

Descifrando las claves químicas que explican el aroma del vino

Miriam del Pozo Bayón

Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación (CIAL) (CSIC-UAM)
Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Universidad Autónoma de Madrid
<http://www.cial.uam-csic.es/pagperso/enologia/index.html>

El aroma es, posiblemente, una de las características más importantes ligadas a la calidad y a las preferencias de los consumidores por un determinado alimento. En el caso del vino, esta característica es aún más importante, ya que el vino, constituye un producto que es fundamentalmente consumido por puro placer sensorial, y en el que el aroma es su mejor carta de presentación. Actualmente, los métodos de producción y la tecnología implicada en la elaboración de los vinos, están destinados en gran medida a fomentar las características aromáticas positivas y a eliminar o minimizar cualquier defecto aromático (off-flavors) del vino, ya que la industria enológica está interesada en la producción de vinos de gran calidad.

Cuando disfrutamos de un vino, probablemente no somos conscientes de la cantidad de compuestos químicos que intervienen en el aroma percibido, y que son los responsables de que ese vino nos pueda evocar aromas *afrutados*, *amaderados*, *balsámicos* a *frutos secos*...o bien que nos recuerde ciertas emociones vividas con anterioridad, o en definitiva, que nos guste o no, lo que nos dirigirá a comprar ese vino en posteriores ocasiones.

¿Cómo se produce la percepción del aroma y el reconocimiento de un determinado olor?

La mayor parte de los compuestos responsables del aroma de un vino se caracterizan por ser compuestos volátiles (en general de bajo peso molecular y de bajo punto de ebullición) que se liberan fácilmente de la matriz hidroalcohólica en la que se encuentran y de esta forma pueden fácilmente interaccionar con los receptores olfativos, ubicados en la parte superior de las fosas nasales (pituitaria). Sin embargo, para ser considerados moléculas odorantes, estos compuestos deben además presentar un grupo osmóforo y una estereoquímica adecuada. Además, se requiere que estén en una concentración suficiente, superior a la de su umbral de detección

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es

(concentración mínima de una sustancia que puede ser percibida por una media de la población). El descubrimiento de los receptores olfativos, y su modo acción es relativamente reciente, y ha sido posible gracias a los trabajos que comenzaron Linda Buck y Richard Axel de la Universidad de Columbia en 1991 (**1**). La trascendencia de sus investigaciones fue premiada con el Nobel de medicina en el año 2004. Estos estudios fueron el punto de partida para nuevos trabajos de investigación que han sentado las bases para definir los mecanismos fisiológicos de la percepción y del reconocimiento de aromas.

Muy básicamente, como se muestra en la **figura 1** cuando uno de estos compuestos odorantes llega al epitelio olfativo donde se encuentran los receptores del olfato, si su estereoquímica lo permite, se acopla a estos, y se produce una cascada de señales que llegan finalmente al cerebro donde se produce la detección y el reconocimiento del olor. Gracias a los múltiples receptores olfativos se pueden identificar los olores. Sin embargo, el número de receptores que tenemos (unos 1000) es mucho menor que el número de olores que podemos identificar (más de cien mil). Una de las hipótesis más aceptadas para explicar este hecho es que la identificación del aroma sigue un proceso combinatorio similar a lo que ocurre con las letras del alfabeto y las palabras. Dependiendo del modo en qué se combinen las 26 letras del alfabeto, el número de palabras que se podrían formar sería casi infinito. De manera similar, cada olor se caracteriza por la activación de varios receptores. La combinación de varios receptores es lo que define a un olor y permite que el cerebro lo reconozca. Además, diferentes partes de una molécula volátil odorante pueden acoplarse a diferentes receptores, y también un mismo receptor puede intervenir en olores distintos. Por tanto, los distintos olores pueden ser reconocidos por diferentes combinaciones de receptores olfativos.

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es

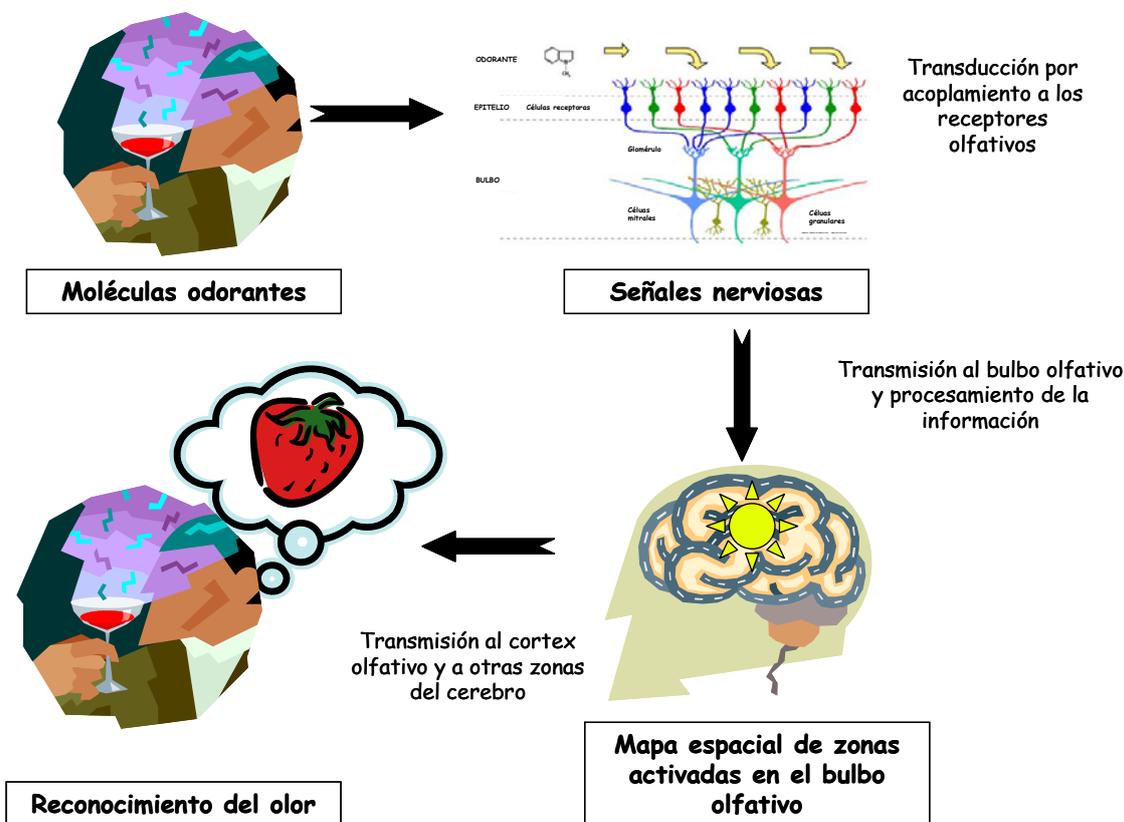


Figura 1. Mecanismo de reconocimiento de los olores (modificado de Amer-Maistriau, 2005) (2)

Muy bien, pero... ¿cuál es el origen del aroma del vino?

El aroma del vino es el resultado de una larga secuencia de transformaciones químicas y bioquímicas, que comienzan en el propio grano de uva con la síntesis de precursores del aroma y de algunas moléculas que van a tener un gran impacto en el aroma varietal de muchos vinos; continua con la generación de nuevos compuestos odorantes durante la fermentación alcohólica y maloláctica a partir de precursores no odorantes presentes en el mosto, y termina con la génesis del llamado aroma terciario durante la maduración y el envejecimiento de los vinos. Es por tanto fácil adivinar, que las diferentes variedades de uva, condiciones de cultivo, factores ambientales, los microorganismos implicados y la tecnología de elaboración, son factores con una

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es

incidencia directa en el aroma, y dependiendo de la combinación de estas variables podemos obtener el inmenso espectro de vinos con características aromáticas tan diferentes que podemos encontrar en el mercado.

El **aroma primario del vino** es el resultado de los compuestos odorantes presentes en forma libre en la uva o aquellos producidos como consecuencia de los procesos a los que se somete la uva desde su cosecha hasta el comienzo de la fermentación alcohólica (aroma prefermentativo). Estos procesos, (prensado, despalillado, etc) provocan la rotura del grano de uva, lo que permite la actuación de algunos sistemas enzimáticos, principalmente oxidaciones enzimáticas de ácidos grasos que llevan a cabo secuencialmente lipasas, lipoxigenasas, isomerasas y alcohol deshidrogenasas (3). Como resultado se originan principalmente alcoholes y aldehídos de seis átomos de carbono (1-hexanol, cis-3-hexen-1-ol) que están relacionados con aromas vegetativos, herbáceos, etc. A pesar de tener un aroma muy diferente, en conjunto, la composición volátil de las uvas es bastante similar, y estas diferencias las podemos explicar por la diferente concentración en la que muchos de estos compuestos odorantes aparecen en la uva. Sin embargo, en algunas variedades de uva se han identificado algunos compuestos volátiles, que efectivamente contribuyen de manera decisiva a la tipicidad aromática de una determinada variedad (compuesto impacto). Algunos ejemplos de moléculas con carácter impacto lo constituyen el linalol en la variedad Moscatel, las 3-isobutil-2-metoxipiracinas en las variedad Cabernet Sauvignon, o el 4-metil-4-mercaptopentan-2-one en la variedad Sauvignon blanc, entre otras. Muchos de estos compuestos se encuentran en concentraciones muy bajas tanto en la uva como en el vino (ng/L), pero debido a sus bajos umbrales de detección ejercen un importante impacto aromático.

Uno de los aspectos más interesantes de la uva, es que se puede además considerar como un reservorio de moléculas odorantes. Además de moléculas odorantes en estado libre, en la uva existen precursores del aroma, que son moléculas no volátiles ni odorantes, susceptibles de liberar aromas bajo la influencia de diversos factores (4). Muchos de estos precursores son moléculas unidas a azúcares (glucosa, arabinosa, ramnosa y apiosa). Aunque todas las variedades de uva poseen este tipo de precursores, en algunas, como en la Moscatel son muy abundantes, y la fracción del aroma glicosilada es mucho mayor que las correspondientes formas libres. Entre los derivados glicosilados, las agliconas (parte no glucídica de la molécula) unidas a ellos pueden ser además de terpenoles o polioles terpénicos, alcoholes lineales o cíclicos, C13-norisoprenoides y fenoles volátiles. La hidrólisis de estos precursores permite la liberación de los compuestos volátiles incrementando las características aromáticas del vino. Para liberar estos aromas atrapados se suele recurrir al uso de enzimas

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es

pectolíticas que presentan actividad glicosidasa residual. Estas enzimas están permitidas en la elaboración de los vinos y presentan buena capacidad para trabajar en condiciones de vinificación (pH bajo y alta concentración de azúcares y de etanol) (5). Otros precursores no glicósídicos de compuestos azufrados que tienen una gran importancia para algunas variedades de uva como la Sauvignon blanc. son los precursores cisteínicos S-conjugados (6). Principalmente durante la fermentación, por actividad β -liasa de la levadura se puede producir la liberación de tioles volátiles (3-mercaptohexanol, acetato de 3-mercaptohexanol, 4-metil-4-mercaptopentanona) que se caracterizan por presentar muy bajos umbrales de percepción (< 20 ng/L) y comunicar al vino aromas a frutas exóticas.

El **aroma secundario** de los vinos está constituido por los compuestos volátiles que se producen como consecuencia de la fermentación alcohólica y maloláctica. Este grupo de compuestos es cuantitativamente el más numeroso, aunque se ha indicado que el impacto en el aroma global de los vinos no es tan acusado (7). La levadura encargada de la fermentación alcohólica, *Saccharomyces cerevisiae* puede producir como metabolitos secundarios durante la glicolisis numerosos compuestos aromáticos (Figura 2), como alcoholes lineales C3-C5 y alcoholes ramificados, 2-feniletanol) etc. También diferentes tipos de ésteres, como los acetatos de alcoholes superiores y ésteres etílicos de ácidos grasos, asociados a aromas florales y frutales en los vinos jóvenes (8) son producidos durante la fermentación alcohólica. Los ácidos grasos volátiles lineales de cadena corta (C2-C4), media (C6-C10) y larga (C6-C10) y los ramificados (2-metil propanoico, 2-metil butanoico, etc) se producen durante la fermentación, y se ha comprobado que a medida que aumenta la longitud de su cadena, la volatilidad disminuye y y el olor cambia de ácido a rancio (9) Por otro lado en los vinos en los que tiene lugar la fermentación maloláctica (prácticamente todos los vinos tintos y algunos blancos), como resultado de este proceso, se pueden producir la formación de algunos compuestos odorantes como la 2,3-butanodiona (diacetilo) que contribuye al aroma a mantequilla de los vinos. El control de la fermentación (temperatura, nutrientes, microorganismos, etc), es muy importante en la producción de compuestos del aroma con implicación positiva en las características sensoriales de los vinos y para evitar la formación de otros compuestos volátiles, los llamados off-flavors que producen una depreciación en el aroma del vino.

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es



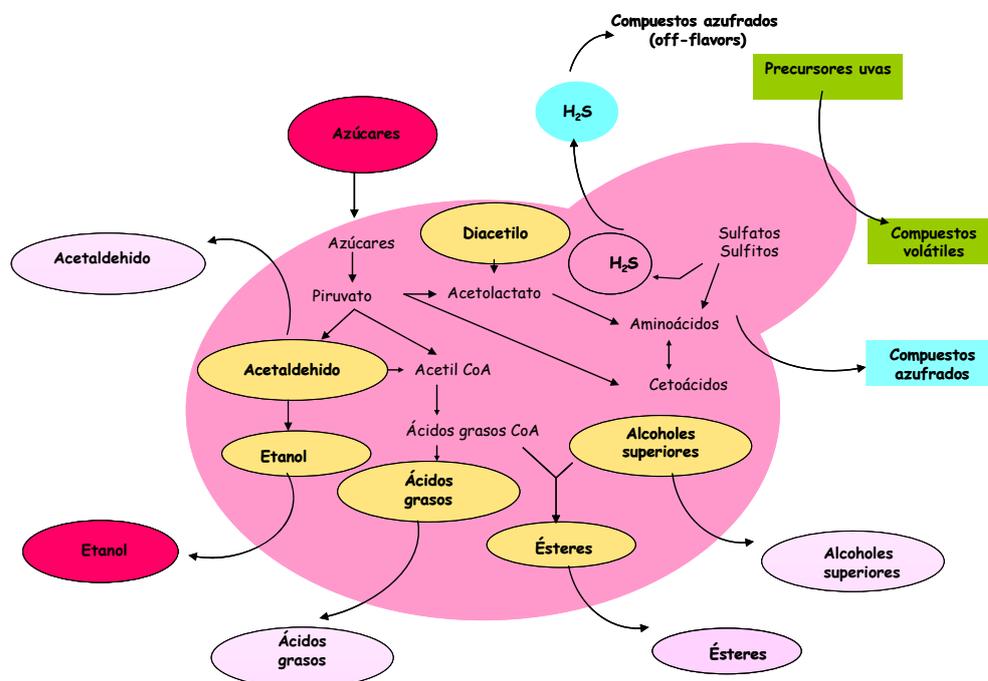


Figura 2. Formación de compuestos del aroma por la levadura durante la fermentación alcohólica (tomado de Pozo-Bayón, M.A, Tesis Doctoral, UAM, 2002).

El tercer grupo de aromas que podemos encontrar en los vinos, constituye el **aroma terciario**, y está formado por todos aquellos compuestos que se originan durante el almacenamiento y envejecimiento de los vinos. Durante esta etapa, muchos precursores presentes en el vino (carotenoides), pueden sufrir una progresiva hidrólisis liberando compuestos aromáticos como los vitispiranos, asociados a aromas a frutos secos característicos por ejemplo de vinos espumosos envejecidos (**10**, **11**). También durante esta etapa se produce la hidrólisis de algunos ésteres, como los acetatos de alcoholes superiores, con lo que el vino se empobrece en compuestos relacionados con notas aromáticas más frescas y asociadas a aromas florales y frutales. La composición terpénica del vino también es modificada por las reacciones ácido-catalizadas y por la hidrólisis de los terpenos presentes en forma glicosilada). La hidrólisis de precursores glicosilados y su posterior rearrreglo molecular, es el mecanismo seguido en la formación de algunos norisoprenoides aromáticos de los vinos (β -damascenona) (**12**). Por otro lado, en los vinos envejecidos en barrica de madera, se produce la extracción de muchos compuestos volátiles de la misma, como

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es

la β -methyl- γ -octalactona (whisky lactona) que contribuye a los aromas a madera, coco, etc., de los vinos envejecidos. Otros compuestos aportados por la madera dependen de la procedencia de la misma (roble americano, roble francés), o incluso del grado de tostado de las barricas (**13,14**) El guayacol y sus 4-etil y vinil- derivados junto con el eugenol y el isoeugenol son los principales fenoles volátiles que tienen impacto sensorial en los vinos envejecidos en madera (**15**). Algunos compuestos furánicos (5-metil-furfural, furfural alcohol) y otros resultados de reacción de Maillard (2,3-dihidroxi-5-hidroxi-2-metil 4(H) piranona, y su derivado 5-hidroxi, así como el furaneol), están muy relacionados con el tipo de tostado.

También en algunas elaboraciones especiales, en las que se combinan un envejecimiento biológico en presencia de un velo de levaduras y un envejecimiento oxidativo en madera, como es el caso de los vinos de Jerez amontillados, se consiguen vinos muy complejos desde el punto de vista aromático, y caracterizados por notas a frutos secos (avellana), balsámicas, y especiadas (**16**), muy relacionadas con la presencia de acetaldehído. En este tipo de elaboraciones, el control de las reacciones oxidativas (durante la fase de permanencia del vino en la bodega) es esencial para limitar la concentración de acetaldehído y ácido acético en los vinos, que a elevadas concentraciones puede tener consecuencias muy negativas para las características sensoriales de los vinos.

¿Cómo hacemos los científicos para caracterizar los compuestos químicos responsables del aroma del vino?

Uno de los principales problemas para la caracterización de las moléculas odorantes del vino es la elevada complejidad de la fracción del aroma. La gran heterogeneidad de este tipo de compuestos en cuanto a estructura química, características físico-químicas (volatilidad, polaridad), y el amplio rango de concentración en el que aparecen en los vinos (desde mg/L a ng/L), supone un gran reto a la hora de seleccionar la técnica de aislamiento más adecuada. La cromatografía de gases (GC) es la técnica de elección para el análisis de estos compuestos, pero sin duda alguna, las técnicas de preparación de muestra, que incluyen métodos de aislamiento y concentración de compuestos volátiles, han sido y son imprescindibles para obtener un buen análisis de este tipo de compuestos, muchos de los cuales se encuentran en concentraciones muy bajas en mostos y vinos. De hecho, en los últimos años, muchas de estas técnicas han evolucionado y mejorado para intentar conseguir además de exactitud y precisión, sensibilidad, rapidez, bajo coste y reducción en la cantidad de solventes orgánicos empleados.

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es

Tradicionalmente los métodos basados en la destilación o en la extracción con solventes han sido los más empleados. Sin embargo, esta metodología implica protocolos de trabajo muy laboriosos, que requieren múltiples etapas y por tanto consumen mucho tiempo.

Con el paso de los años estas técnicas han ido dando paso a otras, como el análisis de los compuestos del aroma liberados al espacio de cabeza de una solución confinada en un recipiente (métodos del headspace). En este tipo de metodología se realiza el análisis del espacio de cabeza de la solución empleando una jeringa para recoger el vapor (que contiene los volátiles) liberado al espacio de cabeza, que se puede inyectar directamente en el cromatógrafo de gases. Este tipo de metodología, denominado espacio de cabeza estático (static headspace) adolece en general de una falta de sensibilidad para muchos de los compuestos que se encuentran en concentraciones muy bajas en el vino. Otra opción, es el empleo de una corriente de gas inerte que realiza un barrido de la solución arrastrando los volátiles contenidos en la misma hacia trampas constituidas por distintos tipos de polímeros, que posteriormente son desorbidos en inyectores de desorción térmica. A este tipo de extracción se la denomina espacio de cabeza dinámico (dynamic headspace). Una variante automatizada de este tipo de sistemas lo constituyen la técnica de aislamiento denominada Purge & Trap. En los años 90 se introduce en los laboratorios analíticos por primera vez la microextracción en fase sólida (SPME) (**17**), en la que una fibra muy fina recubierta por un polímero adsorbente/absorbente puede ser introducida en el espacio de cabeza del vial (HS-SPME) (**Figura 3**), o bien directamente en la solución de interés (DI-SPME), lo que permite el aislamiento y extracción de los compuestos odorantes que presenten afinidad por el polímero de la fibra en una única etapa. Transcurrido el tiempo de adsorción adecuado, la fibra puede desorberse directamente en el cromatógrafo de gases.

Desde su introducción en los laboratorios analíticos, esta técnica se ha venido empleando de manera casi rutinaria para el análisis de compuestos del aroma del vino, y además, debido al gran número de recubrimientos poliméricos existentes en el mercado, la selectividad de la SPME para la caracterización de compuestos volátiles del vino ha aumentado considerable (**18-20**). La posibilidad de automatización de la técnica, hace que en la actualidad sea uno de los métodos más empleados para el análisis del aroma de los vinos. Más recientemente la técnica SBSE (sir bar sorptive extraction) ha sido también empleada para caracterizar el perfil aromático de distintos tipos de vinos (**21**). En este caso la extracción de los volátiles se produce en una barrita imantada recubierta por una fase polimérica (polidimetilsiloxano) de un grosor mayor del de las fibras de SPME, y que por tanto proporciona mayor capacidad de adsorción.

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es

Los volátiles adsorbidos al recubrimiento polimérico son posteriormente desorbidos directamente en el cromatógrafo de gases gracias a dispositivos de desorción térmica acoplados a trampas adsorbentes o criogénicas para mejorar la resolución de los picos cromatográficos.

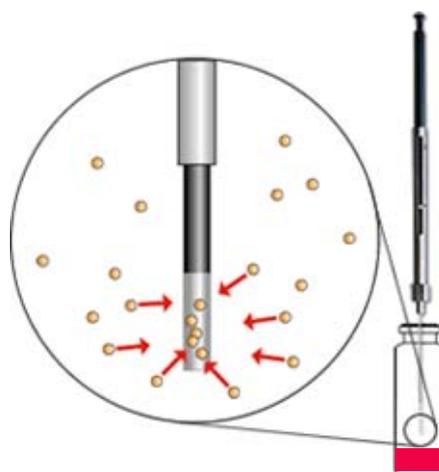


Figura 3. Principio de la técnica de microextracción en fase sólida (SPME)

Además de las mejoras introducidas en las técnicas de preparación de muestra que permiten la extracción y concentración de los compuestos volátiles presentes en el vino de manera rápida y sensible, los nuevos desarrollos en las técnicas de separación y detección de compuestos volátiles están permitiendo mejores separaciones e identificaciones más precisas y menos ambiguas. En este sentido la cromatografía bidimensional (GC x GC), emplea dos columnas ortogonales que crean un plano bidimensional para la separación de mezclas complejas basadas en la volatilidad y polaridad de los analitos (22). La rapidez en la elución y la elevada resolución de los picos cromatográficos derivadas del empleo de estas técnicas requiere de detectores que permitan escanear de manera muy rápida y sensible, como los espectrómetros de tiempo de vuelo (TOF-MS).

Gracias a la aportación de las técnicas analíticas anteriormente mencionadas, se han podido identificar más de 800 compuestos volátiles en el vino (23). Sin embargo, hoy en día sabemos que no todos ellos van a tener una importancia sensorial para el aroma del vino. Para conocer el impacto de un determinado compuesto en el aroma es necesario realizar un análisis por cromatografía de gases-olfactometría. En este tipo de

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es

análisis los compuestos separados que eluyen de la columna cromatográfica son sensorialmente evaluados por una persona (sniffer), empleando la nariz como un auténtico detector analítico, que es mucho más sensible que cualquier detector analítico conocido. Desde la primera aplicación de la GC-O, muchas metodologías basadas en esta técnica se han desarrollado. En la mayoría de ellas el extracto a evaluar se diluye varias veces hasta la desaparición completa del estímulo odorante. De esta forma se puede calcular el factor de dilución (FD), que corresponde con la mayor dilución a la que el compuesto odorante puede ser aún percibido. Cuanto mayor es el FD, mayor será la importancia sensorial de ese compuesto. La mayoría de los métodos proporcionan una información cualitativa, que permite asignar a un determinado pico cromatográfico (compuesto químico) un determinado olor conocido, que debe coincidir con un determinado descriptor sensorial. A partir del análisis GC-O se puede obtener el denominado valor de actividad de aroma (OAV), que es el ratio entre la concentración de un compuesto en el vino y su umbral de detección. Generalmente se considera que compuestos con $OAV > 1$ tienen impacto sensorial, tanto mayor cuanto mayor sea este valor. Otras metodologías basadas en GC-O permiten además evaluar la intensidad del estímulo odorante.

A pesar de la indudable utilidad de este tipo de metodología para jerarquizar la importancia odorante de los compuestos volátiles identificados en los vinos, es importante tener en cuenta que la percepción del aroma de un vino es un proceso integrativo en el que todos los compuestos presentes interaccionan para producir una determinada sensación. En cambio en el GC-O los compuestos son primeramente separados y la calidad odorante de cada uno de ellos es evaluada de manera independiente. Por otro lado, se ha demostrado que el tipo de olor asociado a un determinado compuesto puede cambiar con los cambios en su concentración, o debido a fenómenos de sinergismo o antagonismo con otros compuestos presentes en la mezcla (7). Esta podríamos decir que es la principal crítica que se puede hacer a este tipo de metodología, y que ha hecho necesario la introducción de una nueva aproximación experimental que son los ensayos de omisión y reconstitución. En este tipo de test, los compuestos seleccionados por GC-O que pueden tener importancia odorante se mezclan en la misma concentración determinada en el vino original en una matriz similar a la de partida. Las mezclas reconstituidas son entonces evaluadas sensorialmente por análisis descriptivo y la mezcla recombinante se compara con el vino original. Además, en sucesivos tests, diferentes compuestos de la mezcla original se van eliminando y se realizan nuevas comparaciones con el perfil sensorial original de partida. De esta manera se puede comprobar qué compuestos de la mezcla son los más importantes para explicar el aroma de un determinado vino.

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es

Además de identificar, cuantificar y evaluar la importancia odorante de un determinado compuesto, para entender como percibimos el aroma de un vino, es importante tener en cuenta otros factores que a menudo han recibido menor atención, pero que hoy en día son claramente reconocidos por parte de la mayoría de químicos del aroma como imprescindibles para entender el proceso de la percepción. En este sentido, es importante tener en cuenta las interacciones que ocurren entre las propias moléculas odorantes, que pueden modificar en gran medida el aroma asociado a una determinada molécula. Por ejemplo se ha comprobado, que las notas aromáticas de "vegetal" o "pimiento verde" muy típicas de la variedad Cabernet, pueden enmascarar la presencia de aromas frutales.

También es muy importante tener en cuenta las interacciones que se pueden producir entre las distintas modalidades sensoriales, ya que el proceso de percepción de una aroma es en realidad, la integración de la percepción simultánea de las distintas modalidades sensoriales. Aquí, no solamente se incluye el olor y el sabor, sino otras modalidades sensoriales como la como la quimiostasis y la sensación táctil en la boca (mouthfeel). Sin duda, la interacción entre olor y sabor es de las más conocidas, por ejemplo muchos de los aromas asociados a frutas (melocotón, fresa, etc) se perciben más intensos cuando aumenta el contenido de azúcar de una solución (24). También es importante considerar las interacciones que se pueden producir entre las moléculas del aroma del vino y los componentes de la matriz no volátil del mismo (glicoproteínas, polifenoles, péptidos, etc), que van a modificar la solubilidad y por tanto la volatilidad de los compuestos odorantes, produciendo cambios en su liberación de la matriz y en la percepción del aroma, tanto cuantitativos, en la intensidad percibida, como cualitativos, ya que podrían modificar el perfil aromático percibido (25). Mucha de la investigación actual en el aroma del vino, va dirigida a elucidar el efecto de estas interacciones en la percepción del aroma de los vinos, que nos permitirá comprender como se produce el proceso de percepción y de esta manera poder dirigir el máximo esfuerzo y orientar la producción para obtener vinos con características aromáticas específicas.

En conclusión, la labor de descifrar las claves químicas que se esconden en el aroma de los vinos, es ardua, apasionante e inacabada, e implica un trabajo multidisciplinar en el que enólogos, químicos del aroma, biólogos moleculares y fisiólogos, deberán trabajar conjuntamente para explicar los factores responsables de la percepción del aroma del vino, y podamos elaborar vinos con características aromáticas específicas que satisfagan las demandas de los consumidores.

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es

En el grupo de **Biología Enológica Aplicada del Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación (CIAL) del CSIC-UAM**, se proporciona apoyo tecnológico a la industria enológica, y se realiza investigación básica y aplicada en distintos aspectos relacionados con la química del aroma del vino, prestando especial atención a la caracterización del perfil aromático de variedades de uvas autóctonas de distintas zonas geográficas españolas, al impacto de nuevas prácticas vitícolas y enológicas en el aroma de los vinos, al estudio del papel de las levaduras y bacterias lácticas en el perfil volátil y sensorial del vino, en el impacto de los componentes de la matriz vínica en la liberación del aroma, así como en el aprovechamiento de subproductos enológicos para la obtención de extractos enriquecidos en compuestos aromáticos.

REFERENCIAS

1. Buck, L.; Axel, R. (1991). A novel multigene family may encode odorant receptors: a molecular basis for recognition. *Cell*, 65, 175-187.
2. Amer-Maistriau, E. (2005). La percepción y el reconocimiento de los aromas. *PERCEPNET*. (www.percepnet.com)
3. Bayonove C. (1998). L'arôme varietal: le potentiel aromatique du raisin. En: C. Flanzly (Ed.), *Œnologie: fondements scientifiques et technologiques* (pp.165-181). Paris : Lavoisier Tec et Doc.
4. Baumes, R. (2009). Wine aroma precursors. En: Moreno-Arribas, M.V. Polo C. (Ed) *Wine Chemistry and Biochemistry*, New York: Springer, pp261-274
5. Ugliano, M. (2009). Enzymes in winemaking. En: Moreno-Arribas, M.V. Polo C. (Ed) *Wine Chemistry and Biochemistry*, New York: Springer, pp103-126
6. Tominaga, T., Peyrot, C., Dubourdieu, D. (1998). A new type of flavor precursors in *Vitis vinifera* L. Cv. Sauvignon blanc:S-cysteine conjugates. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 46, 5215-5219.
7. Ferreira V. & Cacho J. Identification of impact odorant in wine (2009). En: Moreno-Arribas, M.V. Polo C. (Ed) *Wine Chemistry and Biochemistry*, New York: Springer, pp 393-415.
8. Muñoz-González, C., Moreno-Arribas, M.V., Martín-Álvarez, P.J., Bartra-Sebastian E., Puig-Pujol, A., García-Cazorla, J., Pozo-Bayón, M.A. (2010) Volatile and Sensory Characterization of Xarel.lo White Wines. *Flavor and Fragrance Journal* (accepted).
9. Francis I.L. and Newton J.L. (2005). Determining wine aroma from compositional data. *Australian Journal of Wine and Grape Research*, 11, 114-126.

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es



10. Bosch-Fuste, J., Riu-Aumatell, M., Guadayol, J. M., Calxach, J., Lopez-Tamames, E., Buxaderas, S. (2007). Volatile profiles of sparkling wines obtained by three extraction methods and gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) analysis. *Food Chemistry*, 105, 428-435.
11. Pozo-Bayón, M.A., Martínez-Rodríguez, A., Pueyo E., Moreno-Arribas MV. Chemical and biochemical features involved in sparkling wine production: from a traditional to an improved winemaking technology (2009), *Trends in Food Science and Technology* 20, 289-299.
12. Skouroumounis G.K. & Sefton, M.A. (2000) Acid-Catalyzed Hydrolysis of Alcohols and Their α -D-Glucopyranosides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 2033-2039.
13. Pérez-Coello, M.S., Sanz, J., Cabezado, M.D. (1999). Determination of volatile compounds in hydroalcoholic extracts of French and American oak wood. *American Journal of Enology and Viticulture*, 50, 162-165.
14. Fernández de Simón, B., Cadahía, E., & Jalocho, J. (2003). Volatile compounds in a Spanish red wine aged in barrels made of Spanish, French and American oak wood. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 51, 7671-7678.
15. Pérez-Coello, M.S. & Díaz-Maroto, C. (2009). Volatile compounds and Wine aging. En: *Wine Chemistry and Biochemistry*. Moreno-Arribas, M.V. Polo C. (Ed), New York: Springer, pp 295-311.
16. Moyano, L., Zea, L., Moreno, J., Medina, M. (2010). Evaluation of the active odorants in Amontillado Sherry wines during the aging process. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 58, 6900-6904.
17. Pawliszyn, J. (1997). *Solid Phase Microextraction: Theory and Practice*, VCH, New York.
18. Pozo-Bayón, M.A., Pueyo E., Martín-Álvarez, P.J., Polo, M.C. (2001). Study of the polydimethylsiloxane-solid-phase-microextraction-gas chromatography method for the analysis of volatile compounds in wines. Its application to the characterization of varietal wines. *Journal of Chromatography A*, 922, 267-275
19. Andujar-Ortíz, I., Moreno-Arribas MV, Martín-Álvarez, P.J, Pozo-Bayón, M.A. (2009). Analytical performance of three commonly used extraction methods for the gas-chromatography-mass spectrometry analysis of wine volatile compounds. *Journal Chromatography A*, 1216, 7351-7357.
20. Hartmon, A. (2002) Solid Phase Microextraction for the analysis of aromas and flavors. En: *Flavor, Fragrance and Odor Analysis*. Marsilli R. (Ed), Maecel Dekker Inc., Switzerland.
21. Zalacaín, A., Marín, J., Alonso, G.L Salinas M.R. (2007). Analysis of wine primary aroma compounds by stir bar sorptive extraction. *Talanta* 71 1610–1615
22. Rocha S. M., Coelho E, Zrostlikova J., Delgadillo I, Coimbra M. A. (2007). Comprehensive two-dimensional gas chromatography with time-of-flight mass spectrometry of monoterpenoids as a powerful tool for grape origin traceability. *Journal of Chromatography A*, 1161 292–299

23. Polaskova, P., Hersxage, J., Ebeler, S.E. (2008) Wine Flavor: chemistry in a glass. *Chemical Society Reviews*, 37, 2478-2489.
24. Noble A.C. (1997). Taste-aroma interactions. *Trends in Food science & Technology*, 7, 439-444.
25. Pozo-Bayón M.A. & Reineccius, G.A. Interactions between wine matrix macro-components and aroma compounds. En: *Wine Chemistry and Biochemistry*. Moreno-Arribas, M.V. Polo C. (Ed), New York: Springer, pp 417-435.

Texto publicado en la página web www.quimica2011.es

