

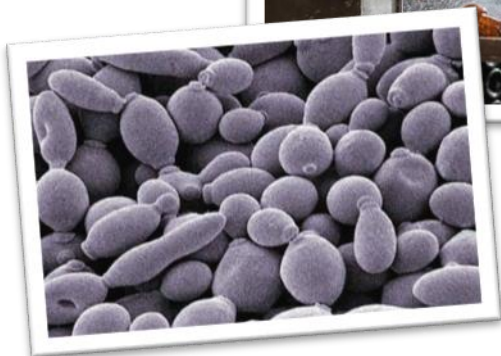
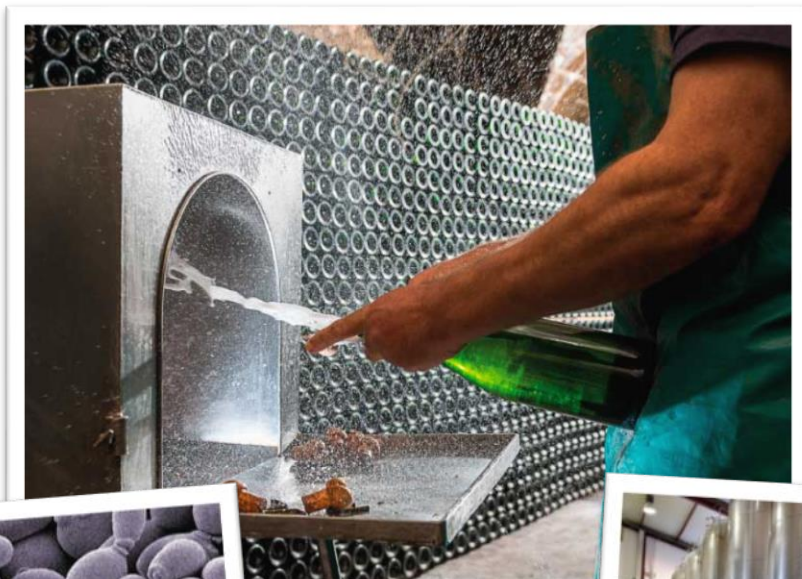


UNIVERSIDAD DE SEVILLA

FACULTAD DE FARMACIA



PRODUCCIÓN, TENDENCIAS DE CONSUMO
Y NUEVAS TÉCNICAS EN LA ELABORACIÓN DE
VINOS ESPUMOSOS



PEDRO PÉREZ CASTRO



FACULTAD DE FARMACIA

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN FARMACIA

**PRODUCCIÓN, TENDENCIAS DE CONSUMO
Y NUEVAS TÉCNICAS DE ELABORACIÓN DE
VINOS ESPUMOSOS**

PEDRO PÉREZ CASTRO

SEVILLA, JULIO 2020

**DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y BROMATOLOGÍA,
TOXICOLOGÍA Y MEDICINA LEGAL**

TUTORAS

CRISTINA ÚBEDA AGUILERA

M^a LOURDES MORALES GÓMEZ

TFG DE CARÁCTER BIBLIOGRÁFICO

RESUMEN

El presente trabajo consiste en una revisión bibliográfica sobre las distintas técnicas de producción y elaboración de los vinos espumosos así como de sus variedades y tendencias de consumo. Los principales métodos de producción son conocidos desde antaño. Los vinos espumosos de mayor calidad siguen elaborándose por el método tradicional. Todos los pasos de este método son importantes, aunque tiene especial relevancia la autólisis de levaduras y su aplicación en la elaboración de estos vinos. *Saccharomyces cerevisiae* sigue siendo la principal levadura utilizada, sin embargo, las llamadas *no-saccharomyces* también desempeñan un papel importante en la iniciación de reacciones de la fermentación alcohólica. Expertos enólogos han llevado a cabo un estudio constante para conocer cuáles son los distintos condicionantes que afectan a los parámetros de calidad de esta bebida, como son la espuma, el color, el aroma. Así, se ha estudiado el efecto de las manoproteínas o el tipo de cepa de levadura, las cuales dan el sello de calidad y originalidad propia a los distintos vinos espumosos. La persistencia y estabilidad de la espuma, y el tamaño de las burbujas sigue siendo el principal parámetro de calidad de un vino espumoso.

Debido a todo ello, la producción de los vinos espumosos ha crecido exponencialmente en estos últimos años y se ha conseguido ampliar mucho más su mercado. Esto es debido principalmente a un mayor consumo regular de esta bebida, no solo asociado a fiestas y celebraciones. Aunque Francia e Italia siguen siendo los principales países productores, nuevos países están aumentando su producción en el sector de los vinos espumosos y consiguiendo vinos con denominaciones de origen propias. Esta tendencia actual ha tenido como consecuencia la búsqueda de innovaciones que ayuden a mejorar el rendimiento y eficiencia de la producción. En este apartado del trabajo nos centraremos principalmente en las innovaciones en el uso de cepas de levaduras distintas a las del género *Saccharomyces*; innovaciones en el uso de variedades de uvas distintas a las tradicionales; innovaciones en los procesos de producción con en el uso de levaduras inmovilizadas y el uso de levaduras secas e inactivadas.

Palabras claves: sparkling wine, grapes varieties, production methods, sparkling wine quality (foam, color, volatile compounds), yeast autolysis.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. OBJETIVOS.....	6
3. METODOLOGÍA.....	6
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
4.1. Los vinos espumosos.....	7
4.2. Producción de los vinos espumosos.....	8
4.2.1. Obtención del vino base.....	8
4.2.2. Tiraje y segunda fermentación.....	10
4.2.3. Autólisis de levaduras.....	12
4.2.4. Crianza sobre lías.....	15
4.2.5. El removido y degüelle.....	15
4.2.6. Adición del licor de expedición y cierre definitivo de botellas.....	16
4.3. Tipos y categorías de vinos espumosos.....	17
4.4. Calidad de los vinos espumosos.....	18
4.4.1. La espuma.....	18
4.4.2. El color.....	20
4.4.3. El aroma.....	20
4.4.4. Efecto de las manoproteínas en la calidad de los espumosos.....	21
4.5. Denominaciones de origen de vinos espumosos.....	22
4.6. Producción y consumo a nivel europeo y mundial.....	23
4.7. Actualidad e innovaciones en los vinos espumosos.....	25
4.7.1. Innovaciones en el uso de levaduras.....	25
4.7.2. Innovaciones por uso de cepas de uva no tradicionales.....	26
4.7.3. Innovaciones en el proceso de producción.....	27
5. CONCLUSIONES.....	29
6. BIBLIOGRAFÍA.....	30

1. INTRODUCCIÓN

Desde su descubrimiento hasta hoy día, los procedimientos y técnicas para obtener vino espumoso han ido mejorando y evolucionando constantemente. Este tipo de vino surgió a raíz de las fermentaciones alcohólicas espontáneas que tenían lugar en los vinos tranquilos. En esta fermentación, las levaduras producen varios compuestos, mayoritariamente etanol y dióxido de carbono, y al encontrarse en recipientes abiertos, este último es liberado a la atmósfera, y por ello, estos vinos tranquilos tienen cantidades insignificantes de CO₂. Sin embargo, si el proceso ocurre en recipientes cerrados, en botella o toneles, el dióxido de carbono no puede salir y queda disuelto en la matriz vínica, dando lugar al vino espumoso. Dentro de los vinos con CO₂ disuelto se pueden distinguir los semi-espumosos (1- 2,5 atm de presión por botella) y espumosos (3-6 atm de presión por botella).

Por tanto, los vinos espumosos son el resultado de dos fermentaciones. En la primera fermentación el mosto de la uva se convierte en el llamado “vino base”, el cual va a ser responsables en gran medida de las propiedades organolépticas del vino y que por tanto lleva consigo una gran dedicación de tiempo y recursos. A continuación, a este vino base se le agrega azúcar y levaduras y se cierra el depósito donde vaya a tener lugar la segunda fermentación, quedando retenido el dióxido de carbono en el vino. Finalmente, terminada la fermentación, el vino puede tener un periodo de crianza de varios meses. Este envejecimiento es muy importante, ya que ocurre la autólisis de las levaduras, la cual aporta compuestos como proteínas, carbohidratos, aminoácidos y lípidos, entre otros, que aumentan la complejidad aromática y el cuerpo del vino entre otros.

La mayoría de los artículos científicos e información en cuanto a estos vinos espumosos se basan en la innovación en el proceso e importancia de las distintas cepas de levaduras y su aplicación industrial en la producción de estos vinos. La mayoría de estas cepas de levaduras utilizadas pertenecen a la especie *Saccharomyces*. Es importante señalar que la segunda fermentación tiene lugar en un ambiente hostil, principalmente debido al elevado contenido en etanol, pH bajo y presión inducida por el dióxido de carbono, es por esto que las levaduras necesitan pasar por un proceso de aclimatado antes de ser introducidas en el depósito donde van a fermentar el vino base (Garofalo et al., 2016).

El mercado de los vinos espumosos ha crecido a un ritmo rápido en los últimos años debido a un consumo regular y estable durante el año, y no sólo asociado a fiestas y celebraciones. En 2018, el volumen de las exportaciones mundiales fue de 8,9 millones de hectolitros, lo que representa el 9% del vino total exportado en todo el mundo. Desde 2009 el crecimiento es aún más sustancial, con un promedio de un +8% cada año. Mientras los vinos tranquilos aumentaron su producción un 7% en los últimos diez años, los vinos espumosos han aumentado su producción un 40% en este mismo periodo de tiempo (OIV, 2020).

Debido a ello, hay numerosos estudios centrados en modernas innovaciones biotecnológicas para mejorar las cualidades del vino y simplificar el proceso; reduciendo costes y mejorando la conservación de las características típicas del producto, además de satisfacer las necesidades de los consumidores más selectivos. Entre las innovaciones en la producción de este vino se encuentran el uso de nuevas cepas de levaduras, de variedades de uva diferentes a las tradicionalmente usadas y el empleo de derivados de levaduras secas inactivadas e inmovilizadas (Torresi et al., 2011).

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo ha sido conocer el grado de innovación en el sector de elaboración de los vinos espumosos. Para la consecución del mismo se han planteado los siguientes objetivos particulares:

- Conocer los métodos tradicionales de elaboración de los vinos espumosos.
- Conocer los parámetros que marcan la calidad de los vinos espumosos.
- Evaluar la tendencia actual de consumo y producción de los vinos espumosos y su influencia en el mercado del vino.
- Investigar sobre qué nuevas técnicas se están desarrollando y aplicando en la producción de vinos espumosos.

3. METODOLOGÍA

La estrategia de búsqueda para este trabajo consistió tanto en la búsqueda de artículos y de revisiones bibliográficas en bases de datos fiables, como en la búsqueda de información en páginas webs especializadas en la viña y el vino.

Al principio para obtener información general sobre el tema del que iba a tratar el trabajo se buscó en bases de datos tales como Science Direct, Pubmed o Google Académico, artículos sobre vinos espumosos con palabras clave como "Sparkling wine", "Grape varieties", "Production methods".

Para información general acerca de vinos espumosos y su reglamentación se sacó información del Boletín Oficial del Estado, y se consultaron Tesis Doctorales cuyo fundamento es el estudio de las características y condicionantes que afectan a los vinos espumosos.

Una vez tenida ya una visión general del trabajo, para profundizar en ciertos aspectos como la autólisis de levaduras, se utilizó palabras claves: "Yeast autolysis", "Yeast strain"; además se buscó en las bases de datos, artículos y estudios de autores concretos como Alexandre y Kemp. Para el apartado de actualidad de vinos espumosos se encontraron muchos artículos en las bases de datos, por lo que se recopiló información y se seleccionó algunas de las últimas innovaciones en los procesos de producción, y en el uso de distintas cepas de levaduras y de uvas.

A consecuencia de la emergencia sanitaria provocada por el Covid-19 no se pudo acceder a los libros de la Universidad de Sevilla, aunque se compensó esta falta de información con una profunda búsqueda de recursos de Internet en bases de datos y páginas webs destinadas al cultivo y producción del vino, como son: "Organización Internacional de la Viña y el Vino" (OIV, oiv.int), Instituto del Cava (institutdelcava.com) y Comité del Champagne (champagne.fr), entre otras.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Los vinos espumosos

Según la Orden del 27 de Julio de 1972 del B.O.E (B.O.E, 1972), por la que se reglamentan los vinos espumosos y gasificados, los vinos espumosos naturales se definen como “aquellos vinos que han sido sometidos a una segunda fermentación alcohólica en un recipiente hermético cerrado y que, tras esta, presentan gas carbónico en su interior”. Tras el descorchado de la botella, el vino presenta una espuma de sensible persistencia. Este gas debe proceder de azúcares naturales del vino, y el producto terminado debe tener una presión mínima de cuatro atmósferas medida a 20 grados.

Las variedades de uva destinadas a producir estos vinos son aquellas autorizadas por el Instituto Nacional de Denominaciones de Origen, y otras propuestas por el Consejo Regulador de los Vinos Espumosos. Las técnicas de cultivo y tratamiento de la vid son importantes para mejorar la calidad de estos vinos, y además se adaptarán según las condiciones climáticas de la zona de producción (B.O.E., 1972).

No sólo es crucial el sistema de producción de la uva, sino las distintas formas de elaboración tecnológica de estos vinos. Aunque la mayoría comparten el mismo proceso de producción, ya sea la segunda fermentación en botella o en grandes envases, las mayores diferencias entre estos vinos se deben a la variedad de uva y al tiempo que se mantienen las levaduras en contacto con el vino durante el envejecimiento (Pozo-Bayón et al., 2009).

De entre los diversos atributos de un vino espumoso, la característica diferenciadora con el resto de los vinos es el contenido de CO₂ que poseen, el cual es el responsable de la presencia de burbujas y de la espuma generada. Por ello, esta efervescencia es uno de los primeros parámetros de calidad que es observado por el consumidor (Liger-Belair et al., 2012). Además, la permanencia de esta espuma en la superficie de los vinos espumosos es otro de los fundamentos de calidad de estos vinos (Vanrell, 2002).

El primer vino espumoso producido data de 1561, con origen en el monasterio de Sant-Hilaire en Langedoc, Francia. Su método de producción, que aún se practica, implicaba fermentar el vino a bajas temperaturas. Tras un cierto tiempo esta fermentación estaba parada y tras reanudarse, los restos de levaduras presentes convertían el vino tradicional en espumoso. Este vino es conocido como la variedad “Blanquette de Limoux”, que hoy día se sigue produciendo. Un siglo después, en 1662, el inglés Christopher Merret informa por primera vez sobre el método de fermentación en botella, o segunda fermentación. No obstante, en la historia del vino espumoso hay un nombre de especial importancia, y éste es el de Dom Pierre Pérignon (Figura 1). Fue un monje que residió en la abadía del monasterio de Hautvillers, en la región de Champaña-Ardenas, y estuvo encargado de las bodegas del monasterio. Tuvo un papel fundamental en el desarrollo y perfeccionamiento del método champenoise. De hecho, esto se extendió durante un tiempo, hasta que en 1695, nace el llamado vino “Champagne”, descubrimiento atribuido a este monje (Roth, 2010).



Figura 1. Ilustración de Don Pierre Perignon. Fuente: Vizetelly, 1882.

La denominación de origen española, conocida como “Cava”, en la región del Penedés (Barcelona), empezó la comercialización de su vino espumoso en 1872 bajo la Casa Condal de Barcelona. A partir del siglo XX, el Cava se consolida como uno de los grandes vinos espumosos del mundo y aumenta mucho su mercado (Instituto del Cava, 2019).

4.2. Producción de los vinos espumosos

En la elaboración de un vino espumoso se desarrollan diferentes fases o etapas, comenzando con la vendimia y finalizando con la comercialización de producto. Cada una de ellas puede incidir en mayor o menor grado en la calidad del producto.

4.2.1. Obtención del vino base

La obtención del vino base comienza con la recolección de las uvas destinadas a la elaboración de vino espumoso. Ésta se hace en una temprana etapa de maduración de la uva para que tengan bajo contenido en azúcar y alta acidez, dando un vino base con un bajo grado de alcohol, entre 9,5-11,5 grados alcohólicos. Además así las características propias de las uvas se ven atenuadas favoreciendo la expresión de aromas y sabores que se verán más adelante. Asimismo este bajo grado alcohólico tiene en cuenta que la segunda fermentación producirá algo de alcohol, elevándolo aún más (Kemp et al., 2015).

Un factor importante en la obtención del vino base que incide sobre la calidad del producto final, como veremos posteriormente, es la variedad de uva empleada.

Así, las variedades de uva autorizadas por el Consejo Regulador del Cava para su elaboración son: Viura (también conocida como Macabeo), Xarel.lo, Parellada, Malvasía y Chardonnay en blancas; y Garnacha, Monastrell y Pinot Noir en tintas. Las variedades de uva más utilizadas para la producción del Cava son Macabeo, Xarel. Lo y Parellada. Sin embargo, cada vez más son las bodegas que están elaborando vinos espumosos siguiendo el método tradicional, usando otras variedades de uvas, con el fin de ampliar nuevos mercados (Consejo Regulador del Cava, 2013). Véanse las distintas variedades de uva en la Figura 2.

Las variedades de uvas más utilizadas actualmente en el vino Champagne son la Pinot noir (uva negra), la Muenier (uva negra) y la Chardonnay (uva blanca). La Arbane, la Petit meslier, la Pinot blanc y la Pinot gris (todas de uvas blancas), también autorizados, ocupan menos de un 0,3% del viñedo (Comité Champagne, 2019).

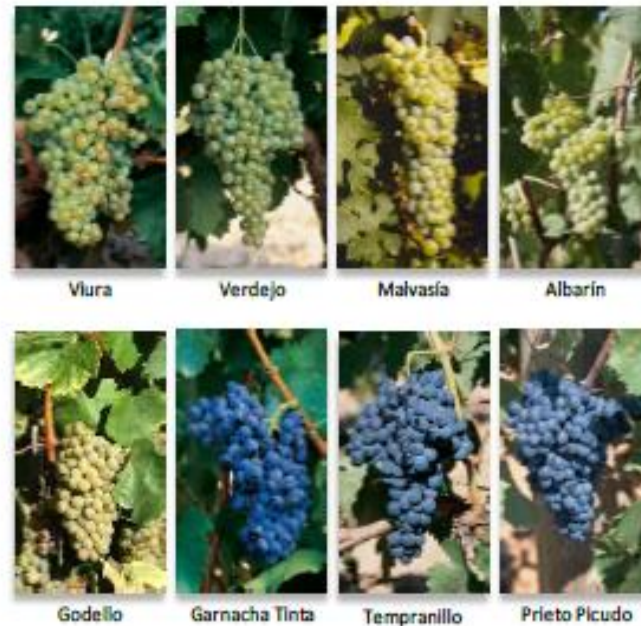


Figura 2. Variedades de uva para vinos espumosos. Fuente: Martínez-Lapuente, 2015.

Tras la vendimia, se obtiene el mosto mediante el prensado de la uva. A los mostos se les añade normalmente SO_2 , para evitar oxidaciones y otros procesos espontáneos, que puedan provocar defectos en el vino base resultante.

A continuación, tiene lugar la primera fermentación alcohólica, la cual es común a la producción de todo tipo de bebidas alcohólicas. En esta fermentación, el azúcar del mosto es convertido por las levaduras de la uva en etanol y CO_2 (Figura 3) (Roth, 2010).

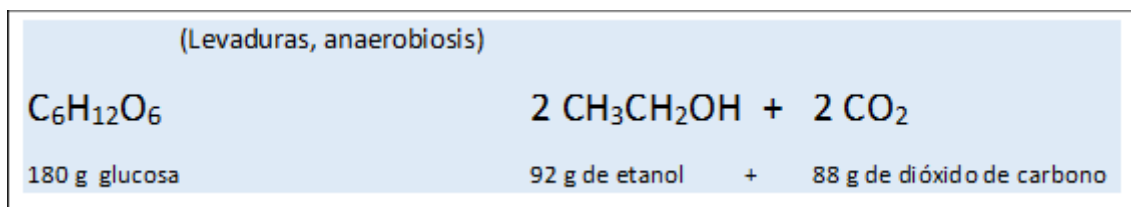


Figura 3. Reacción de primera fermentación mediada por enzimas. Adaptación de Roth, 2010.

Al vino producto de la primera fermentación se denomina vino base. La mayoría de vinos bases se obtienen mezclando distintos tipos de vinos, con diferentes características, en un proceso llamado “ensamblaje”, el cual es llevado a cabo por expertos enólogos para conseguir calidad y

uniformidad en los vinos. Este vino inicial debe de cumplir una serie de características. Véase en la Tabla 1 (B.O.E., 1972). Los vinos bases antes del tiraje deberán estar perfectamente limpios y estabilizados frente a precipitaciones tartáricas y proteicas, por lo que son sometidos a procesos de filtración y clarificación, donde se eliminará el aspecto turbio provocado por la presencia de artículos en suspensión (Kemp et al., 2015).

Graduación alcohólica (OIV)	9,5-11,5 grados alcohólicos.
Acidez de titulación (en H ₂ SO ₄)	3,5-6 g/L
Extracto seco no reductor	12,5-20 g/L
Acidez volátil (en ácido acético) inferior a	0,7 g/L
SO ₂ total, inferior a	20 mg/L

Tabla 1. Características vino Base. Tabla Adaptada de B.O.E., 1972.

4.2.2. Tiraje y segunda fermentación

El tiraje consiste en el embotellado del vino base junto al licor de “tiraje”, el cual es esencial, tanto para las características organolépticas del vino, como para que se produzca adecuadamente la segunda fermentación, que dará lugar a la efervescencia del vino. El licor de tiraje contiene principalmente sacarosa (20-25 g) y levaduras que se añaden a este vino base. En otras ocasiones también se le añaden otros componentes, como la bentonita, que es una arcilla que ayudará a retirar las lías de levaduras en etapas posteriores. Este azúcar y levaduras añadidas al vino base serán los responsables de que tenga lugar la segunda fermentación y de producir el carbónico característico de esta bebida (Garofalo et al., 2016).

El recipiente donde se lleva a cabo la segunda fermentación es la principal diferencia entre los distintos métodos de producción, y en función de esto el tiraje será diferente. De esta manera, se pueden distinguir dos métodos de elaboración principales. El primero de ellos es el método tradicional o “*Champenoise*”, donde la segunda fermentación ocurre en la botella y por tanto, es ahí donde se añade el licor de tiraje. Estas botellas se cierran herméticamente con una tapa corona, la cual tienen debajo un artilugio, llamado “bidule”, que es un cilindro de plástico donde se acumulan las lías de las levaduras (Hidalgo, 2011).

El segundo es el método Charmat, donde la segunda fermentación ocurre en tanques sellados herméticamente, a los que se les adicionaría el licor de tiraje, para su posterior embotellado. Estos tanques normalmente están bien reforzados para aguantar la presión que se dará en su interior, tras el dióxido de carbono liberado en esta segunda fermentación (Garofalo et al., 2016).

El empleo de uno u otro método de ejecución de la segunda fermentación dotará al vino de unas cualidades organolépticas características del método empleado (Ubeda et al., 2015; Vecchio et al., 2019).

En el caso del método tradicional, el cual suele estar relacionado con la obtención de vinos de más alta gama, tras la segunda fermentación las botellas se apilan horizontalmente (conocido como “crianza en rima”) en salas especiales de envejecimiento (a una temperatura de 10-15

grados) tumbadas sobre sus barrigas (Figura 4), ya que esta posición promueve un eficiente contacto entre el vino y el sedimento de levaduras (Hidalgo, 2011).



Figura 4. Crianza en rima. Fuente: Misumiller.

Tras la adición del licor de tiraje, tendrá lugar la segunda fermentación, que dará lugar a la liberación de CO₂, el cual al mantenerlo en contacto con el vino y cerrado herméticamente, se disolverá en el líquido, dando lugar a las burbujas.

La eficiencia de esta segunda fermentación depende de varios factores (Bidan et al., 1986):

- especie o cepa de levadura (Kemp et al., 2015).
- la temperatura, normalmente a 10-15 °C, y la presión de CO₂, unas 6 atmósferas (Borrull et al., 2015).
- la composición química del vino base (Bidan et al., 1986).

Normalmente esta segunda fermentación dura entre 15-45 días, y la presión de las botellas puede monitorizarse usando un afrómetro (aparato de medida de presión en botellas) (Garofalo et al., 2016).

Las levaduras añadidas para realizar la segunda fermentación tienen que presentar las siguientes cualidades:

- Tener alta resistencia al etanol (10-12% v/v) (Kemp et al., 2015).
- Mostrar actividad de fermentación incluso a bajas temperaturas, en ocasiones inferiores a 12°C (Borrull et al., 2015).
- Ser resistente a la presión del dióxido de carbono (Bidan et al., 1986).
- Poder flocular, ya que esto permite la posterior eliminación de las lías (Carrascosa et al., 2011).
- No producir aromas desagradables (Charpentier et al., 1993).

La capacidad autolítica y espumante de la levadura es normalmente una herramienta valiosa a la hora de la selección de la cepa a emplear (Martínez-Rodríguez et al., 2001).

4.2.3. Autólisis de levaduras

Esta segunda fermentación es seguida por un periodo más o menos prolongado de contacto con células de levaduras (lías), normalmente de la especie *Saccharomyces cerevisiae*. Las levaduras comerciales que realizan la primera y la segunda fermentación alcohólica son diferentes (Martínez-Rodríguez et al. 2001). Para la primera fermentación, las levaduras son seleccionadas por su alta velocidad de fermentación y baja producción de ácidos, mientras que las levaduras para la segunda fermentación son seleccionadas por su capacidad autolítica ó por la capacidad de crecer a bajas temperaturas y bajo presiones, en un medio que contiene al menos 10% (v/v) de etanol, y también por tener capacidad de floculación o aglutinación deseable (Alexandre, Guilloux-Benatier, 2006).

Tras 2-4 meses terminada la segunda fermentación comienza el proceso de autólisis (Todd et al., 2000). Esta autólisis se caracteriza por la hidrólisis de biopolímeros intracelulares por enzimas hidrolíticas (proteasas y gluconasas) de estas levaduras, activadas tras la muerte celular, que producen la liberación de productos procedentes del citoplasma y de la pared celular (Alexandre, Guilloux-Benatier, 2006).

Esta autólisis de levaduras tiene lugar en los siguientes pasos (Freyssinet et al., 1989):

-Inmediatamente tras la segunda fermentación alcohólica, las células de levaduras son alargadas y ovoides. Tienen una pared celular gruesa y lisa. Dentro hay una gran vacuola. La mayoría de lo liberado al comienzo de esta autólisis son aminoácidos (Figura 5A) (Morfaux, Dupuy, 1966).

-Tras 3-6 meses, la célula y las vacuolas son más pequeñas. Además, presenta una pared celular menos gruesa y rugosa, con pliegues. Empiezan a salir productos del interior de la célula, como polisacáridos, lípidos, aminoácidos, etc., debido a la hidrólisis de péptidos y proteínas, por enzimas como proteasas y gluconasas (Figura 5B).

-Entre los 9-12 meses, la célula aparece más pequeña, al igual que la vacuola. Su interior parece haber perdido mucho contenido citoplasmático, y una pared celular llena de crestas y pliegues. Se liberan al exterior polisacáridos, proteínas y ribonucleótidos (Figura 5C).

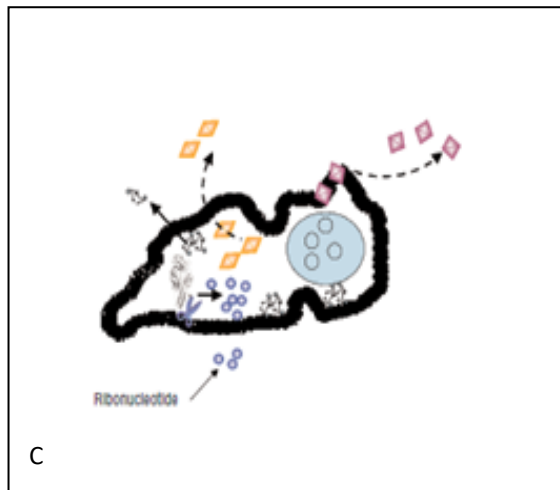
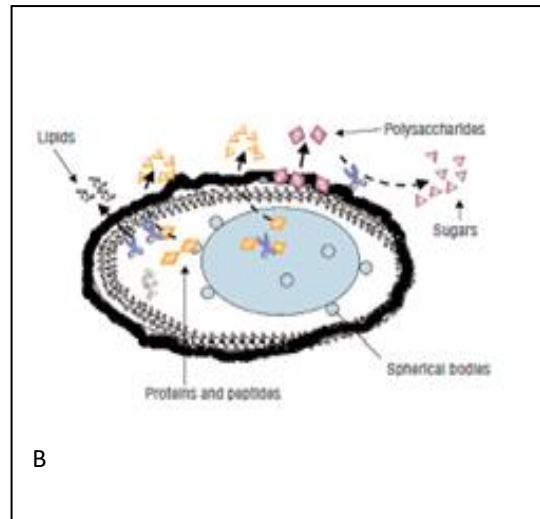
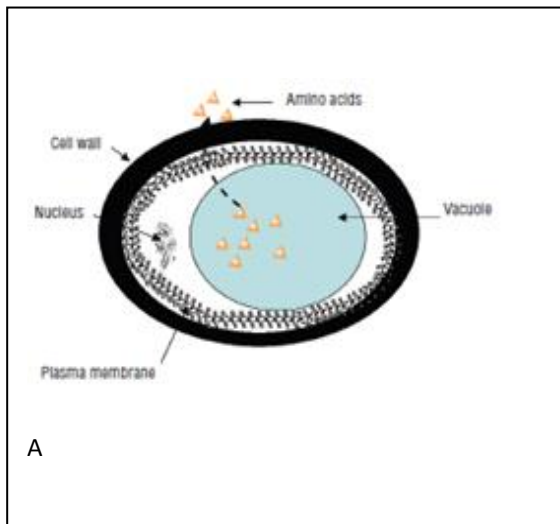


Figura 5. Autólisis de levaduras. Fuente: Alexandre, Guilloux-Benatier, 2006.

Estos compuestos liberados al vino durante la autólisis de las levaduras le aportan diferentes propiedades, las cuales influyen en gran medida en las características sensoriales del mismo (Alexandre, Guilloux-Benatier, 2006). Influyen en las cualidades de la espuma, el aroma, y en la percepción gustativa (Tabla 2).

Origen	Tipo de componentes	Potencial impacto en el vino espumoso	Otros datos
Contenido celular	Nucleósidos Nucleótidos	Agente aromatizante	Más del 95% del ácido nucleico es ARN. Este ARN es la llave para la reacción de autólisis de levaduras.
Contenido celular	Aminoácidos Péptidos Proteínas	Aromas precursores Espuma de calidad Sabores dulce y amargo	Los péptidos aportan propiedades tensioactivas al vino.
Contenido celular	Lípidos	Espuma de calidad Gran componente de sabores	Se ha encontrado que los ácidos grasos libres como C8, C10 y C12 influyen negativamente en la calidad de la espuma; mientras que los ésteres etílicos, ácido hexanoico, octanoico y decanoico influyen positivamente.
Pared celular	Glucanos	Espuma de calidad	
Pared celular	Manoproteínas	Estabilidad y propiedades organolépticas del vino espumoso	Las manoproteínas contribuyen a la sensación en la boca del vino. También influyen en la intensidad y persistencia del aroma del vino.

Tabla 2. Compuestos liberados durante la autólisis de levadura. Adaptación de Alexandre, Guilloux-Benatier, 2006.

4.2.4. Crianza sobre lías

La duración de la crianza del vino en contacto con las lías de las levaduras es un paso muy importante para el desarrollo de los vinos. Además, su duración está regulada por la legislación de cada país, en general por las Denominaciones de Origen.

Dependiendo del estilo de vino que el enólogo quiera conseguir puede hacer una crianza corta (menos de 9 meses) hasta larga (36 o 48 meses) (Hidalgo, 2011).

Una crianza prolongada es esencial para mejorar y desarrollar las propiedades organolépticas del vino espumoso, así como la redondez, complejidad, sabor y la espumabilidad (Lombardi et al., 2015).

Como se mencionó anteriormente, durante la crianza, las características de los vinos espumosos cambian debido al proceso de autólysis de las levaduras (Nunez et al., 2005). Las proteínas que se liberan muestran un efecto positivo en la estabilidad de la espuma, mientras los polisacáridos mejoran la estabilidad del vino (Luguera et al., 1998).

4.2.5. El removido y degüelle

Una vez terminada la crianza se procede al removido. Esta técnica consiste en desplazar los sedimentos (restos de levaduras) causados por la segunda fermentación hasta el cuello de la botella. Se puede realizar de dos formas:

El removido manual, donde se colocan las botellas en posición inclinada en los llamados “pupitres”, donde a diario y manualmente se les da una vuelta vibratoria cambiando la inclinación de las botellas (Figura 5). Este proceso dura unas 2- 3 semanas. La otra forma es el removido mecánico que se lleva a cabo con los giropalets (Figura 6). En 24-48 h realiza este proceso, siendo mucho más rápido que el anterior. Además, es más barato, y se necesita menos espacio. Con el removido lo que se busca conseguir es que las lías (restos de levaduras muertas) se concentren en la embocadura de la botella para su posterior eliminación quedando un vino completamente limpio (Instituto del Cava, 2019).

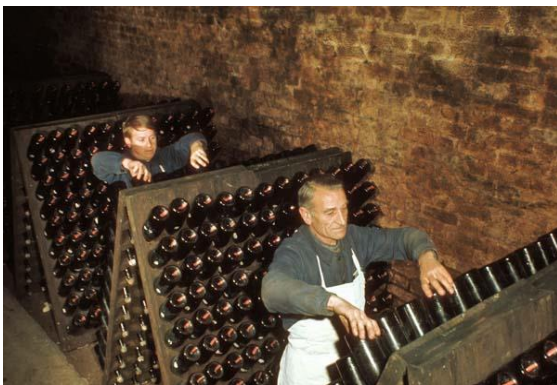


Figura 6. Removido manual. Fuente: Á la volé.



Figura 7. Removido mecánico. Fuente: Á la volé.

Entonces tras este proceso de removido, las lías de las levaduras se acumulan en el cuello de las botellas. Las botellas se mantienen en esta posición denominada “en punta” hasta el degüelle (Figura 7) (Hidalgo, 2011).



Figura 8. Botellas “en punta”. Fuente: Á la volé.

Los cuellos de estas botellas invertidas se sumergen en glicol a unos -25 grados bajo cero. Así el líquido más próximo en contacto con la tapa queda congelado. Las botellas se recogen y se colocan rápidamente cuello arriba, se quita la tapa de la corona y la presión expulsa el bidule (que es el plástico que tienen las tapas coronas) junto con el sedimento helado (Torresi et al., 2011). Se pierde algo de CO₂ en la descarga pero el cierre rápido con corcho tradicional evita la pérdida excesiva de CO₂. Después de cerrar la botella, el CO₂ disuelto y gaseoso recupera el equilibrio (Liger-Belair et al., 2012).

4.2.6. Adición del licor de expedición y cierre definitivo de botellas

Anterior a cerrar la botella con un corcho, el licor de expedición o “dosage” es insertado en cada botella y esto determina tanto la dulzura final como la consistencia según el estilo de cada bodega. Como licor de expedición se usan un rango de tipos de azúcares (caña de azúcar, dextrosa, azúcar de remolacha) y distintos vinos. Dependiendo de la cantidad de azúcar añadida, el vino espumante obtenido pertenecerá a una categoría concreta (Bosch-Fusté et al., 2009).

El cierre de las botellas se realiza con tapón de corcho aglomerado con dos arandelas de corcho virgen, introduciéndose parcialmente en el cuello de la botella. El corcho se sujeta por medio de un bozal o morrión de alambre, lo que le confiere la característica de champiñón. Después ya está listo para el etiquetado y posterior salida al mercado (León et al., 2015).

A continuación se muestra en la Figura 9 un esquema-resumen del proceso de elaboración de vinos espumosos por el método tradicional.

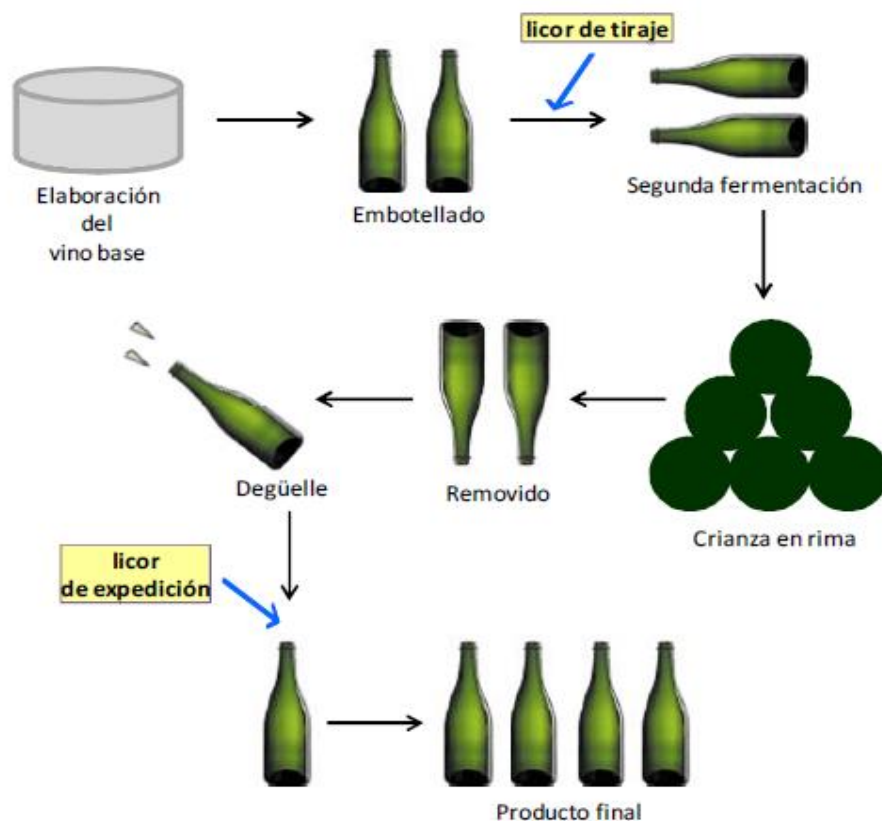


Figura 9. Esquema del proceso de elaboración de vinos espumosos por el método tradicional. Fuente: Medina, 2017.

4.3. Tipos y categorías de vinos espumosos

Según lo expuesto en el apartado anterior, dependiendo de la cantidad de azúcar añadida en el licor de expedición los vinos espumosos pueden pertenecer a una de las categorías recogidas en el B.O.E. (Tabla 3) (B.O.E., 1972).

Tabla 3. Categorías de vinos espumosos según la cantidad de azúcar. Adaptación de B.O.E., 1972.

Categoría	Contenido en azúcares
Seco o Sec	0-30 g/L materias reductoras
Semiseco o semidulce	30-50 g/L materias reductoras
Dulce	Mayor a 50 g/L materias reductoras

Los vinos espumosos naturales con materias reductoras menores a 20 g/L podrán denominarse con la calificación bruto o “brut”. Véase en la Tabla 9 los distintos tipos de vinos pertenecientes a esta calificación y sus contenidos en azúcares. Además, están descritos los mencionados anteriormente.

Clasificación	Contenido en azúcar
BRUT NATURE	Inferior a 3 g/L
EXTRA BRUT	Inferior a 6 g/L
BRUT	Inferior a 12 g/L
EXTRA SECO	Entre 12-17 g/L
SECO	Entre 17-32 g/L
SEMISECO	Entre 32-50 g/L
DULCE	Más de 50 g/L

Tabla 4. Clasificación de vinos espumosos. Adaptación de Vino Win.

Los vinos espumosos que no contienen ninguna cantidad de azúcar añadida se denominan Zero Dosage. Este tipo de “no-dosage” es reservado para vinos premium en Champagne (Kemp et al., 2015).

4.4. Calidad de los vinos espumosos

La calidad de un vino viene definida por la doble vertiente sanitaria/organoléptica. Partiendo de que un vino comercializado es seguro ya que cumple con las normas de seguridad alimentaria y buenas prácticas de elaboración, este apartado se centrará en la calidad organoléptica. Ésta viene definida por los atributos del producto que se pueden percibir con los sentidos, y puede ser objetiva o subjetiva. La subjetiva es difícil de medir y controlar, pues depende de las preferencias de cada uno, la objetiva está estrechamente relacionada con el proceso de producción del vino y la uva empleada para su elaboración (Pozo-Bayón et al., 2009). Hay muchos factores implicados en la calidad de un vino espumoso. La espuma, el color y el aroma son vitales a la hora de evaluar las cualidades del vino y están relacionados con su composición química.

4.4.1. La espuma

Uno de los principales condicionantes de la calidad de un vino espumoso son las propiedades espumantes que éste presente. Además de la cantidad de espuma y de su estabilidad, la efervescencia es otro de los factores que persigue el consumidor (Liger-Belair et al., 2012). La efervescencia se produce debido a la generación de burbujas en las irregularidades de la superficie del vidrio, fenómeno conocido como “nucleación” heterogénea (Figura 10) (Liger-Belair et al., 2016).

Otra cualidad para evaluar la calidad de los vinos espumosos es la dinámica de las burbujas al verte el vino en la copa, y la formación y permanencia del collar de espuma, también conocido como corona, a la fila de burbujas que se agrupan en las paredes de la copa originando un círculo de espuma en la superficie del líquido (Figura 10) (Liger-Belair et al., 1999).

Aparte de la finura de las burbujas, es importante la presencia de cordones o rosarios más o menos largos desde la superficie al fondo del vaso (Figura 10) (Senée et al., 1998). El método de elaboración utilizado y las características del vino base son condicionantes para conseguir propiedades espumantes de calidad.

La calidad del vino espumoso también se relaciona con el tamaño de las burbujas. Cuanto menores sean las burbujas que asciendan lentamente a través del líquido, mayor calidad exhibirá el producto en sí (Liger-Belair et al., 1999).

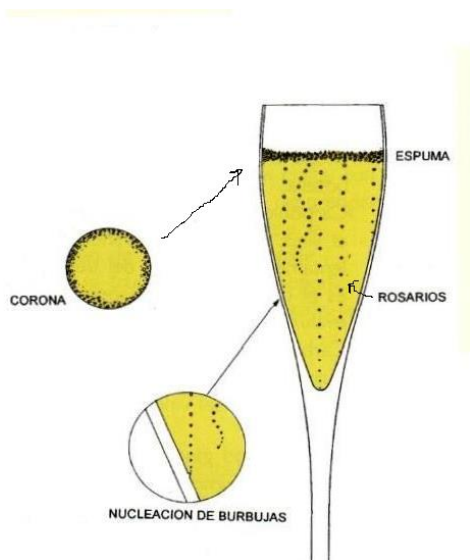


Figura 10. Parámetros de calidad de la espuma. Fuente: Adaptación de Pinterest.

Todo esto se ha podido estudiar gracias al desarrollo de metodologías para la caracterización de la espuma. Al principio, la espuma solo se apreciaba por características sensoriales, a través de la degustación por expertos. Posteriormente se desarrollaron técnicas instrumentales para evaluar las características de estos vinos espumosos. Entre ellas, las más utilizados son las que se basan en medir la cinética de desprendimiento de CO_2 , conocido como método Mosalux (Maujean et al., 1988), los métodos basados en el burbujeo de gas y seguimiento de la espuma formada, llamado método de Bikerman (Bikerman, 1938) y los que utilizan el análisis de imagen (Machet et al., 1993).

La formación de espuma no solo se debe al desprendimiento de CO_2 , sino también a la presencia de componentes en el vino que modifican la tensión superficial, o cambian la viscosidad del medio (Hidalgo, 2011). Por lo tanto, hay muchos factores que están implicados en la calidad de la espuma, y en su estabilización:

- La composición del vino: es vital para las características de espumabilidad del vino. Según estudios confirman que el etanol, los alcoholes superiores y los ácidos grasos influyen negativamente sobre las propiedades espumantes, mientras que las proteínas ejercen un papel positivo sobre la espumabilidad y la calidad sensorial (Pérez-Magariño et al., 2015).
- La variedad de uva: la variedad seleccionada es una de las variables decisivas en la espumabilidad del vino (Andrés-La Cueva et al., 1996).

-Estado sanitario de la uva: A medida que aumenta el grado de infección, las propiedades espumantes decrecían (Hong et al., 2011).

-La madurez de la uva: Un exceso de madurez es negativo para la calidad de la espuma (López-Barajas et al., 1997).

-Levaduras y el tiempo de crianza sobre lías: Tanto la cepa de levadura como el envejecimiento influyen de forma significativa sobre la espumabilidad y la estabilidad de la espuma (Martí Raga et al., 2016).

4.4.2. El Color

El color es otro de los parámetros de calidad de los vinos espumosos, ya que es indicador de aspectos como la edad del vino, el estado de conservación, y su cuerpo o sabor. El color de los vinos espumosos depende de la composición fenólica del vino base. En el caso de vinos rosados espumosos, los responsables del color son los antocianos y sus pigmentos derivados presentes en el vino. En los vinos blancos espumosos dependen en su mayoría de los flavanoles y flavonoles (Martínez-Lapuente, 2015).

Algunos estudios mantienen que la intensidad de color y la concentración de compuestos fenólicos se mantienen prácticamente constantes durante la crianza sobre lías de los vinos blancos y rosados espumosos, por lo que son la variedad de uva y el sistema de elaboración del vino base, los principales factores que influyen en la composición final de compuestos fenólicos (Pozo-Bayón et al., 2004).

Por otro lado, los compuestos fenólicos de la uva que permanecen en estos vinos después del proceso de elaboración son los principales responsables de su color, dando a los vinos un color amarillento o incluso marrón cuando se oxidan (Buxaderas, 2010). Este proceso de pardeamiento se produce cuando las moléculas como los lípidos, azúcares, aminoácidos y fenoles se oxidan (Li et al., 2008). El tiempo de crianza y de almacenamiento comercial pueden activar procesos de pardeamiento que afectan negativamente al color (Serra-Cayuela et al., 2000; López-Tamames et al., 2014), haciendo que disminuya la calidad de este vino, ya que esos tonos dorados/amarronados son indicadores de baja calidad.

4.4.3. El Aroma

El aroma es otro de los factores esenciales para determinar la calidad y singularidad de los vinos espumosos. Aquellos elaborados por el método tradicional presentan características aromáticas únicas que contribuyen al carácter propio del producto final.

Los compuestos responsables del aroma de los vinos pertenecen a grupos químicos heterogéneos como alcoholes, aldehídos, acetonas, ésteres, ácidos volátiles, terpenos, etc.

Se distinguen tres tipos de aromas:

- Procedentes de la uva, o llamado aroma primario. Estos son los que más influyen en la expresión de características aromáticas. Son los que aportan el aroma varietal, por lo que la variedad de uva es un factor fundamental.

-Aquellos que se generan durante la primera o segunda fermentación como consecuencia del metabolismo de levaduras, llamado aroma secundario.

-Los que se origina en durante la etapa de crianza de lías, llamado aroma terciario o bouquet. Estos dos últimos son los que van a darle la marca definitiva de calidad aromática a los vinos espumosos (Francioli et al., 2003).

Así las notas de nueces, pan tostado, migas de pan y frutos secos, son aromas característicos de los vinos espumosos elaborados por el método tradicional, aunque los sabores afrutados, como la manzana verde, pera o cítricos, son también aromas característicos (Figura 11) (Torrens et al., 2010; Ubeda et al., 2019).

EVOLUCIÓN DE AROMAS DE VINOS ESPUMOSOS

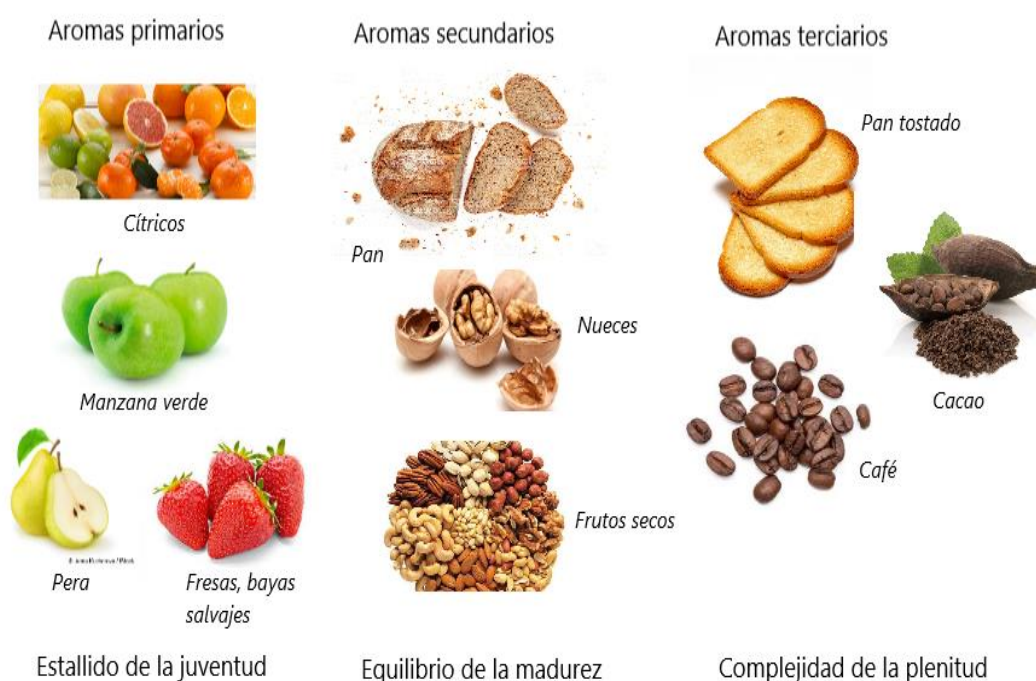


Figura 11. Evolución de aromas de vinos espumosos. Fuente: Adaptación de Comité Champagne, 2019.

4.4.4. Efecto de las manoproteínas en la calidad de los espumosos

Las manoproteínas ejercen un papel importante en las propiedades de espumabilidad y en la estabilidad de la espuma; en cuanto a las propiedades sensoriales aumentan el cuerpo del vino y consiguen redondez en la boca, suavizando la sensación de astringencia y amargor de los taninos (Vidal et al., 2004). Además, estos compuestos influyen en la intensidad, complejidad y persistencia aromática (Chalier et al., 2007).

4.5. Denominaciones de origen de vinos espumosos

Para que un vino espumoso consiga el reconocimiento de Denominación de Origen (D.O.) debe cumplir una serie de requisitos: ser elaborados en una región determinada con uvas procedentes exclusivamente de esa zona geográfica; tener unas características especiales y una calidad que sólo se puedan conseguir gracias al medio geográfico en el que se han elaborado, y que le permitan conseguir un elevado prestigio por su origen en el mercado. Asimismo, deben haber transcurrido cinco años desde que se reconoció al vino como producto de dicha zona para conseguir reconocimiento de Denominación de Origen Protegida (D.O.) (Vivanco, 2015). Existen varias D.O. de vinos espumosos en Europa, concretamente en España, Francia, Italia y Alemania.

La D.O. de vinos espumosos más relevante en España es la D.O. Cava. Se localiza principalmente en la comarca del Penedés, aunque también en otras zonas del país (Figura 12) (Buxaderas et al., 2003). También los vinos espumosos de Castilla y León han experimentado un crecimiento en estos últimos años, y cuenta con 9 D.O. (Figura 13). Entre ellas, la D.O. Rueda es la más conocida (Martínez-Lapuente, 2015).

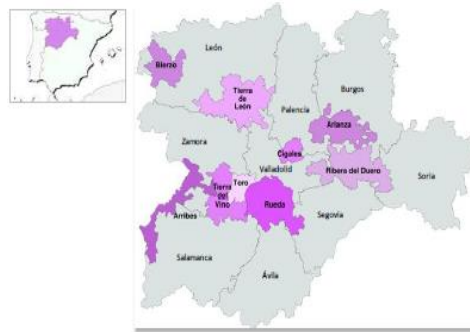


Figura 12. D.O. Cava. Fuente: Cata Vino.

Figura 13. D.O. de Castilla y León. Fuente: Martínez, 2015.

La D.O. más famosa del mundo es el Champagne, se localiza en la ciudad de Reims en la región de Champaña-Ardenas (Figura 14) (Borrull, 2016).



Figura 14. D.O Champagne en Francia. Fuente: Wikipedia.

La D.O. italiana más importante es el Prosecco. Se localiza en el noroeste del país. También Asti Spumante y Franciacorta son dos D.O. importantes de Italia, ambos en el norte del país (Figura 15) (Borrull, 2016).



Figura 15. D.O. de Italia. Fuente: Adaptación de Borrull, 2016.

La D.O Deutscher Sekt es el vino espumoso con mayor exportación del país alemán. Hay 13 regiones de Alemania como Rheingau, Pfalz o Mosel donde se producen (Figura 16) (Wine Style, 2018).



Figura 16. D.O Sekt en Alemania. Fuente: Adaptación de Borrull, 2016.

4.6. Producción y consumo del vino espumoso a nivel europeo y mundial

El mercado de los vinos espumosos ha crecido rápidamente en estos últimos años debido a la gran demanda mundial. En 2018, la producción a nivel mundial de estos vinos aumentó hasta un 57% desde 2002 (Figura 17). Mientras que justo antes de la crisis de 2008, el vino espumoso representaba el 5% de la producción mundial de vino, en estos últimos años ha logrado un promedio de un 7%. El 80% de la producción mundial de vinos espumosos se lleva a cabo en 5 países, siendo Italia (27%) y Francia (22%) productores de casi la mitad del total de volumen producido en 2018 (Figura 18). Aunque la producción de vino espumoso está distribuida por

todo el mundo, la Unión Europea representa el 70-80% del total del volumen producido (OIV, 2020).

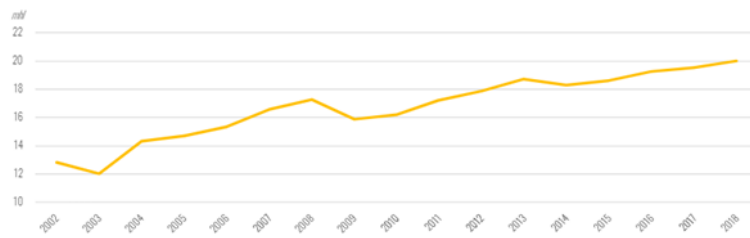


Figura 17. Evolución de la producción de vinos espumosos. Fuente: OIV, 2020.

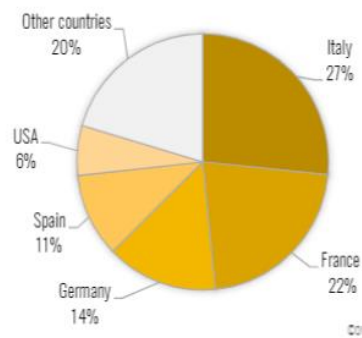


Figura 18. Principales países productores de vinos espumosos. Fuente: OIV, 2020.

El consumo global de vinos espumosos ha incrementado significativamente durante estos últimos años, exceptuando el periodo de 2009-2010 donde hubo un impacto negativo en el consumo de estos vinos debido a la gran crisis económica (Figura 19). Los factores principales del aumento de consumo de estos vinos se debe a la desestacionalización del consumo (se consume de forma más regular, no sólo vinculado a celebraciones durante el año), y además, por tener una amplia gama de precios más asequibles que en el pasado. En 2018, Alemania, Francia, EE.UU, Rusia e Italia fueron el 62% del consumo mundial (Figura 20) (OIV, 2020).

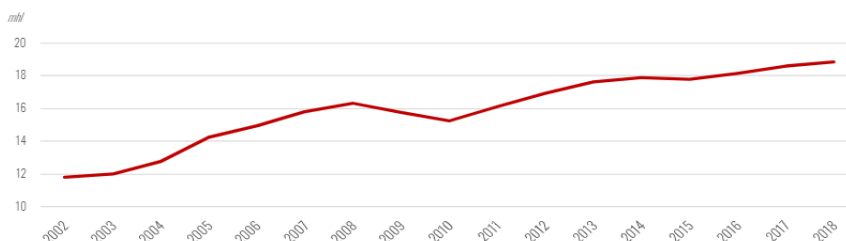


Figura 19. Evolución del consumo de vinos espumosos. Fuente: OIV, 2020.

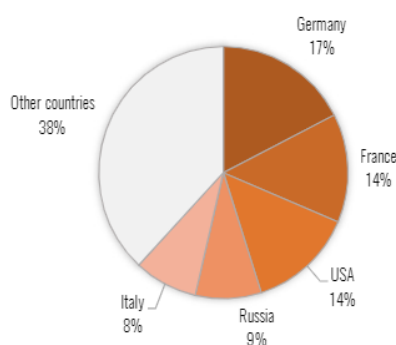


Figura 20. Principales países consumidores de vinos espumosos. Fuente: OIV, 2020.

4.7. Actualidad e innovaciones de los vinos espumosos

4.7.1. Innovaciones en el uso de levaduras

Durante años, se ha realizado un profundo estudio de selección y utilización de diferentes cepas de levadura en la tecnología vinícola. La fermentación alcohólica ocurre en condiciones particulares para las levaduras. El vino base presenta un alto grado en etanol (10% v/v), y bajo esas condiciones, sólo *Saccharomyces cerevisiae* (aunque no todas las cepas) puede crecer y fermentar. Además del grado alcohólico, hay otra serie de factores implicados en el proceso de fermentación, y a los cuáles las cepas deben resistir. La selección de cepas para la segunda fermentación es muy importante, porque dependiendo de ello varias de las cualidades finales del vino (Zambonelli, 2006). Por tanto, deben satisfacer una serie de características aparte de la resistencia al etanol, como la de tener alta capacidad de floculación para facilitar su eliminación de la botella (Bidan et al., 1986; Bartrà, 1995). Para cumplir todas estas características se está implementando la tecnología necesaria para obtener híbridos de cepas floculantes de *S. cerevisiae* y no floculantes *S. uvarum* (*S. bayanus* var. *uvarum*), dando como resultado cepas floculantes en alto grado y con capacidad de alcanzar una buena fermentación a bajas y altas temperaturas (Pozo-Bayón et al., 2009).

No sólo encontramos *S. cerevisiae* en la fermentación alcohólica de vinos espumosos. En la actualidad se está retomando el uso de levaduras “no-*Saccharomyces*”. Su uso estaba abandonado ya que hay que hacer una importante selección para que no produzcan compuestos desagradables en el producto final (González-Royo et al., 2014). Estas cepas de levaduras no son muy tolerantes al alcohol, por tanto, su uso normalmente se reduce a los 2 o 3 primeros días de fermentación, y a continuación de éstas, la cepa totipotente de *Saccharomyces cerevisiae* completa la fermentación (Beltrán et al., 2002). Hay siete especies utilizadas de forma comercial como iniciadores de esta fermentación, entre ellas: *Torulaspota delbrueckii*, *Metschnikowia pulcherrima*, *Metschnikowia fructicola*, *Kluyveromyces thermotolerans*, *Kluyveromyces wickerhamii*, *Candida zemplinina*, *Schizosaccharomyces pombe* y *Pichia kluyveri*. Muchas de estas especies tienen características interesantes relacionadas con la calidad del vino espumoso. *M. pulcherrima* es alta productora de beta-glucosidasas, y por tanto, de vinos con características cítricas y afrutadas que podrían ser interesantes en vinos espumosos jóvenes (Rodríguez et al., 2007). Además, algunos estudios indican que libera mayor cantidad de polisacáridos que *S. cerevisiae*, por lo que podría contribuir positivamente a las características espumantes del vino (Domizio et al., 2014). Características similares se le

han atribuido a *T. delbrueckii* (Giovani et al., 2012). Estas dos cepas han demostrado producir vinos con características sensoriales diferenciadas muy indicadas para la producción de vinos base para obtención de vinos espumosos (González-Royo et al., 2014). Entre los resultados obtenidos, se ha podido observar cómo *T. delbrueckii* aumenta la persistencia de la espuma en la copa de manera significativa, señalando a esta cepa como una gran candidata para co-inoculación en la obtención de vinos base.

4.7.2. Innovaciones por uso de cepas de uva no tradicionales

Las variedades de uva Chardonnay y Pinot Noir, ya mencionadas anteriormente en el apartado de variedades de uvas, son las más usadas para la producción de estos vinos (Hancock, 1994). Las innovaciones en torno a la uva abarcan desde el uso de clones de cepas de uvas tradicionales al uso de nuevas cepas de uva usadas recientemente para la producción de vino espumoso. También hay innovaciones a la hora del manejo del viñedo.

En estos últimos años, los productores de vinos espumosos están dando especial importancia a la búsqueda de clones de variedades tradicionales, que presenten características adicionales. Los clones funcionan de manera diferente según distintas condiciones climáticas y vinícolas (Mercado-Martín et al., 2006). Por ello, hay clones que presentan mayor acidez y mayor rendimiento; otros que presentan un alto crecimiento vegetativo de la uva; otros que contienen un mayor contenido de azúcar y otros componentes; mientras que hay otros que aportan aroma y coloración al vino (Wolpert et al., 1994). Todas estas características van a depender de la región donde se cultiven y del interés de los productores de estos vinos. Dentro de estos clones, los más importantes son los clones de Pinot Noir: Pinot Noir R4, Pinot Noir VCR9, Pinot Noir VCR18 y Pinot Noir VCR20; y los clones de Chardonnay: Chardonnay R8, Chardonnay VCR4, Chardonnay VCR6 y Chardonnay VCR10 (Vivai Cooperativi Rauscedo, 2013).

Por otra parte, el clima es uno de los factores más importantes en la calidad del producto final, por tanto, incidencias climáticas adversas durante el crecimiento de la uva tendrá consecuencias desastrosas en las cualidades del vino (Thibaut, Parsiot, 1994). Es necesario un manejo vitícola flexible a la hora de la recogida de la uva, siguiendo patrones climáticos de la región con el fin de tener una uva con una composición del mosto adecuada. El cambio climático está teniendo un impacto en la producción de vino espumoso en todo el mundo, ya sea por las precipitaciones como por las temperaturas. Es por ello que las uvas maduran antes, acumulando más azúcar, y aumentando el contenido en alcohol de estos vinos (Webb et al., 2013).

Finalmente, como se mencionó anteriormente, hoy en día se persigue intensamente la creación de vinos con características diferenciadas y únicas. Esto se consigue entre otras técnicas con el empleo de variedades de uva diferentes a las empleadas tradicionalmente. En este sentido, se están utilizando cepas locales para valorizar los vinos espumantes y competir con otros como el cava. El empleo de variedades no tradicionalmente empleadas para la elaboración de vino espumoso hace que se obtengan vinos con una personalidad propia (Hidalgo, 2011).

Un ejemplo de ello es la variedad principal con la que se elaboran los vinos espumosos en Castilla y León, la Verdejo. En esta comunidad, las variedades de uvas utilizadas tradicionalmente para la elaboración de vinos tranquilos presentan buenas aptitudes para la elaboración de vinos bases para espumosos de calidad. Además de la variedad Verdejo, se pueden destacar también las variedades Viura, Malvasía, Albarín y Godello.

Además, últimamente se ha estado empleando para la elaboración de vinos rosados espumosos, las variedades Garnacha, Tempranillo y Prieto Picudo (Figura 10) (Stefenon et al. 2010; Martínez-Lapuente et al., 2013).

En Andalucía, se encuentran en marcha proyectos en diferentes bodegas en las que se está elaborando vino espumoso de variedades tan características como la Pedro-Ximénez y Palomino Fino.

Estos son algunos de los ejemplos a nivel nacional, no obstante, también en el extranjero se están utilizando otras cepas de uva como es el caso de la cepa País/Criolla/Listán, la cual fue la primera variedad de uva que entró en el continente americano para hacer vino, originaria de las Islas Canarias y con la cual se produce vino espumoso en Chile, Argentina y España (Lacoste et al., 2010; Ubeda et al., 2019).

Aparte de estas variedades de tipo *Vitis vinífera*, se está experimentando también con *Vitis lambrusca* como es el caso de Moscato Embrapa, Villenave, Niagara, Goethe y Manzoni Bianco, que son en su mayoría cruces con cruces con variedades Riesling producidos en Brasil (Caliari et al., 2014).

4.7.3. Innovaciones en el proceso de producción

4.7.3.1. Uso de levaduras inmovilizadas

La inmovilización de levaduras consiste en introducir en la botella una cierta cantidad de solución que contiene células de levaduras inmovilizadas (Zambonelli, 2006). Entre las técnicas de inmovilización se encuentran geles polisacáridos como el agar, alginatos y carragenanos. Con esta técnica se obtienen vinos con características de sabor y aroma similares a aquellos que utilizan levaduras libres, sin embargo, se simplifica mucho el proceso de “removido” y “degüelle” (Diviès, 1994). Cuando una botella contiene levaduras inmovilizadas, al verterse rápidamente se dirigen al cuello de la botella y se eliminan fácilmente (Yokotuska et al. 1997). A pesar de todo ello, el uso de levaduras inmovilizadas en enología es aún infrecuente. Este método era común en la producción de vinos tranquilos, sin embargo, en la actualidad se está implementando con éxito la tecnología adaptada a la crianza de vinos espumosos (Puig-Pujol et al., 2013).

4.7.3.2. Uso de levaduras secas e inactivadas

En estos últimos años, el uso de levaduras secas inactivadas se ha extendido en la elaboración de todo tipo de vinos y con diferentes propósitos. Estos preparados se obtienen de cepas de *Saccharomyces cerevisiae* y son ofrecidas a los enólogos como alternativas a la crianza sobre lías normal, ya que aportan al vino características positivas eliminando los inconvenientes de ésta (Del Barrio-Galán et al., 2011).

Existen en la actualidad diferentes preparados como autolisados de levaduras, extractos de levaduras, paredes de levaduras, levaduras secas inactivadas y extractos de manoproteínas (Pozo-Bayón et al., 2009). En concreto, su uso en vino espumoso tiene por objetivo conseguir mayor concentración de manoproteínas en el vino y la liberación de compuestos volátiles que mejoren la calidad del vino espumoso aportándole cuerpo al vino, complejidad aromática y estabilidad de la espuma (Pozo-Bayón et al., 2009).

Tal y como se señaló anteriormente, las preparaciones comerciales de levaduras inactivadas son obtenidas de *Saccharomyces cerevisiae* que, una vez crecidas en condiciones aeróbicas y en medios con alta concentración de azúcar, sufren un proceso de secado e inactivación térmica (Vuchot et al., 2008). De todas las preparaciones, las manoproteínas de levaduras ha sido uno de los preparados más estudiados dado el papel que ejerce como aditivo en la mejora tanto de procesos tecnológicos como de caracteres sensoriales en el vino. Además de las preparaciones de manoproteínas, otras preparaciones con múltiples componentes procedentes de la autólisis (péptidos, aminoácidos, glucosaminas, etc.) son utilizados para mejorar la fermentación y las características organolépticas del vino (Pozo-Bayón et al., 2009). Estos preparados han tenido un gran éxito, ya que permiten crianzas más cortas mejorando la calidad sensorial de los vinos a los que se les añade. Además, se ha demostrado que ensalza los compuestos volátiles afrutados en los vinos espumoso producidos a partir de uvas Verdejo y Godello (Pérez-Magariño et al., 2015).

5. CONCLUSIONES

Debido al aumento de mercado en estos últimos años de los vinos espumosos se han ido perfeccionando las técnicas de elaboración, además de una búsqueda minuciosa de innovaciones que mejoren los procesos de producción según el tipo de vino que se busque y la zona geográfica de producción. Las conclusiones principales del trabajo son:

-Los vinos de mayor calidad son los elaborados mediante el método de elaboración tradicional. Dentro del proceso, la autólisis de levaduras representa un papel fundamental en los caracteres del vino espumoso, así como el tiempo de contacto de estas lías de levaduras con el vino. *Saccharomyces cerevisiae* es la especie más importante, aunque se están incorporando nuevas especies que aportan calidad a la bebida. Además de mejoras en los procesos de producción relacionados con el uso de levaduras inactivadas y levaduras secas e inmovilizadas.

-El tipo de uva utilizada es muy importante también, tanto en el carácter organoléptico como en la calidad del vino. Aunque las variedades Chardonnay, Pinot Noir y Pinot Meunier son las más utilizadas en todo el mundo; se está potenciando el uso de variedades autóctonas y de clones de variedades de uvas, que aporten características diferentes y ayuden a la eficiencia de la producción.

-La espuma es el parámetro de calidad más importante de estos vinos, además del aroma y el color. Dependerán de muchos factores, como la composición del vino o los citados anteriormente, tipo de uva o de levadura. Los vinos de mayor calidad son aquellos elaborados por el método tradicional o *champenoise*.

-La búsqueda de calidad y autenticidad permite a los países contar con denominaciones de origen propias. Italia y Francia son los mayores productores de vinos espumosos, junto al resto de países europeos. Sin embargo, Alemania es el país donde más se consumen estos vinos.

Por todo ello, la industria vinícola en el campo de los vinos espumosos se ha convertido en una de las que más han crecido en los últimos tiempos, y cada vez es mayor el afán de búsqueda de nuevas técnicas que lleven a los productores enólogos situarse en la vanguardia de nuevos artículos que les permitan expandirse a nuevos mercados.

BIBLIOGRAFÍA

Á la volé. El removido de la botella de Champagne [en línea]. [Consultado en Marzo de 2020]. Disponible en: <https://alavole.com/el-removido-de-la-botella-de-champagne/>.

Alexandre H, Guilloux-Benatier MI. Yeast autolysis in sparkling wine—a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2006; 12(2): 119-27.

Andrés-Lacueva C, López-Tamames E, Lamuela-Raventós RM, Buxaderas S, De La Torre-Boronat MDC. Characteristics of sparkling base wines affecting foam behavior. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1996; 44(4): 989–995.

Bartrà E. Aspectos microbiológicos de la elaboración del cava. *Sociedad Española de Microbiología*. 1995; 11: 43–50.

Beltran G, Torija MJ, Novo M, Ferrer N, Poblet M, Guillamón JM, Rozès N, Mas A. Analysis of yeast populations during alcoholic fermentation: a six year follow-up study *Systematic and Applied Microbiology*. 2002; 25: 287–293.

Bidan P, Feuillat M, Moulin JP. Les vins mousseux. Rapport de la France. 65ème Assemblée Générale de l'OIV. *Bulletin de l'OIV*. 1986; 59: 563–626.

Bikerman JJ. The unit of foaminess. *Transactions of the Faraday Society*. 1938; 34: 634-638.

Boletín Oficial del Estado (B.O.E). Orden de 27 de julio de 1972 por la que se reglamentan los vinos espumosos naturales y los vinos gasificados [en línea]. [Consultado en Febrero 2020]. Disponible en: [https://www.boe.es/eli/es/o/1972/07/27/\(2\)](https://www.boe.es/eli/es/o/1972/07/27/(2))

Borrull A, Poblet M, Rozès N. New insights into the capacity of commercial wine yeasts to grow on sparkling wine media. Factor screening for improving wine yeast selection. *Food Microbiology*. 2015; 48: 41–48.

Borrull Riera A. Yeast stress responses during acclimation for sparkling wine production. [Tesis Doctoral]. Tarragona: Departament of Biochemistry and Biotechnology, Universitat Rovira i Virgili; 2016.

Bosch-Fusté J, Sartini E, Flores-Rubio C, Caixach J, Lopez-Tamames E, Buxaderas S. Viability of total phenol index value as quality marker of sparkling wines, “cavas”. *Food Chemistry*. 2009; 114: 782-790.

Buxaderas S, López-Tamames E. Sparkling wines: features and trends from tradition. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2010; 66: 1-45.

Buxaderas S, López-Tamames E. Wines production of sparkling wines. En: B. Caballero, L. Trugo, & P. Finglas (Eds.) *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. London: Elsevier Science; 2003. p. 6203-6210.

Caliari V, Burin VM, Rosier JP, Bordignon-Luiz MT. Aromatic profile of Brazilian sparkling wines produced with classical and innovative grape varieties. *Food Research International*. 2014; 62: 965-973.

Cata del Vino. ¿Sabías que la D.O de Cava se produce en 7 Comunidades Autónomas? [en línea]. [Consultado en Abril de 2020]. Disponible en: <https://www.catadelvino.com/blog-cata-vino/sabias-que-la-do-de-cava-se-produce-en-7-comunidades-autonomas>

Chalier P, Angot B, Delteil D, Doco T, Gunata Z. Interactions between aroma compounds and whole mannoprotein isolated from *Saccharomyces cerevisiae* strains. *Food Chemistry*. 2007; 100: 22-30.

Charpentier C, Feuillat M. Yeast autolysis. In *Wine Microbiology and Biotechnology*; Fleet GH. Harwood Academic Publishers. 1993; 225–242.

Comité Champagne. Las cepas del Champagne. 2019 [en línea]. [Consultado en Marzo 2020]. Disponible en: [https://www.champagne.fr/es/vid-vino/cepas-vides/cepaje-del-champagne#:~:text=Las%20cepas%20del%20Champagne&text=La%20pinot%20noir%20\(uva%20negra,0%2C3%25%20del%20vi%C3%B1edo](https://www.champagne.fr/es/vid-vino/cepas-vides/cepaje-del-champagne#:~:text=Las%20cepas%20del%20Champagne&text=La%20pinot%20noir%20(uva%20negra,0%2C3%25%20del%20vi%C3%B1edo).

Consejo Regulador del Cava. Variedades de uvas autorizadas para la elaboración del Cava. 2013 [en línea]. [Consultado en Marzo de 2020]. Disponible en: <http://www.docava.es/variedades/>

Del Barrio-Galán R, Pérez-Magariño S, Ortega-Heras M, Williams P, Doco T. Effect of aging on lees and of three different dry yeast derivative products on Verdejo white wine composition and sensorial characteristics. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 2011; 59: 12433-12442.

Diviès C, Cachon R, Cavin JF, Prévost H. Theme 4: Immobilized cell technology in wine production. *Critical Reviews in Biotechnology*. 1994; 14(2): 135–153.

Domizio P, Liu Y, Bisson LF, Barile D. Use of non-saccharomyces wine yeast as novel sources of mannoproteins in wine. *Food Microbiology*. 2014; 43: 5–15.

Francioli S, Torrens J, Riu-Aumatell M, López-Tamames E, Buxaderas S. Volatile compounds by SPME-GC as age markers of sparkling wines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2003; 54: 158-162.

Freyssinet M, Feuillat M, Charpentier C. Rôle de la paroi cellulaire dans l'autolyse des levures. *Applications oenologiques. Actualités Oenologiques*. 1989; 89: 160-168.

Garofalo C, Arena MP, Laddomada B, Cappello MS, Bleve G, Grieco F, Capozzi V. Starter cultures for sparkling wine. *Fermentation*. 2016; 2(4): 1-21

Giovani G, Rosi I, Bertuccioli M. Quantification and characterization of cell wall polysaccharides released by non-*Saccharomyces* yeast strains during alcoholic fermentation. *International Journal of Food Microbiology*. 2012; 160: 113–118.

González-Royo E, Pascual O, Kontoudakis N, Esteruelas M, Esteve-Zarzoso B, Mas A, Zamora F. Oenological consequences of sequential inoculation with non-Saccharomyces yeasts (*Torulasporea delbrueckii* or *Metschnikowia pulcherrima*) and *Saccharomyces cerevisiae* in base wine for sparkling wine production. *European Food Research and Technology*. 2015; 240(5): 999-1012.

Hancock JO. Complexing factors in sparkling wine, with particular reference to New Zealand. *Proceedings of Sparkling Wine and Quality Management*. A. Markides and R. Gibson (eds.). 1994: 16-18.

Hidalgo J. *Tratado de Enología*. Volumen I. 2ª ed. Madrid: Mundi-Prensa; 2011.

Hong YS, Cilindre C, Liger-Belair G, Jeandet P, Hertkorn N, Schmitt-Kopplin P. Metabolic influence of botrytis cinerea infection in champagne base wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011; 59(13): 7237–7245.

Institut del Cava. *Historia del Cava*. 2019 [en línea]. [Consultado en Abril de 2020]. Disponible en: www.institutdelcava.com

Kemp B, Alexandre H, Robillard B, Marchal R. Effect of production phase on bottle-fermented sparkling wine quality. *Journal Agriculture and Food Chemistry*. 2015; 63: 19–38.

Lacoste P, Yuri JA, Aranda M, Castro A, Quinteros K, Solar M. Variedades de uva en Chile y Argentina (1550-1850): genealogía del torrontés. *Mundo Agrario*. 2010; 10: 7-8.

León JM, Ramírez P, Lasheras J, Martín AM, Morales J. *Elaboración de Vinos Espumosos Ecológicos a partir de las Variedades Pedro Ximénez y Tempranillo*. Córdoba: Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Junta de Andalucía; 2015. p. 1-31.

Li H, Tao YS, Wang H, Zhang L. Impact odorants of Chardonnay dry white wine from Changli County (China). *European Food Research and Technology*. 2008; 227: 287–292.

Liger-Belair G, Polidoric G, Zéninaria V. Unraveling the evolving nature of gaseous and dissolved carbon dioxide in Champagne wines: A state-of-the-art review, from the bottle to the tasting glass. *Analytica Chimica Acta*. 2012; 732: 1-15.

-Liger-Belair G, Marchal R, Robillard B, Vignes-Adler M, Maujean A, Jeandet P. Study of effervescence in a glass of champagne: Frequencies of bubble formation, growth rates, and velocities of rising bubbles. *American Journal of Enology and Viticulture*. 1999; 50(3): 317-23.

Liger-Belair G. Modeling the Losses of Dissolved CO₂ from Laser-Etched Champagne Glasses. *Journal of Physical Chemistry B*. 2016; 120(15): 3724–3734.

Lombardi SJ, de Leonardis A, Lustrato G, Testa B, Lorizzo M. Yeast autolysis in sparkling wine aging: Use of killer and sensitive *Saccharomyces cerevisiae* strains in co-culture. *Recent Patents on Biotechnology*. 2015; 9: 223–230.

López-Barajas M, Viu-Marco A, López-Tamames E, Buxaderas S, De La Torre-Boronat MC. Foaming in Grape Juices of White Varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1997; 45(7): 2526–2529.

López-Tamames R. Kinetics of browning, phenolics, and 5-hydroxymethylfurfural in commercial sparkling wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014; 62: 1159–1166.

Luguera C, Moreno-Arribas MV, Pueyo E, Bartolomé B, Polo MC. Fractionation and partial characterization of protein fractions present at different stages of the production of sparkling wines. *Food Chemistry*. 1998; 63: 465–471.

Machet F, Robillard B, Duteurtre B. Application of image analysis to foam stability of sparkling wines. *Sciences des Aliments*. 1993; 13(1):73-87.

Martí-Raga M, Martín V, Gil M, Sancho M, Zamora F, Mas A, Beltran G. Contribution of yeast and base wine supplementation to sparkling wine composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2016; 96(15): 4962–4972.

Martínez-Lapuente L. Estudio químico-sensorial de vinos espumosos elaborados con variedades de uva tradicionales de vinos tranquilos. [Tesis Doctoral]. Logroño: Facultad de Ciencias, Estudios Agroalimentarios e Informática, Universidad de la Rioja; 2015.

Martínez-Lapuente L, Guadalupe Z, Ayestarán B, Ortega-Heras M, Pérez-Magariño S. Sparkling wines produced from alternative varieties: Sensory attributes and evolution of phenolics during winemaking and aging. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2013; 64(1): 39-49.

Martínez-Rodríguez AJ, Polo MC, Carrascosa AV. Structural ultrachanges in yeast cells during autolysis in a model wine system and in sparkling wines. *International Journal of Food Microbiology*. 2001; 71: 45-51.

Maujean A, Gomerieux T, Garnier JM. Étude de la tenue et de la qualité d mousse des vins effervescents – I. Mise au point d’une technique de mesure des effervescences spontanées et provoquées des boissons moussantes. *Bulletin de l’OIV*. 1988; 61(683-684): 25-35.

Medina Trujillo L. Estudio de los factores que influyen en las propiedades espumantes de los vinos espumosos (Cava); influencia de la aplicación de nuevas herramientas biotecnológicas. [Tesis Doctoral]. Tarragona: Departamento de Bioquímica y Biotecnología, Universitat Rovira y Virgili; 2017.

Mercado-Martín GI, Wolpert JA, Smith RJ. Viticultural evaluation of eleven clones and two field selections of Pinot noir grown for production of sparkling wine in Los Carneros, California. *American Journal Enology Viticulture*. 2006; 57: 371-376.

Misumiller. El mundo de los vinos espumosos [en línea]. [Consultado en Abril de 2020]. Disponible en: <https://www.misumiller.es/blog/94-EL-MUNDO-DE-LOS-VINOS-ESPUMOSOS>

Morfaux JN, Dupuy P. Comparaison de l'exorption des acides aminés par une souche de *Saccharomyces cerevisiae* et un mutant résistant à la canavanine. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. 1966; 263: 1224.

Nunez YP, Carrascosa AV, González R, Polo MC, Martínez-Rodríguez AJ. Effect of accelerated autolysis of yeast on the composition and foaming properties of sparkling wines elaborated by a champenoise method. *Journal Agriculture and Food Chemistry*. 2005; 53: 7232–7237.

Organización Internacional de la Viña y el Vino. El auge de los vinos espumosos, bajo la lupa de la OIV. 2020 [en línea]. [Consultado en Mayo 2020]. Disponible en: <http://www.oiv.int/es/actualidad-de-la-oiv/el-auge-de-los-vinos-espumosos-bajo-la-lupa-de-la-oiv>

Pérez-Magariño S, Martínez-Lapuente L, Bueno-Herrera M, Ortega-Heras M, Guadalupe Z, Ayestarán B. Use of Commercial Dry Yeast Products Rich in Mannoproteins for White and Rosé Sparkling Wine Elaboration. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015; 63(23): 5670–5681.

Pinterest. La elaboración del vino espumoso, tipos y cata [en línea]. [Consultado en Mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.pinterest.es/pin/614952524093925135/>

Pozo-Bayón MA, Monagas M, Polo M, Gómez-Cordovés C. Occurrence of pyranoanthocyanins in sparkling wines manufactured with red grape varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004; 52: 1300-1306.

Pozo-Bayón MA, 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. *Trends in Food Science & Technology*. 2009; 20(6-7): 289-299.

Pozo-Bayón MÁ, Andújar-Ortiz I, Moreno-Arribas MV. Scientific evidences beyond the application of inactive dry yeast preparations in winemaking. *Food Research International*. 2009; 42(7): 754-61.

Puig-Pujol A, Bertran E, García-Martínez T, Capdevila F, Mínguez S, Mauricio JC. Application of a new organic yeast immobilization method for sparkling wine production. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2013; 64(3): 386-94.

Rodríguez ME, Lopes C, Valles S, Giraud MR, Caballero A. Selection and preliminary characterization of β -glycosidases producer patagonian wild yeasts. *Enzyme and Microbial Technology*. 2007; 41: 812–820.

Roth K. Sparkling wine, Champagne & Co- Part 1. *Chemistry Views*. 2010.

Senée, J., Viaux, L., Robillard, B., Duteurtre, B., & Vignes-Adler, M. The endogenous particles of a sparkling wine and their influence on the foaming behaviour. *Food Hydrocolloids*. 1998; 12(2): 217-226.

Serra-Cayuela M, Jourdes M, Riu-Aumatell M, Buxaderas S, Teissedre PL, Ibarz A, Garza S. Kinetic models of non-enzymatic browning in apple puree. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2000; 80: 1162–1168.

Stefenon CA, Colombo M, Bonesi C, Marzarotto V, Vanderlinde R, Salvador M, Henriques JAP. Antioxidant activity of sparkling wines produced by champenoise and charmat methods. *Food Chemistry*. 2010; 119: 12-18.

Thibaut C, Parsiot M. 1994. Sparkling wine style definition – A French perspective. In *Sparkling Wine and Quality Management*. Australia Society of Viticulture and Oenology, Adelaide: Markides and R. Gibson. (eds.). p. 5-8.

Todd BEN, Fleet GH, Henschke PA. Promotion of autolysis through the interaction of killer and sensitive yeasts: potential application in sparkling wine production. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2000; 51: 65–72.

Torrens J, Riu-Aumatell M, Vichi S, López-Tamames E, Buxaderas S. Assessment of volatile and sensory profiles between base and sparkling wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010; 58: 2455-2461.

Torresi S, Frangipane MT, Anelli G. Biotechnologies in sparkling wine production. Interesting approaches for quality improvement: A review. *Food Chemistry*. 2011; 129(3): 1232-1241.

Ubeda C, Callejón RM, Troncoso AM, Peña-Neira A and Morales ML. Volatile profile characterisation of Chilean sparkling wines produced by traditional and Charmat methods via sequential stir bar sorptive extraction. *Food Chemistry*. 2015; 207: 261–271

Ubeda C, Kania-Zelada I, Del Barrio-Galán R, Medel-Marabolí M, Gil M and Peña-Neira Á. Study of the changes in volatile compounds, aroma and sensory attributes during the production process of sparkling wine by traditional method. *Food Research International*. 2019; 119: 554-563.

Vanrell G. Estudi de l'evolució del comportament escumant i de la fracció col·loidal del cava durant la seva elaboració; efecte de diferents tractaments. [Tesis Doctoral]. Tarragona: Universitat Rovira y Virgili; 2002.

Vidal S, Francis L, Williams P, Kwitkowski M, Gawel R, Cheynier V, Waters E. The mouth-feel properties of polysaccharides and anthocyanins in a wine like medium. *Food Chemistry*. 2004; 85: 519-525.

Vecchio R, Lisanti MT, Caracciolo F, Cembalo L, Gambuti A, Moio L and Piombino P. The role of production process and information on quality expectations and perceptions of sparkling wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2019; 99(1): 124-135.

Vino Win. Tipos de vinos espumosos [en línea]. [Consultado en Marzo de 2020]. Disponible en: <https://vinowin.es/tipos-de-vinos-espumosos/>

Vivai Cooperativi Rauscedo. Catálogo general de las variedades y los clones de uva de vino y mesa. Rauscedo, 2013 [en línea]. [Consultado en Mayo de 2020]. Disponible en: http://www.vivairauscedo.com/pdf/catalogo_spagnolo.pdf

Vivanco. Denominaciones de Origen del vino en España. La Rioja, 2015 [en línea]. [Consultado en Abril de 2020]. Disponible en: <https://vivancoculturadevino.es/blog/2015/04/23/denominaciones-origen-vino-espana/>

Vizetelly H. History of the champagne. London. Scribner & Welford; 1882.

Vuchot P, Vidal S, Riou C, Bajard-Sparrow C, Fauveau C, Pellerin P. Le mannoproteines levuriennes: La réalité au-delà du mythe. Revue des Oenologues. 2008; 177: 27–30.

Webb LB, Watterson I, Bhend J, Whetton PH, Barlow EWR. Global climate analogues for winegrowing regions in future periods: Projections of temperature and precipitation. Australian Journal of Grape and Wine Research. 2013; 19: 331-341.

Wine Style Travel. Prosecco y Sekt: ampliamos nuestro conocimiento de espumosos. 2018 [en línea]. [Consultado en Abril de 2020]. Disponible en: <https://www.winestyletravel.com/articulo-blog/prosecco-sekt-espumosos/>

Wikipedia. Champaña-Ardenas [en línea]. Consultado en [Mayo de 2020]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Champaña-Ardenas>

Wolpert JA, Kasimatis AN, Weber E. Field performance of six Chardonnay clones in the Napa Valley. American Journal of Enology and Viticulture. 1994; 45: 393-400.

Yokotsuka K, Yajima M, Matsudo T. Production of bottle fermented sparkling wine using yeast immobilized in double-layer gel beads or strands. American Journal of Enology and Viticulture. 1997; 48(4): 471–481.

Zambonelli, C. Le caratteristiche enologiche dei lieviti. Le modalità di sviluppo nei mezzi liquidi. Microbiologia e biotecnologia dei vini. I processi biologici e le tecnologie della vinificazione. In: Edagricole (Ed.). 2006; p. 144-151.