



Universidad de Valladolid

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIERÍAS AGRARIAS**

GRADO EN ENOLOGÍA

**Revisión bibliográfica de los métodos de
desalcoholización de vinos y su
normativa reguladora.**

Alumno: Raúl Marcos Arias

Tutor: José Ignacio Calvo Díez

Índice

INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	4
MATERIAL Y MÉTODOS	4
TÉCNICAS DE DESALCOHOLIZACIÓN DE VINOS.....	6
REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE AZÚCARES EN LA UVA O EL MOSTO.	6
USO DE UVAS SIN MADURAR.	6
DILUCIÓN DEL MOSTO	7
CRIOCONCENTRACIÓN Y FRACCIONAMIENTO.....	7
USO DE ENZIMAS.....	8
SEPARACIÓN DEL ALCOHOL DEL VINO	10
TRATAMIENTOS TÉRMICOS.....	10
EVAPORACIÓN.....	10
DESTILACIÓN BAJO VACÍO.....	12
CRIOCONCENTRACIÓN.....	13
TECNOLOGÍAS DE MEMBRANA	13
ÓSISIS INVERSA (RO)	14
NANOFILTRACIÓN (NF).....	15
DESTILACIÓN OSMÓTICA (OD)	16
DIÁLISIS (DI).....	17
PERVAPORACIÓN (PV).....	18
ADSORCIÓN	20
RESINAS	20
GELES DE SÍLICE	21
EXTRACCIÓN.....	21
OTROS	22
DILUCIÓN DEL VINO	22
PARADA DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.....	22
ENFOQUE MICROBIOLÓGICO	23
COMBINACIÓN DE MÉTODOS	26
MARCO LEGAL	27
CONCLUSIONES	28
BIBLIOGRAFÍA.....	29

INTRODUCCIÓN

La tecnología necesaria para la producción de vinos desalcoholizados o parcialmente desalcoholizados está disponible desde principios de 1900 y a lo largo de los años se han ido desarrollando una serie de métodos con el objetivo de mejorar las cualidades organolépticas del vino final; ello es debido a que, originalmente, los vinos tratados para reducir su contenido en alcohol no tenían una fase olfativa satisfactoria (Pickering, 2000).

Se conoce, en la actualidad, una importante variedad de sistemas de desalcoholización que se podrían dividir en prefermentativos y postfermentativos. Los más antiguos serían englobados en los métodos prefermentativos y se basan en la microbiología y en la materia prima (uvas con baja concentración en azúcares). También son bastante antiguos los métodos postfermentativos tradicionales, basados en la separación del alcohol mediante calor, dos ejemplos son la evaporación y la destilación. Por otro lado, la investigación actual se centra en los métodos postfermentativos basados en sistemas de membrana, como pueden ser la pervaporación (PV) o la nanofiltración (NF), ya que son métodos mucho más respetuosos con el vino, obteniendo productos de mayor calidad y así, sobreponerse al problema organoléptico que los sistemas tradicionales acarreaman (Mangindaan et al., 2018). En estudios recientes de la Universidad de Valladolid también se ha probado una combinación de técnicas, en el seno del Grupo de Superficies y Materiales Porosos (SMAP), para intentar lograr una reducción del alcohol acompañada de cierta mejora cualitativa del vino final (Sainz, 2017; Asensio 2018; Huerta, 2019).

En los últimos años, la producción de vinos con alcohol reducido se ha destinado a satisfacer la demanda de productos saludables, acorde con el estilo de vida de una parte de los consumidores. Estas técnicas disponibles también podrían ser útiles a los productores frente a problemas externos; como puede ser el calentamiento global, lo que haría que la concentración de azúcar en la uva aumentara y, por ello, el contenido en alcohol del vino. (Liguori et al., 2013; Röcker et al., 2016). Ofrece también posibilidad de mejorar la situación de algunos países productores, como España, en los que el exceso de vino se incrementa cada año mediante expansiones hacia otro tipo de mercado (Gómez-Plaza et al., 1999).

El problema principal de los vinos desalcoholizados le encontramos en las características organolépticas del producto final, principalmente las cualidades aromáticas del mismo. Como se podrá comprobar a lo largo de este texto, hay métodos para la desalcoholización más agresivos que otros, en cuanto a la alteración de las características finales del vino se refiere, pero todos se enfrentan a la eliminación del alcohol del seno del vino con los cambios en el producto final que ello conlleva. El etanol es el principal alcohol en un vino y se ha comprobado que tiene una notable influencia en el perfil organoléptico: intensifica la amargura, suaviza la acidez, su ausencia o abundancia puede alterar la percepción del dulzor, reduce la astringencia (sin una presencia de altas concentraciones de tanino) y tiene un ligero impacto en el cuerpo del vino (King et al., 2013).

Pickering (2000) clasificó estos vinos en 3 grupos, basándose en la concentración de alcohol en el vino final y en la legislación de etiquetado, lo que puede variar dependiendo del país. Las tres categorías son denominadas conjuntamente DLRAW, de sus siglas en inglés, *dealcoholised, low-and reduced-alcohol wines*:

- 1- Desalcoholizados o sin alcohol $\rightarrow < 0,5\%$ (v/v).
- 2- Bajo alcohol $\rightarrow 0,5 - 1,2\%$ (v/v).
- 3- De alcohol reducido $\rightarrow 1,2$ a $5,5 - 6,5\%$ (v/v).

De acuerdo con la OMS (2018), el consumo de alcohol total por habitante, en el marco mundial, aumentó en 0,9 litros de alcohol puro de 2005 a 2010 hasta un consumo de 6,4 litros por habitante, que se mantuvo hasta 2016. En contraposición con lo indicado, en el mismo informe, también se indica un aumento considerable de la demanda de información sobre los riesgos que acarrea el consumo de bebidas alcohólicas.

Esta información ha hecho que el mercado de bebidas sin alcohol haya adquirido más protagonismo, sobre todo en bebidas como el vino o la cerveza, actuando en sinergia con estilos de vida saludable. Los vinos desalcoholizados ofrecen beneficios tanto sociales (menor riesgo en accidentes de tráfico, mayor aceptación social...) como de salud, evitando enfermedades directamente relacionadas con el consumo de alcohol, como: cáncer de páncreas, hepatitis, cirrosis, incremento de ácido úrico... Además de poder llegar a públicos de riesgo, en cuanto a consumo de alcohol, como madres en periodo de lactancia o personas que no aptas para la ingesta de alcohol por razones médicas. Por otro lado, las bebidas alcohólicas pueden reportar beneficios nutricionales, provocando un impacto positivo en la salud; al vino, por ejemplo, se le atribuyen esta serie de beneficios nutricionales: efecto hipolipemiante (disminuye niveles de lípidos en sangre), efectos anti-cancerígeno y anti-mutagénico, reducción de la probabilidad de enfermedades cardiovasculares, efecto anti-osteoporósico... A lo que se suma la ingesta de vitaminas y compuestos fenólicos. De estos últimos, el resveratrol (cardioprotector, anti-diabético y anti-edad), el hidroxitirosol (mismo poder que resveratrol sin la propiedad rejuvenecedora pero con actividad antimicrobiana) y la melatonina (actúa como una neuro-hormona, mejorando el sistema inmune) son los más destacados en cuanto a beneficios aportados a la salud humana. Por tanto, se concluye que las bebidas alcohólicas no son totalmente degenerativas sino que pueden ser saludables, siempre que el consumo sea moderado (Pickering, 2000; Mangindaan et al., 2018; OMS, 2018; Castro-Muñoz, 2019).

OBJETIVOS

Esta revisión bibliográfica tiene como objetivos:

- Definir y describir los diferentes métodos o técnicas de desalcoholización de vinos encontradas en la bibliografía, haciendo hincapié en sus respectivas ventajas e inconvenientes, así como su empleo en la industria enológica.
- Informar sobre los métodos y estudios más actuales sobre la tecnología disponible para la producción de vinos desalcoholizados.
- Contextualizar la información en el marco legal de la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV).

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización de este Trabajo Fin de Grado se ha hecho una revisión sistemática de un conjunto amplio de publicaciones enfocadas a la desalcoholización de vinos. Dicha revisión se basa en una colección de artículos extraídos de revistas científicas buscados en diferentes bases de datos científicas de acceso on-line. Además, se ha consultado la página web de la OIV para obtener la información relacionada con la normativa vigente que regula la actividad objeto de estudio.

Las bases de datos en las que se ha buscado la información son las siguientes:

- Science Direct
- Scopus
- Web of Science
- Springer Link
- Google Scholar

De estas bases de datos, a las que he recurrido principalmente y en un mayor número de veces han sido: Science Direct, Scopus y Web of Science, ya que son bases de datos especializadas en publicaciones científicas a las cuales se puede acceder, con una previa identificación, a través de la Biblioteca de la UVa; Springer Link y Google Scholar, solo se han utilizado para la obtención de ciertos artículos (generalmente publicaciones no indexadas o publicadas en medios sin revisión por pares) que en las otras bases de datos no se permitía el acceso. Las palabras clave por las que he buscado la información han sido:

- Wine
- Dealcoholization
- Thermal methods
- Membrane technologies
- Microbiological approach
- Aroma compounds
- Ethanol

Incluí en el buscador un límite de fecha para que descartara artículos con fecha anterior a 1900, de este modo obtuve artículos publicados por diferentes grupos de investigación o sociedades, tanto españolas como internacionales, enfocados en la desalcoholización de vinos. Así mismo fueron analizadas todas las referencias bibliográficas de los artículos seleccionados para obtener otros artículos, patentes u otras revisiones sistemáticas que fueran potencialmente interesantes para abordar el tema.

Para la búsqueda de información, se incluyeron todo tipo de documentos (artículos, patentes o revisiones) publicados por diferentes grupos de investigación y sociedades en revistas especializadas en la industria agroalimentaria, especialmente en el sector vitivinícola y cervecero. El criterio de inclusión que se aplicó fue que la documentación buscada hiciera referencia al sector agroalimentario, o que tenga cierta aplicación en el mismo, mientras que el criterio de exclusión fue que, dichos documentos, estuvieran citados por menos de 2 autores debido al gran número de artículos reflejados en las búsquedas. Dicho criterio nos permite asegurar que las publicaciones citadas han tenido al menos cierta influencia sobre el conocimiento posterior sobre el tema. Por otro lado, este criterio de exclusión no fue aplicado para los estudios realizados por alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, ETSIIAA (en el marco del Grupo de Superficies y Materiales Porosos de la Universidad de Valladolid) ya que son ensayos muy recientes y plenamente enfocados al objetivo de esta revisión, por lo que sus conclusiones son importantes para situar las últimas aproximaciones científicas al tema.

Desde el punto de vista metodológico, primero se hizo una selección de las fuentes a considerar. Para ello se realizó una primera revisión de los “abstracts” para eliminar aquellos que no tuvieran que ver con el objetivo de nuestro estudio (a veces las palabras clave no discriminan correctamente un tema). Posteriormente, con las publicaciones seleccionadas se procedió a

hacer una lectura completa posterior del artículo o estudio. La información encontrada se fue organizando partiendo de un esquema principal, el cual se divide en varios subapartados, en los que se fue estructurando la información por metodología/técnica, buscando introducir cada método partiendo de los estudios más antiguos para posteriormente concluir con los más novedosos.

A continuación se resumirán las distintas técnicas y métodos posibles en la desalcoholización del vino, para luego analizar individualmente cada una de ellas.

TÉCNICAS DE DESALCOHOLIZACIÓN DE VINOS

En este apartado se definirán y describirán cada uno de los métodos encontrados en la bibliografía. Adaptando el esquema (Tabla 1) dado por Pickering (2000), seguiré el siguiente orden:

Tabla 1: Tecnología para la desalcoholización de vinos. Adaptación de Pickering, 2000.

PRINCIPIO	MÉTODO
Reducción de la concentración de azúcar fermentable en la uva o en el mosto	Uso de uvas sin madurar
	Dilución del mosto
	Crioconcentración y fraccionamiento
	Uso de enzimas
Separación del alcohol del vino	Tratamientos térmicos: <ul style="list-style-type: none"> a) Destilación bajo vacío b) Evaporación c) Crioconcentración
	Tecnologías de membrana: <ul style="list-style-type: none"> a) Nanofiltración (NF) b) Ósmosis inversa (RO) c) Destilación osmótica (OD) d) Diálisis (DI) e) Pervaporación (PV)
	Adsorción: <ul style="list-style-type: none"> a) Resinas b) Geles de sílice
	Extracción
Otros	Dilución del vino
	Parada de fermentación alcohólica
	Enfoque microbiológico
	Combinación de métodos

REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE AZÚCARES EN LA UVA O EL MOSTO.

USO DE UVAS SIN MADURAR.

Una práctica que se puede seguir para obtener un vino con una baja concentración de etanol es la vendimia temprana; esto provocaría que la uva no alcance las concentraciones en azúcar propias de una uva madura.

Un estudio reciente trató de comparar los efectos de una desalcoholización parcial (proceso de RO y perstracción evaporativa, EP, combinados) frente a los de una vendimia temprana; se utilizaron 2 variedades de uva: una blanca (Verdejo) y una tinta (Petit Verdot). Los análisis finales

revelaron que la desalcoholización era más respetuosa con la variedad de uva tinta, en la que disminuyó la intensidad aromática y los atributos alcohólicos mientras que la astringencia se marcó comparando con la uva de vendimia temprana. Mientras que en la uva Verdejo redujo la percepción de la fruta tropical, la intensidad aromática y los atributos alcohólicos; en ambos se produjo una pérdida significativa de compuestos volátiles como ésteres y alcoholes, diferentes del etanol (Longo et al., 2017).

La clara desventaja de este método es la disminución de la intensidad del perfil aromático, incluso dando aromas herbáceos, junto con una elevada acidez; lo que desemboca en un producto de baja calidad (Pickering, 2000). Corroborado por Bindon et al. (2014) que comprobó, mediante un experimento con Cabernet Sauvignon, cómo uvas vendimiadas en diferentes estados de madurez aportaban diferentes caracteres sensoriales a los vinos finales; los aromas vegetales disminuyen cuando el vino procede de uvas más maduras, con un claro cambio de fruta roja a fruta negra. En cuanto a color, los tonos violáceos aparecían en los vinos cuyas uvas estaban correctamente maduras. También se incrementan con la madurez atributos como la viscosidad, la astringencia y el “calor”, este último atribuido a la sensación alcohólica del vino.

DILUCIÓN DEL MOSTO

Se plantea como una técnica más interesante a la hora de producir un vino con baja concentración alcohólica ya que, mezclando un mosto de uva madura con otro de vendimia temprana, se obtiene un vino final con un grado alcohólico reducido, dependiendo de las proporciones de mosto que se consideren para la mezcla. Además, se presenta como un método de desalcoholización barato, que posibilita a bodegas con menos recursos económicos y técnicos a producir este tipo de vino (Longo et al., 2018 (a)). También, en combinación con la tecnología de nanofiltración, se puede tratar un mosto para reducir la concentración de azúcares reductores para posteriormente hacer una mezcla con otro mosto sin tratar. Tratando al mosto en lugar de al vino, se consigue preservar mejor el perfil organoléptico del mismo (García-Martín, 2011).

Otro método para reducir el alcohol en un vino es fermentándolo junto con zumo de otras frutas diferentes a la uva, como por ejemplo con zumo de ciruela (Joshi et al., 2013) o como comenta Pickering (2000) citando a Anelli et al. (1986), con zumo de kiwi. Pero el producto final no sería un vino sino un producto derivado del vino de acuerdo con lo descrito en el Códex Internacional de Prácticas Enológicas en la resolución OENO 327/210 de la OIV en la que se especifica: “Las fracciones, sin tratar o tratadas por prácticas enológicas aprobadas por la OIV deben ser exclusivamente mezcladas con fracciones de mosto o vino, obtenidos por técnicas separativas, derivadas del mismo producto”.

CRIOCONCENTRACIÓN Y FRACCIONAMIENTO

Lang y Casmir (1986) patentaron un modo de obtener un vino con bajo contenido en alcohol, el cual se basa en la separación, mediante congelación, de dos fracciones de mosto: una con alta concentración de azúcares y otra con baja concentración. Los componentes volátiles son recogidos de la fracción concentrada y se añaden a la que contiene una menor concentración de azúcares, la cual se fermenta posteriormente. La principal ventaja es que la pérdida de aromas se reduce debido al uso de bajas temperaturas; dichos componentes volátiles son recogidos por una columna de destilación fraccionada de conos giratorios o SCC, de sus siglas en inglés, *Spinning Cone Column*. Se han conseguido unas medias de concentración de 1,38 °Bx por

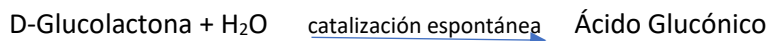
hora mediante equipos semi-industriales y se han podido relacionar las concentraciones de mosto con el nivel de pureza de hielo que se forma (Hernández et al., 2010).

No se debe confundir con los vinos producidos en algunas regiones frías, en los que la uva madura tiene concentraciones bajas de azúcares; el vino de estas uvas será “naturalmente” bajo en alcohol (sobre los 8-10,5% Vol.) pero aun así tendrá el perfil aromático y la concentración polifenólica en valores que indican la madurez fisiológica necesaria para producir un vino de calidad (Pickering, 2000).

USO DE ENZIMAS

La glucosa oxidasa (GOx) es una oxidorreductasa que cataliza la oxidación de la glucosa, lo que aplicado a un mosto, resultaría una degradación del azúcar fermentable y, por tanto, un vino con una concentración alcohólica reducida. La GOx de *Aspergillus niger* se la reconoce como una enzima segura para su uso (GRAS, *generally regarded as safe*) y es la que generalmente se utiliza en la industria, aplicada antes de la fermentación del mosto ya que es una enzima activa en presencia de oxígeno y las condiciones fermentativas no permitirían un pleno rendimiento de la GOx. Además, se le podría atribuir la función de conservante ya que tendría cierta capacidad antimicrobiana, esto permite la reducción de las dosis de conservantes químicos (Wong et al., 2008; Malherbe et al., 2003).

Las siguiente reacciones (Wong et al, 2008) representan la degradación de la glucosa hasta el ácido glucónico, siendo en primer lugar la GOx la que cataliza la oxidación del azúcar para dar lugar a una glucolactona, que posteriormente es hidrolizada (por la catalasa) a ácido glucónico:



Se conoce que un factor limitante para la degradación de la glucosa es el pH del mosto pero enriqueciéndolo con carbonato de calcio, previo al tratamiento con GOx, se minimizan tiempos de proceso; el óptimo se encuentra en torno al 3-4% de CaCO₃, manteniendo el pH sobre 6,5-6,8. Se consiguió optimizar la conversión de glucosa a rendimientos más altos del 87% después de estudiar distintas combinaciones de dosis añadidas con aireaciones y temperaturas (Pickering et al., 1998; Bankar et al., 2009).

El proceso (Figura 1) constaría de 2 desacidificaciones, una antes del tratamiento con GOx, es decir, cuando se añade carbonato cálcico (ya que estamos subiendo el pH del vino) y otra post-fermentativa; esta última desacidificación se debe a que el vino final contiene altas concentraciones de ácido glucónico, derivado del tratamiento con GOx (Pickering, 2000).

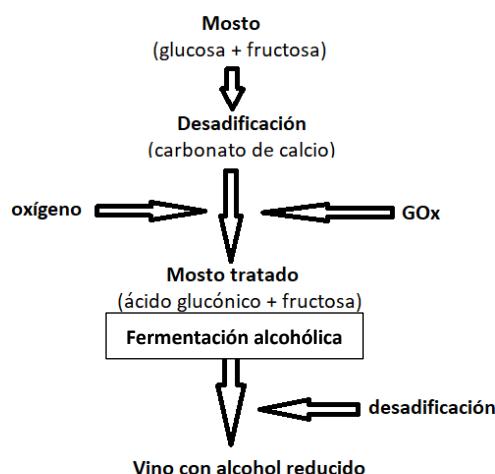


Imagen 1: Diagrama de flujo para la producción de vinos desalcoholizados por medio de GOx (Pickering, 2000).

Estudios más recientes (Röcker et al., 2016) informan que el sistema GOx-Catalasa es un método fiable para la producción de vinos desalcoholizados; en un periodo de 30 horas, se consigue reducir cerca del 2% Vol. de alcohol pero los investigadores reportan importantes cambios en el perfil aromático de los vinos, achacado a la pérdida de ésteres durante la oxigenación del mosto.

La incorporación de GOx, de igual modo que otras enzimas en la industria, al proceso de elaboración de vinos se está adoptando como una práctica alternativa al uso de tratamientos químicos o físicos que son menos respetuosos con el medio ambiente. Para que este método sea rentable en el mercado, se debe investigar sobre sistemas de desacidificación para eliminar el exceso de ácido glucónico producido durante la desalcoholización y formas de reducir la cantidad de oxígeno incorporado al proceso, logrando conservar parte de los ésteres degradados (Wong et al., 2008; Röcker et al., 2016).

La levadura por excelencia para la vinificación, *Saccharomyces cerevisiae*, no tiene el gen encargado de la producción de glucosa oxidasa pero ya se han creado cepas transgénicas adoptando la enzima de *Aspergillus niger*. El uso de microorganismos transgénicos no es una práctica aceptada por la OIV, sin embargo, sí que es posible el uso de preparaciones enzimáticas tal y como se redacta en la Resolución de la OIV, OENO 498-2013: “En adición al mosto para catalizar la hidrólisis de la porción azucarada de las sustancias aromáticas glicosiladas (precursores del sabor) de la uva, como los terpenos”. Aunque no se especifica tampoco que la práctica sea aceptada con la finalidad de reducir la concentración de azúcares en la uva para obtener vinos con bajo nivel de alcohol (Kutyna et al., 2010; Codex Internacional de Prácticas Enológicas, 2019).

SEPARACIÓN DEL ALCOHOL DEL VINO

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Estos tratamientos están basados en la volatilidad de los diferentes compuestos que se encuentran en la matriz del vino (evaporación y condensación bajo vacío) y en la diferencia de la temperatura de congelación (crioconcentración). Sabiendo que el etanol tiene un punto de ebullición más bajo que el agua, es lógico pensar que un modo de eliminar el alcohol de un vino es someterlo a calentamiento. Desde que se empezaron a desarrollar las técnicas de desalcoholización se probaron métodos como la evaporación y la destilación, obteniendo productos cuyas características organolépticas eran inaceptables; dichas técnicas han ido evolucionando, utilizando sistemas bajo vacío que permiten trabajar con temperaturas más bajas (sobre los 36 °C) junto con equipos de recuperación de compuestos aromáticos.

EVAPORACIÓN.

La evaporación es un método tradicional, post-fermentativo, para la producción de vinos desalcoholizados basado en equipos de evaporadores de capa fina en los que la calidad del producto final depende del tiempo que permanezca el vino sobre la superficie de intercambio de calor. (Liguori et al., 2018; Güzel et al., 2020). Industrialmente se utilizan los siguientes equipos: "Spinning Cone Column" (SCC) o columna de conos giratorios y "Falling Film Evaporators" o evaporadores de capa descendente.

- Falling film evaporator o evaporador de capa descendente: Se caracteriza por utilizar una tecnología de bajo coste, en comparación con sistemas de membranas o métodos enzimáticos, no solo en funcionamiento sino también en mantenimiento (Güzel et al., 2020; Müller et al., 2017). Este equipo se diferencia de los equipos de SCC en que no hay partes móviles, sino que es el líquido que pasa a través del sistema, movido por la gravedad, formando una fina capa sobre las superficies durante un corto periodo de tiempo, minimizando a su vez el daño causado por el oxígeno que pueden transmitir las partes móviles de otros sistemas evaporativos, como los SCC (Brányik et al., 2012).

El producto a desalcoholizar es vertido en el evaporador, formando una fina capa sobre las superficies y evaporándose a medida que fluye hacia abajo, formando el vapor de proceso (concentrado en alcohol). El vapor de proceso es utilizado para calentar los tubos del evaporador y se separa del producto desalcoholizado. Todo el sistema está conectado entre sí mediante una bomba de vacío, la cual permite controlar la temperatura de evaporación; parámetro de gran importancia, junto con el calor aportado por el vapor, para obtener productos con el menor impacto térmico. (Müller et al., 2017; Brányik et al., 2012; Güzel et al., 2020).

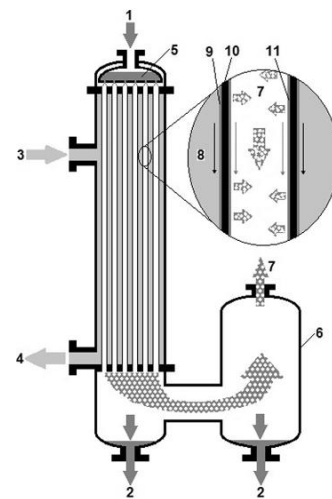


Imagen 2: Falling film evaporator. Adaptación Brányik et al, 2012. (1) Alimentación producto (2) Producto desalcoholizado (3) Entrada vapor de proceso (4) Salida vapor de proceso (5) Cabeza del evaporador (6) Separador de vapor (condensador) (7) Flujo de vapor (8) Vapor de proceso (9) Película de vapor condensado (10) Superficie de intercambio (11) Película de vino.

Los investigadores indican varios inconvenientes en este proceso; por ejemplo, en el caso de desalcoholización de cerveza, esta debe precalentarse sobre los 60 °C antes de entrar al evaporador (Brányik et al., 2012). En el caso de una desalcoholización de vinos, si se supera el 97% en la eliminación de etanol supondría la eliminación de todos los ésteres, además de una acumulación de acetaldehído (Müller et al., 2017) y un calentamiento del producto sobre los 38 °C (Pickering, 2000).

- Spinning Cone Column (SCC) o columna de conos giratorios: Técnica moderna, continua y de varias etapas, desarrollada en Estados Unidos en la década de 1930 y modificada recientemente en Australia (Pickering, 2000); la evolución de los métodos mecánicos para la desalcoholización de bebidas desemboca en los equipos SCC (Liguori et al., 2018). El proceso de separación se produce del mismo modo que en los evaporadores de capa descendente, es decir, los componentes con bajo punto de ebullición se evaporan formando una corriente de gas que fluye de forma contraria al líquido (Müller et al., 2017). En el interior de estos equipos (Imagen 3) se encuentran una serie de conos, dispuestos alternamente, los cuales trabajan unos bajo rotación y otros de forma estacionaria, permitiendo formar una película fina de líquido sobre ellos mediante una fuerza mecánica (centrífuga) (Brányik et al., 2012).

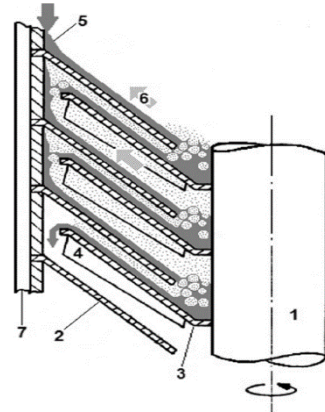


Imagen 3: Interior de una columna de conos giratorios. Adaptación Brányik et al, 2012. (1) Pieza de rotación (2) Cono fijo (3) Cono giratorio (4) Aleta (5) Flujo del líquido de proceso (vino) (6) Flujo de vapor ascendente (7) Pared externa.

Estos equipos (Imagen 4) funcionan en 2 etapas (Liguori et al., 2018):

- 1- Eliminación de compuestos volátiles bajo vacío y a baja temperatura (26 °C).
- 2- Se incrementa la temperatura (30 °C) para eliminar el etanol, mientras que la fracción de compuestos aromáticos, volatilizada inicialmente, es devuelta al producto final.

Al contrario que en la destilación, en los procesos evaporativos no hay partes del equipo cuya función sea la de rectificar o enriquecer el producto; los parámetros a tener en cuenta son: la cantidad de líquido en la alimentación, la temperatura de proceso y la relación de volatilización de los compuestos con el tiempo (Güzel et al., 2020). Se diferencia de los evaporadores de capa descendente en que el tiempo de residencia es muy reducido (< 1s) sin embargo puede haber pequeños aportes de oxígeno debido a las piezas móviles (Müller et al., 2017).

Para que la recuperación de etanol y de otros compuestos volátiles sea óptima, el equipo tiene que operar bajo un flujo importante del líquido de alimentación, en este caso vino, a bajas temperaturas y con tasas intermedias de volatilización, es decir, se encontraron concentraciones más altas de etanol en

la mezcla acuosa cuando el sistema funcionaba bajo las condiciones descritas. (Huerta-Pérez et al., 2018).

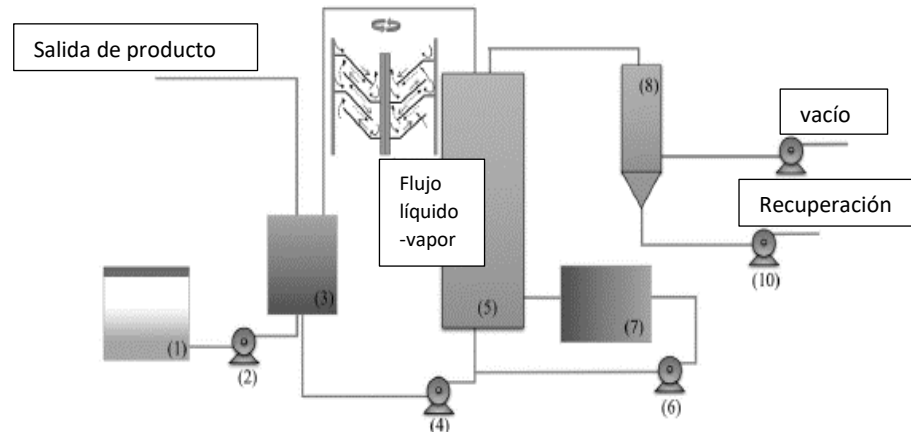


Imagen 4: Esquema general de un sistema SCC. Adaptación Güzel et al, 2020. (1) Tanque de alimentación (vino sin tratar) (2) Bomba de alimentación (3) Intercambiador de calor (4) Bomba de descarga (5) SCC (6) Bomba de recuperación (7) Recuperador de calor (8) Condensador (9) Bomba de vacío (10) Bomba para la recuperación de compuestos.

DESTILACIÓN BAJO VACÍO.

Las columnas de destilación es otro de los métodos térmicos más comunes para llevar a cabo una desalcoholización de una bebida. Funcionan como una corriente en la que se van alternando evaporadores y condensadores, es decir, que las diferentes fracciones se van recogiendo por etapas; el sistema se basa en un flujo a contracorriente en el cual hay un intercambio de compuestos constante entre el líquido y el gas, recogiendo la fracción más volátil (concentrada en etanol) al final del equipo y la menos volátil (vino desalcoholizado) en el principio, mientras que las sustancias volátiles se han ido rectificando y pueden ser devueltas de forma condensada al producto final (Müller et al., 2017; Pickering, 2000; Gómez-Plaza et al., 1999).

La destilación bajo vacío, también llamada rectificación (Güzel et al., 2020; Müller et al., 2017), sustituye por completo a la destilación bajo presión atmosférica, con el objetivo de minimizar el “stress” térmico sufrido por el vino para conservar aromas y materia colorante. Los equipos poderosos de destilación continua bajo vacío (Imagen 5) se componen de: un intercambiador de calor de placas, un desgasificador (industria cervecera), una columna de rectificación y un condensador o enfriador.



Imagen 5: Esquema de un equipo de destilación bajo vacío. (Liguori et al, 2018)

Gómez-Plaza (1999) utilizó un sistema continuo bajo vacío, que constaba de dos secciones en las que se condensaba el destilado; esto permite hacer un seguimiento de la pérdida de compuestos volátiles a lo largo del sistema. Los resultados fueron que la mayoría de compuestos volátiles se había degradado y el vino final era organolépticamente inaceptable, llegando a la conclusión de que solo mezclándolo con otro vino nuevo o añadiendo la fracción de compuestos volátiles perdida, se podría llegar a producir un vino, más o menos, interesante. Esta línea de investigación siguió, y

aplicando el sistema de destilación durante la fermentación alcohólica se consiguió eliminar el 2% Vol. de etanol (Aguera et al., 2010); esto permite que se compense la pérdida de compuestos aromáticos durante la segunda parte de la fermentación.

CRIOCONCENTRACIÓN.

La crioconcentración es una técnica eficaz para elaborar un concentrado de cualquier líquido alimenticio, ya sea vino, mosto o zumo de cualquier otra fruta y se ha comprobado cómo estando bajo condiciones de vacío, es posible mejorar la eficiencia del proceso, obteniendo valores óptimos de hielo puro en comparación con un proceso realizado bajo presión atmosférica (Petzold et al., 2017).

Los equipos convencionales son aquellos que consiguen una concentración del etanol mediante la cristalización de partículas en suspensión. Estos equipos han sido mejorados tecnológicamente hasta obtener crioconcentradores de “una etapa” (“one-step”), como pueden ser: los de congelación en bloque o los de congelación progresiva. (Petzold et al., 2016). El funcionamiento de los equipos de una sola etapa, es el siguiente: El vino es completamente congelado, a medida que el bloque se va descongelando, la fracción líquida (concentrada) se libera por gravedad y puede ser asistida por otra para mejorar la eficiencia (Petzold et al., 2017).

La mayoría de la investigación en esta técnica se centra en zumos de frutas para la producción de zumos concentrados (Aider y Halleux, 2008; Orellana et al., 2017). Esto se debe a que además de ser un proceso relativamente delicado y caro, aporta características negativas al vino, como puede ser un pardeamiento del color debido al contacto con el oxígeno presente cuando se forma el hielo (Pickering, 2000; Petzold et al., 2017).

TECNOLOGÍAS DE MEMBRANA

Las tecnologías de membrana se presentan como una alternativa, o como complemento, a los métodos convencionales para la desalcoholización de vinos; este tipo de tecnologías se utilizan ampliamente en otros sectores de la industria alimenticia desde los años 60 del siglo pasado y por ello, han atraído igualmente interés en su aplicación a procesos enológicos. El desarrollo se ha centrado en la obtención de productos de calidad con la mejor eficiencia y coste posible (Mandingaan et al., 2018).

Los procesos de membrana, en general, se basan en la diferencia de tamaño entre las moléculas del líquido a tratar, separándolas selectivamente a través de una membrana semipermeable por diferencias de concentración y/o presión. En algunos casos, la fuerza impulsora que determina la separación puede ser la afinidad química o la volatilidad de determinados componentes de la alimentación. La ventaja de estos métodos es la baja temperatura a la que se realiza el proceso, suele estar por 15 °C, por lo que se evita la degradación, por acción del calor, del vino (Müller et al., 2017).

De acuerdo con toda la bibliografía consultada y siendo consistentes con la nomenclatura habitual en los procesos de separación, las dos fracciones resultantes de los procesos de membrana se denominarán: Permeado (P), fracción concentrada en alcohol, y retenido (R), fracción pobre en alcohol.

ÓSMOSIS INVERSA (RO)

El proceso de ósmosis inversa se lleva a cabo mediante membranas densas semipermeables compuestas de una capa fina de acetato de celulosa o de poliamidas sobre otra capa más gruesa de polisulfona que ejerce de soporte. Así se puede trabajar a presiones más elevadas que en la NF, por encima de 60 bar., superando la presión osmótica y haciendo que el alcohol y el agua (P) traspasen la membrana mientras que los componentes que inciden en las propiedades organolépticas (R), son retenidos (Imagen 6) (Müller et al., 2017); es decir, que en este proceso, la fuerza impulsora es la presión hidrostática suministrada por la bomba (Castro-Muñoz, 2020).

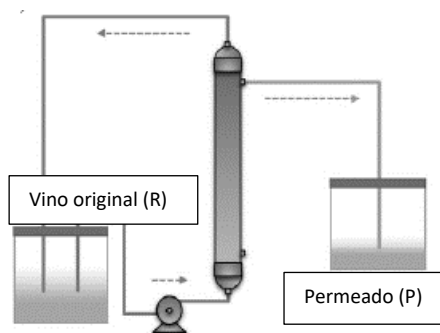


Imagen 6: Diagrama del proceso de RO. Güzel et al., 2020.

Mandingaan et al. (2018) reunieron, en revisiones anteriores, una serie de utilidades o características del proceso de RO. La RO es apta para la desalcoholización de bebidas, con cambios no significativos en la calidad organoléptica; haciendo una comparación de los tipos de membranas, se llegó a la conclusión de que las membranas que muestran un mayor rendimiento son las de acetato de celulosa, achacando un menor rendimiento a las membranas de poliamida debido a su hidrofobicidad. El rendimiento del proceso cae cuanto mayor sea el pH del vino, según los reportan las investigaciones.

Estudios comparativos de RO, para la eliminación de alcohol en el vino, con tratamientos prefermentativos, como la elección del momento de la vendimia, fueron llevados a cabo (Longo et al., 2018 (b)). Los resultados indicaron que hubo una gran pérdida de componentes volátiles, sobre todo ésteres, en los vinos desalcoholizados lo que provoca una pérdida de intensidad aromática y de sensación alcohólica en boca; concluyeron que para desalcoholizaciones fuertes, por debajo de 2% Vol., habría que tener en cuenta la composición de la matriz del vino en relación a los componentes no volátiles, además de dimensionar y diseñar la membrana, que se necesite específicamente para la desalcoholización de un vino en particular, para minimizar las pérdidas de aromas sobre el producto final.

Otros estudios han llevado un seguimiento de la composición fenólica y de aminoácidos en vinos desalcoholizados mediante RO, para comprobar si después del proceso los vinos mantenían sus propiedades antioxidantes (Bogianchini et al., 2011). Se pudo probar cómo la composición bioactiva de los vinos finales se mantenía (Tabla 2), además de comprobar que es más estable que en vinos desalcoholizados por otros métodos; también se hizo un seguimiento del vino en la botella y se comprobó cómo la concentración de polifenoles y aminoácidos disminuía significativamente después de 30 días en la botella, lo que sugiere una determinación del momento óptimo de consumo.

Tabla 2: Comparación analítica de un vino desalcoholizado mediante RO y el vino original. Adaptación Bogianchini et al., 2011.

Parámetro	Vino testigo (original)	Vino desalcoholizado (Retenido en RO)
Etanol (% v/v)	12,70	1,77
Azúcares totales (g/L)	3,36	3,17
Glicerol (g/L)	8,18	7,50

Acidez volátil (g/L de acético)	0,32	0,40
Acidez total (g/L de tartárico)	4,50	4,30
pH	3,46	3,60
IPT	46,18	42,30
Taninos totales (g/L)	1,54	1,65
Intensidad de color (IC)	7,25	8,77

Hay que tener en cuenta el factor económico intrínseco en el proceso de RO, ya que dependiendo del grado de desalcoholización, el consumo de agua aumenta a medida que se reduce el grado del producto final, además de los costes en diseño de la planta de RO. De acuerdo con los investigadores, para desalcoholizaciones por debajo de 0,45% Vol. el proceso no es factible (Müller et al., 2017). Además del problema que supone, a nivel normativo, la adición de agua al producto final (Pickering, 2000).

NANOFILTRACIÓN (NF)

Proceso de separación mediante membrana dirigido por diferencia de presión (rangos de 10-60 bar), en el cual dicha membrana rechaza las partículas mayores a 2 nm, teniendo unas características intermedias entre la ósmosis inversa y la ultrafiltración, en cuanto a presión aplicada y selectividad de la membrana (Müller et al., 2017). Salehi (2014) describe, a la mayoría de membranas de NF que se fabrican, como una estructura en forma de espiral compuesta por materiales de polímeros de composite (resinas polimerizables).

Catarino y Mendes (2011) realizaron estudios sobre la aplicación de este tipo de membranas para eliminar el alcohol del vino. Se consiguió una reducción de 12% Vol. a 5% Vol. además de vinos desalcoholizados que mantenían el perfil aromático y equilibrio a nivel analítico. Con las membranas que se obtuvieron mejores resultados se consiguió un rechazo del 70% de etanol sobre el producto final, las cuales eran de composite de poliamida sobre poliéster. Los vinos finales consiguieron mejorar cualitativamente utilizando la pervaporación como técnica complementaria para recuperación de aromas y compuestos volátiles perdidos en la NF.

La NF es una técnica que muchos autores consideran apropiada para el tratamiento de mostos con el objetivo de reducir el azúcar fermentable (Castro-Muñoz, 2020). En un ensayo de tratamiento de mosto mediante NF en dos pasos, se consiguió producir vino tinto con rangos de concentraciones alcohólicas de 5,6-8,4% Vol; los vinos no consiguieron la calidad necesaria para que fueran aceptables. Esto fue atribuido a la alta capacidad de rechazo de las membranas de NF sobre algunos componentes del mosto (García-Martín et al., 2010).

También se puede utilizar como una técnica alternativa a la chaptalización si se usa para el tratamiento de mostos, consiguiendo obtener una fracción concentrada en azúcares y que posteriormente sea fermentada. Se han obtenido rangos de retención de azúcares en valores de 77-97% mediante NF en mostos, siendo capaz de reducir el 14% del alcohol potencial en el permeado, en la fracción menos concentrada, si la concentración de azúcares inicial lo permitiera, según informa Salehi (2014).

DESTILACIÓN OSMÓTICA (OD)

La destilación osmótica, también llamada contactor de membrana (MC, *membrane contactor*), destilación isotérmica mediante membrana o perstracción evaporativa (EP, *evaporative pertraction*), algunos autores indican que este último término es el más preciso para hablar de un proceso de desalcoholización de vino (Diban et al., 2008; Mandinga et al., 2018), es un proceso basado en sistema de membrana relativamente nuevo, en comparación con la ósmosis inversa (Liguori et al., 2018). Las ventajas que presenta esta técnica, en un principio, son: evita dañar el producto final debido a altas temperaturas, previniendo las pérdidas de compuestos aromáticos y relacionados con el sabor, además de presentar un consumo de energía inferior al de otros procesos anteriormente descritos (Varavuth et al., 2009).

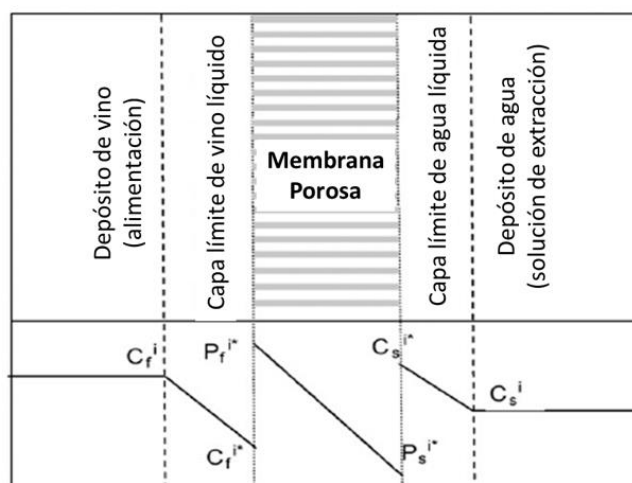


Imagen 7: Mecanismo de transferencia del etanol a través de la membrana en el proceso de OD. (Diban et al., 2008).
C: Concentración, P: Presión de vapor.

El proceso de OD (Imagen 7) se lleva a cabo mediante una membrana de fibra microporosa hidrofóbica, basada en el polipropileno, bajo condiciones ambientales de presión y temperatura, usando generalmente agua como un agente de extracción biológicamente seguro y barato (Mandinga et al., 2018). Para la separación, o transferencia, del soluto (etanol) de la fase acuosa en la que se encuentra concentrada (el vino), la cual se encuentra a un lado de la membrana, es necesario que en la otra cara de la membrana otra solución acuosa menos concentrada, a la cual se transfiere el etanol en fase gaseosa a través de los microporos. La presión a la que se realiza la operación debe mantenerse por debajo de la presión capilar de penetración del líquido, esto permite que en los poros de la membrana se formen “huecos” de aire, por donde se transfiere el etanol, en fase gaseosa; es decir, que la fuerza que dirige el proceso es la presión de vapor debido al gradiente de concentración entre el vino o solución de alimentación (fase acuosa concentrada) y la fase de extracción (agua) (Diban et al., 2008; Liguori et al., 2018).

Varavuth et al. (2009) divide el proceso en 3 pasos:

- 1- Evaporación del etanol en los poros de la membrana (solución de alimentación).
- 2- Difusión del etanol en fase gaseosa a través de la membrana.
- 3- Condensación del etanol gaseoso en la solución de extracción.

Otra ventaja propia del proceso es la preferencia de la transferencia de etanol, sobre otros compuestos volátiles, a través de la membrana ya que este es uno de los compuestos volátiles que se encuentra en mayor proporción, por lo que la operación se realiza más rápidamente. Sin embargo, la solubilidad de los compuestos es mayor en una solución hidroalcohólica que en agua pura, lo que limita la transferencia de compuestos aromáticos a la fase de extracción (Diban et al., 2008).

Se han estudiado otro tipo de soluciones de extracción diferentes al agua (Varavuth et al., 2009), tales como soluciones de glicerol y CaCl_2 . Estos últimos se han utilizado más ampliamente para concentrar zumo de fruta por OD para evitar la presencia de agua, además de no ser tóxicos; el problema que causan este tipo de soluciones de extracción son el desgaste de equipos, por parte de CaCl_2 , mientras que el glicerol muestra una viscosidad demasiado alta.

Castro-Muñoz (2020) reporta datos obtenidos en estudios sobre OD, los cuales consiguieron reducir el etanol a niveles inferiores a 2% Vol. en los vinos, en los que se conservan las propiedades físico-químicas del vino original; estos resultados fueron más satisfactorios que en estudios anteriores, los cuales redujeron la concentraciones de 13% Vol. hasta 0,19% Vol. Sin embargo, los compuestos volátiles (como los alcoholes isoamílicos) también se redujeron en torno al 98%, lo que resultó en vinos con peores características organolépticas que el vino original aunque sin cambios significativos en cuanto a las propiedades o características tecnológicas (como pH y acidez total); la mayoría de ácidos orgánicos se mantuvieron en sus concentraciones mientras que otros (como ácido cítrico y el oxálico) fueron ligeramente concentrados.

El incremento en la alimentación y en la solución de extracción, junto con la temperatura del proceso, provoca un aumento en la transferencia de etanol de un lado de la membrana al otro (Varavuth et al., 2009). En cambio, estudios realizados en vinos sintéticos (Diban et al., 2008) reportan que la transferencia, de etanol a través de la membrana, aumenta cuando el flujo de alimentación se reduce, debido a un mayor tiempo de retención en el módulo.

DIÁLISIS (DI)

El proceso de diálisis, enfocado a la desalcoholización, se basa en eliminar el alcohol del seno del vino utilizando el principio de difusión selectiva a través de una membrana semipermeable (Mandingaan et al., 2018). La diálisis es la separación de sustancias de bajo peso molecular en disoluciones, o suspensiones, debido a una diferencia de concentración transmembrana y al coeficiente de difusión de las sustancias que pretendemos separar; esto la diferencia de las demás técnicas de membrana, ya que en este caso, la causa del proceso es una diferencia de concentración entre 2 soluciones y no una diferencia de presión, como en NF o RO (Müller et al., 2017). Mediante esta tecnología se reduce, aún más que con las técnicas explicadas antes, el daño térmico ya que se trabaja en torno a los 6 °C (Huerta, 2019).

La diálisis como método para desalcoholización de cervezas, es uno de los primeros sistemas de membranas en utilizarse y está ampliamente tratado en investigaciones anteriores a esta revisión (Liguori et al., 2018; Müller et al., 2017; Mandinga et al., 2018; Güzel et al., 2020). Para el caso de la producción de cerveza con alcohol reducido,

el proceso debe estar bajo una presión superior a la presión de saturación del CO₂, para igualar la diferencia de presiones; además de enriquecer el agua de la disolución con dióxido de carbono para evitar pérdidas del mismo, en el producto final (Liguori et al., 2018). Se ha documentado que usando una membrana de fibra hueca, de 90 m², a una temperatura de proceso de 5 °C, se consiguió una reducción de 3,29 %Vol. (de 6,29 %Vol. a 3 %Vol.) (Mandingaan et al., 2018).

Para la desalcoholización, bien parcial o total, de vinos no hay todavía una gran investigación sobre la aplicación de sistemas de diálisis. Sin embargo, se han hecho pruebas a nivel de laboratorio con vinos experimentales en la Universidad de Valladolid (Huerta, 2019) con el objetivo de reducir el contenido en etanol de un vino blanco mediante un proceso de diálisis. Se estudiaron diferentes tipos de membranas, probando con un sistema de diálisis a pequeña escala (Imagen 8), comprobando finalmente que las membranas con las que se obtuvieron mejores resultados fueron de tipo TFM (thin-film membrane), las cuales presentaban una porosidad mayor al resto de membranas; esto indica un nivel menor de selectividad de la membrana elegida frente al resto.

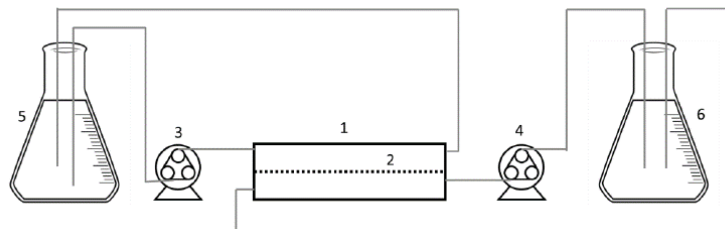


Imagen 8: Esquema del sistema de diálisis a escala de laboratorio. (Huerta et al, 2019). 1) Celda de membrana, 2) Membrana, 3) y 4) Bombas peristálticas, 5) y 6) Matraces Erlenmeyer.

Se consiguió reducir en medio grado la concentración de etanol sobre el vino final sin una alteración de los demás parámetros físico-químicos; la falta de un aislamiento total provocó una ligera concentración de la acidez volátil y un descenso en los niveles de sulfuroso, debido al contacto con el aire.

PERVAPORACIÓN (PV).

La pervaporación es considerada una técnica de membrana eficaz para llevar a cabo una separación de componentes, los cuales se presentan en una mezcla azeotrópica, con puntos de ebullición similares (Castro-Muñoz, 2019). Siendo un azeótropo, o mezcla azeotrópica, aquel o aquella que tiene una composición definida entre 2 o más compuestos (por ejemplo, un vino) que hierve a temperatura constante y sus fases (líquida y gaseosa) tendrán una composición igual. Es un proceso dirigido por una diferencia de presión parcial a ambos lados de la membrana, que trabaja combinando dos procesos de separación diferentes: evaporación y permeación, sobre dicha membrana (Mandingaan et al., 2018).

El modo de funcionamiento es el siguiente: El líquido de alimentación, en este caso el vino, se encuentra en contacto directo con el lado selectivo de la membrana, mientras que el permeado pasa al otro lado de la membrana en forma gaseosa, enriquecido con el resto de componentes que muestren una alta afinidad a la membrana (Müller et al., 2017). El transporte a través de la membrana se lleva a cabo cuando se provoca una

diferencia de presiones entre ambos lados aplicando bien vacío, un gas de barrido (por ejemplo, nitrógeno) o cambios en la temperatura, posteriormente el permeado es condensado y recuperado (Mandingaan et al., 2018). Wee et al. (2008) describe, sencillamente, al proceso de transporte del etanol en tres pasos:

- 1- Adsorción del componente que se desea eliminar (etanol) por el lado selectivo de la membrana, en función de su afinidad química.
- 2- Difusión del etanol a través de la membrana como consecuencia del gradiente de concentración.
- 3- Expulsión del etanol hacia el lado del permeado.

Estando fuertemente condicionado por el potencial de gradiente químico, las propiedades físicas del componente y su concentración en el lado del permeado.

Las membranas propias para el proceso de PV son membranas hidrofóbicas no porosas, las cuales son capaces de eliminar compuestos orgánicos (no polares), como pueden ser alcoholes (por ejemplo, etanol o alcoholes isoamílicos), aldehídos (como el acetaldehído) o ésteres (como el acetato de isoamilo) (Castro-Muñoz, 2019).

Takács et al. (2007) en experimentos de desalcoholización de vinos llevados a cabo mediante un equipo de PV a escala de laboratorio (Imagen 9), los cuales se realizaron a diferentes temperaturas, muestran que dicho factor juega el papel de mayor importancia dentro de la PV. Esto se debe a que un aumento en la temperatura de proceso, hace que se aumente el flujo del permeado por lo que la demanda de etanol a ese lado de la membrana disminuye, además de que se observa un descenso en la eficiencia y en la habilidad de separación de la membrana; resumiendo, el producto final (permeado) se obtiene con mayor rapidez en detrimento de su calidad organoléptica.

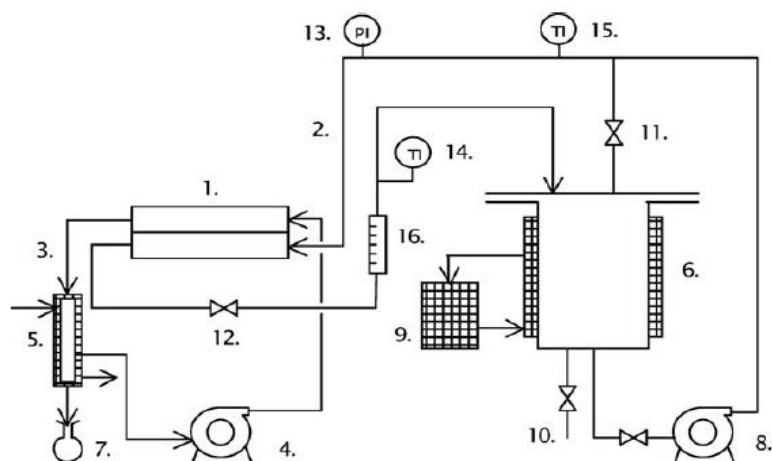


Imagen 9: Equipo de PV a escala de laboratorio. Takács et al. (2007).

- 1) Membrana, 2) Entrada líquido alimentación, 3) Permeado, 4) Bomba de vacío,
- 5) Condensador, 6) Depósito de alimentación, 7) Colector del permeado,
- 8) Bomba, 9) Termostato, 10) Válvula de salida, 11) Válvula de control de flujo,
- 12) Válvula de presión, 13) Manómetro, 14) y 15) termómetros, 16) Caudalímetro.

En estudios más recientes (Asensio, 2018), se ha conseguido la desalcoholización de un vino blanco mediante PV utilizando membranas compuestas de PDMS (material formado por compuestos organosilíceos, más conocidos como siliconas), las cuales presentan una alta hidrofobicidad. El proceso fue llevado a cabo a temperaturas

máximas de 80 °C y se consiguió reducir un 0,9 %Vol. del vino inicial, concluyendo que la PV es un proceso válido para la desalcoholización de vinos. Por otro lado, la calidad organoléptica del vino parcialmente desalcoholizado no fue satisfactoria, probablemente debido al dimensionado del equipo de PV; la celda de filtración era de pequeñas dimensiones, lo que alargó el tiempo de proceso, haciendo recircular excesivamente el retenido y recogiendo muy lentamente el permeado, provocando oxidaciones.

De los estudios revisados, (Castro-Muñoz, 2020 y 2019; Asensio, 2018; Takács et al., 2007; Hoof et al., 2004; Müller et al., 2017) se pueden sintetizar las siguientes ventajas y desventajas que ofrece la PV:

Tabla 3: Ventajas y desventajas de la PV en la desalcoholización de vinos.

Ventajas	Desventajas
Facilidad de trabajo con equipos de PV	Baja producción (permeado) a bajas temperaturas de proceso
Fácilmente combinable con otros métodos o técnicas de desalcoholización	Rango de temperaturas de proceso altas en comparación con otros sistemas de membranas (50-100 °C)
Gran eficiencia de membranas	Alto coste de instalación y equipos
Sin disolventes adicionales	Escasos estudios o experimentos a escala industrial
Bajo consumo en comparación con sistemas convencionales	Dificultad de separación de compuestos con altos puntos de ebullición
Gran utilidad en la recuperación de aromas	Necesidad de grandes superficies de membrana para optimizar el proceso
Minimiza la degradación de los componentes bioactivos (polifenoles...)	Adaptación de la membrana para el tipo de vino o proceso (vino blanco/tinto, dealcoholización o recuperación de aromas...)

ADSORCIÓN

Los alcoholes, como el etanol, pueden ser adsorbidos por resinas porosas, como polímeros de estirolo/divinilbenzol o geles de sílice; aunque estos tipos de técnicas son más propias para su utilidad en laboratorio que para el aprovechamiento a gran escala, para la producción de bebidas sin alcohol (Pickerin et al, 2000).

RESINAS

Se han probado diferentes tipos de resinas para la adsorción tanto de compuestos fenólicos como de carbohidratos en muestras de vino procedentes de uva Merlot (Zagklis y Paraskeva, 2015). Las resinas probadas fueron: dos con base de polímeros de estireno-divinilbenzol y otra acrílica; estas fueron tratadas previamente para eliminar

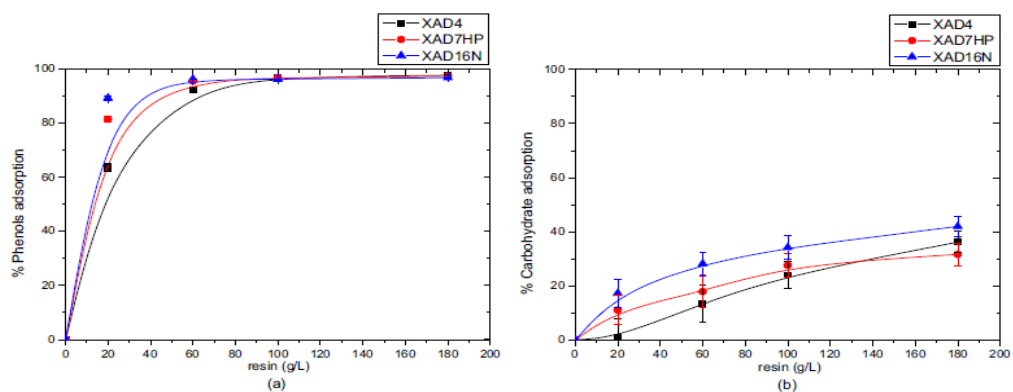


Imagen 10: Adsorción de compuestos fenólicos (a) y carbohidratos (b) en diferentes resinas.(Zagklis y Paraskeva et al., 2015). XAD4: estireno-divinilbenzol, XAD16N: estireno-divinilbenzol, XAD7HP: acrílica.

monómeros que se hayan quedado en la matriz de la resina y así prevenir bloqueos en los poros. Concluyendo en que las óptimas para dicho proceso son las formadas de polímeros de estireno-divinilbenzol, aunque las tres tuvieron buenos rendimientos.

Estudios previos (Caetano et al., 2009), demostraron que el pH tiene un efecto de gran importancia en la función de las resinas, mostrando una combinación entre los mecanismos de adsorción y los de intercambio iónico cuando los fenoles son retenidos por la resina en condiciones alcalinas. En cambio, las resinas “sin funcionalidad”, es decir, que no son resinas de intercambio iónico, mostraron una gran carga en condiciones más ácidas, indicando la preferencia de los fenoles en su forma molecular.

GELES DE SÍLICE

El estudio de geles de sílice se ha enfocado en otros objetivos distintos a la desalcoholización de vinos, pero los estudios reportan datos que pueden ser útiles para futuras investigaciones. Por ejemplo, Qu et al. (2018) investigó las propiedades de adsorción de geles de sílice para eliminar el Fe (III) de una mezcla alcohólica, pudiendo sacar algunas conclusiones de los efectos de la temperatura, el tiempo de contacto con la resina o la concentración inicial del ion Fe (III). En estudios más centrados en el vino (Cotea et al., 2018), demostraron la eficacia de este tipo de resinas para la adsorción de los compuestos bioactivos del vino, como pueden ser los polifenoles; esto puede utilizarse en un futuro, no como método de desalcoholización individual, sino en combinación con otras técnicas actuando como recuperación de las sustancias bioactivas que se puedan degradar por métodos que impliquen temperatura o membranas.

EXTRACCIÓN

En otro bloque se encuentran los procesos de extracción, basados en la eliminación de los compuestos aromáticos junto con el etanol, bien en fase líquida o en estado gaseoso (aplicado a una previa evaporación de vino). Pickering (2000), indica que el disolvente más apropiado y utilizado en la industria es el CO₂; esto se debe a sus características intrínsecas (temperaturas críticas bajas, barato y fácil de manejar) que le aventajan con respecto a otros disolventes orgánicos, como pentano o hexano (Liguori et al, 2018).

Actualmente se sabe que la extracción mediante CO₂ supercrítico es factible en el desempeño de recuperación aromática, siendo un disolvente seguro para la salud. Este proceso se basa en los principios de la termodinámica, en los que la mezcla del fluido supercrítico se comporta como una sola fase, siendo las densidades del líquido y el gas iguales, sin una interfase entre ellas; por lo tanto, el CO₂ supercrítico es capaz de extraer componentes orgánicos en consecuencia a su afinidad por las cadenas compuestas de carbono (en fase líquida) evaporándose inmediatamente después, dejando los compuestos extraídos sin ningún residuo (Mandingaan et al., 2018).

Estudios de principios de siglo (Gamse et al., 1999) ya tenían como objetivo la desalcoholización de vinos mediante el uso del dióxido de carbono supercrítico, consiguiendo una desalcoholización de un vino inicial con 11 %Vol. a un vino parcialmente desalcoholizado con 3 %Vol. bajo unas condiciones óptimas de 160 bar. y 25 °C. Se han hecho ensayos en plantas piloto (Ruiz-Rodríguez et al., 2010) con el objetivo de optimizar las condiciones de extracción necesarias para obtener una desalcoholización casi total, de vinos con 10 %Vol. hasta

concentraciones inferiores al 1 %Vol. Las pruebas se realizaron todas a la misma temperatura (308 K) y se fue variando la presión y el ratio CO₂/vino.

De acuerdo con los estudios descritos y con la bibliografía consultada, el parámetro principal que controla la calidad o eficiencia del proceso es el ratio: flujo de vino/flujo de CO₂; los cuales habría que combinar de modo que el flujo de vino sea mayor que el flujo del disolvente supercrítico (Da Porto y Decorti, 2010).

También se ha comprobado la eficacia de esta técnica a la hora de producir vinos desalcoholizados con cierta calidad organoléptica (Ruiz-Rodriguez et al., 2012), en los que se ha desalcoholizado un vino por medio de CO₂ supercrítico y, además de comprobar una reducción en la concentración de etanol, se analizaron componentes relacionados con aromas y sabores, además de los compuestos bioactivos; muchos componentes aromáticos (como el acetato de isoamilo o el acetato de etilo) se encontraban tanto en el vino desalcoholizado (1 %Vol.) como en el vino inicial, además de mantener también su bioactividad (polifenoles). Esta línea de investigación se empezó años atrás, consiguiendo un concentrado de aromas, aislado, en matrices de mezclas alcohólicas (p. ej: en rones. Gracia et al., 2007), permitiendo una aplicación bastante eficaz en la recuperación de compuestos aromáticos en el proceso de desalcoholización.

Pickering (2000), señala que la extracción también puede llevarse a cabo por disolventes orgánicos, como el pentano o el hexano, aunque indica que no se usa comercialmente ya que el daño térmico es mayor, además de que los extractos presentan residuos del disolvente.

OTROS

DILUCIÓN DEL VINO

La dilución o mezcla del vino con otros, es una práctica habitual en bodega en los últimos pasos de la producción ya que de este modo podemos generar un producto homogéneo; mezclando los depósitos entre sí, proporcionalmente, para que las características individuales de los vinos se integren en el vino final. En algunos países, como en E.E.U.U o Australia, está permitido la mezcla de agua en etapas prefermentativas (en mosto), lo que permitiría una reducción del grado alcohólico del vino final, en detrimento de la calidad del mismo a causa del desequilibrio en los parámetros químicos que esto originaría (Schelezki, 2018).

Existen tipos de bebidas alcohólicas derivadas del vino, las cuales están basadas en la reducción de la concentración de etanol del vino a base de mezclas con otros tipos de zumos de fruta (Pickering, 2000), como zumo de naranja. Otro enfoque de las mezclas, basado en lo descrito inicialmente, es la aplicación de esta técnica para mejorar características como el color o el perfil fenólico de los vinos (Li et al., 2020).

Este método tiene mayor interés como complemento a otras técnicas, las cuales pueden desequilibrar organolépticamente al vino, bien por daño térmico o por eliminación de compuestos (aromáticos, fenólicos, exceso de oxigenación, etc).

PARADA DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

La parada fermentativa se puede conseguir de varias formas mediante diferentes prácticas o combinando unas con otras, como pueden ser: una variación de la temperatura de fermentación (incrementándola o disminuyéndola), manejo del SO₂ o, incluso, pasteurizando el vino; esta última práctica es demasiado perjudicial para la calidad del producto pero, las nombradas antes, son habituales a la hora de elaborar vinos dulces (Pickering, 2000). La principal desventaja de este método de producción de vinos con bajo nivel de etanol es la dificultad de lograr la baja

concentración alcohólica junto con la síntesis adecuada de los demás compuestos; por ello, se suele evitar una parada completa de fermentación, creando unas condiciones prefermentativas para el desarrollo limitado de las levaduras, consiguiendo una disminución de la sensación a mosto (Brányik et al., 2012).

La herramienta de mayor utilidad (y la que tiene menor impacto) para parar el metabolismo de las levaduras es un enfriamiento del vino. En la industria cervecera es la práctica más utilizada y se la nombra CCP o CCM (*cold contact process* o *cold contact method*) (Liguori et al., 2018); consiste en bajar la temperatura del mosto en fermentación hasta los 0-1 °C, ya que bajo estas condiciones se ralentiza la síntesis de etanol mientras que otros procesos bioquímicos de síntesis (formación de alcoholes superiores o ésteres) no son afectados en la misma medida (Brányik et al., 2012).

ENFOQUE MICROBIOLÓGICO

El método para la producción de vinos desde un punto de vista microbiológico tiene dos variantes: selección de cepas de levaduras específicas y levaduras genéticamente modificadas (Liguori et al., 2018).

Puede ser uno de los métodos más económicos para la producción de estos vinos, además de ser simple, en el que la mayor parte de la investigación se centra en procesos de manipulación celular, que mantengan el balance redox, particularmente, el equilibrio $NAD^+/NADH$; en el metabolismo de la levadura (Imagen 11), el NAD^+ es esencial para la glicólisis y debe reciclar la forma reducida del cofactor, de otro modo el metabolismo agotaría el ATP provocando la muerte celular. El $NADH$ es oxidado en consecuencia de la producción de etanol, aunque las levaduras también pueden oxidar parte del mismo en la producción de glicerol, catalizado por la deshidrogenasa glicerol-3-fosfato (Kutyna et al., 2010).

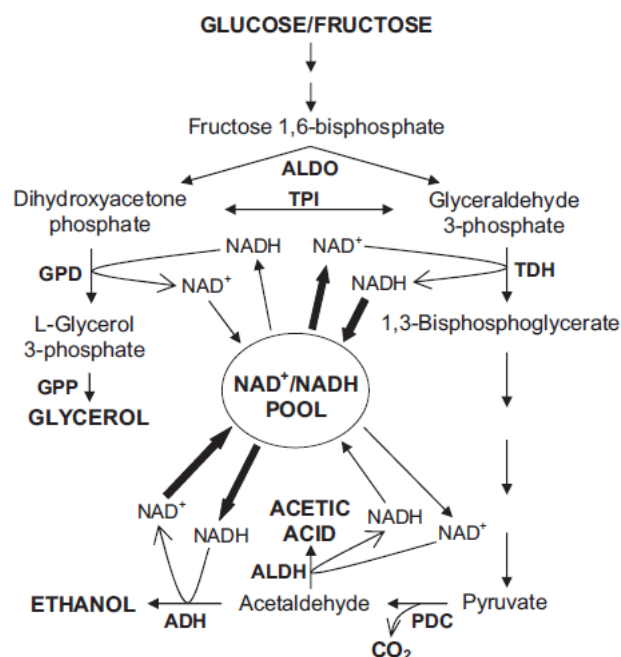


Imagen 11: Metabolismo de *S. cerevisiae* en un medio rico en glucosa y fructosa. Kutyna et al., 2010.

Hay levaduras que no se consideran fermentativas, o que su producción de etanol se ve muy limitada por el oxígeno disuelto en el vino, aunque sintetizan metabolitos similares (alcoholes

superiores y ésteres) y que, en muchas ocasiones, se coinoculan de forma natural en las fermentaciones como pueden ser: *Brettanomyces*, *Dekkara*, *Pichia*, etc. (Erten y Campbell, 2001); por lo que el objetivo de la primera variante de este enfoque debe ser el estudio de cepas de levaduras que realicen el metabolismo de los azúcares sin una producción excesiva de etanol. Además de levaduras hay otros microorganismos, los cuales son capaces de asimilar azúcares sin una producción de etanol, como son las bacterias. En la actualidad se han patentado “inoculaciones inversas” en las que se inoculaba una cepa de bacteria (*Lactobacillus plantarum*), la cual asimila el ácido málico antes que los azúcares, y posteriormente una levadura fermentativa, permitiendo una reducción del contenido alcohólico del vino final; además se pudo comprobar cómo la bacteria asumía la fructosa como azúcar principal (Saerens et al., 2020).

Otros estudios experimentales han probado la desalcoholización de vino mediante combinación de fermentaciones, en la que se utilizaban levaduras del género *Saccharomyces* (*S. ellipsoideus* y *S. oviformis*) para fermentar los mostos y finalmente se mezclaban los vinos para conseguir una calidad del producto aceptable (Balanuță et al., 2016).

Por otro lado, también se ha estudiado la fermentación de mostos con levaduras no *Saccharomyces* (Erten y Campbell, 2001), es decir, reducir el grado alcohólico de los vinos directamente de la fermentación; una única levadura (*Pichia membranaefaciens*) fue capaz de fermentar el mosto consiguiendo un grado menor a 3 %Vol. pero con una inaceptable cantidad de azúcares residuales. Las levaduras que mostraron mejores resultados globales, con un grado alcohólico sobre los 3 %Vol., fueron *Williopsis saturnus* y *Pichia subpelliculosa*. Otra investigación que sigue esta línea fue llevada a cabo por Canonico et al. (2019), la cual concluyó en que es posible la producción de vinos de bajo contenido alcohólico por medio de levaduras no *Saccharomyces* y en condiciones de oxigenación controladas; el control de la oxigenación, en fases tempranas de la fermentación, permitió modificar el metabolismo de compuestos volátiles por las levaduras. En este estudio, la especie de levadura que consiguió los mejores resultados, en un balance general, fue *Zigosaccharomyces bailii*, consumiendo la totalidad de los azúcares y reduciendo en un 0,8% la concentración alcohólica del vino.

En la actualidad se conoce que el equilibrio redox en las levaduras cuando se encuentran en un medio rico en azúcares está ligado a la síntesis de productos metabólicos como pueden ser el etanol, el glicerol o el ácido acético; la investigación hoy en día se centra en re-dirigir las rutas metabólicas para predecir los productos metabólicos sintetizados. Esto se consigue vía OGM (Organismos Genéticamente Modificados) (Kutyna et al., 2010):

- 1- Mutantes GPD1 y GPD2: Son los llamados mutantes de la deshidrogenasa glicerol-3-fosfato, los cuales mejoran la producción de glicerol a consecuencia de un déficit en la producción del etanol. Esto se debe a que los genes modificados (sobre-expresión en GPD1 y GPD2) son los encargados de sintetizar la enzima que convierte la DHAP (dihidroxiacetona fosfato) a G-3-P, el cual es desfosforilado a glicerol. En resumen, el objetivo de estos OGM es derivar la producción de etanol a una sobre-producción de glicerol, el cual no tiene un impacto negativo en la calidad del vino final; sin embargo, sí se ha comprobado cómo otros metabolitos son producidos en elevadas concentraciones (p. ej: acetaldehído), lo que es un inconveniente para las características organolépticas.
- 2- Mutantes PDC: Estos son los organismos genéticamente modificados de la piruvato descarboxilasa, la cual es una enzima que cataliza la descarboxilación del piruvato en acetaldehído y dióxido de carbono. Se conoce que las levaduras *Saccharomyces* tiene 3

- genes (PDC1, PDC2 y PDC3) encargados de codificar esta enzima y que, eliminando los tres, la levadura no es capaz de desarrollarse en un medio azucarado. Eliminando el PDC2 se ha comprobado cómo la producción en etanol se ve reducida, incrementando, en contraposición, la síntesis de glicerol.
- 3- Mutantes ADH: La reducción de acetaldehído a etanol es llevado a cabo por las alcohol deshidrogenasas (ADH), las cuales están codificadas por 5 genes. El cofactor utilizado en la reacción es el NADH, oxidándose a NAD^+ , manteniendo el balance redox en condiciones óptimas de crecimiento. La reducción de etanol se consigue eliminando o desemparejando estos genes, lo que provoca un incremento de NADH o una disminución de NAD^+ que es compensado con un incremento en la producción de glicerol y de acetato.
 - 4- Mutantes TPI: La isomerasa triosa-fosfato (codificada por TPI1) tiene la función de convertir la dihidroxiacetona fosfato (DHAP) a gliceraldehido-3-fosfato (GAP). Eliminando este gen, la producción de glicerol se incrementaría en detrimento de la producción de etanol; sin embargo, la eliminación total de la actividad TPI1 imposibilita la supervivencia de la célula que daría como resultado fermentaciones incompletas, por lo que la actividad del gen debe ser regulada y no eliminada.
 - 5- Mutantes NOX: En este caso se sobre-expresó un gen (noxE) proveniente de *Lactococcus lactis* en levaduras de vinificación. Este gen se encarga de codificar las oxidasas del NADH (NOX), estas enzimas se encargan de la oxidación del NADH en el momento que hay oxígeno disponible. Sin embargo, estas levaduras no son capaces de llevar a cabo una fermentación completa, consumiendo únicamente la mitad de los azúcares además de incrementar las cantidades de acetaldehído en el producto final. Por ello se ha desarrollado un método en 2 pasos (Heux et al., 2006): primero se produce la multiplicación celular en un medio aerobio y seguidamente sucede una fase de oxigenación suplementaria, la cual es estacionaria en cuanto a crecimiento de las levaduras.
 - 6- Mutantes FPS: Las proteínas FPS son las que facilitan el transporte del glicerol a través de la levadura, es decir, regula las concentraciones de glicerol intracelular, lo que está condicionado por las condiciones osmóticas del entorno. Modificando la expresión del gen se logra una sobreproducción de glicerol, consiguiendo una disminución en la concentración de etanol en el vino.
 - 7- Mutantes GOX: La producción de etanol en un vino es menor cuanto menor sea la concentración de azúcares en el mosto, la eliminación de estos azúcares puede llevarse a cabo por glucosidasas (GOX). Este tipo de OGM ya fue explicado en esta misma revisión, en el método de reducción del azúcar disponible en el mosto.
 - 8- Mutantes HXT: El transporte de hexosas en las levaduras se lleva a cabo por una familia de proteínas intramembrana de transporte (HXT), las cuales se conoce que son 6 las encargadas del transporte de glucosa por la membrana. Modificando los genes que codifican estas proteínas se logra crear una levadura que muestra un fenotipo respiratorio capaz de producir pequeñas cantidades de etanol; aunque este tipo de

levadura únicamente ha sido probada en medios con concentraciones cuatro veces menores en azúcares que un mosto.

- 9- Combinación de mutantes por ingeniería genética: Estas modificaciones en los genes pueden ser combinadas en una misma cepa de levadura mediante ingeniería genética, con el mismo objetivo, redirigir el metabolismo celular para producir glicerol por encima de las concentraciones habituales como consecuencia de una reducción en la síntesis de etanol. Por ejemplo, la cepa (HC42) que tenga los genes GPD1 y ALD3 sobre-expresados, además de los ADH1 y TPI1 eliminados, es capaz de producir un 80,5% menos de etanol, incrementando la síntesis de glicerol en un 2200%.

COMBINACIÓN DE MÉTODOS

Parte de la investigación se ha centrado en la obtención de vinos desalcoholizados, o con baja concentración alcohólica, mediante combinación de métodos para lograr obtener productos de calidad (Pickering, 2000).

Girard et al. (1994) lanzó una patente de un método de desalcoholización de vinos, el cual se basaba en una combinación de RO y dilución de vino, permitiendo así que la parte de vino tratada sea compensada, organolépticamente hablando, por un vino sin tratar. Otra opción es combinar otros tratamientos de membrana en mostos con diluciones, García-Martín et al. (2011) propone utilizar la tecnología de NF (Imagen 12) para reducir el azúcar fermentable de una fracción de mosto, la cual será mezclada con otra fracción más rica en azúcar; justifica este método como uno que respeta las características organolépticas del vino final, además de ser barato en términos de producción.

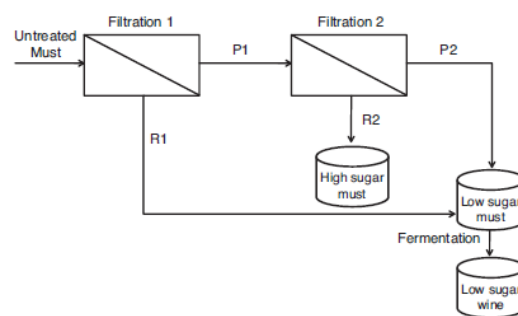


Imagen 12: Esquema del método de desalcoholización de vinos propuesto por García-Martín et al. 2011. P:

Estudios más recientes se han centrado en combinación de tecnologías de membrana para obtener vinos desalcoholizados que consigan satisfacer, en términos de calidad, las necesidades del consumidor. Pham et al. (2020), propone un método que combine las técnicas de RO y PV; los resultados muestran que el método es apto para la desalcoholización de vinos, además de mantener el perfil aromático e influir mínimamente en su composición final. Otros investigadores han estudiado la combinación de NF y PV (Sainz et al, 2017), a escala de laboratorio, para la desalcoholización de vinos y recuperación de aromas en el producto final; finalmente se comprobó la eficacia del equipo, consiguiendo una reducción significativa del vino aunque la investigación reportó resultados negativos, achacados a la pequeña escala de los equipos, en la recuperación de aromas para obtener productos de mayor calidad.

MARCO LEGAL

Tabla 4: Definiciones relacionadas con la desalcoholización de vinos. (International Code of Oenological Practices, 2019).

Vino sin alcohol	Vino desalcoholizado	Vino parcialmente desalcoholizado	Vino de bajo contenido en alcohol
<p>Obtenido exclusivamente de un vino o un vino especial como los descritos en el "International Code of Oenological Practices" de la OIV.</p> <p>Llevado a cabo por un tratamiento de desalcoholización de acuerdo con el "International Code of Oenological Practices".</p> <p>[< 0,05% Vol.]</p>	<p>Obtenido exclusivamente de un vino o un vino especial como los descritos en el "International Code of Oenological Practices" de la OIV.</p> <p>Llevado a cabo por un tratamiento de desalcoholización de acuerdo con el "International Code of Oenological Practices".</p> <p>[< 0,5% Vol.]</p>	<p>Obtenido exclusivamente de un vino o un vino especial como los descritos en el "International Code of Oenological Practices" de la OIV.</p> <p>Llevado a cabo por un tratamiento de desalcoholización de acuerdo con el "International Code of Oenological Practices".</p> <p>[0,5% - 8,5% Vol. o entre 0,5% Vol. y la mínima concentración para vinos tranquilos establecida en cada país]</p>	<p>Obtenido exclusivamente de un vino o un vino especial como los descritos en el "International Code of Oenological Practices" de la OIV.</p> <p>Llevado a cabo por un tratamiento de desalcoholización de acuerdo con el "International Code of Oenological Practices".</p> <p>[> o igual a 8,5% Vol. o al mínimo legal de cada país para vinos tranquilos, en los que se ha reducido en más del 2% Vol. con respecto al vino de origen]</p>

Tabla 5: Normativa OIV en relación con los métodos de desalcoholización de vinos. (International Code of Oenological Practices, 2019).

Método / Técnica	Normativa reguladora	Estado actual
Uvas sin madurar	-	Aceptado
Dilución de mostos	OENO 439-2012	Con agua: No aceptado Con otro mosto: Aceptado
Crioconcentración mosto	OENO 4/98	Aceptado
Enzimas	OENO 16/04 OENO 498-2013	No aceptado para desalcoholización de vinos.
Destilación bajo vacío	OENO 372/2010 OENO 394A-2012 OENO 394B-2012	Aceptado
Evaporación	OENO 372/2010 OENO 2/98 OENO 1/01 OENO 394B-2012	Aceptado
Crioconcentración vino	OENO 3/01	Aceptado
Nanofiltración	OENO 373A/2010 OENO 394B-2012 OENO 450B-2012	Aceptado para desalcoholizaciones parciales
Ósmosis inversa	OENO 373A/2010 OENO 373B/2010 OENO 2/98 OENO 1/93 OENO 450B-2012	Aceptado para desalcoholizaciones parciales
Destilación osmótica	OENO 373A/2010 OENO 373B/2010	Aceptado para desalcoholizaciones parciales
Diálisis	OENO 373A/2010 OENO 373B/2010	Aceptado para desalcoholizaciones parciales
Pervaporación	OENO 373A/2010 OENO 373B/2010	Aceptado para desalcoholizaciones parciales
Resinas	-	-

Geles de sílice	OENO 617-2019	No aceptado
CO ₂ supercrítico	-	-
Dilución del vino	OENO 439-2012	Con agua: Solo para vinos aromáticos Con otro vino: Aceptado
Parada de fermentación	OENO 5/88	Aceptado
Levaduras OGM	-	-
Levaduras no <i>Saccharomyces</i>	-	Aceptado

CONCLUSIONES

De acuerdo con el contenido de esta revisión y relacionándolo con lo descrito en los objetivos, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

-Los métodos de desalcoholización de vinos, o técnicas disponibles para dicho objetivo, proporcionan al sector vitivinícola una forma de solventar futuros problemas relacionados con el calentamiento global que está ya comenzando a sufrir el planeta debido al cambio climático.

-La mayor parte de la investigación proviene de países a los cuales les afectaría de forma más drástica, como son Australia, España, Italia o Estados Unidos; en los que el problema de exceso de grado alcohólico ya está presente en la actualidad.

- En la actualidad se está apostando por sistemas que combinan diferentes técnicas para obtener un producto organolépticamente aceptable; entre ellas destacan los sistemas de membrana a los que se incorpora una recuperación de compuestos aromáticos. Por otro lado, los tratamientos térmicos son los menos recomendados por los investigadores debido al impacto que tienen en el producto final.

-La tecnología disponible ofrece un amplio abanico de posibilidades, en el que dependiendo de: la materia prima, el vino deseado o los recursos de cada bodega en particular, se puede utilizar un método u otro. Además de dar opción a tratar el producto que se desee, es decir, mostos (tratamientos prefermentativos), de mostos en fermentación (fermentativos) o de vinos (postfermentativos).

-En esta revisión, además, está indicada la normativa que regula cada práctica, en el marco de la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV).

Como aportación personal a esta revisión, considero que los mejores resultados en el proceso de desalcoholización se reportan en sistemas de membranas, o mediante combinación de esta tecnología con otros métodos, como pueden ser diluciones o mezclas con otros vinos sin tratar junto con recuperación de aromas, ya sea con equipos de PV o mediante dióxido de carbono supercrítico; aunque este tipo de tecnología trae consigo una importante inversión inicial que no todas las bodegas tienen la capacidad de abordar. Otros métodos se han ido desarrollando durante la última década, como el manejo de microorganismos genéticamente modificados; el principal inconveniente en la actualidad es el impacto negativo en la sociedad de los OGM, tanto a nivel sociológico como sanitario por su imprevisibilidad de efectos secundarios a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguera E, Bes M, Roy A, Camarasa C, Sablayrolles JM, 2010. Partial removal of ethanol during fermentation to obtain reduced-alcohol wines, *Am. J Enol. Vitic.*, 61: 53-60.
- Aider M, de Halleux D, 2008. Production of concentrated cherry and apricot juices by cryoconcentration technology, *Food Sci. Technol.*, 41(10): 1768-1775.
- Asensio de la Riva J, 2018. *Uso de pervaporación en la desalcoholización de vinos blancos*. Trabajo de fin de grado en Enología. Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias.
- Balanuță A, Crudu S, Nazaria A, Zgardan D, 2016. Elaboration of technology for producing white wines with low alcohol degree by combined fermentation, *MTFI*, 117-122.
- Bankar SP, Bule MV, Singhal RS, Ananthanarayan L, 2009. Glucose oxidase – an overview, *Biotechnol. Adv.*, 27: 489-501.
- Bindon K, Holt H, Williamson PO, Varela C, Herderich M, Francis IL, 2014. Relationships between time and wine composition in *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon 2. Wine sensory properties and consumer preference, *Food Chem.*, 154: 90-101.
- Bogianchini M, Cerezo AB, Gomis A, López F, García-Parrilla MC, 2011. Stability, antioxidant activity and phenolic composition of commercial and reverse osmosis obtained dealcoholised wines, *Food Sci. Technol.*, 44(6): 1369-1375.
- Brányik T, Silva DP, Baszczynski M, Lehnert R, Almeida e Silva JB, 2012. A review of methods of low alcohol and alcohol-free beer production, *J. Food Eng.*, 108: 493-506.
- Caetano M, Valderrama C, Farran A, Cortina JL, 2009. Phenol removal from aqueous solution by adsorption and ion exchange mechanisms onto polymeric resins, *J Colloid Interf Sci*, 338: 402-409.
- Canonico L, Solomon M, Comitini F, Ciani M, Varela C, 2019. Volatile profile of reduced alcohol wines fermented with selected non-Saccharomyces yeasts under different aeration conditions, *Food Microbiol.*, 84: 103247.
- Castro-Muñoz R, 2019. Pervaporation-based membrane processes for the production of non-alcoholic beverages, *J Food Sci Technol*, 56(5): 2333-2344.
- Castro-Muñoz R, 2020. Membrane technologies for the production of nonalcoholic drinks. In: Galanakis CM, ed. *Trends in Non-alcoholic Beverages*. pp 141-165.
- Catarino M, Mendes A, 2011. Dealcoholizing wine by membrane separation processes, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 12: 330-337.
- Cotea VV, Luchian CE, Bilba N, Niculaua M, 2012. Mesoporous silica SBA-15, a new adsorbent for bioactive polyphenols from red wine, *Anal. Chim. Acta.*, 732: 180-185.
- Da Porto C, Decorti D, 2010. Countercurrent supercritical fluid extraction of grape-spirit, *J Supercrit Fluid.*, 55: 128-131.
- Diban N, Arruti A, Barceló A, Puxeu M, Urriaga A, Ortiz I, 2013. Membrane dealcoholization of different wine varieties reducing aroma losses. Modeling and experimental validation, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 20: 259-268.

- Diban N, Athes V, Bes M, Souchon I, 2008. Ethanol and aroma compounds transfer study for partial dealcoholization of wine using membrane contactor, *J Membrane Sci.*, 311: 136-146.
- Erten H, Campbell I, 2001. The production of low-Alcohol Wines by Aerobic Yeasts, *IBD*, 107(4): 207-215.
- García-Martín N, Perez-Magariño S, Ortega-Heras M, González-Huerta C, Mihnea M, González-Sanjosé ML, Palacio L, Prádanos P, Hernández A, 2010. Sugar reduction in musts with nanofiltration membranes to obtain low alcohol-content wines, *Sep. Purif. Technol.*, 76: 158-170.
- García-Martín N, Perez-Magariño S, Ortega-Heras M, González-Huerta C, Mihnea M, González-Sanjosé ML, Palacio L, Prádanos P, Hernández A, 2011. Sugar reduction in white and red musts with nanofiltration membranes, *Desalin. Water Treat.*, 27: 167-174.
- Gamse T, Rogler I, Marr R, 1999. Supercritical CO₂ extraction for utilisation of excess wine of poor quality, *J Supercrit Fluid.*, 14: 123-128.
- Girard JM, Duriaux A, Cuenat P (1994). United States Patent. Nº: 5,324,435.
- Gómez-Plaza E, López-Nicolás JM, López-Roca JM, Martínez-Cutillas A, 1999. Dealcoholization of wine. Behaviour of the Aroma Components during the Process, *Lebensm.-Wiss u.- Technol*, 32: 384-386.
- Güzel N, Güzel M, Bahçeci KS, 2020. Nonalcoholic Beer. In: Galanakis CM, ed. Trends in Non-alcoholic Beverages. pp 167-200.
- Hernández E, Raventós M, Auleda JM, Ibarz A, 2010. Freeze concentration of must in a pilot plant falling film cryoconcentrator, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 11: 130-136.
- Heux S, Cachon R, Dequin S, 2006. Cofactor engineering in *Saccharomyces cerevisiae*: Expression of H₂O-forming NADH oxidase and impact on redox metabolism, *Meta. Eng.*, 8: 303-314.
- Hoof VV, den Abeele LV, Buekenhoudt A, Dotremont C, Leysen R, 2004. Economic comparison between azeotropic distillation and different hybrid systems combining distillation with pervaporation for the dehydration of isopropanol, *Sep. Purif. Technol.*, 37: 33-49.
- Huerta Merino S de, 2019. *Estudio del sistema de diálisis para la desalcoholización parcial de vinos blancos*. Trabajo de fin de grado en Enología. Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias.
- Huerta-Pérez F, Pérez-Correa JR, 2018. Optimizing ethanol recovery in a spinning cone column, *J Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 83: 1-9.
- International Organisation of Vine and Wine, 2019. International Code of Oenological Practices.
- Joshi VK, Gill A, Kumar V, Chaunan A, 2013. Preparation of plum wine with reduced alcohol content: Effect of must treatment and blending with and and pear juice on physico-chemical and sensory quality, *Indian J Nat. Prot. Resour.*, 5(1): 67-74.
- King ES, Dunn RL, Heymann H, 2013. The influence of alcohol on the sensory perception of red wines, *Food Qual. Prefer.*, 28: 235-243.
- Kutyna DR, Varela C, Henschke PA, Chambers PJ, Stanley GA, 2010. Microbiological approaches to lowering ethanol concentration in wine, *Trends Food Sci. Tech.*, 21: 293-302.

- Lang TR, Casmir DJ (1990). United States Patent. Nº: 4,902,518.
- Liguori L, Russo P, Albanese D, Di Matteo M, 2013. Evolution of quality parameters during red wine dealcoholization by osmotic distillation, *Food Chem.*, 140: 68-75.
- Liguori L, Russo P, Albanese D, Di Matteo M, 2018. Production of low-alcohol beverages: Current status and perspectives. In: Grumezescu M, Holban AM, ed. *Food processing for increased quality and consumption*. pp 347-382.
- Li SY, Zhao PR, Ling MQ, Qi MY, García-Estévez I, Escribano-Bailón MT, Chen XJ, Shi Y, Duan CQ, 2020. Blending strategies for wine color modification I: Color improvement by blending wines of different phenolic profiles testified under extreme oxygen exposures, *Int. Food Res. J.*, 130: 108885.
- Longo R, Blackman JW, Antalick G, Torley PJ, Rogiers SY, Schmidtke LM, 2017. Harvesting and blending options for lower alcohol wines: a sensory and chemical investigation, *J Sci. Agric.*, 98: 33-42.
- Longo R, Blackman JW, Antalick G, Torley PJ, Rogiers SY, Schmidtke LM, 2018 (a). A comparative study of partial dealcoholisation versus early harvest: Effects on wine volatile and sensory profiles, *Food Chem.*, 261: 21-29.
- Longo R, Blackman JW, Antalick G, Torley PJ, Rogiers SY, Schmidtke LM, 2018 (b). Volatile and sensory profiling of Shiraz wine in response to alcohol management: comparison of harvest timing versus technological approaches, *Int. Food Res. J.*, 109: 561-571.
- Malherbe DF, du Toit M, Cordero-Otero RR, van Rensburg P, Pretorius IS, 2003. Expression of the *Aspergillus niger* glucose oxidase gene in *Saccharomyces cerevisiae* and its potential applications in wine production, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 61: 502-511.
- Mangindaan D, Khoiruddin K, Wenten IG, 2018. Beverage dealcoholization processes: Past, present and future, *Trends Food Sci. Tech.*, 71: 36-45.
- Motta S, Guaita M, Petrozziello M, Ciambotti A, Panero L, Solomita M, Bosso A, 2017. Comparison of the physicochemical and volatile composition of wine fractions obtained by two different dealcoholization techniques, *Food Chem.*, 221: 1-10.
- Müller M, Bellut K, Tippman J, Becker T, 2017. Physical methods for dealcoholization of beverage matrices and their impact on quality attributes, *ChemBioEng. Rev.*, 5: 310-326.
- Orellana-Palma P, Petzold G, Guerra-Valle M, Astudillo-Lagos M, 2017. Impact of block cryoconcentration on polyphenol retention in blueberry juice, *Food Biosci.*, 20: 149-158.
- Petzold G, Orellana P, Moreno J, Cerda E, Parra P, 2016. Vacuum-assisted block freeze concentration applied to wine, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 36: 330-335.
- Petzold G, Orellana P, Moreno J, Cuevas C, 2017. Process parameters of vacuum-assisted freeze concentration, *Chem. Eng. Trans.*, 57: 1789-1794.
- Pham DT, Ristic R, Stockdale VJ, Jeffery DW, Tuke J, Wilkinson K, 2020. Influence of partial dealcoholization on the composition and sensory properties of Cabernet Sauvignon wines, *Food Chem.*, 35: 126869.
- Pickering GJ, 2000. Low- and reduced-alcohol wine: A review, *J Wine Res.*, 11: 129-144.

- Pickering GJ, Heatherbell, Barnes MF, 1998. Optimising glucose conversion in the production of reduced alcohol wine using glucose oxidase, *Int. Food Res. J.*, 31(10): 685-692.
- Pilipovik MV, Riverol C, 2005. Assessing dealcoholization systems based on reverse osmosis, *J. Food Eng.*, 69: 437-441.
- Qu R, Sun C, Ma F, Zhang Y, Ji C, Yin P, 2018. Removal of Fe (III) from ethanol solution by silica-gel supported dendrimer-like polyamidoamine polymers, *Fuel*, 219: 105-213.
- Röcker J, Schmitt M, Pasch L, Ebert K, Grossmann M, 2016. The use of glucose oxidase and catalase for the enzymatic reduction of the potential ethanol content in wine, *Food Chem.*, 210: 660-670.
- Ruiz-Rodríguez A, Fornari T, Hernández EJ, Señorans FJ, Reglero G, 2010. Thermodynamic modeling of dealcoholization of beverages using supercritical CO₂: Application to wine samples, *J Supercrit Fluid.*, 52: 183-188.
- Ruiz-Rodríguez A, Fornari T, Jaime L, Vázquez E, Amador B, Nieto JA, Yuste M, Mercader M, Reglero G, 2012. Supercritical CO₂ extraction applied toward the production of a functional beverage from wine, *J Supercrit Fluid.*, 61: 92-100.
- Russo P, Liguori L, Corona O, Albanese D, Di Matteo M, Cinquanta L, 2019. Combined membrane processes for dealcoholization of wines: Osmotic Distillation and Reverse Osmosis, *Chem. Eng. Trans.*, 75: 7-12.
- Saerens S, Edwards N, Soerensen KI, Badaki M, Swiegers JH (2020). United States Patent. Nº: 10,647,951 B2.
- Sainz Escudero D, 2017. *Aplicación de nanofiltración por membrana y pervaporación para la desalcoholización de vinos comerciales y recuperación de aromas*. Trabajo de fin de grado en Enología. Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias.
- Salehi F, 2014. Current and future applications for nanofiltration technology in the food processing, *Food Bioprod Process.*, 92: 161-177.
- Schelezki O, 2018. *Investigation of an early harvest regime and pre-fermentative blending treatments to produce lower alcohol wines: Impact on grape and wine composition and quality*. PhD thesis. The University of Adelaide. School of Agriculture, Food and Wine.
- Takács L, Vatai Gyula V, Korány K, 2007. Production of alcohol free wine by pervaporation, *J. Food Eng.*, 78: 118-125.
- Varavuth S, Jiratananon R, Atcharyawut S, 2009. Experimental study on dealcoholization of wine by osmotic distillation process, *Sep. Purif. Technol.*, 66: 313-321.
- Wee SL, Tye CT, Bhatia S, 2008. Membrane separation process-Pervaporation through zeolite membrane, *Sep. Purif. Technol.*, 63: 500-516.
- Wong CM, Wong KH, Chen XD, 2008. Glucose oxidase: natural occurrence, function, properties and industrial applications, *Appl Microbiol Biotechnol*, 78: 927-938.
- World Health Organization, 2018. Informe sobre la situación mundial del alcohol y la salud 2018. Resumen. Organización Panamericana de la Salud, ed.

Zagklis DP, Paraskeva CA, 2015. Purification of grape marc phenolic compounds through solvent extraction, membrane filtration and resin adsorption/desorption, *Sep. Purif. Technol.*, 156: 328-335.