*. 2022; 53(3): 1533-1547.
- Gutiérrez JL. *Ciencia_bromatológica*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos SA, 2020.
- Hanryk J y Gracka A. Flavour: From Food to Perception. En: *Flavour: From Food to Perception*. Editado por: E. Guichard, C. Salles, M. Morzel. M. Le BonOxford, UK: John Wiley & Sons Ltd; 2017. p.126-153.
- Harris DC. *Análisis químico cuantitativo*. Barcelona: Editorial Reverté, 2016.
- Heng Z, Xu X, Xu X, Wang H, Liu L, Li Z, Li Z, You Q, Sun B, Gong C, Yin Y, Li Y, Li T. Characterization of odor-contributing volatile in *Capsicum chinense* 'JT-1' fruits during development and transcriptome analysis of key fruit-aroma formation periods. *Scientia Horticulturae*. 2023; 309: 111691.
- Hong SJ, Boo CG, Lee J, Hur SW, Jo SM, Jeong H, Yoon S, Lee Y, Park S, Shin E. Chemosensory approach supported-analysis of wintering radishes produced in Jeju Island by different processing methods. *Food Science and Biotechnology*. 2021; 30(8): 1033-1049.
- Huang Y, Wan J, Wang Z, Sun M, Feng T, Ho C, Song S. Variation of Volatile Compounds and Corresponding Aroma Profiles in Chinese Steamed Bread by Various Yeast Species Fermented at Different Times. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022; 70(12): 3795-3806.
- Huseynli L, Parviainen T, Kyllönen T, Aisala H, Vene K. Exploring the protein content and odor-active compounds of black soldier fly larvae for future food applications. *Future Foods*. 2023; 7: 100224.
- Ibáñez F y Barcina Y. *Análisis sensorial de alimentos: métodos y aplicaciones*. Barcelona. Springer-Verlag Ibérica, 2021.

- Jiang S, Xia D, Wang X, Zhu Y, Chen G, Liu Y. Analysis of aroma-active compounds in four Chinese dry-cured hams based on GC-O combined with AEDA and frequency detection methods. *Lwt-Food Science and Technology*. 2022; 153: 112497.
- Karolkowski A, Gourrat K, Bouzidi E, Albouy J, Levavasseur L, Briand L, Guichard E, Salles C. Origins of volatile compounds and identification of odour-active compounds in air-classified fractions of faba bean (*Vicia faba L. minor*). *Food Research International*. 2023; 163: 112260.
- Komes D, Ulrich D, Lovric T. Characterization of odor-active compounds in Croatian Rhine Riesling wine, subregion Zagorje. *European food research & technology*. 2006; 222(1-2): 1-7.
- Kunihiro K, Kikuchi Y, Nojima S, Myoda T. Characteristic of aroma components and antioxidant activity of essential oil from *Ocimum tenuiflorum* leaves. *Flavour and Fragrance Journal*. 2022; 37(4): 210-218.
- Lan X, Liu Z, Wang D, Zhan S, Chen W, Su W, Ni L, Sun Y. Characterization of volatile composition, aroma-active compounds and phenolic profile of Qingxin oolong tea with different roasting degrees. *Food Bioscience*. 2022; 50: 101985.
- Lan Y, Guo J, Qian X, Zhu B, Shi Y, Wu G, Duan C. Characterization of key odor-active compounds in sweet Petit Manseng (*Vitis vinifera L.*) wine by gas chromatography-olfactometry, aroma reconstitution, and omission tests. *Journal of Food Science*. 2021; 86(4): 1258-1272.
- Lanza, Eduardo. La Academia Y Los Aromas Del Vino. Rueda De Aromas. 2020 [en línea]. [Consultado en 2023]. Disponible en: <https://www.catadores.net/la-academia-y-los-aromas-del-vino/>.
- Lester S, Cornacchia L, Corbier C, Taylor MA, Ayed C, Yang N, Lim M, Linforth R, Fisk I. Identification of aroma compounds in a commonly prescribed oral nutritional supplement and associated changes in olfactory abilities with human ageing. *Scientific Reports*. 2021; 11(1): 16518.
- Li H, Zhang X, Gao X, Shi X, Chen S, Xu Y, Tang K. Comparison of the Aroma-Active Compounds and Sensory Characteristics of Different Grades of Light-Flavor Baijiu. *Foods*. 2023; 12(6): 1238.
- Li J, Miao A, Zhao G, Liu X, Wu H, Luo J, Gong H, Zheng X, Deng L, Ma M. Assessment of the 'taro-like' aroma of pumpkin fruit (*Cucurbita moschata D.*) via E-nose, GC-MS and GC-O analysis. *Food Chemistry-X*. 2022; 15: 100435.
- Li R, Chen K, Li L, Zhao S, Guo C, Wang X, Zhang J, Liang M. Identification of key odor compounds in the burnt smell of upper tobacco leaves through the molecular sensory science technique. *Scienceasia*. 2023; 49(2): 290-296.
- Li Z, Ha M, Frank D, McGilchrist P, Warner RD. Volatile Profile of Dry and Wet Aged Beef Loin and Its Relationship with Consumer Flavour Liking. *Foods*. 2021; 10(12): 3113.
- Li Z, Sun X, Xu T, Dai W, Yan Q, Li P, Fang Y, Ding J. Insight into the dynamic variation and retention of major aroma volatile compounds during the milling of Suxiang japonica rice. *Food Chemistry*. 2023; 405: 134468.
- Liu B, Xu S, Dong Z, Liu Y, Wei X, Shao D. Characterization of Key Odorants in Scallion Pancake and Investigation on Their Changes during Storage. *Molecules*. 2021; 26(24): 7647.
- Liu H, Fang M. Characterization of aroma active volatile components in roasted mullet roe. *Food Chemistry*. 2022; 385: 132736.
- López-Mascaraque L y Alonso JR. El Olfato: una breve historia. Madrid: Editorial CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2017.
- Lorenzo, Sergi Lorenzo. Las Copas. 2020 [en línea]. [Consultado en 2023]. Disponible en: <https://vinsiprou.com/blogs/vins-i-prou/las-copas>.

- Lu C, Zhang Y, Zhan P, Wang P, Tian H. Characterization of the key aroma compounds in four varieties of pomegranate juice by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), gas chromatography-olfactometry (GC-O), odor activity value (OAV), aroma recombination, and omission tests. *Food Science and Human Wellness*. 2023; 12(1): 151-160.
- Ma L, Meng Q, Chen F, Gao W. SAFE and SBSE combined with GC-MS and GC-O for characterization of flavor compounds in Zhizhonghe Wujiapi medicinal liquor. *Journal of Food Science*. 2022; 87(3): 939-956.
- Ma Y, Beno N, Tang K, Li Y, Simon M, Xu Y, Thomas-Danguin T. Assessing the contribution of odor-active compounds in icewine considering odor mixture-induced interactions through gas chromatography-olfactometry and Olfactoscan. *Food Chemistry*. 2022; 388: 132991.
- Mayol AR y Acree TE. *Advances in Gas Chromatography-Olfactometry*. En: *Gas Chromatography-Olfactometry*. American Chemical Society; 2001. p.1-10.
- Melis M, Barbarossa IT, Hummel T, Crnjar R, Sollai G. Effect of the rs2890498 polymorphism of the OBPIIa gene on the human ability to smell single molecules. *Behavioural brain research*. 2021; 402: 113127.
- Miyaji K, Kuwano Y, Murakami Y, Hirata S, Imayoshi Y, Maruyama H, Koizumi R, Inoue H, Azuma N. Off-flavors generated during long-term ambient storage of pasteurized drinking yogurt from skim milk. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*. 2021; 85(2): 391-400.
- Morrin M, Charles JC. Person-Place Congruency: The Interactive Effects of Shopper Style and Atmospherics on Consumer Expenditures. *Journal of Service Research*. 2005; 8(2): 181-191.
- Mullol J. El olfato y sus receptores. La historia de un Nobel. *Acta Otorrinolaringología*. 2004; 55: 452-456.
- Ni R, Wang P, Zhan P, Tian H, Li T. Effects of different frying temperatures on the aroma profiles of fried mountain pepper (*Litsea cubeba* (Lour.) Pers.) oils and characterization of their key odorants. *Food Chemistry*. 2021; 357: 129786.
- Ni R, Yan H, Tian H, Zhan P, Zhang Y. Characterization of key odorants in fried red and green huajiao (*Zanthoxylum bungeanum* maxim. and *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc.) oils. *Food Chemistry*. 2022; 377: 131984.
- Niu Y, Deng J, Xiao Z, Zhu J. Characterization of the major aroma-active compounds in peach (*Prunus persica* L. Batsch) by gas chromatography-olfactometry, flame photometric detection and molecular sensory science approaches. *Food Research International*. 2021; 147: 110457.
- Niu Y, Ma Y, Xiao Z, Zhu J, Xiong W, Chen F. Characterization of the Key Aroma Compounds of Three Kinds of Chinese Representative Black Tea and Elucidation of the Perceptual Interactions of Methyl Salicylate and Floral Odorants. *Molecules*. 2022; 27(5): 1631.
- Niu Y, Wang R, Xiao Z, Sun X, Wang P, Zhu J, Cao X. Characterization of Volatile Compounds of *Rosa roxburghii* Tratt by Gas Chromatography-Olfactometry, Quantitative Measurements, Odor Activity Value, and Aroma Intensity. *Molecules*. 2021; 26(20): 6202.
- Noble, Arnold RA, Buechsensteis EJ, Schmidt JO, Stern PM. Modification of a standardized system of wine aroma terminology. *Am.J.Enol.Vitic.* (1987) 38(2):143-146.
- Otero de la Gándara J,L. Notas para la historia de la destilación. Place of publication not identified: Tebar, 2006.
- Pino JA, Espinosa S, Duarte C. Characterization of odor-active volatile compounds of jambolan [*Syzygium cumini* (L.) Skeels] wine. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*. 2022; 59(4): 1529-1537.
- Pybus DH y Sell CS. *Chemistry of Fragrances: From Perfumer to Consumer*. Edited by DH Pybus and Sell CS. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1999.

- Qi, Liu R, Sun J, Chen H, Zhang N. Characterizing key aroma-active compounds of stewed mutton using gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry coupled with odour activity value. *FLAVOUR FRAG J.* (2023) .
- Ren L, Ma J, Lv Y, Tong Q, Guo H. Characterization of key off-odor compounds in thermal duck egg gels by GC-olfactometry-MS, odor activity values, and aroma recombination. *Lwt-Food Science and Technology.* 2021; 143: 111182.
- Rizzo PV, Del Toro-Gipson RS, Cadwallader DC, Drake MA. Identification of aroma-active compounds in Cheddar cheese imparted by wood smoke. *Journal of dairy science.* 2022; 105(7): 5622-5640.
- Roegner NS, Mall V, Steinhaus M. Impact of Malt Extract Addition on Odorants in Wheat Bread Crust and Crumb. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2021; 69(45): 13586-13595.
- Ronald J. *Wine Tasting: A Professional Handbook.* Academic Press, 2014.
- Rowe D. High-impact Aroma Chemicals. *Perfumer & Flavorist.* 2000; 25: 1-19.
- Sancho J, Bota E, de Castro JJ, Puig E. *Introducción al análisis sensorial de los alimentos.* Barcelona: Universitat de Barcelona, 1999.
- Sanda-Days. Hungary Water: First "Modern" European Perfume. 2013 [en línea]. [Consultado en 2023]. Disponible en: <http://sanda-halcyondays.blogspot.com/2013/03/hungary-water-first-modern-european.html>.
- Santos NH, Zapata J, Dereix JD, Escobar J, de Almeida AB, Silva FG, Egea MB. The Active Aroma of "Cerrado" Cashew and Cagaita Fruits: Comparison between Two Extraction Methods. *Applied Sciences-Basel.* 2022; 12(7): 3330.
- Sasaki T, Ochiai N, Yamazaki Y, Sasamoto K. Solvent-assisted stir bar sorptive extraction and gas chromatography–mass spectrometry with simultaneous olfactometry for the characterization of aroma compounds in Japanese Yamahai-brewed sake. *Food Chemistry.* 2023; 405: 134640.
- Schlueter A, Huhn T, Kneubuhl M, Chatelain K, Rohn S, Chetschik I. Comparison of the Aroma Composition and Sensory Properties of Dark Chocolates Made with Moist Incubated and Fermented Cocoa Beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2022; .
- Schutz HG. Sources invalidity in the Sensory Evaluation of Food. *Food Technology.* 1971; 25(3): 53-57.
- Senoussi A, Rapisarda T, Schadt I, Chenchouni H, Saoudi Z, Senoussi S, Zitoun OA, Zidoune MN, Carpino S. Formation and dynamics of aroma compounds during manufacturing-ripening of Bouhezza goat cheese. *International Dairy Journal.* 2022; 129: 105349.
- Sheng X, Lin Y, Cao J, Ning Y, Pang X, Wu J, Kong F. Comparative Evaluation of Key Aroma-Active Compounds in Sweet Osmanthus (*Osmanthus fragrans* Lour.) with Different Enzymatic Treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2021; 69(1): 332-344.
- Shi J, Tong G, Yang Q, Huang M, Ye H, Liu Y, Wu J, Zhang J, Sun X, Zhao D. Characterization of Key Aroma Compounds in Tartary Buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) by Means of Sensory-Directed Flavor Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2021; 69(38): 11361-11371.
- Siebert TE, Stamatopoulos P, Francis IL, Darriet P. Sensory-directed characterisation of distinctive aromas of Sauternes and Viognier wines through semi-preparative liquid chromatography and gas chromatography approaches. *Journal of Chromatography a.* 2021; 1637: 461803.
- Soler GM. *Evaluación clínica del sentido del olfato.* Rosario: Corpus Editorial, 2009.

- Spada FP, Balagiannis DP, Purgatto E, do Alencar SM, Canniatti-Brazaca SG, Parker JK. Characterisation of the chocolate aroma in roast jackfruit seeds. *Food Chemistry*. 2021; 354: 129537.
- Statista GmbH. Tamaño Del Mercado De Fragancias a Nivel Mundial . 2021 [en línea]. [Consultado en 2023]. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/599075/tamano-del-mercado-de-fragancias-a-nivel-mundial--2021/>.
- Szudera-Konczal K, Myszkka K, Kubiak P, Majcher MA. Analysis of the Ability to Produce Pleasant Aromas on Sour Whey and Buttermilk By-Products by Mold *Galactomyces geotrichum*: Identification of Key Odorants. *Molecules*. 2021; 26(20): 6239.
- Tang L, Zhang Y, Jin Y, Yu M, Song H. Switchable GC/GC x GC-olfactometry-mass spectrometry system for the analysis of aroma components of infant formula milk-based on cow and goat milk. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2022; 112: 104709.
- Teixeira MA, Rodriguez O, Rodrigues AE. Perfumery Radar: A Predictive Tool for Perfume Family Classification. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2010; 49(22): 11764-11777.
- Tian T, Ruan S, Zhao Y, Li J, Yang C, Cao H. Multi-objective evaluation of freshly distilled brandy: Characterisation and distribution patterns of key odour-active compounds. *Food Chemistry-X*. 2022; 14: 100276.
- Turner L, Dawda D, Wagstaff C, Gawthrop F, Lignou S. Influence of harvest maturity on the aroma quality of two celery (*Apium graveolens*) genotypes. *Food Chemistry*. 2021; 365: 130515.
- Ueda S, Yamanoue M, Sirai Y, Iwamoto E. Exploring the Characteristic Aroma of Beef from Japanese Black Cattle (Japanese Wagyu) via Sensory Evaluation and Gas Chromatography-Olfactometry. *Metabolites*. 2021; 11(1): 56.
- Viera-Santana S, Santana-Rodríguez JJ. Técnicas analíticas avanzadas para la extracción y preconcentración de contaminantes emergentes en muestras líquidas. *Rev. Acad. Canar. Cienc*. 2015; : 77-95.
- Vila MA y García E. Perfumería y cosmética natural. Ediciones Paraninfo, S.A., Madrid. ed.2014.
- Vogue. La Historia Detrás De Uno De Los Perfumes Más Icónicos Del Mundo. Chanel Nº5. 2021 [en línea]. [Consultado en 2023].
- Wan J, Liu Q, Ma C, Muhoza B, Huang Y, Sun M, Song S, Ho C. Characteristic flavor fingerprint disclosure of dzo beef in Tibet by applying SAFE-GC-O-MS and HS-GC-IMS technology. *Food Research International*. 2023; 166: 112581.
- Wang H, Yang P, Liu C, Song H, Pan W, Gong L. Characterization of key odor-active compounds in thermal reaction beef flavoring by SGCxGC-O-MS, AEDA, DHDA, OAV and quantitative measurements. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2022; 114: 104805.
- Wang J, Zhang B, Wu Q, Jiang X, Liu H, Wang C, Huang M, Wu J, Zhang J, Yu Y. Sensomics-assisted flavor decoding of coarse cereal Huangjiu. *Food Chemistry*. 2022; 381: 132296.
- Wang S, Lin SY, Du HT, Qin L, Lei LM, Chen D. An Insight by Molecular Sensory Science Approaches to Contributions and Variations of the Key Odorants in Shiitake Mushrooms. *Foods*. 2021; 10(3): 622.
- Wang S, Liu H, Xie T, Zhang N, Sun J, Chen H, Sun B. Study on volatile aroma compounds in donkey broths of different stewing time. *Flavour and Fragrance Journal*. 2022; 37(2): 96-105.
- Wei J, Zhang Y, Zhang X, Guo H, Yuan Y, Yue T. Multi-omics discovery of aroma-active compound formation by *Pichia kluyveri* during cider production. *Lwt-Food Science and Technology*. 2022; 159: 113233.

- Wei X, Sun Q, Methven L, Elmore JS. Comparison of the sensory properties of fragrant and non-fragrant rice (*Oryza saliva*), focusing on the role of the popcorn-like aroma compound 2-acetyl-1-pyrroline. *Food Chemistry*. 2021; 339: 128077.
- Wieczorek MN, Majcher MA, Jelen HH. Identification of aroma compounds in raw and cooked broccoli. *Flavour and Fragrance Journal*. 2021; 36(5): 576-583.
- Wu S, Yang J, Dong H, Liu Q, Li X, Zeng X, Bai W. Key aroma compounds of Chinese dry-cured Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) and their potential metabolic mechanisms. *Food Chemistry*. 2021; 342: 128381.
- Xiao Z, Chen H, Niu Y, Zhu J. Characterization of the Aroma-Active Compounds in Banana (*Musa AAA Red green*) and Their Contributions to the Enhancement of Sweetness Perception. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2021; 69(50): 15301-15313.
- Xiao Z, He J, Niu Y, Xiong J, Zhang J. Characterization and comparison of aroma profiles of orange pulp and peel by GC-MS/O, OAV, aroma recombination and omission tests. *European Food Research and Technology*. 2023; 249(3): 619-630.
- Xiao Z, Xie Y, Niu Y, Zhu J. Identification of key aromas of Chinese muskmelon and study of their formation mechanisms. *European Food Research and Technology*. 2021; 247(4): 777-795.
- Xiao Z, Zhang S, Zhu J, Niu Y, Xiong W, Chen F. Identification of key aromas of grapefruit juice and study of their contributions to the enhancement of sweetness perception. *European Food Research and Technology*. 2023; 249(2): 537-551.
- Xu X, Lu S, Li X, Bai F, Wang J, Zhou X, Gao R, Zeng M, Zhao Y. Effects of microbial diversity and phospholipids on flavor profile of caviar from hybrid sturgeon (*Huso dauricus* x *Acipenser schrencki*). *Food Chemistry*. 2022; 377: 131969.
- Yang P, Yu M, Song H, Xu Y, Lin Y, Granvogl M. Characterization of Key Aroma-Active Compounds in Rough and Moderate Fire Rougui Wuyi Rock Tea (*Camellia sinensis*) by Sensory-Directed Flavor Analysis and Elucidation of the Influences of Roasting on Aroma. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022; 70(1): 267-278.
- Yang Y, Zhao J, Du Z. Unravelling the key aroma compounds in the characteristic fragrance of *Dendrobium officinale* flowers for potential industrial application. *Phytochemistry*. 2022; 200: 113223.
- Yao L, Mo Y, Chen D, Feng T, Song S, Wang H, Sun M. Characterization of key aroma compounds in Xinjiang dried figs (*Ficus carica* L.) by GC-MS, GC-olfactometry, odor activity values, and sensory analyses. *Lwt-Food Science and Technology*. 2021; 150: 111982.
- Yin W, Ma X, Li S, Wang X, Liu H, Shi R. Comparison of key aroma-active compounds between roasted and cold-pressed sesame oils. *Food Research International*. 2021; 150: 110794.
- Yin W, Shi R, Li S, Ma X, Wang X, Wang A. Changes in key aroma-active compounds and sensory characteristics of sunflower oils induced by seed roasting. *Journal of Food Science*. 2022; 87(2): 699-713.
- Yu H, Shi Q, Mao H, Chen C, Tian H. Olfactory impact of guaiacol, ortho-vanillin, 5-methyl, and 5-formyl-vanillin as byproducts in synthetic vanillin. *Journal of Food Science*. 2021; 86(8): 3645-3657.
- Yu H, Xie J, Xie T, Guo W, Chen C, Tian H. Perceived aroma characteristic of Tsingtao beer in relation to wort gravity. *European Food Research and Technology*. 2021; 247(2): 427-437.
- Yu J, Lu K, Zi J, Yang X, Xie W. Characterization of aroma profiles and aroma-active compounds in high-salt and low-salt shrimp paste by molecular sensory science. *Food Bioscience*. 2022; 45: 101470.

- Yu M, Li T, Song H. Characterization of key aroma-active compounds in four commercial oyster sauce by SGC/GC x GC-O-MS, AEDA, and OAV. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2022; 107: 104368.
- Yu M, Li T, Wan S, Song H, Zhang Y, Raza A, Wang C, Wang H, Wang H. Sensory-directed establishment of sensory wheel and characterization of key aroma-active compounds for spicy tallow hot pot seasoning. *Food Chemistry*. 2023; 405: 134904.
- Yuan L, Liang X, Pan X, Lao F, Shi Y, Wu J. Effects of High Hydrostatic Pressure Combined with Vacuum-Freeze Drying on the Aroma-Active Compounds in Blended Pumpkin, Mango, and Jujube Juice. *Foods*. 2021; 10(12): 3151.
- Zhai Y, Guo M, Meng Q, Song H. Characterization of key odor-active compounds in high quality high-salt liquid-state soy sauce. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2023; 117: 105148.
- Zhang C, Wang Y, Ding D, Su J, Zhao Z. Volatile profiles of *Allium tenuissimum* L. flower fried by four different oils, using SPME-GC-MS, and sensory evaluation coupled with partial least squares regression. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2022; 109: 104461.
- Zhang J, Sun Y, Guan X, Qin W, Zhang X, Ding Y, Yang W, Zhou J, Yu X. Characterization of key aroma compounds in melon spirits using the sensomics concept. *Lwt-Food Science and Technology*. 2022; 161: 113341.
- Zhang Y, Luo J, Zeng F. Volatile composition analysis of tree peony (*Paeonia* section *Moutan* DC.) seed oil and the effect of oxidation during storage. *Journal of Food Science*. 2021; 86(8): 3467-3479.
- Zhang Z, Liang M, Liu B, Wu Y, Wang R, Liu Y. Characterization of the key odorants of ripe *Capparis spinosa* L. fruit and changes in concentrations after storage by means of molecular sensory science. *Food Chemistry*. 2023; 403: 134383.
- Zhao H, Ren L, Shen R, Guo S, Peng X. Identification of the influential odorants for the unpleasant rancid smell of ripe noni fruit (*Morinda citrifolia*). *International Journal of Food Science and Technology*. 2022; 57(4): 2277-2284.
- Zhao M, Ma H, Hou Y, Li J, Zou T, Zhang D, Wen R, Li H, Song H. Characterization of Key Odor-Active Off-Flavor Compounds in Aged Pasteurized Yogurt by Sensory-Directed Flavor Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022; 70(45): 14439-14447.
- Zhao Y, Wei W, Tang L, Wang D, Wang Y, Wu Z, Zhang W. Characterization of aroma and bacteria profiles of Sichuan industrial paocai by HS-SPME-GC-O-MS and 16S rRNA amplicon sequencing. *Food Research International*. 2021; 149: 110667.
- Zou Y, Tang C, Yang X, Guo T, Song H. Discovery and Flavor Characterization of High-Grade Markers in Baked Green Tea. *Molecules (Basel, Switzerland)*; *Molecules*. 2023; 28(6): 2462.
- Zuluaga CM, Díaz AC, Quicazán MC. Nariz Electrónica: Fundamentos, Manejo De Datos Y Aplicación En Productos Apícolas. En: Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Vicerrectoría de Investigación. Dirección de Investigación Sede Bogotá; 2014.