



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

Titulación de Grado en Enología

**Reducción parcial del grado alcohólico
en vinos tintos mediante diálisis por
membrana.**

Alumno: Aroa Ludeña Bombín

Tutor: José Ignacio Calvo Díez

Cotutora: Encarnación Fernández Fernández

Julio de 2022

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN.....	1
3. OBJETIVOS.....	4
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
4.1. Vinos.....	4
4.2. Equipo de diálisis.....	5
4.3. Membrana.....	7
4.4. Refractómetro ABBE.....	8
4.5. Métodos analíticos.....	9
4.6. Análisis sensorial.....	10
4.6.1. Prueba triangular.....	10
4.6.2. Prueba CATA (<i>Check-All-That-Apply</i>).....	10
4.6.3. Prueba aceptabilidad global.....	11
4.7. Compuestos aromáticos.....	12
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
5.1. Proceso de diálisis.....	12
5.2. Análisis químicos.....	13
5.3. Análisis sensorial.....	15
5.3.1. Prueba triangular.....	15
5.3.2. Prueba CATA (<i>Check-All-That-Apply</i>).....	16
5.3.3. Prueba aceptabilidad global.....	19
5.4. Compuestos aromáticos.....	20
6. CONCLUSIONES.....	22
7. BIBLIOGRAFÍA.....	23

1. RESUMEN

Actualmente, los vinos con menor graduación alcohólica, más ligeros y fáciles de beber están haciéndose un hueco importante en el mercado frente a vinos más complejos, pero de mayor graduación. El cambio climático supone una de las principales preocupaciones en el momento de obtener vinos con estas características, ya que la composición de la uva se ve alterada aumentando así su concentración en azúcar, lo que implica un aumento del grado alcohólico.

El presente trabajo tiene como objetivo comprobar la disminución parcial del grado alcohólico de un vino tinto elaborado a partir de variedad de uva Tempranillo en la ETSIIAA, mediante el método de diálisis por membrana. Con el fin de conocer la efectividad de esta técnica y sus posibles efectos sobre otros parámetros a considerar en el vino, se realizarán análisis químicos del vino resultante del proceso y se compararán los datos obtenidos del vino testigo. Además, se llevará a cabo un análisis sensorial de ambos vinos para determinar si se han visto afectadas sus características organolépticas después de llevar a cabo la desalcoholización parcial. Tanto la elección de la temática como la membrana a utilizar se han realizado a partir de TFGs previos.

Este proceso ha funcionado en vinos blancos, sin embargo, a pesar de ser efectivo para disminuir parcialmente el contenido alcohólico de vinos tintos, las diferencias organolépticas entre el vino tratado y el vino testigo se han considerado relevantes, por lo que convendría contrastar y comparar la información obtenida en diferentes tipos de vinos.

2. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud, el consumo habitual de bebidas alcohólicas disminuye la esperanza de vida, aumentando significativamente la velocidad de desarrollo del avance degenerativo (Ettehad et al., 2016). El interés por la salud física se ha convertido en un aspecto importante para la sociedad, que busca cuidar su dieta y hacer deporte, lo que se traduce en un desafío para la industria alimentaria, obligando a mantener unos estándares garantizados de calidad, sabor y propiedades nutricionales en los productos, pero a su vez limitando el contenido calórico.

El vino es una de las bebidas alcohólicas más consumidas en el mundo, en especial el vino tinto, el cual, por su alta concentración de polifenoles, cuenta con beneficios antioxidantes y de protección cardiovascular (Labanda et al., 2009).

Durante los últimos años la tendencia de consumo en el campo de esta bebida está evolucionando. Antes los vinos concentrados, alcohólicos y con altas dosis de madera eran los más demandados, en cambio, ahora se requieren vinos más ligeros, donde la fruta predomine sobre la madera y la graduación alcohólica sea menor, lo que exige cambios en el proceso de elaboración.

Podemos decir que, de forma general, las bebidas con menor contenido alcohólico o desalcoholizadas se encuentran en auge, llevando así a una cultura del consumo seguro y moderado, propiciada entre otros factores por la legislación cada vez más restrictiva sobre el consumo de alcohol permitido en la conducción. Se espera que en el periodo de 2019 a 2027, la comercialización de los vinos sin alcohol crezca hasta llegar a una tasa de crecimiento anual

compuesto mayor al 7 %, valorada en más de 10 millones de dólares (Sam, 2021); además de conseguir una expansión hacia otros países en los que para el consumo de bebidas exportadas con excesiva graduación, es necesario el pago de un impuesto asociado, lo que dificulta su competitividad en el mercado como Alemania, Reino Unido y EE.UU. (Wine Intelligence, 2021).

A la hora de hacer referencia al contenido alcohólico de los vinos, un factor a tener en cuenta es el aumento de las temperaturas medias anuales a causa del calentamiento global. Gracias a este fenómeno, el salto térmico entre el día y la noche es menor, consiguiéndose así una peor maduración y conservación de las características organolépticas de las uvas (Venios et al., 2020). De esta manera, se ven alterados tanto la fecha y el rendimiento de la cosecha, como la composición del racimo, donde el contenido en azúcar aumenta y por consiguiente su potencial grado alcohólico, además de disminuir la acidez y afectar negativamente al color y al aroma (Droulia et al., 2021). Esto conlleva a que las regiones donde la uva crecía con facilidad ya no sean tan adecuadas para su cultivo.

Buscando frenar el aumento del grado alcohólico en los vinos, muchas bodegas están interesadas en explorar métodos alternativos de producción que ayuden a rebajar el contenido final de alcohol en sus vinos.

La desalcoholización parcial, o reducción parcial del grado alcohólico, consiste en eliminar una parte del etanol del vino, con el objetivo de obtener productos vitivinícolas con un contenido de alcohol reducido o bajo. Para llevarlo a cabo, se deben cumplir una serie de requisitos relativos al tratamiento de desalcoholización parcial de los vinos gracias a técnicas físicas separativas recogidos en la normativa CE 606/2009, donde cabe destacar dos de ellos: la disminución del grado alcohólico volumétrico adquirido no puede ser mayor al 2 % vol., y el grado alcohólico volumétrico adquirido del producto final se debe ajustar al definido en el anexo IV de dicha normativa. A su vez, la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV) en el año 2012, propuso a las técnicas separativas, es decir, técnicas basadas en procesos de membrana, evaporación parcial al vacío o destilación, como posibles modos de llevar a cabo la desalcoholización parcial. Las técnicas basadas en procesos de membrana más recomendadas para llevar a cabo este objetivo son: microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa, electrodiálisis y contactores de membrana.

Se han obtenido resultados satisfactorios en trabajos sobre la desalcoholización parcial en vinos, realizados en diferentes fases del proceso de su elaboración, las cuales comprenden desde que la uva se encuentra en la cepa hasta en el propio vino terminado, aunque muchos de ellos se han mantenido en la etapa de estudio experimental sin llegar a utilizarse a nivel industrial. Algunas de las estrategias desarrolladas en estos estudios son:

- Evitar la acumulación excesiva de azúcar en las uvas mediante técnicas del cultivo de la vid en campo, como el manejo del riego, la gestión de canopy de la planta o el desarrollo de la fotosíntesis (Novello and De Palma, 2013).
- Reducir el nivel de azúcar en el mosto antes de la fermentación alcohólica (Salgado et al., 2015, 2017).
- Evitar la formación de etanol durante la fermentación mediante el uso de cepas de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y no-*Saccharomyces* (Ehsani et al., 2009; Kutyna et al., 2010; Tilloy et al., 2014).

- Utilizar enzimas glucosa-oxidasa y catalasa antes de la fermentación alcohólica (Röcker et al., 2016).
- Aplicar técnicas de membrana sobre el vino final como ósmosis inversa, nanofiltración, pervaporación y diálisis (Ferrarini et al., 2016; Calvo et al., 2022).

Los procesos de membranas como la ósmosis inversa (Pilipovik et al., 2005; Labanda et al., 2009;), la pervaporación (Vatai, 2007), la nanofiltración y la diálisis (Petkovska et al., 1997), junto con el tratamiento térmico, son los métodos que mejores resultados han ofrecido para eliminar parte del etanol en bebidas alcohólicas. En todas las técnicas mencionadas, se utiliza una membrana como elemento separador de las dos disoluciones, el cual deja pasar un determinado componente a través de sus poros mediante un gradiente de presión como fuerza impulsora.

El principal problema que observamos a la hora de desalcoholizar un vino es la dificultad de mantener sus características organolépticas originales, es decir, a medida que la disminución de grado alcohólico es mayor, las cualidades aromáticas y gustativas del vino tienden a empeorar, consiguiendo así un sabor y aroma diferente (Sam et al., 2021). Concretamente las tecnologías de membrana permiten reducir el contenido de etanol en condiciones suaves y con alta especificidad, preservando así la característica sensorial del producto (Salgado et al., 2015).

A lo largo de los últimos años, varias investigaciones llevadas a cabo por el Grupo de Superficies y Materiales Porosos (SMAP) de la Universidad de Valladolid y el Departamento de Tecnología de Alimentos en la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia (ETSIIAA), han tratado la aplicación de procesos de membrana en la desalcoholización parcial de vinos, en especial se ha empleado nanofiltración para reducir el contenido de azúcar en mostos (García-Martín et al., 2011; Salgado et al., 2014, 2015, 2017).

Siguiendo con esta línea de trabajo, diversos compañeros del Grado en Enología en la ETSIIAA, colaborando con SMAP, han realizado diversos estudios sobre la reducción de grado alcohólico en vinos blancos utilizando diferentes técnicas de separación por membranas tales como: pervaporación junto a nanofiltración (Sainz, 2017), pervaporación (Asensio, 2018) y diálisis (Merino, 2019). Dichos trabajos tienen como objetivo principal encontrar la metodología idónea para conseguir una bajada significativa del grado alcohólico, pero sin afectar a las características del vino, y han servido como base para la elección de diferentes aspectos importantes de este estudio.

En base a los resultados obtenidos en los trabajos anteriores y comparándolos entre sí, la diálisis se ha mostrado como el proceso más eficiente para la desalcoholización parcial de vinos blancos (Calvo et al., 2022), tanto para conseguir la mayor bajada de grado alcohólico, como para obtener un vino final con las mejores características organolépticas.

- **Diálisis por membrana**

Según la RAE, “la diálisis es un proceso de difusión selectiva a través de una membrana que se utiliza para la separación de moléculas de diferente tamaño.”. En nuestro caso buscamos usar la diálisis para quitar parte del etanol que se encuentra en el vino. El funcionamiento es similar al que realizan nuestros riñones de manera natural, es decir, eliminar agua, toxinas y restos del metabolismo que no son necesarios, mediante su paso a la orina y posterior expulsión al

exterior, siendo el tratamiento artificial mediante membranas de diálisis una alternativa terapéutica cuando este órgano falla.

En este proceso actúan simultáneamente dos mecanismos de transporte: difusión y ósmosis. La difusión o el paso de solutos desde la solución más concentrada a la de menor concentración, ocurre en primer lugar. Gracias a la membrana semipermeable se realiza la selección de qué moléculas la atraviesan en función de su tamaño y peso molecular. A su vez, la diferencia de concentraciones entre ambos lados de la membrana se denomina un proceso de ósmosis, de manera que parte del disolvente, agua en nuestro caso, pasa del lado de menor concentración al que contiene mayor concentración. El objetivo común de los dos fenómenos es conseguir que la concentración sea igual en ambos lados de la membrana. Además, cuando este proceso se lleva a cabo en las industrias, se realiza a temperaturas bajas entre 1 y 6 °C para evitar modificar lo más mínimo las características organolépticas del producto.

3. OBJETIVOS

Este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo principal la desalcoholización parcial de un vino tinto de la variedad Tempranillo elaborado en la bodega de la ETSIIAA, mediante diálisis por membrana, donde la bajada de grado alcohólico deberá ser inferior al límite de 2 % vol. permitido por la OIV.

La membrana utilizada es la PLGC 15005 de la casa comercial Millipore-Merck, elegida por los buenos resultados que dio en trabajos anteriores. Además, se va a comprobar mediante análisis sensoriales y químicos si el vino se modifica o no después de realizar dicho proceso.

Como objetivo final queremos concretar si el método de diálisis con esta membrana podría ser útil en el mundo vitivinícola ante la problemática del exceso de grado alcohólico, siendo este trabajo el empuje de futuros estudios para conseguir industrializar este proceso.

La novedad de este trabajo respecto a estudios anteriores viene representada por la aplicación de la técnica de diálisis por membrana a vinos tintos, cuando los estudios previos siempre se habían realizado sobre vinos blancos.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Vino

Para el ensayo utilizamos un vino tinto de la variedad Tempranillo, elaborado en la bodega de la ETSIIAA de la Universidad de Valladolid en Palencia, procedente de la vendimia 2021.

Disponíamos de 25 litros de vino tinto almacenados en un depósito en la cámara frigorífica a 5 °C en el Edificio de Enología de la ETSIIAA, desde el 15 de diciembre hasta el 23 de marzo. Trasegamos el vino para eliminar los posibles sedimentos que se hubieran depositado en el fondo, evitando así errores en el ensayo (principalmente el ensuciamiento de la membrana debido a estos depósitos que podría disminuir notablemente la efectividad del proceso). Lo

embotellamos en botellas modelo bordelesas de vidrio de color verde, y tapamos con tapones de corcho natural y con PARAFILM®. Todo este material procede de la bodega de la ETSIIAA. Obtuvimos un total de 26 botellas: 12 destinadas a la diálisis y 14 se guardaron como vino testigo en la cámara frigorífica.

4.2. Equipo de diálisis

El ensayo se realizó en las instalaciones del Grupo de Superficies y Materiales Porosos (SMAP) de la Universidad de Valladolid, localizadas en la Facultad de Ciencias de Valladolid. Se trata de una unidad asociada al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) a través del Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros (RETEMA, 2016) y, actualmente, forma parte del Instituto de Procesos Sostenibles de la Uva.

En días previos a las sesiones de filtración, adecuamos el equipo y llevamos a cabo una serie de pruebas a fin de comprobar que el funcionamiento del equipo era el correcto. Para ello utilizamos agua y la hicimos recircular por ambos circuitos, usando un material plástico no poroso que actuase como membrana, constatándose el correcto funcionamiento del sistema y la inexistencia de fugas u otro tipo de problemas.

En la **Figura 1** está representado un esquema del equipo de diálisis utilizado. Consta de las siguientes partes:

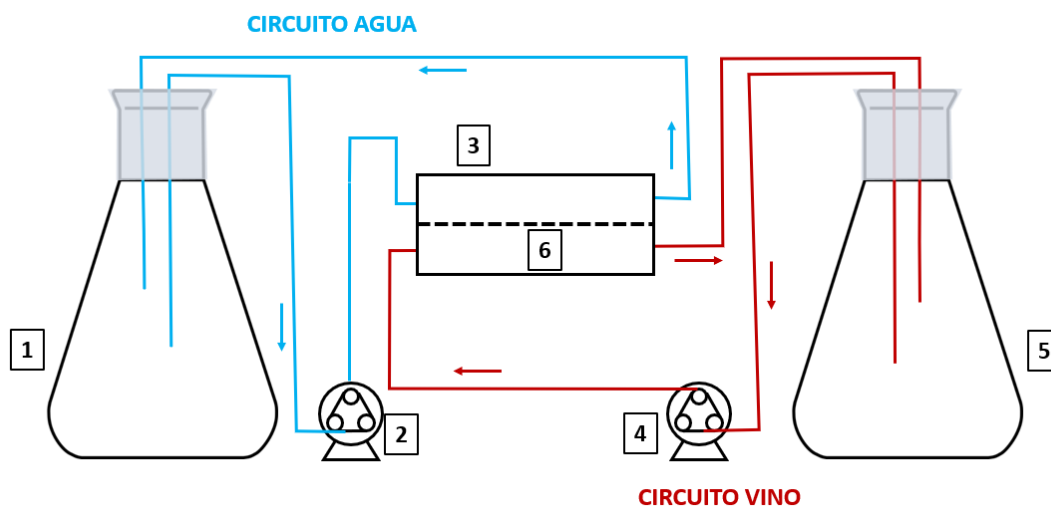


Figura 1: Equipo de diálisis. 1. Matraz con agua desionizada; 2. Bomba de alimentación del agua desionizada; 3. Celda para la membrana de diálisis; 4. Bomba de alimentación del vino; 5. Matraz con vino; 6. Membrana de diálisis.

1. Matraz de dos litros de agua desionizada. El agua lo obtuvimos de un equipo Milli-Q que estaba alimentado con agua destilada. Este equipo proporcionaba agua ultrapura con casi ausencia de cargas disueltas (resistividad de 18 M Ω ·m).
2. Bomba de alimentación del agua desionizada. Es una pequeña bomba peristáltica de la casa comercial Eheim modelo 1048 con una capacidad teórica máxima de 600l/h.

3. Celda de metacrilato con juntas de teflón para garantizar la estanqueidad, y tornillería de acero inoxidable para evitar interferencias oxidativas en el proceso (**Figura 3**). En el interior de la celda se encuentra la membrana.
4. Bomba de alimentación del vino. Tiene las mismas características que la bomba de alimentación del agua desionizada.
5. Matraz de dos litros de capacidad con el vino tinto utilizado en el ensayo, descrito en apartados anteriores.
6. Membrana de diálisis. Es una membrana PLGC 15005 de la casa comercial Merck cuyas especificaciones técnicas serán comentadas en el siguiente apartado.

Para que el proceso se pueda realizar de manera efectiva, ambas bombas peristálticas trabajan de forma independiente para cada líquido, haciendo recircular constantemente por uno de los lados de la membrana el vino y por el contrario el agua. Esto da lugar a una diferencia de concentración entre ambas soluciones de manera que, por gradiente osmótico, algunas de las especies contenidas en el vino (fluido más concentrado), tenderán a atravesar la membrana hasta igualar su concentración en ambos lados. En nuestro caso, la membrana ha sido elegida para que el alcohol sea el componente mayoritario que la atraviese, es decir, que pase del vino al agua, disminuyendo inicialmente su contenido en etanol. Asimismo, indicar que el diseño del experimento permite que no haya diferencia de presión entre ambos lados de la membrana debiéndose el flujo a su través, únicamente a la difusión osmótica de las sustancias presentes en el vino.

En las dos imágenes siguientes (**Figuras 2 y 3**) se puede apreciar los distintos elementos que componen el dispositivo experimental, durante las experiencias de diálisis.

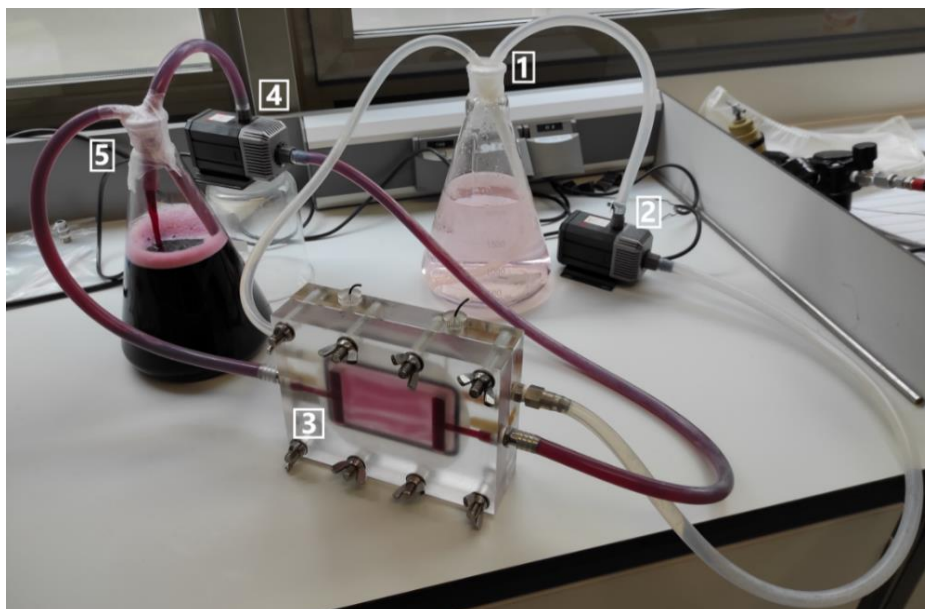


Figura 2: Foto real del equipo puesto en funcionamiento durante una de las sesiones.

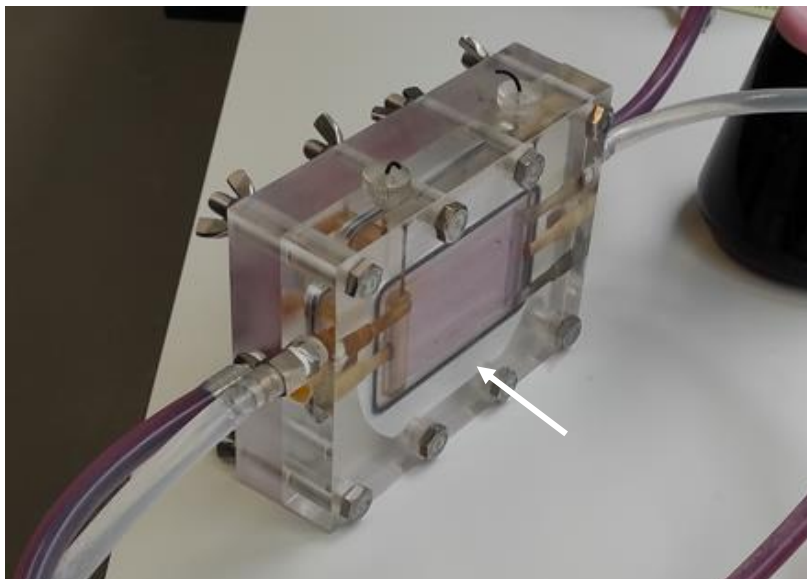


Figura 3: Celda del equipo de diálisis con la membrana colocada en su interior. Imagen de equipo real correspondiente a las partes 3 y 6 del esquema de la Figura 1.

4.3. Membrana

La membrana de ultrafiltración seleccionada para el ensayo es la denominada PLGC 15005, de la empresa Millipore actualmente parte de Merck Life Science S.L. Ha sido elegida en base a experimentos previos, donde este modelo ha conseguido los mejores resultados en velocidad y viabilidad a la hora de realizar desalcoholización parcial de vino (Zapatero, 2020; Carracedo, 2021).

A continuación, explicamos sus características técnicas (Merck, s.f.) destacables para nuestro experimento:

- **Material:** se comercializa en forma de discos de ultrafiltración compuestos de celulosa regenerada, sobre un soporte polimérico. Se trata de membranas asimétricas con una capa activa más fina que gobierna las características de retención, seguida por una capa soporte de mayor espesor y poros más abiertos, que sirve para dar estabilidad hidrodinámica al conjunto (**Figura 4**).
- **Diámetro del disco:** 150 mm. La celda cuenta con dimensiones rectangulares, por lo que el disco se recortó para adaptarlo a la celda, siendo 6 cm de ancho por 12,5 cm de alto las dimensiones efectivas de filtración.
- **Peso molecular nominal de corte (NMWCO):** 10 kDa. Este término hace referencia al valor definido por el fabricante correspondiente al peso molecular del soluto que es retenido en al menos un 90 % por la membrana dada, pudiéndose denominar también peso molecular nominal límite (NMWL). Dicho valor se considera el límite entre los pesos moleculares de las sustancias que pasan o no pasan por la membrana, y se utiliza frecuentemente para caracterizar y comercializar las membranas especialmente de ultrafiltración y nanofiltración.
- **Rango pH:** entre 2 y 12.

- Temperatura de trabajo: entre 4 y 121 °C.
- Aplicaciones comerciales específicas: purificación y concentración de proteínas de acuerdo con las especificaciones del fabricante. En cualquier caso, son membranas válidas en todos los procesos de Ultrafiltración de su rango de pesos moleculares, como ocurre con la mayoría de las membranas comerciales.

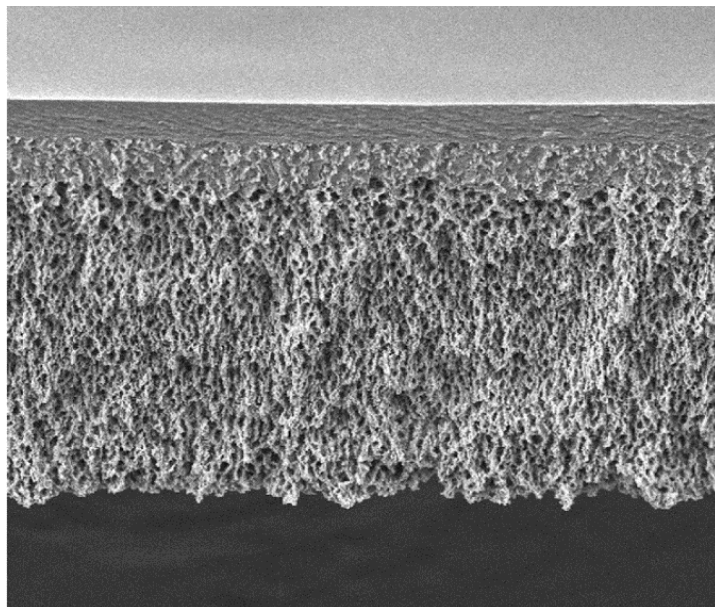


Figura 4: Corte transversal de la membrana PLGC15005, observada al microscopio electrónico de barrido, mostrando la estructura de las dos capas que la forman: capa activa (parte superior) y capa soporte (parte inferior). (Fuente: catálogo comercial de Merck Millipore).

4.4. Refractómetro ABBE

El refractómetro Abbe es un instrumento de medición que permite determinar el índice de refracción. Tras colocar la muestra de interés en el equipo, un sistema óptico especial genera dos campos opuestos, uno claro y otro oscuro, separados por una línea límite negra que indica el resultado de la medición de la muestra (PCE InstrumentsTM, 2022).

Puede utilizarse para medir y analizar diversidad de sustancias o componentes, entre los más populares se encuentra el alcohol (etanol) y el azúcar. En el caso del etanol, su concentración en la muestra presenta una relación directa con el índice de refracción, indicando así que a medida que la concentración de etanol es mayor, el índice de refracción aumenta (Srivastava et al., 2011).

En nuestro caso se utilizó para comprobar in situ que el proceso daba lugar a una disminución medible del contenido en alcohol del vino, independientemente de que esta reducción se midiera con posterioridad con mayor precisión, por los métodos analíticos que se describen en el siguiente apartado.

En la **Figura 5** está representado una foto de la medición del índice de refracción a través de un refractómetro ABBE procedente de la empresa PCE InstrumentsTM.

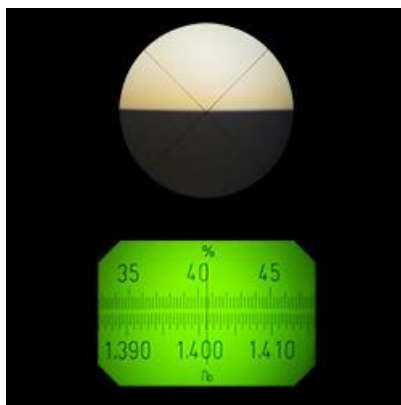


Figura 5: Ejemplo de medida con un Refractómetro ABBE.

4.5. Métodos analíticos

El vino control y el vino filtrado se han analizado químicamente en el Laboratorio de Investigación ENOBIOTEC del Edificio de Enología de la ETSIAA, de acuerdo con los métodos recogidos en la **Tabla 1**. Cada analítica ha sido sometida a dos repeticiones.

Tabla 1: Resumen de los análisis químicos realizados, indicando parámetro, principio y método utilizados.

PARÁMETRO	MÉTODO
pH	pH-metro
Acidez total	Método Potenciométrico
Grado alcohólico	Método de Ebulometría
Acidez volátil	Método García Tena
SO ₂ Libre	Método Ripper Sencillo
SO ₂ Total	
Índice de polifenoles totales (IPT)	Método del Índice Ultravioleta
Color	Método Rápido de Glories

Todos los métodos utilizados para realizar las analíticas recogidos en la **Tabla 1**, se determinaron según los principios y métodos establecidos por la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV, 2022).

Una vez obtenidos los resultados de los análisis, se procedió a realizar un tratamiento estadístico mediante el análisis de varianza (ANOVA) a fin de comprobar si existen o no diferencias estadísticamente significativas entre los dos tipos de vinos. Para conseguir este objetivo, se utilizó la versión 24.0 del programa estadístico IBM SPSS Statistics.

Todos los materiales y equipos que hemos necesitado para llevar a cabo todas las analíticas anteriores son propiedad de la ETSIAA.

4.6. Análisis sensorial

Para evaluar desde el punto de vista sensorial ambos vinos, el testigo y el filtrado, se contó con la participación de 72 consumidores, es decir, catadores sin ningún tipo de entrenamiento. Del total de consumidores, el 54,2 % son hombres y el 44,5 % mujeres, y el grupo mayoritario en cuanto a la edad es el de entre 21 y 30 años. En la **Tabla 2** se indica el porcentaje total de los catadores en función del sexo y la edad.

Tabla 2: Características sociodemográficas de los consumidores.

RANGO DE EDAD	HOMBRES (%)	MUJERES (%)	NC (%)	TOTAL
≤20	12,5 %	15,3 %	0,0 %	27,8 %
21-30	32,0 %	23,6 %	1,4 %	56,9 %
31-40	0,0 %	4,2 %	0,0 %	4,2 %
41-50	1,4 %	0,0 %	0,0 %	1,4 %
51-60	5,6 %	1,4 %	0,0 %	6,9 %
>60	2,8 %	0,0 %	0,0 %	2,8 %
TOTAL	54,2 %	44,5 %	1,4 %	100,0 %

Las pruebas descritas a continuación fueron realizadas en cabinas individuales en la sala de catas de la ETSIIAA. Dicha sala cumple con los requisitos que se indican en la Norma UNE-EN ISO 8589:2010. Las muestras de vino se presentaron en catavinos según la Norma UNE 87022:1992 con códigos de tres cifras seleccionados de manera aleatoria, y a una temperatura de 16 °C.

4.6.1. Prueba triangular

La prueba triangular se ha desarrollado siguiendo toda la metodología indicada en la norma ISO (4120:2004) (ISO, 2004). Su objetivo es determinar si existen o no diferencias organolépticas perceptibles entre los dos vinos del ensayo: vino testigo y vino filtrado.

Mediante el uso de la tabla A.1 de la normativa anterior, se analizan los datos obtenidos concluyendo que hay diferencias significativas entre las muestras, si el número de respuestas correctas es igual o mayor al valor correspondiente de la tabla en función del número de jueces y del nivel de riesgo seleccionado para la prueba. Además, se calcula un intervalo de confianza sobre la proporción de la población que puede distinguir las muestras.

4.6.2. Prueba CATA (*Check-All-That-Apply*)

El objetivo de este análisis es recopilar información sobre las características sensoriales percibidas por el consumidor de las muestras de vino. Para ello a los jueces se les presenta una lista de atributos, y su tarea es seleccionar aquellos que consideran apropiados para describir de manera individual cada muestra. De esta forma, se identifica si hay o no diferencias significativas entre las muestras proporcionadas para cada uno de los atributos (Jaeger, 2014).

Es una metodología simple y tiene un formato de pregunta fácil, permitiendo a los participantes dejar términos sin seleccionar porque no se atribuye al producto, se pasa por alto su pertinencia o hay indecisión o neutralidad acerca de su adecuación (Jaeger, 2020).

La ficha de CATA estaba compuesta por 15 términos seleccionados en base a estudios previos (Hernández, 2016; Zaldívar, 2017; García, 2021) (**Tabla 3**). Con el objetivo de conseguir una correcta interpretación de los términos utilizados como atributos por los jueces, añadimos en la ficha de CATA una pequeña aclaración de cada uno debajo del atributo y entre paréntesis.

Tabla 3: Ficha de atributos CATA.

NÚMERO	ATRIBUTO
1	LIMPIO (no está turbio ni tiene partículas en suspensión)
2	COLOR INTENSO
3	CON VOLUMEN EN BOCA (vino con cuerpo, carnoso, que llena la boca)
4	AMARGO (lo notamos en la parte posterior de la lengua: cafeína...)
5	ÁCIDO (lo detectamos en los laterales de la lengua: limón, manzana ácida...)
6	AFRUTADO (fresa, frambuesa...)
7	HERBÁCEO (vegetal, verde, hierba...)
8	ALCOHÓLICO
9	REDUCIDO (aromas desagradables: huevo podrido, col...)
10	ASTRINGENTE (sensación de sequedad y aspereza en el paladar)
11	AROMÁTICO
12	PERSISTENTE (impresión aromática permanente en la boca una vez tragado o escupido el vino)
13	ME GUSTA
14	NO ME GUSTA
15	OTROS (otros atributos distintos a los anteriores)

Tras obtener los resultados, se determinó la frecuencia de citación de cada atributo, y se analizaron mediante el Test Q de Cochran para identificar diferencias significativas entre las dos muestras de vino para cada uno de los descriptores sensoriales (Napitupulu, 2020). Para llevarlo a cabo se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics (24.0).

4.6.3. Prueba aceptabilidad global

La prueba de aceptabilidad global consiste en la evaluación individual de las dos muestras por parte de los jueces, mediante una escala hedónica de 9 puntos. De esta manera los catadores indican cuanto les agrada cada muestra. Los términos correspondientes a los números de la escala son los siguientes: 1 “Me disgusta muchísimo”, 2 “Me disgusta mucho”, 3 “Me disgusta moderadamente”, 4 “Me disgusta poco”, 5 “Ni me gusta ni me disgusta”, 6 “Me gusta poco”, 7 “Me gusta moderadamente”, 8 “Me gusta mucho” y 9 “Me gusta muchísimo” (Lim, 2011).

El análisis de datos, es decir, de las puntuaciones de cada muestra, se ha llevado a cabo mediante el análisis de varianza (ANOVA) factor muestras, empleando el Test de Tukey ($p < 0,05$) como

prueba de comparación de medias, para ver si existen diferencias estadísticamente significativas en el promedio de las puntuaciones asignadas a cada muestra. Para ello se utilizó también el programa estadístico IBM SPSS Statistics (24.0).

4.7. Compuestos aromáticos

Los compuestos aromáticos de cada vino se han analizado en el Área de Cromatografía del Laboratorio de Técnicas Instrumentales de la Universidad de Valladolid mediante la técnica de Cromatografía de gases (GC). Dicho análisis se realizó con un muestreador automático CombiPal RSI 120 conectado a un cromatógrafo de gases 7890A y un detector selectivo de masas 5977. La extracción y separación de compuestos volátiles del vino se llevó a cabo siguiendo el método propuesto por Massera et al., (2012) empleando una columna HO Innowax.

Posteriormente, se llevó a cabo un tratamiento estadístico mediante el análisis de varianza (ANOVA) con el objetivo de comprobar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los compuestos aromáticos de los dos tipos de vino. Para realizarlo se utilizó también la versión 24.0 del programa estadístico IBM SPSS Statistics.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Proceso de diálisis

Para obtener el vino filtrado, realizamos cuatro sesiones de diálisis de ocho horas de duración cada una. En cada jornada utilizábamos dos litros de vino, aproximadamente el contenido de tres botellas bordelesas. Cada membrana de filtración se utilizó durante dos sesiones, es decir, durante 16 horas. Al finalizar la primera sesión la membrana se lavaba con agua destilada y se volvía a colocar en el interior de la celda para su uso en la siguiente. Además, buscando conservar el vino en las mejores condiciones posibles, las botellas de vino se mantuvieron en una cámara frigorífica a 4-5 °C hasta su uso en el proceso.

Posteriormente a la filtración, el vino resultante se homogeneizó en un depósito consiguiendo un grado alcohólico común para todas las botellas, ya que al utilizar la membrana dos días consecutivos, su grado de colmatación y, por lo tanto, su efectividad para la extracción del alcohol, pueden ser inferiores el segundo día de uso. Además, en los vinos tintos la colmatación de la membrana es un factor significativo puesto que hay mayor concentración de moléculas de mayor peso molecular como polifenoles y proteínas (Salgado et al., 2015). Después, se embotelló y tapó con corcho y PARAFILM® con el propósito de evitar la pérdida de componentes volátiles. Las botellas se almacenaron en la cámara frigorífica del Edificio de Enología de la ETSIIAA hasta realizar la sesión de cata y los análisis químicos.

A modo orientativo analizábamos con un Refractómetro ABBE una muestra de vino al principio y al final de cada jornada, midiendo así el índice de refracción de las muestras para comprobar que estaba teniendo lugar la desalcoholización parcial. El índice de refracción de la muestra tomada al inicio de la jornada era superior al índice de refracción del vino tras finalizar las ocho horas de diálisis, lo cual nos indicó que el contenido de alcohol de la muestra inicial era superior al de la muestra final.

Como observación, a medida que transcurría el tiempo de filtrado el matraz que contenía dos litros de agua destilada iba obteniendo una coloración rosácea, llegando a conseguir la tonalidad representada en la **Figura 6**. Este fenómeno afectará al color final del vino filtrado. Además, a la hora de retirar el PARAFILM® que cubría la boca del matraz que contenía agua destilada, se apreciaba bastante el olor a alcohol.

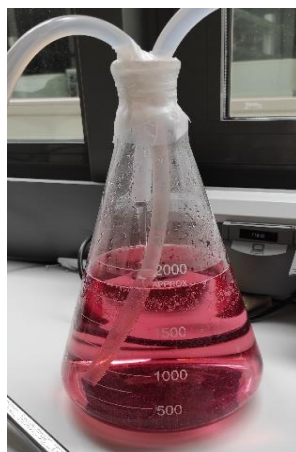


Figura 6: Matraz con agua destilada del equipo de diálisis tras concluir las ocho horas de filtración.

5.2. Análisis químicos

En la **Tabla 4** se presentan los resultados de las analíticas junto con los del análisis estadístico:

Tabla 4: Resultados de las analíticas realizadas en el vino (valores medios y desviaciones estándar).

	VINO TESTIGO	VINO FILTRADO
pH	3,68±0,00 ^b	3,65±0,01 ^a
Acidez total (g/L TH2)	4,6±0,0 ^b	4,0±0,0 ^a
Grado alcohólico (% vol.)	8,90±0,01 ^b	7,50±0,00 ^a
Acidez volátil (g/L ácido acético)	0,26±0,00 ^b	0,21±0,00 ^a
SO₂ L (mg/L)	13±0 ^b	10±0 ^a
SO₂ T (mg/L)	59±1 ^b	32±0 ^a
IPT (Índice de Polifenoles Totales)	31±0 ^b	27±0 ^a
Índice de color (Unidades de Absorbancia)	7,18±0,03 ^a	7,05±0,04 ^a

*Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras de vino ($p < 0,05$). Test de Tukey.

Se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en todos los parámetros analizados menos en el color.

El pH del vino filtrado es ligeramente inferior al del vino testigo, siendo esta diferencia de valores mínima (muy pequeña). Este fenómeno ha ocurrido en otros estudios donde se ha utilizado la misma técnica, es decir, diálisis sobre vinos blancos (Calvo et al., 2022). En cambio, el pH ha

aumentado en ensayos sobre vinos blancos al utilizar nanofiltración (NF) y pervaporación (PV) (Salgado et al., 2017).

En cuanto a la acidez total, esta ha disminuido considerablemente, suceso que se ha repetido en todos los ensayos previos realizados (Salgado et al., 2017). Esta bajada puede deberse a la selectividad de la membrana al ácido tartárico o a la posible precipitación de sales como el bitartrato potásico por la presencia de frío.

Normalmente que la acidez disminuya viene acompañado de un aumento del pH. Sin embargo, se debe considerar que el pH y la acidez total se refieren a aportes diferentes, representando el pH a la concentración de protones y la acidez total en términos de ácido tartárico. De esta manera se pueden encontrar comportamientos de pH y acidez que cumplan la dinámica usual, como en el caso de NF y PV, y situaciones completamente opuestas al utilizar diálisis por ejemplo (Calvo et al., 2022).

Acidez volátil del vino testigo se encuentra cantidades correspondientes a las proporcionales de producción de ácido acético durante la fermentación alcohólica, ya que es un subproducto del metabolismo de levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*. Tras realizar la diálisis vemos que este valor disminuye, lo que nos indica que no hay alteraciones en el vino, de modo que no va a afectar a las características organolépticas del mismo (Vilela, 2019). Este fenómeno de disminución de acidez volátil también ocurrió en estudios de elaboración de vinos a partir de la retirada parcial de los azúcares de un mosto de uva variedad Verdejo (García-Martín et al., 2009), además de ensayos realizados de NF, PV y diálisis en vinos terminados (Calvo et al., 2022). En todos estos casos, al no aumentar este valor, podemos comentar que en el proceso no se produce una aireación del vino ni un aumento grande de temperatura, consiguiendo que no se vea afectado el vino negativamente al realizar el filtrado, ya que son factores que si no se controlan pueden dar lugar a un aumento de acidez volátil (Garc, 2003).

En cuanto al sulfuroso libre y sulfuroso total también se encuentran diferencias significativas, especialmente en los valores del sulfuroso total de ambos vinos, siendo la bajada muy significativa. Esta situación se ha dado en todos los ensayos realizados sobre vinos blancos con diferentes técnicas de membrana (Calvo et al., 2022). Dicha bajada se puede deber a la presencia de oxígeno en el proceso por el recorrido repetidas veces que hacia el vino. Esto se ha podido dar ya que se tapaban los Erlenmeyer con PARAFILM®, siendo este método poco fiable. Esto si se llevase a nivel industrial se evitaría mediante la implantación de un sistema de vacío.

Los IPT disminuyen, ya que la diálisis es un proceso de filtración, aunque no cuenta con la presión como fuerza impulsora. Por otro lado, el color es el único parámetro que no presenta diferencias significativas entre las dos muestras, pero observando los valores se aprecia una disminución en el caso del vino filtrado. Estos dos sucesos coinciden con los resultados de ensayos de diálisis sobre vinos blancos, pero discrepan de los resultados al utilizar técnicas como NF y PV, donde el índice de color aumenta posiblemente por haber sufrido oxidaciones (Calvo et al., 2022).

Como comentamos en apartados anteriores, y se puede comprobar claramente, en la **Figura 6**, el matraz con agua destilada se teñía de rojo a medida que transcurría el tiempo de filtrado. Según los resultados de las analíticas, esto se traduce en una pérdida de compuestos responsables del color en el vino, lo que puede haber sucedido a causa de una pequeña filtración de dichos componentes a través de la membrana.

Por último, como podemos observar el grado alcohólico ha disminuido 1,4°. Aunque partíamos de un grado alcohólico inicial muy bajo, consecuencia de una vendimia anticipada y por lo tanto

una falta de maduración de las uvas, se puede observar que el valor baja considerablemente, dato de gran relevancia, ya que constituye el objetivo principal del experimento.

5.3. Análisis sensorial

5.3.1. Prueba triangular

Tras analizar los todos los resultados obtenidos en esta prueba discriminativa, vimos que, del total de catadores (72), 36 fueron capaces de identificar correctamente la copa de vino diferente, haciendo este valor referencia al 50 % de los consumidores. Consultando la tabla A.1 de la normativa ISO 4120:2004, para un nivel de riesgo $\alpha = 0,05$ podemos concluir que los jueces sí han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras de vino (testigo y filtrado), o lo que es lo mismo, 32 respuestas correctas son más que suficientes para concluir que las dos muestras de vino presentan diferencias organolépticamente perceptibles.

Conviene calcular un intervalo de confianza sobre la proporción poblacional que puede percibir una diferencia entre las muestras según indica la norma ISO 4120:2004. Para ello vamos a desarrollar las fórmulas siguientes, siendo en este caso: $x = 36$ el número de respuestas correctas, $n = 72$ el número de jueces y $z\alpha = 1,64$ para un intervalo de confianza del 95%:

- Proporción correcta (p_c):

$$p_c = \frac{x}{n} = \frac{36}{72} = 0,5$$

- Proporción de sujetos que percibe una diferencia (p_d):

$$p_d = 1,5 * p_c - 0,5 = 1,5 * 0,5 - 0,5 = 0,25$$

- Desviación estándar de p_d (s_d):

$$s_d = 1,5 * \sqrt{\frac{p_c * (1 - p_c)}{n}} = 1,5 * \sqrt{\frac{0,5 * (1 - 0,5)}{72}} = 0,088$$

- Límite de confianza inferior:

$$lci = p_d - s_d * z\alpha = 0,25 - 0,088 * 1,64 = 0,106$$

Teniendo en cuenta el límite de confianza inferior al 95%, se puede concluir que al menos el 11 % (10,6 %) de la población puede percibir la diferencia entre las dos muestras. En ensayos mediante NF y PV las diferencias entre las muestras fueron más notorias. En cambio, cuando se realizó la diálisis en vinos blancos no se encontraron diferencias significativas entre los vinos (Calvo et al.,2022).

A continuación, clasificamos los resultados obtenidos en función del sexo de los jueces, donde del total de catadores, 32 son mujeres y 39 hombres.

En el caso de las mujeres, 15 fueron capaces de identificar correctamente la muestra de vino diferente, lo que corresponde al 46,9 %. Consultando la tabla A.1 de la normativa ISO 4120:2004, para un nivel de riesgo $\alpha = 0,05$ podemos concluir que las mujeres no han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras de vino, o lo que es lo mismo, 15 respuestas correctas no han sido suficiente para concluir que las dos muestras de vino presentan diferencias organolépticamente perceptibles, ya que hacían falta un total de 16 respuestas correctas. Con respecto a los hombres, las respuestas correctas suman un total de 21, es decir, el 54,9 % de los resultados son correctos. Consultando la tabla y normativa ya mencionadas, para un nivel de riesgo $\alpha = 0,05$ podemos concluir que los hombres sí han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras de vino, o lo que es lo mismo, 21 respuestas correctas sí han sido suficientes para concluir que las dos muestras de vino presentan diferencias organolépticamente perceptibles.

5.3.2. Prueba CATA (*Check-All-That-Apply*)

En la **Tabla 5** se encuentra representada la frecuencia de citación que dieron nuestros jueces a las dos muestras de vinos sometidos a esta prueba sensorial, así como los resultados del Test Q de Cochran:

Tabla 5: Frecuencia con la que los 72 jueces utilizaron los términos de CATA para describir cada muestra y resultados de la prueba Q de Cochran.

NÚMERO	ATRIBUTO	MUESTRAS	
		VINO TESTIGO	VINO FILTRADO
1	Limpio ^{ns}	61	56
2	Color intenso ^{ns}	48	50
3	Con volumen en boca ^{ns}	33	22
4	Amargo ^{ns}	32	23
5	Ácido ^{ns}	38	29
6	Afrutado ^{ns}	26	31
7	Herbáceo ^{ns}	23	24
8	Alcohólico ^s	32	14
9	Reducido ^{ns}	5	5
10	Astringente ^{ns}	30	27
11	Aromático ^{ns}	33	29
12	Persistente ^s	36	25
13	Me gusta ^s	43	30
14	No me gusta ^s	24	34

El superíndice ns indica diferencias no significativas ($p > 0,5$) de acuerdo con el Test Q de Cochran. El superíndice s indica diferencias significativas ($p < 0,5$) de acuerdo con el Test Q de Cochran.

Como observamos en la **Tabla 5**, en cuatro de los catorce atributos encontramos diferencias significativas entre las muestras en los descriptores alcohólico, persistente, me gusta y no me gusta. A continuación, están representados en un gráfico de barras (**Figura 7**).

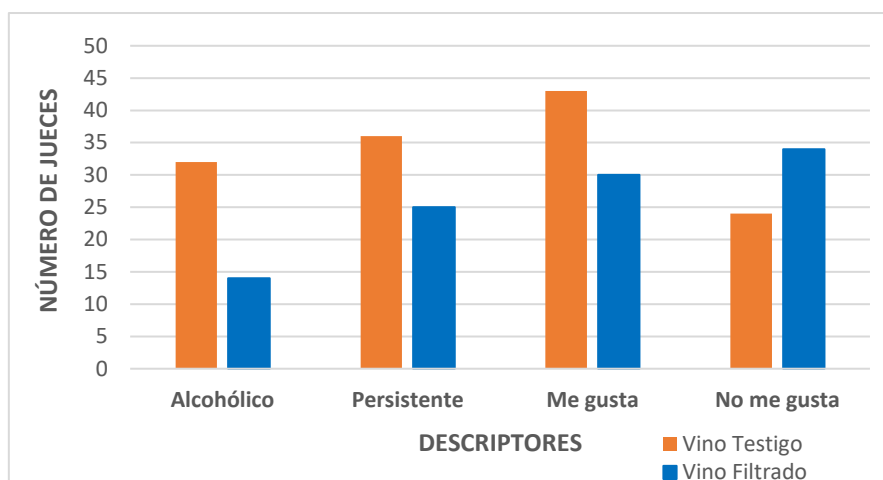


Figura 7: Frecuencia con la que los 72 jueces utilizaron los términos CATA con diferencias significativas para describir cada muestra.

Observando el gráfico anterior podemos ver como el vino testigo gusta más a la gente, lo consideran más persistente en boca y más alcohólico que el vino filtrado. En cambio, vemos que el vino filtrado lo encuentran menos persistente y con menos contenido en alcohol, y más jueces han marcado el término “No me gusta” que el término “Me gusta” para referirse a él.

Como hemos tratado en apartados anteriores, hemos demostrado analíticamente que el vino filtrado tiene 1,4° de alcohol menos que el vino testigo. Tras los resultados de esta prueba, podemos decir que esta bajada es relevante en cuanto a la percepción del vino. Es un aspecto a tener muy cuenta, ya que influye en el objetivo principal del trabajo.

Tras aplicar las técnicas NF y PV sobre vinos blancos (Calvo et al., 2022), ha resultado representativo el término limpio para describir a los vinos filtrados. A su vez, para el vino blanco sometido a diálisis no se han obtenido diferencias significativas en este atributo, lo que coincide con nuestro caso. Esto puede deberse a que la diálisis es un proceso menos agresivo que la NF y la PV.

En cuanto al estudio según el sexo (**Tabla 6**), el análisis indica que solo existen diferencias significativas entre las dos muestras en el atributo alcohólico. En el gráfico (**Figura 7**) siguiente está representado la frecuencia con la que los jueces utilizaron el atributo alcohólico para describir ambas muestras, en función del sexo del catador.

Tabla 6: Frecuencia con la que los 72 jueces utilizaron los términos de CATA para describir cada muestra y resultados de la prueba Q de Cochran, en función del sexo (hombre o mujer).

NÚMERO	ATRIBUTO	MUESTRAS			
		HOMBRES		MUJERES	
		VINO TESTIGO	VINO FILTRADO	VINO TESTIGO	VINO FILTRADO
1	Limpio ^{ns}	31	28	29	28
2	Color intenso ^{ns}	23	28	25	21
3	Con volumen en boca ^{ns}	13	10	19	12
4	Amargo ^{ns}	17	14	14	9
5	Ácido ^{ns}	23	18	14	11
6	Afrutado ^{ns}	17	17	8	14
7	Herbáceo ^{ns}	10	17	12	7
8	Alcohólico ^s	18	8	14	6
9	Reducido ^{ns}	3	2	2	3
10	Astringente ^{ns}	16	13	13	14
11	Aromático ^{ns}	15	14	17	15
12	Persistente ^{ns}	16	12	20	13
13	Me gusta ^{ns}	21	14	21	16
14	No me gusta ^{ns}	13	19	11	15

El superíndice ns indica diferencias no significativas ($p > 0,5$) de acuerdo con el Test Q de Cochran. El superíndice s indica diferencias significativas ($p < 0,5$) de acuerdo con el Test Q de Cochran.

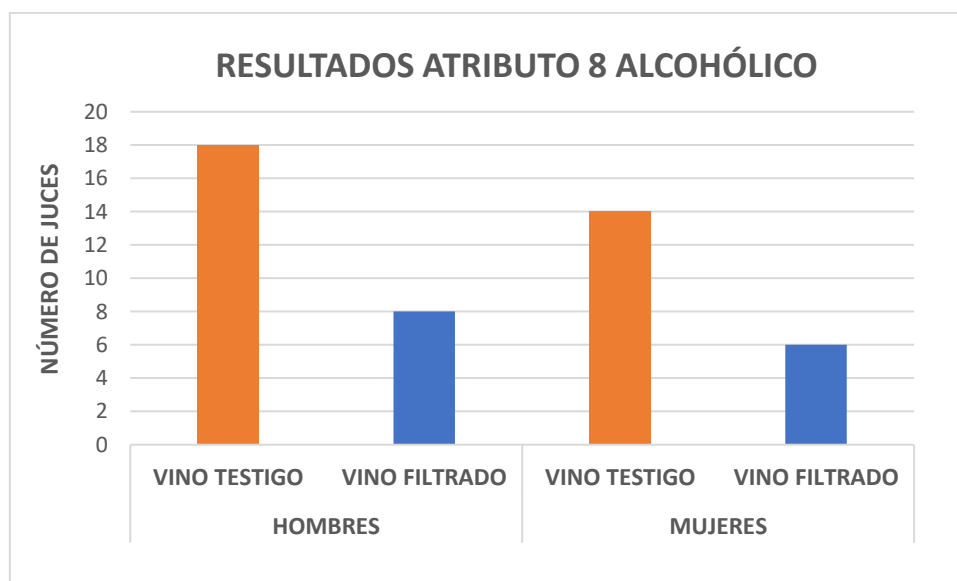


Figura 8: Frecuencia con la que los 72 jueces utilizaron el atributo 8. ALCOHÓLICO para describir cada muestra en función de su sexo.

Como se puede ver en gráfico representado en la **Figura 7**, en el caso del vino filtrado la mayoría de los jueces, tanto hombres como mujeres, indican que no es un vino alcohólico o al menos no lo consideran como una característica relevante.

En cuanto al atributo número 15 “OTROS”, el 87,5 % de los jueces no añadieron ningún atributo en este apartado, indicando así que con los catorce restantes era suficientes.

5.3.3. Prueba aceptabilidad global

En la **Tabla 7** encontramos la media de los valores correspondiente a las puntuaciones de cada muestra y la desviación estándar, así como los resultados del ANOVA:

Tabla 7: Medias y desviación estándar de la aceptabilidad global de las muestras en los dos tipos de vino para 72 consumidores.

	Aceptabilidad global
Vino Testigo	5,78 ± 1,79 ^b
Vino Filtrado	5,46 ± 2,02 ^b

*Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras de vino ($p < 0,05$). Test de Tukey.

Respecto a los valores de las medias calculadas a partir de las puntuaciones otorgadas por los 72 jueces a las dos muestras, vino testigo y vino filtrado, podemos observar que no existen diferencias significativas, siendo 5,78 para el vino testigo y 5,46 para el vino filtrado. Utilizando la misma técnica de filtración en vinos blancos se obtuvo el mismo resultado, consiguiendo una aceptabilidad igual o muy similar entre el vino control y el vino dializado (Calvo et al., 2022). Observando las medias de las puntuaciones obtenidas, podemos decir que el vino testigo ha gustado algo más que el vino dializado, siendo ambos vinos poco apreciados en general, como se puede esperar de vinos experimentales que parten además de unas condiciones de la uva notoriamente mejorables.

En cuanto al análisis de los valores diferenciando en función del sexo, tampoco hemos encontrado diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ($p > 0,05$), ni para las mujeres ni para los hombres. En la **Tabla 8** podemos ver las medias de los valores a cada una de las dos muestras en función del sexo de cada juez, hombre o mujer.

Tabla 8: Medias y desviación estándar de la aceptabilidad global de las muestras en los dos tipos de vino para 72 consumidores en función del sexo.

	Hombre	Mujer
Vino Testigo	5,67±1,74 ^b	5,94±1,88 ^b
Vino Filtrado	5,13±1,85 ^b	5,88±2,20 ^b

*Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras de vino ($p < 0,05$). Test de Tukey.

En los dos casos vemos que se sigue la tendencia mencionada en las medias globales, es decir, no hay diferencias significativas entre el vino testigo y el vino filtrado, y lo mismo que para el conjunto de consumidores, tanto a los hombres como a las mujeres les gusta un poco más el

vino testigo. Cabe destacar que ambos promedios son mayores a los valores globales para las mujeres e inferiores para los hombres.

5.4. Compuestos aromáticos

A continuación, en la **Tabla 9** encontramos la media de los valores correspondientes a cada elemento aromático obtenidos tras el análisis y la desviación estándar, así como los resultados del ANOVA:

Tabla 9: Medias y desviación estándar de los compuestos aromáticos.

COMPUESTO AROMÁTICO	VINO TESTIGO	VINO FILTRADO
Acetaldehído (etanal)	0,08187±0,03239 ^a	0,02803±0,02312 ^a
Acetato de etilo	0,07863±0,00039 ^a	0,05144±0,01094 ^a
Etanol	9,45135±0,03668 ^a	7,30416±1,21172 ^a
Alcohol isobutílico	0,30472±0,02593 ^a	0,23103±0,01756 ^a
Acetato de isoamilo	0,08114±0,00559 ^a	0,01349±0,00159 ^b
3-ciclopril-1-butino	0,03709±0,00125 ^a	0,03744±0,02139 ^a
1-Butanol, 3-methyl-	5,40769±0,14266 ^a	4,16632±0,38945 ^a
Hexanoato de etilo	0,42251±0,03380 ^a	0,09499±0,00292 ^b
Acetoína	0,01226±0,00047 ^a	0,01482±0,00508 ^a
Alcohol isohexílico	0,00612±0,00126 ^a	0,00468±0,00019 ^a
3-metil-1-pentanol	0,01100±0,00047 ^a	0,00872±0,00054 ^a
Lactato de etilo	0,18721±0,01197 ^a	0,15785±0,03198 ^a
Hexanol	0,63713±0,03044 ^a	0,47345±0,03659 ^b
Oxima-, metoxi-fenil-	0,02605±0,00010 ^a	0,01551±0,00568 ^a
Cis-3-Hexen-1-ol	0,10465±0,00787 ^a	0,08696±0,00570 ^a
1-Nonanal	0,00639±0,00000 ^a	0,00383±0,00000 ^a
Octanoato de etilo	2,71139±0,05256 ^a	1,07355±0,07733 ^b
Heptan-1-ol	0,04052±0,00565 ^a	0,01355±0,01484 ^a
Ácido acético	0,22039±0,00962 ^a	0,08083±0,08099 ^a
4-nitroftalimida	0,12014±0,00744 ^a	0,11367±0,01648 ^a
Nonanoato de etilo	0,21712±0,04999 ^a	0,17330±0,09938 ^a
Octanol	0,03690±0,00409 ^a	0,01315±0,00044 ^b
Ácido isobutírico	0,01987±0,00064 ^a	0,01629±0,00209 ^a
Lactato de amilo	0,04376±0,00279 ^a	0,03595±0,00011 ^a
Decanoato de etilo	0,66042±0,00136 ^a	0,21319±0,02870 ^b
Ácido isopentanoico	0,03957±0,00323 ^a	0,03730±0,00619 ^a
Succinato de dietilo	1,83953±0,07473 ^a	1,34543±0,03013 ^b
Dec-9-enoato de etilo	0,05203±0,00051 ^a	0,01569±0,00054 ^b
Alcohol γ-metilmercaptopropílico	0,09675±0,00410 ^a	0,07944±0,00791 ^a
γ-etoxibutirolactona	0,03779±0,00163 ^a	0,02498±0,00492 ^a
Succinato de etilo butilo	0,02621±0,00255 ^a	0,00992±0,00000 ^b
Acetato de 2-feniletilo	0,22196±0,00847 ^a	0,07355±0,00370 ^b
Dodecanoato de etilo	0,22151±0,00858 ^a	0,20053±0,02873 ^a
Ácido hexanoico	0,23062±0,03578 ^a	0,19458±0,01138 ^a

COMPUESTO AROMÁTICO	VINO TESTIGO	VINO FILTRADO
Ácido propanoico, 2-metil-, 1-(1,1-dimetiletil)-2-metil-1,3-propanodiol éster	0,00912±0,00055 ^a	0,00543±0,00061 ^b
Benzenometanol	0,04817±0,00128 ^a	0,03437±0,00006 ^b
Etil isopentil succinato	0,26274±0,01881 ^a	0,08296±0,00477 ^b
2-feniletanol	4,76539±0,06294 ^a	3,54687±0,00776 ^b
Bifenilo	0,00878±0,00080 ^a	0,00757±0,00006 ^a
Tetradecanoato de etilo	0,14857±0,00467 ^a	0,09216±0,02294 ^a
Ácido octanoico	0,55979±0,04801 ^a	0,37406±0,00960 ^b
Pentadecanoato de etilo	0,01077±0,00066 ^a	0,00612±0,00224 ^a
Ácido nonanoico	0,03462±0,00521 ^a	0,04957±0,00891 ^a
Hexadecanoato de etilo	0,56224±0,03462 ^a	0,21263±0,03032 ^b
Ácido decanoico	0,07247±0,00964 ^a	0,04727±0,01317 ^a
Hexadec-9-enoato de etilo	0,03224±0,00799 ^a	0,02145±0,01002 ^a
Fenil lactato de etilo	0,00732±0,00077 ^a	0,00633±0,00048 ^a
2,4-di-terc-butifenol	0,04372±0,00552 ^a	0,04951±0,00188 ^a
Ácido benzoico	0,02960±0,00451 ^a	0,02214±0,00220 ^a
Ftalato de diisobutilo	0,02585±0,00271 ^a	0,01818±0,00094 ^a

*Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras de vino ($p < 0,05$). Test de Tukey.

En el análisis realizado de las dos muestras, fueron identificados cincuenta compuestos volátiles responsables del aroma, siendo estos mayoritariamente ésteres etílicos, alcoholes y acetatos, además de encontrarse todos ellos en concentraciones más altas en el vino testigo frente al vino dializado, a excepción del ácido nonanoico y la acetoína.

Se han observado diferencias estadísticamente significativas entre ambos vinos para el 32% de los compuestos volátiles detectados (16 de 50). En base a esto podemos decir que la diálisis afecta al aroma del vino, disminuyéndolo ligeramente. Los dieciséis compuestos en los que se han encontrado diferencias son: acetato de isoamilo, hexanoato de etilo, hexanol, octanoato de etilo, octanol, decanoato de etilo, succinato de dietilo, dec-9-enoato de etilo, succinato de etilo butilo, acetato de 2-feniletano, ácido propanoico, 2-metil-, 1-(1,1-dimetiletil)-2-metil-1,3-propanodiol éster, benzenometanol, etil isopentil succinato, 2-feniletanol, ácido octanoico y hexadecanoato de etilo.

Como se aprecia en la **Tabla 9**, la desalcoholización conlleva la disminución de la concentración de bastantes esteres en el vino (Pham, 2020), compuestos considerados de gran importancia ya que aportan al vino aromas frutales (Sanchez et al., 2022). Aunque al estudiar los aromas hemos podido observar que el vino testigo cuenta con mayor cantidad de esteres que el vino filtrado, el resultado referente al atributo “afrutado” de la prueba CATA ha sido bastante similar para los dos vinos, e incluso el vino filtrado ha sido considerado por muy poca diferencia más afrutado frente al testigo, por lo que aunque analíticamente presente menos aromas a fruta, muchos jueces no lo han considerado una diferencia notable y relevante desde el punto de vista sensorial.

Parte de los compuestos que han presentado diferencias estadísticamente significativas son alcoholes, familia que está relacionada con sabores y olores fuertes y picantes, y notas

herbáceas. En nuestro caso, aun cuando la concentración de alcoholes es menor, el número de catadores que asignaba el atributo herbáceo al vino filtrado es similar al número de catadores que lo hacía para el vino testigo. Además, ningún catador ha añadido los atributos fuerte y picante a la hora de añadir descriptores a la lista en el caso de que fuera necesario para describir los vinos individualmente.

Por otro lado, según autores la eliminación del etanol concentra efectivamente el vino, realizando su color al igual que otros constituyentes, lo que puede explicar el aumento de intensidad del sabor (Pham, 2020). En nuestro caso el color no se ha visto mejorado, sino que ha disminuido ligeramente, pero sin llegar a ser un cambio relevante para los catadores según los resultados obtenidos para el atributo color intenso en la prueba CATA. Sin embargo, teniendo en cuenta el número de catadores que han indicado que el vino filtrado es afrutado, puede haberse visto exaltado el sabor al reducir el contenido alcohólico del vino.

Es cierto que tras la sesión de diálisis el vino cuenta con un contenido inferior en aromas, pero este cambio no muestra una relación directa en la calidad organoléptica del vino representada por los resultados obtenidos de las pruebas realizadas de análisis sensorial.

6. CONCLUSIONES

Nuestros resultados confirman que aplicar diálisis sobre un vino tinto es efectivo para lograr una disminución del grado alcohólico relevante (sin sobrepasar una disminución de dos grados), dando lugar a una bajada de acidez, IPT y sulfuroso total en el vino, además de una ligera pérdida de compuestos volátiles, en especial aromas afrutados proporcionados por los esteres etílicos, detectables en los análisis realizados de su perfil volátil.

En base a las calificaciones y opiniones proporcionadas por los 72 catadores sin entrenamiento, las diferencias organolépticas entre los dos vinos eran ligeramente notorias, considerando algo mejor el vino testigo al cual le atribuían los descriptores “alcohólico”, “persistente” y “me gusta”.

Son necesarias más investigaciones para evaluar el impacto del proceso de diálisis en el vino para conseguir bajar parcialmente su contenido alcohólico, ya que este estudio es el único existente (hasta donde hemos podido comprobar en la bibliografía) que haya utilizado la diálisis por membrana sobre vinos tintos. Asimismo, sería interesante trabajar con vinos que realmente cuenten con un grado alcohólico inicial elevado, buscando así obtener los resultados más ajustados a la situación real de aplicación.

La información proporcionada puede ser útil para evaluar las características organolépticas del vino al realizar una desalcoholización parcial por medio de diálisis, con el objetivo de bajar grados alcohólicos altos producidos por los efectos del cambio climático. Además, convendría contrastar y comparar la información obtenida en diferentes tipos de vinos.

Como valoración final, el proceso tal y como lo hemos realizado es efectivo para disminuir parcialmente el contenido alcohólico, es decir, cumple con el objetivo inicial del trabajo; sin embargo, es necesario mejorarlo porque con vinos tintos al contrario de lo que ocurrió en vinos blancos, el consumidor nota diferencias que lo hacen en general menos aceptable. Una posibilidad para mejorar el proceso consistiría en trabajar con áreas de membranas superiores que permitan obtener la misma disminución del grado alcohólico en menos tiempo de filtración.

De esta forma se esperarían que hubiera menor variación de aromas que puedan influir en las propiedades organolépticas y sensoriales de los vinos resultantes.

7. BIBLIOGRAFÍA

Asensio de la Riva, J. (2018). Uso de pervaporación en la desalcoholización de vinos blancos. Trabajo Final de Grado, Grado en Enología, Universidad de Valladolid 2018.

Ayestarán, B., Martínez-Lapuente, L., Guadalupe, Z., Canals, C., Adell, E., & Vilanova, M. (2019). Effect of the winemaking process on the volatile composition and aromatic profile of Tempranillo Blanco wines. *Food chemistry*, 276, 187-194.

Calvo, J. I., Asensio, J., Sainz, D., Zapatero, R., Carracedo, D., Fernández-Fernández, E., ... & Hernández, A. (2022). Membrane Dialysis for Partial Dealcoholization of White Wines. *Membranes*, 12(5), 468.

Carracedo Esguevillas, D. (2021). Diálisis por membrana para la reducción parcial del grado alcohólico en vinos blancos. Trabajo Final de Grado, Grado en Enología, Universidad de Valladolid 2021.

Droulia, F., & Charalampopoulos, I. (2021). Future climate change impacts on european viticulture: A review on recent scientific advances. *Atmosphere*, 12(4).

Ehsani, M., Fernández, M. R., Biosca, J. A., Julien, A., & Dequin, S. (2009). Engineering of 2, 3-butanediol dehydrogenase to reduce acetoin formation by glycerol-overproducing, low-alcohol *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied and environmental microbiology*, 75(10), 3196-3205.

Ettehad, D., Emdin, C. A., Kiran, A., Anderson, S. G., Callender, T., & Emberson, J. (2016). Disminución de la presión arterial para la prevención de la enfermedad cardiovascular y la muerte: una revisión sistemática y un metanálisis. *Lancet (London, England)*[Internet], 957-67.

Fañanás Puigjaner, G., & Sarrá Paloma, A. (2020). Desalcoholización del Vino (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Ferrarini, R., Ciman, G. M., Camin, F., Bandini, S., & Gostoli, C. (2016). Variation of oxygen isotopic ratio during wine dealcoholization by membrane contactors: Experiments and modelling. *Journal of Membrane Science*, 498, 385-394.

Francis, I. L., & Newton, J. L. (2005). Determining wine aroma from compositional data. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11(2), 114-126.

Garc, E. Influence of storage temperature on the volatile compounds of young white wines. 2003.

García Gómez, V. (2021). Evaluación de la calidad sensorial de vinos jóvenes de Tempranillo procedentes de viñedos afectados por clorosis férrica. Trabajo Final de Grado, Grado en Enología, Universidad de Valladolid 2021.

García-Martín N, Palacio L, Prádanos P, Hernández A, Ortega-heras M. Evaluation of several ultra- and nanofiltration membranes for sugar control in winemaking. DES. Elsevier B.V. 2009.

Hernández, M. G. (2016). Características sensoriales y composición no volátil de vinos tintos: avances en la exploración de la calidad (Doctoral dissertation, Universidad de La Rioja).

- Jaeger, S. R., Cadena, R. S., Torres-Moreno, M., Antúnez, L., Vidal, L., Gimenez, A., ... & Ares, G. (2014). Comparison of check-all-that-apply and forced-choice Yes/No question formats for sensory characterisation. *Food Quality and Preference*, 35, 32-40.
- Jaeger, S. R., Beresford, M. K., Lo, K. R., Hunter, D. C., Chheang, S. L., & Ares, G. (2020). What does it mean to check-all-that-apply? Four case studies with beverages. *Food Quality and Preference*, 80, 103794.
- Kutyna, D. R., Varela, C., Henschke, P. A., Chambers, P. J., & Stanley, G. A. (2010). Microbiological approaches to lowering ethanol concentration in wine. *Trends in Food Science & Technology*, 21(6), 293-302.
- Labanda, J., Vichi, S., Llorens, J., & López-Tamames, E. (2009). Tecnología de separación por membranas para la reducción del grado alcohólico de un vino blanco modelo. *LWT-Ciencia y tecnología de los alimentos*, 42 (8), 1390-1395.
- Lim, J. (2011). Escala hedónica: una revisión de métodos y teoría. *Calidad y preferencia de alimentos*, 22 (8), 733-747.
- Merck (s.f). PLGC15005 Millipore. Recuperado 20 de mayo de 2021, de https://merckmillipore.com/ES/es/product/Ultrafiltration-Disc-10kDa-NMW,MM_NF-PLGC15005#anchor_UG.
- Merino, S. de H. (2019). Estudio del sistema de diálisis para la desalcoholización parcial de vinos blancos. 20. Trabajo Final de Grado, Grado en Enología, Universidad de Valladolid 2019.
- Napitupulu, D. (2020). Cochran Q-test for criteria validation of PeGI framework. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1430, No. 1, p. 012037). IOP Publishing.
- Nazralla, J. J. B., Paladino, S. C., Vila, H. F., & Lucero, C. C. (2009). Manual de técnicas analíticas para mostos y vinos. Ediciones INTA.
- Novello, V., & De Palma, L. (2013). Viticultural strategy to reduce alcohol levels in wine. In *Alcohol level reduction in wine* (pp. 3-8). Vigne et Vin Publications Internationales.
- OIV (2012). RESOLUCIÓN OIV-OENO 394B-2012. <https://www.oiv.int/public/medias/1462/oiv-oeno-394b-2012-es.pdf>
- Pham, D. T., Ristic, R., Stockdale, V. J., Jeffery, D. W., Tuke, J., & Wilkinson, K. (2020). Influence of partial dealcoholization on the composition and sensory properties of Cabernet Sauvignon wines. *Food Chemistry*, 325, 126869.
- Pilipovik, M. V., & Riverol, C. (2005). Assessing dealcoholization systems based on reverse osmosis. *Journal of Food Engineering*, 69(4), 437-441.
- Ramírez-Navas, J. S. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. *Revista ReCiTeIA*.
- RETEMA. (2016, junio 6). El Grupo SMAP de la Uva, a la vanguardia de la tecnología de membrana para separación de líquidos y gases. <https://www.retema.es/>. <https://www.retema.es/noticia/el-grupo-smap-de-la-uva-a-la-vanguardia-de-la-tecnologia-de-membrana-para-separacion--Z50Lr>
- 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 chemistry*, 210, 660-670.

- Sainz Escudero, D. (2017). Aplicación de nanofiltración por membrana y pervaporación para la desalcoholización de vinos comerciales y recuperación de aromas. Trabajo Final de Grado, Grado en Enología, Universidad de Valladolid 2017.
- Salgado, C. M., Fernández-Fernández, E., Palacio, L., Hernández, A., & Prádanos, P. (2015). Alcohol reduction in red and white wines by nanofiltration of musts before fermentation. *Food and bioproducts processing*, 96, 285-295.
- Salgado, C. M., Palacio, L., Prádanos, P., Hernández, A., González-Huerta, C., & Pérez-Magariño, S. (2015). Comparative study of red grape must nanofiltration: Laboratory and pilot plant scales. *Food and Bioproducts Processing*, 94, 610-620.
- Salgado, C. M., Fernández-Fernández, E., Palacio, L., Carmona, F. J., Hernández, A., & Prádanos, P. (2017). Application of pervaporation and nanofiltration membrane processes for the elaboration of full flavored low alcohol white wines. *Food and bioproducts processing*, 101, 11-21.
- Sam, F. E., Ma, T., Liang, Y., Qiang, W., Atuna, R. A., Amagloh, F. K., ... & Han, S. (2021). Comparison between Membrane and Thermal Dealcoholization Methods: Their Impact on the Chemical Parameters, Volatile Composition, and Sensory Characteristics of Wines. *Membranes*, 11(12), 957.
- Sánchez, R., Rodríguez-Nogales, J. M., Fernández-Fernández, E., González, M. R., Medina-Trujillo, L., & Martín, P. (2022). Volatile composition and sensory properties of wines from vineyards affected by iron chlorosis. *Food Chemistry*, 369, 130850.
- Srivastava, S. K., Verma, R., & Gupta, B. D. (2011). Surface plasmon resonance based fiber optic sensor for the detection of low water content in ethanol. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 153(1), 194-198.
- Tilloy, V., Ortiz-Julien, A., & Dequin, S. (2014). Reduction of ethanol yield and improvement of glycerol formation by adaptive evolution of the wine yeast *Saccharomyces cerevisiae* under hyperosmotic conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(8), 2623-2632.
- Vatai, G. N., Krstic, D. M., Höflinger, W., Koris, A. K., & Tekic, M. N. (2007). Combining air sparging and the use of a static mixer in cross-flow ultrafiltration of oil/water emulsion. *Desalination*, 204(1-3), 255-264.
- Venios, X., Korkas, E., Nisiotou, A., & Banilas, G. (2020). Grapevine responses to heat stress and global warming. *Plants*, 9(12), 1–15.
- Vilela, A. (2019). Use of nonconventional yeasts for modulating wine acidity. *Fermentation*, 5(1), 27.
- Wine Intelligence Report Brochure. Lower Alcohol Wines a Market Perspective. Available online: <http://www.wineintelligence.com/wp-content/uploads/2016/01/Lower-Alcohol-Wines-A-Multi-Market-Perspective-20161.pdf> (accessed on 1 August 2021).
- Zaldívar, E. (2017). Caracterización químico-sensorial en vinos blancos y tintos del atributo mineralidad (Doctoral dissertation, Universidad de La Rioja).
- Zapatero, R. (2020). Diálisis por membrana para la obtención de vinos blancos con contenido alcohólico reducido. Trabajo Final de Grado, Grado en Enología, Universidad de Valladolid 2020.