



Escuela Técnica Superior
de Ingenierías Agrarias **Palencia**



Universidad de Valladolid

Grado en Enología Trabajo de fin de grado:

Envejecimiento con sistemas alternativos a la barrica en bebidas alcohólicas de alta graduación: Una revisión.

Alumno: Ismael Barrigón Álvarez

Tutores: Ana María Martínez Gil

Rubén del Barrio Galán

ÍNDICE

1. Resumen/Abstract	3
2. Introducción	4
3. Justificación	9
4. Objetivos	9
5. Metodología.....	9
a. Búsqueda y clasificación de la bibliografía	9
b. Redacción del texto	10
6. Análisis bibliográfico.....	10
a. Envejecimiento del brandy con madera en formato de alternativo .	11
a.1. Compuestos de bajo peso molecular	12
a.2. Índice de polifenoles totales	14
a.3. Características cromáticas	15
a.4. Resultados más destacados sobre el envejecimiento de brandis con alternativos	19
b. Envejecimiento de otras bebidas alcohólicas con madera en formato de alternativo.....	20
7. Conclusiones	23
8. Bibliografía	24
ANEXO I.....	30

1. Resumen

Las bebidas espirituosas de gran riqueza alcohólica se obtienen mediante destilación de sus productos primarios previamente fermentados. Los aguardientes estudiados en esta revisión bibliográfica tradicionalmente sufren un añejamiento en barricas de madera que le otorgan propiedades sensoriales positivas y únicas, como consecuencia de los cambios promovidos en su composición química por múltiples fenómenos fisicoquímicos que involucran al destilado y la madera.

Debido al tiempo y costo inherentes al envejecimiento de los destilados en barricas de madera, la investigación ha buscado desarrollar alternativas más sostenibles y económicas para llevarlo a cabo. En este sentido, ha surgido el uso de trozos de madera de diferente tamaño los cuales pueden utilizarse junto a la técnica de microoxigenación para conseguir resultados que se asemejen al envejecimiento en barrica. Este tipo de envejecimiento alternativo con trozos de madera se lleva usando durante mucho tiempo en enología. Sin embargo, el uso de ellos en bebidas espirituosas es menos conocido, pero podría dar muy buenos resultados como se han observado en los diversos trabajos que han ido realizando distintos investigadores, de tal manera que podrían ser una buena alternativa al envejecimiento en barrica para las bebidas espirituosas.

En este contexto, la revisión se centrará en recapitular toda la información existente sobre el efecto del uso de sistemas alternativos a la barrica durante el envejecimiento de bebidas espirituosas.

Abstract

Spirits of great alcoholic richness are obtained by distillation of their primary products previously fermented. The spirits studied in this literature review traditionally undergo ageing in wooden casks, which gives them unique and positive sensory properties, as a consequence of the changes promoted in their chemical composition by multiple physicochemical phenomena involving the distillate and the wood.

Due to the time and cost inherent in the ageing of distillates in wooden casks, research has sought to develop more sustainable and economical alternatives. In this regard, the use of different sized wood chips has emerged which can be used in conjunction with the micro-oxygenation technique to achieve results that resemble barrel ageing. This type of alternative ageing with wood chips has been used for a long time in oenology. However, their use in spirits is less well known, but could give very good results as observed in the various works carried out by different researchers, so that they could be a good alternative to barrel ageing for spirits.

In this context, the review will focus on recapitulating all existing information on the effect of the use of alternative systems to barrels during the ageing of spirits.

2. Introducción

Las bebidas espirituosas se caracterizan por ser bebidas de alta graduación alcohólica que se establecen por la normativa europea (UE) 2019/787, en 44 categorías diferentes. Cada categoría aplica un grado alcohólico mínimo que permite la comercialización del destilado. La categoría 39 es la menos restrictiva en este sentido con un contenido de alcohol mínimo de 14% v/v en el licor de huevo, mientras que para la comercialización de la categoría 22, London gin, es como mínimo necesario un 70% v/v [1]. Estas bebidas se obtienen mediante destilación de materias previamente fermentadas, proceso que consiste en separar el agua de los compuestos alcohólicos mediante calor [2].

Los aguardientes se pueden clasificar dependiendo de la base de la materia prima, la cual puede ser, vino, sus residuos, sustancias azucaradas y almidones. En el caso de los procedentes de vino encontramos diversos aguardientes, siendo los más conocidos el coñac, el armañac, el lourinhã o el pisco. Los aguardientes más populares de residuos de vino son los marcs en Francia y las grappas en Italia. En la categoría de aguardientes de sustancias azucaradas, intervienen una gama muy amplia de productos como endrinos o caña de azúcar que producen el pacharán y ron respectivamente. Por último, nos encontramos con los aguardientes que contienen almidones que deben someterse a un proceso de sacarización para obtener alcohol, dentro de estos el whisky, la ginebra, el vodka o el tequila son las bebidas más comunes. Habitualmente, estos aguardientes son sometidos a un proceso de envejecimiento en barrica [3].

En el proceso de crianza de las bebidas alcohólicas en barricas, sucede una entrada de oxígeno a favor de gradiente de concentración, desde el ambiente externo hacia el interior de la barrica por medio de las juntas de las duelas o a través de la madera. Por lo tanto, la bebida consume oxígeno, en bajas dosis, alrededor de 60 µg/L/día [4,5]. Durante el envejecimiento en madera se producen cambios fisicoquímicos en la composición del destilado, modificándose el color, olor y sabor del destilado [6]. Como resultado de ello el contenido volátil y de polifenoles aumenta en el aguardiente de vino, mejorando propiedades como el color, amargor y algunos aromas [7], siendo una etapa clave para las características organolépticas del producto final [8]. Los cambios antes mencionados dependen del tiempo de envejecimiento, tipo de madera, curado y tostado de las barricas [9].

Las especies más usadas a la hora de fabricar una barrica son *Quercus petraea*, *Quercus robur*, *Quercus alba* y *Castanea sativa Mill.* Estas maderas son las más usadas para el envejecimiento de destilados, excepto *Quercus petraea* que está destinada mayoritariamente al sector enológico. La madera de *Quercus*, usada para la producción de barricas, se compone de 45% de celulosa, 25% de hemicelulosa, 20% de lignina y 10% de compuestos inorgánicos como los taninos hidrolizables, que dan a la bebida un aroma y sabor único [10,11,12].

El proceso de curado de las duelas de roble conlleva una concentración de whisky-lactonas, fenoles volátiles, como el eugenol, y de aldehídos fenólicos (aldehídos vainílicos, siríngicos, coniferílicos y sinápicos), pero también se produce una disminución de sustancias polifenólicas, como los elagitaninos, que están relacionadas con la astringencia y el amargor [13].

A pesar de estos factores, es el tostado de las duelas el proceso que tiene las mayores modificaciones de los compuestos químicos que afectan a las propiedades organolépticas de la bebida. Se producen reacciones de hidrotermólisis y pirólisis que degradan la lignina en fenoles volátiles y aldehídos fenólicos, los poliósidos en furanos

y los lípidos en lactonas. En el caso de excederse el tostado podrían en vez de generarse estos compuestos comenzar a degradarse, como ocurre con la β -metil- γ -octalactona cuando se somete a un tostado muy alto, de tal manera que disminuyen los olores característicos del roble [14]. Sin embargo, algunos compuestos se pueden extraer de la barrica hacia la bebida, sin la necesidad de tostar el interior de la barrica, como la vainillina, eugenol y aldehídos fenólicos, pero en concentraciones mucho más bajas [15].

El brandy, bebida espirituosa que se obtiene a partir de la destilación del vino (Figura 1) [16], se produce en diversas zonas, encontrándose las zonas más importantes en Europa, Cognac, Armagnac y Lourinhã [17]. Según la normativa europea vigente, el brandy ha de tener mínimo 36 grados de alcohol volumétrico, no se puede realizar ninguna adición de alcohol y debe de ser envejecido como mínimo durante 12 meses en recipiente de roble superior a 1000 litros o durante 6 meses si la barrica es de una capacidad inferior a 1000 litros [1]. Sin embargo, en el caso de los aguardientes de vino con indicación geográfica protegida Armagnac y Cognac el tiempo de crianza es de un año más respecto a lo que dicta la normativa del reglamento europeo anterior descrita e incluso en el caso de los que tienen indicación geográfica protegida Lourinhã es de dos años más a esta normativa [18]. En Europa también nos podemos encontrar con el brandy de Jerez, que tiene un envejecimiento mínimo de 6 meses en botas previamente envinadas por vinos de Jerez. Este brandy particularmente se envejece bajo el sistema de criaderas y soleras, practica que se basa en refrescar las añadas más antiguas con las últimas, ofreciendo al mercado un producto homogéneo [19].



Figura 1. Representación gráfica de la elaboración del Brandy. Fuente propia

La especie de roble más común para el envejecimiento del brandy es la madera de *Quercus robur*. En los últimos años ha ido ganando protagonismo en el envejecimiento de estos brandis la madera de castaño (*Castanea sativa* Mill.) gracias a que esta madera presenta en su composición una mayor concentración de ácido gálico, ácido vainílico,

vainillina y fenoles volátiles que la de *Quercus robur* [20]. Sin embargo, *Quercus robur* presenta una mayor concentración de compuestos como la escopoletina y la β -metil- γ -octalactona y actividad antioxidante más intensa [21]. Los brandis envejecidos en barricas de *Castanea sativa Mill* presentan un color más evolucionado y sus perfiles aromáticos y gustativos son más complejos, lo que le otorga sensación de que el envejecimiento es mayor que en *Quercus robur* a pesar de llevar el mismo tiempo de envejecimiento [22]. Algunos autores aseguran que los brandis envejecidos con madera de castaño presentan mejor calidad al extraer más componentes de la madera y con una mayor velocidad [23,24]. Tras la crianza podemos notar una diferencia sensorial que nos aporta esta técnica, transformando las notas florales, afrutadas y verdes del destilado inicial en notas más complejas en el brandy envejecido apareciendo vainilla, frutos secos, café y especias e incluso notas ahumadas [25].

En cambio, el roble americano (*Quercus alba*) es el tipo de madera más usada en la indicación geográfica brandy de Jerez para el envejecimiento. Esta madera libera ciertos compuestos al destilado como la vainillina, compuesto que otorga a la bebida el aroma de vainilla [23], el coniferilaldehído, el siringaldehído, el sinapaldehído y ácidos benzoicos y cinámicos debido a la hidrólisis de la lignina de la madera, la degradación de la hemicelulosa forma furfural y sus derivados los cuales aportan a la bebida aromas a frutos secos, en especial a almendra y caramelo [23], los galotaninos y elagitaninos que son taninos hidrolizables, se transforman en ácido gálico o ácido elágico por hidrólisis y exclusivamente en el caso del brandy de Jerez las botas también aportan ácido tartárico, láctico y succínico que provienen del vino de Jerez [26].

El residuo sólido de la uva (hollejos, raspones y semillas) en el proceso de la vinificación ha sido utilizado para la elaboración de bebidas espirituosas por los países mediterráneos principalmente; Francia (marcs), Italia (grappa), Grecia (tsipouro) y España (orujo de Galicia) [27]. Según la normativa vigente europea, el contenido mínimo de alcohol es del 37,5%, no se puede realizar ninguna adicción de alcohol y sobre el envejecimiento del aguardiente de orujo no hay ninguna regulación, por tanto, queda a libre disposición de cada indicación geográfica [1]. En el caso del orujo de Galicia, se puede envejecer mediante el sistema de vendimias o añadas, que consiste en la crianza estática del orujo en envases de madera de una capacidad inferior a 1000 litros, cuya duración no será inferior a 1 año [28]. La especie de madera más empleada es *Quercus robur* en este envejecimiento [29].

El whisky se produce básicamente a partir de cebada en un proceso que incluye las etapas de maceración, fermentación, destilación y crianza, gracias a esta última etapa el whisky adquiere su carácter final, que es apreciado en todo el mundo [30]. Los principales productores son Escocia, Irlanda y Estados Unidos [31]. La legislación europea obliga a este tipo de destilado a ser envejecido por un periodo mínimo de 3 años en toneles de madera de 700 litros como máximo y con una graduación alcohólica mínima de 40 grados [1]. En el caso del whisky americano el mínimo legal es de 1 año de envejecimiento, aunque normalmente estas bebidas maduran en periodos entre 4 y 8 años [32]. Los whiskys con denominación de origen de Irlanda y Escocia sigue la misma norma europea anteriormente descrita, con la única salvedad de que para la producción del whisky irlandés se hace una doble destilación de la cebada y para el escocés una triple destilación [33]. La mayoría de las barricas que se usan en la maduración del whisky son de roble americano, *Quercus alba*. En el caso del envejecimiento del whisky irlandés o escocés usan barricas de 250 litros de *Quercus alba* que previamente han sido usadas en la crianza de vinos o brandis de Jerez y de la crianza de whisky americano [34]. El whisky americano es obligado por su normativa a

usar exclusivamente barricas nuevas tostadas de roble americano blanco, principalmente *Quercus alba*, de 200 litros de capacidad [35]. Para volver a reutilizar la barrica se tiene que cepillar el interior de la barrica con un cepillo giratorio, que elimina el tostado y la madera pobre en compuestos de interés. Posteriormente, se vuelve a tostar recuperando algunos compuestos que ofrece una barrica nueva recién tostada, sin embargo, no se recuperan las lactonas de roble ni los taninos hidrolizables; en consecuencia, el balance de extractivos de madera en barricas regeneradas es muy diferente al de una barrica nueva tostada [36].

Los componentes de la madera reaccionan con el whisky durante la maduración, las reacciones de oxidación, reducción, polimerización, y esterificación que provocan los principales cambios aromáticos en esta fase. El eugenol que proporciona el aroma a especias de clavo, es muy típico en las bebidas envejecidas en roble, las whisky-lactonas están estrechamente ligadas a la evaluación de calidad del whisky [9] y la vainillina ofrece al whisky el aroma a vainilla [37]. Todos estos compuestos se transfieren al whisky principalmente si las barricas son nuevas, en cambio como se ha visto antes en las barricas regeneradas estos compuestos se ven disminuidos [37].

El proceso artesanal de fabricación de barricas es muy costoso, tan solo las duelas necesarias para fabricar una barrica de roble francés cuestan 700\$, sin incluir la mano de obra del artesano [38]. A esto se le suma que durante la crianza de la bebida sufre una gran evaporación del líquido, durante esa fase continuada en el tiempo, perjudicando económicamente al productor por las mermas producidas [39]. Añadiendo el coste inherente de almacenamiento de las barricas, ya que el proceso de envejecimiento de vinos o destilados se alargan en el tiempo, concretamente los segundos pueden llegar a periodos de 20 años de maduración [40], por tanto, como se ha podido comprobar este método tradicional es muy costoso. Por ello, los investigadores han buscado nuevas técnicas de crianza que puedan sustituir o complementar a la crianza tradicional en barricas. Este nuevo método se ha estudiado principalmente en vinos y consiste en añadir fragmentos de madera a la bebida, aportando sus compuestos [41]. Para reproducir la microoxigenación que sucede en el proceso de envejecimiento mediante los poros de la madera de la barrica, se añade oxígeno en pequeñas dosis, de este modo se simula la evolución que tiene el vino en un ambiente oxidativo [42].

Esta práctica se ha utilizado ampliamente en Estados Unidos, Australia o incluso Chile durante varios años [43], en Europa se permitió por primera vez el uso de alternativos en la vinificación y crianza de vinos en 2005 por parte de la comisión europea (2165/2005), la última modificación sobre esta tecnología sucedió en 2019 estableciendo que las piezas de madera de roble deben de ser del género *Quercus* para la crianza o vinificación [43,44,45].

Las más utilizadas y estudiadas en vino son las especies de roble tradicionales (*Q. petraea*, *Q. robur* y *Q. alba*) [46,47], la segunda más estudiada después de estas maderas es *Q. pyrenaica* que ha mostrado que tiene una composición apropiada y proporciona buenas características al vino, además de otras especies de roble como *Q. faginea*, *Q. humboldtii*, *Q. oocarpa* y *Q. frainetto* [48] y otros géneros de madera, acacia (*Robinia pseudoacacia*), castaño (*Castanea sativa* Mill), cerezo (*Prunus avium* L.), fresno (*Fraxinus*) y morera (*Morus*) [49]. Sin embargo, hoy en día las especies de roble y castaño son las únicas aprobados por la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV) para uso enológico (Resolución OENO 4/2005).

Los tipos de fragmentos de madera que existen para su uso enológico según tamaño y forma son: tabletillas, cubos, serrín, astillas, dominó o en trozos cuadrados (Figura 2). En cuanto a los trozos de mayor tamaño nos encontramos con duelas sumergibles [50].



Figura 2. Representación gráfica de los distintos tipos de formatos sobre el uso de alternativos de madera en vino [50].

A la hora de buscar la dosis requerida de este sistema alternativo se debe previamente conocer la relación superficie/volumen de la barrica a imitar y determinar la densidad de nuestros fragmentos de madera en una superficie conocida [51].

La mayor parte de los estudios concluyen que el uso de alternativos mejora la tasa de extracción de compuestos volátiles de los fragmentos de madera y acelera el proceso de envejecimiento. Debido a que en el caso de las barricas solo se empapa la madera que está en el interior (40% de la madera), en cambio los fragmentos están al completo sumergidos (100%), permitiendo una rápida adsorción por parte del vino [52].

Se puede encontrar numerosos artículos científicos sobre el uso de alternativos en vino y sus consecuencias además de ser muchos enólogos los que han probado su uso para el envejecimiento de sus vinos. Sin embargo, en el caso de bebidas destiladas que también sufren, en muchas de ellas, un proceso de envejecimiento muy costoso económicamente hablando son menos conocidos los efectos que pueden tener, por ello el objetivo de este trabajo es llevar a cabo una revisión bibliográfica sobre el uso de esta técnica en bebidas de alto contenido alcohólico.

3. Justificación

El fin de este trabajo fue la búsqueda y recopilación de artículos que experimenten el uso de alternativos en destilados y sus consecuencias en las características aromáticas, cromáticas y organolépticas del mismo.

En los últimos años, las técnicas y metodologías de crianza han cambiado, aumentando considerablemente la demanda de barricas nuevas y reduciendo el uso de cada una de ellas. Esta nueva tendencia produce una renovación del parking de barricas con mayor frecuencia.

Además, el mercado de las bebidas alcohólicas está muy saturado y cada productor debe de intentar diferenciarse de los demás con nuevas técnicas que aporten algo distinto y poder abaratar el producto final usando otros métodos de envejecimiento menos costosos como el caso del uso de alternativos.

4. Objetivos

El objetivo principal del trabajo ha sido recopilar toda la información existente sobre el uso de los alternativos en destilados y su efecto en la calidad. Para ello, se han propuesto los siguientes objetivos específicos.

1. Conocer qué bebida o bebidas espirituosas han sido envejecidas con el sistema alternativo a la barrica.
2. Saber las condiciones de envejecimiento utilizadas en las bebidas espirituosas (tipo de alternativo, especies de roble, tostado de la madera, dosis, si se ha microoxigenado, tiempo de contacto entre el destilado y la madera).
3. Conocer cómo afectan las diferentes condiciones de envejecimiento a la composición fisicoquímica de las bebidas espirituosas.
4. Recapitular la información más relevante del envejecimiento con alternativos a la barrica en bebidas espirituosas.

5. Metodología

La revisión bibliográfica se realizó haciendo una búsqueda amplia y profunda de artículos científicos donde se centran en la investigación del uso de alternativos en diferentes bebidas alcohólicas de alta graduación. La selección de los artículos se realizó mediante bases de datos científicas de acceso online y libros

a. Búsqueda y clasificación de la bibliografía

La búsqueda se realizó mediante la combinación de las palabras clave *“Staves” “Chips” “Alternative” “Wood” “Wine spirit” “Distillates” “Brandy” “Whisky” “Chestnut” “Oak” “Acacia” “Quercus” “Alba” “Petraea” “Robur” “Pyrenaica” “Cherry tree” “Ash tree” “Mulberry”*.

Las bases de datos utilizadas para la búsqueda principalmente fueron:

- Scopus

- Science Direct
- Web of Science
- Dialnet
- Google Scholar

Libros consultados:

- Vinos, otras bebidas alcohólicas, aguas, cafés e infusiones [2]
- Confección de cartas de vinos, otras bebidas alcohólicas, aguas envasadas, cafés e infusiones [3]
- Whisky pur Malt [30]
- Guía del whisky de malta [31]

b. Redacción del texto

La bibliografía fue clasificada en primer lugar con una tabla donde se separó el nombre del artículo, base de datos, palabras claves, tipo de destilados, especies de madera, el tipo de envejecimiento usado, tiempos de crianza y que tipos de análisis se llevaban a cabo en los artículos. Seguidamente se clasificaron en dos grupos, por un lado, los artículos que estudiaban brandis y por otro lado el resto de las bebidas espirituosas estudiadas, debido a que la mayoría de los artículos encontrados eran de brandis. Otra condición, era usar únicamente artículos que trataran el uso de alternativos en las bebidas espirituosas, no disoluciones alcohólicas que extrajeran los componentes de la madera de los alternativos, estos artículos fueron desechados para este estudio porque el objetivo no era mirar la composición de la madera sino ver cómo afectan a las bebidas espirituosas. Bajo estas directrices se elaboró la Tabla 1 “Estudios sobre el envejecimiento con alternativos en brandis” y la Tabla 3 “Estudios sobre el envejecimiento con alternativos en otras bebidas espirituosas”.

Por cada grupo se hizo una clasificación de los parámetros a analizar. En el caso del brandy se estipuló por la importancia que se le otorga tomar los análisis de compuestos de bajo peso molecular, involucrando al ácido gálico, ácido elágico y vainillina, la caracterización del color por el método CIELab y el índice de polifenoles totales de Folin-Ciocalteu. Se consideró el tipo de tostado empleado, especies de maderas, nivel de microoxigenación empleado durante la crianza y el tiempo del envejecimiento, formando la Tabla 2 la cual se discute bajo el apartado “Brandy”. Respecto al grupo de otras bebidas alcohólicas no se ha realizado una tabla comparativa de los principales resultados debido a los pocos estudios y a la disparidad de condiciones, por lo tanto, este apartado se ha desarrollado con la descripción de los principales resultados obtenidos sobre los efectos que han tenido las bebidas con este tipo de envejecimiento alternativo en los estudios.

6. Análisis bibliográfico

Esta revisión ha sido realizada con los artículos encontrados en la bibliografía sobre el envejecimiento en formato alternativo con bebidas espirituosas. La forma de realizar la

selección de los artículos que se van a presentar en dicho apartado se ha realizado según lo descrito en metodología. La mayoría de las bebidas espirituosas estudiadas con envejecimiento de madera en formato de alternativos son brandis, por lo que esta revisión se ha planteado en dos apartados, uno para tratar de recapitular toda la información de este envejecimiento sobre el efecto en los brandis y otro para analizar las otras bebidas espirituosas.

a. Envejecimiento del brandy con madera en formato de alternativo

La Tabla 1 muestra todos los trabajos que han estudiado el envejecimiento de brandis con madera en formato de alternativo. El aguardiente de vino que más se ha investigado es el brandy de Lourinhã, encontrándose 20 estudios. La graduación alcohólica media del brandy de Lourinhã varía entre los 77,20 y 78,30 %v/v. Se han encontrado 6 trabajos que estudian otros brandis distintos a los portugueses, brandy de Jerez, brandy de quebranta (Pisco), brandy de ciruela y brandy de sidra, los cuales tienen un contenido alcohólico sensiblemente menor a los descritos anteriormente, ya que oscilan entre los 40 y 60 %v/v. El único artículo que trata de acortar tiempos de crianza mediante el uso de ultrasonidos y agitación es el caso del brandy de Jerez.

El 77% de las investigaciones que se han ido realizando estudian comparativamente el envejecimiento tradicional con barricas. El alternativo más estudiado en brandis ha sido el formato duelas, siendo utilizado en 21 artículos de los 26 encontrados, mientras que astillas únicamente han sido estudiado en 5 de los estudios y las tabletillas en 2. En concreto, todos los artículos que estudian el brandy portugués de Lourinhã usan el formato de duelas en el envejecimiento de alternativos y el 85% hacen comparativa con el envejecimiento tradicional en barrica.

El 54% de los estudios han usado madera de *Quercus robur* y de *Castanea sativa Mill.*, en algunos se han estudiado las dos especies por separado, pero en otros se han estudiado conjuntamente con una proporción 50/50. El 23% de las investigaciones han usado madera exclusivamente de castaño (*Castanea sativa Mill.*). Por tanto, en el 77% de los artículos encontrados que estudian el envejecimiento de brandis con madera en formato alternativo usan la madera de castaño, mientras que la segunda madera más estudiada ha sido la de *Quercus robur* (65% del total de los artículos). Además, otros *Quercus* han sido utilizados como son el *Quercus alba* (2 estudios) o *Quercus petraea* (3 estudios). La madera de castaño no ha sido la única madera del género no *Quercus* investigada ya que en uno de los trabajos utilizan, además de *Castanea sativa Mill.*, el moral (*Morus alba*), el abeto (*Abies alba*), el nogal (*Juglans regia*) y el cerezo (*Prunus avium*).

Respecto al tostado de la madera, se puede observar que, aunque han sido utilizados con todos los tipos de tostado (alto, medio superior, ligero y sin tostar) el tostado más utilizado ha sido el tostado medio superior. La madera que ha sufrido este tostado ha sido sometida a un calentamiento a 240 grados durante 90 minutos con un espesor de tostado en la madera de 1,8 centímetros. El brandy de Lourinhã ha sido estudiado bajo este nivel de tostado en un 80% de los trabajos, el otro 20% han utilizado tostado alto (calentamiento de la madera durante 25 minutos).

La mayoría de los estudios usan dosis de madera que repliquen la superficie de la barrica que comparan. De este modo la Tabla 1 muestra 13 artículos con una dosis por superficie equivalente a una barrica de 250 litros de volumen (S250L) y 7 artículos con

una dosis por superficie equivalente a una barrica de 650 litros de capacidad (S650L). Tan solo hay 3 artículos en los que la dosis se haya elegido por peso (g/L) y no por superficie (cm²/L).

En lo que concierne a la microoxigenación (MOX), se observa en la Tabla 1 que todos los brandy de Lourinhã utilizan MOX excepto los que usan una dosis de S650L donde no se aplica microoxigenación. En los “otros brandis” no portugueses tampoco se utiliza MOX, a excepción del brandy de sidra [6], que aplica la mayor MOX 50 mL/L/mes. Los brandis de Lourinhã que usan dosis de S250L, aplican un caudal de microoxigenación de 2 ml/l/mes, en 6 de los 12 trabajos no solo usan esa MOX sino que trabajan con 4 niveles diferentes de microoxigenación; N, O15, O30 y O60 desde anoxia (0 ml/l/mes) hasta 2 ml/l/mes [4,20,23,25,53,54]. “N” caudal de nitrógeno de 20 mL/L/mes, nivel de anoxia en el brandy. “O15” caudal de oxígeno de 2 mL/L/mes durante los primeros 15 días seguido de 0,6 mL/L/mes hasta los últimos 365 días de la crianza del brandy. “O30” caudal de oxígeno de 2 mL/L/mes durante los primeros 30 días seguido de 0,6 mL/L/mes hasta los últimos 365 días del proceso de envejecimiento del brandy. “O60” caudal de oxígeno de 2 mL/L/mes durante los primeros 60 días seguido de 0,6 mL/L/mes hasta los 365 días de maduración del brandy.

En este apartado de estudios sobre el envejecimiento con alternativos en brandis, los autores se han centrado en medidas sobre los compuestos volátiles, compuestos de bajo peso molecular, IPT y atributos sensoriales como el color por el método del índice de CIELab (Tabla 1). Estos análisis se han llevado a cabo normalmente después de 365 días de crianza bajo los distintos tipos de tecnología; alternativos con duelas, astillas y tabletillas o tecnología tradicional de barrica.

Según Canas et al., [55] los compuestos fenólicos de bajo peso molecular encontrados en los brandis envejecidos, independientemente de las condiciones de añejamiento y de las metodologías analíticas empleadas, se pueden clasificar por la abundancia de estos compuestos en el destilado. Los ácidos fenólicos constituyen el 70% del total de los compuestos fenólicos, de los que cabe destacar el ácido gálico y el ácido elágico siendo los más abundantes del grupo, seguidos de los ácidos siríngico, vainílico y ferúlico. El siguiente grupo trataría de los aldehídos fenólicos que componen el 15,3%, entre ellos aparecen los de tipo siríngilo (sinapaldehído y siríngaldehído), que son más abundantes que los de tipo guaiacilo (vainillina y coniferaldehído), ya que los primeros se acumulan más en el tostado de la madera, sin embargo, el aroma a vainilla es una propiedad clave en la calidad de los brandis, muy ligado al contenido de vainillina. Otros grupos, como las curaminas, los lignanos o las fenilcetonas, tienen menos presencia en las bebidas espirituosas envejecidas.

Otro atributo muy importante sobre la calidad final del brandy es el color que evoluciona debido al ambiente oxidativo y a las múltiples reacciones que se producen durante el envejecimiento. Por todo ello, en esta revisión se van a estudiar en los siguientes apartados el ácido gálico, el ácido elágico y la vainillina como compuestos fenólicos, el índice de polifenoles totales (IPT) de Folin-Ciocalteu y la caracterización del color por el método CIELab, de esta forma podemos comparar con criterio las diferencias analíticas que encontremos en los artículos. Los tiempos de crianza escogidos son 180, 365 y 545 días por ser los más representativos de la revisión de brandis.

a.1. Compuestos de bajo peso molecular

Los ácidos fenólicos son compuestos no flavonoides que se encuentran en los brandis envejecidos por mantenerse en contacto con la madera. Existen en la madera de forma

libre o combinada y tras la degradación térmica de los galotaninos, lignina y elagitaninos de la madera estos se liberan formando principalmente los ácidos gálico y elágico. Los aldehídos fenólicos también son compuestos no flavonoides que se liberan en el tostado de la madera en el proceso de tonelería, dentro de este grupo se encuentra la vainillina [23].

Los brandis de Lourinhã envejecidos muestran que el ácido fenólico más abundante es el ácido gálico seguido del elágico, solo en el estudio de Nocera et al., y Canas et al., [7,56] se ha observado que cuando el roble utilizado es *Quercus robur* la cantidad de elágico es mayor que la de gálico en la crianza con duelas (Tabla 2). En cambio, el ácido gálico es el compuesto más extraído en la madera de castaño debido a que esta madera es rica en este tipo de ácido fenólico y se oxida en presencia de pequeñas cantidades de oxígeno, mientras que el ácido elágico se oxida en contenidos de oxígeno más altos. En los estudios que aplican anoxia [20,23,25] se observa que aquellos brandis sometidos a anoxia tienen menores contenidos de gálico y elágico que los que han recibido diferentes dosis de oxígeno (Tabla 2). Oliveira et al., [20] observaron que se detecta una menor cantidad de estos ácidos en el brandy de Lourinhã envejecido en anoxia (N), con un valor de 85,7 mg/L en el caso del ácido gálico, respecto a los 123,1 mg/L en la MOX 015, 105,5 mg/L en la MOX O30 o 94,9 mg/l en la MOX O60. Lo mismo ocurre con el ácido elágico donde la menor concentración se encuentra en los brandis sometidos a una anoxia. El aldehído fenólico, vainillina, muestra al igual que los ácidos fenólicos el mismo comportamiento, siendo los brandis que han sido sometidos a anoxia los que menor contenido presentan.

Caldeira et al., [25] no detecta diferencias significativas en el contenido de vainillina entre el envejecimiento del brandy en duelas + MOX y el brandy envejecido en barrica, pero si con el expuesto a anoxia (Tabla 2). Canas et al., [23], proporciona información importante sobre el papel de la oxigenación del brandy durante la crianza. Los contenidos más altos de ácido gálico y vainillina se asocian con un nivel de MOX menor, mientras que los contenidos más elevados de ácido elágico se asocian a niveles más altos de microoxigenación, observándose también en el resto de trabajos con diferentes dosis de MOX (Tabla 2).

Diversos estudios [6,7,17,56,57,58,59] detectan que la tecnología de envejecimiento y el tipo de madera muestran diferencias en el contenido de ácido elágico y vainillina. Este contenido es mayor en los brandis envejecidos bajo el uso de alternativos que sobre aquellos que han sido criados en barricas. Excepto en el artículo de Cruz et al., [60] que el contenido de elágico es mayor en la crianza de brandy en barrica y sobre la vainillina no hay diferencias significativas entre tecnologías de envejecimiento (Tabla 2). Además, este contenido también es mayor en las crianzas donde se escogió el castaño como tipo de madera que en aquellas realizadas sobre madera de roble.

Anjos et al., [57] observó un mayor contenido de ácido elágico en el brandy envejecido con duelas de castaño a los 545 días (28,2 mg/L), mientras que la crianza tradicional de barrica aporta un contenido de 15,5 mg/L. En el caso del brandy envejecido con duelas de madera de *Quercus robur* se observó un valor de 13,8 mg/L y en el envejecimiento de barrica de 6,8 mg/L. La misma tendencia ocurre con la vainillina. Los resultados de Canas et al., [58] muestran que los compuestos fenólicos de bajo peso molecular tienden a aumentar con el paso del tiempo, pero su cinética de extracción depende del tipo de la tecnología de envejecimiento empleada.

Con respecto al ácido gálico, ácido elágico y vainillina, se observaron mayores contenidos en el brandy añejado con las tecnologías alternativas. La madera de castaño

tiene características adecuadas para ser una alternativa al roble *Quercus robur*, induciendo una evolución más rápida y una alta calidad en el brandy final. Coldea et al., [59] estudia 7 tipos diferentes de madera; 2 de roble, castaño, morera, nogal, abeto y cerezo, para el envejecimiento de brandy de sidra rumano (pălinca). Los brandis envejecidos bajo la madera de morera, abeto y de nogal, no detectaron contenido de ácido gálico ni de ácido elágico y bajo la madera de cerezo no se detectó la vainillina. La vainillina, aumentó significativamente en el brandy envejecido con castaño, 7,4 mg/L, y el ácido elágico fue máximo con la madera de cerezo, 11,5 mg/L.

En todos los estudios que aplican comparativa entre el uso de alternativos y el uso de barricas respecto al contenido del ácido gálico [7,17,22,56,60] se observa que en aquellos brandis que han sido envejecidos bajo la tecnología tradicional experimentan mayores contenidos de ácido gálico respecto a los brandis envejecidos con alternativos, sin importar si se les ha suministrado o no MOX. Únicamente, en el trabajo de Madrera et al., [6] que estudia el brandy de sidra el contenido de ácido gálico es mayor en los brandis envejecidos con astillas frente al de barrica, en concreto con *Quercus robur* español, 33,2 mg/L.

El objetivo de los trabajos de Lourenço et al., y Canas et al., [17,22] era proporcionar información innovadora sobre las características finales del brandy de vino envejecido con el uso simultáneo de *Quercus robur* y *Castanea sativa* Mill. El impacto del uso simultáneo de ambas maderas con alternativos fue superior en ácido elágico (15 mg/L) y en vainillina (7 mg/L) que en barricas (8 mg/L y 3 mg/L, respectivamente) [17]. En cambio, el aguardiente de vino obtuvo durante todo el envejecimiento más compuestos de ácido gálico y vainillina en la crianza de barricas que en la crianza de astillas [22].

Llama la atención los resultados de vainillina del trabajo de Balcersek et al., [61] por su alto contenido en comparación con el resto de los trabajos analizados. A los 180 días de envejecimiento con astillas el contenido de vainillina es de 500 mg/L y a los 365 días de 700 mg/L, resultados que multiplican por 100 a los estudiados.

a.2. Índice de polifenoles totales

Los polifenoles totales aumentan con el tiempo de envejecimiento (Tabla 2). Como era de esperar tras observar el comportamiento de la anoxia, en el contenido de ácidos y aldehídos fenólicos, los brandis envejecidos bajo anoxia presentan el menor contenido de polifenoles totales [20,54].

En los estudios que comparan el resultado final de polifenoles totales (IPT) entre la tecnología de alternativos y el uso tradicional de barricas [7,17,22,56,57,62], observa que el valor final de IPT es superior en los brandis sometidos a una crianza con alternativos, debido a una mayor extracción de estos compuestos procedentes de la madera. La excepción se encontró en el trabajo de Cruz et al., [60], que detecta contenidos superiores en ácido gálico, elágico y vainillina en barrica y por ende el valor de IPT en barrica fue mayor (15 IPT) que en el uso de duelas (12 IPT) siendo los valores más bajos de todos los trabajos de la presente revisión bibliográfica.

En los trabajos realizados por Lourenço et al. y Canas et al., [17,22,62] realizaron una crianza de aguardientes de vino utilizando madera de castaño y de roble (*Quercus robur*) simultáneamente al 50% cada una. Los resultados de IPT de estos trabajos, corresponden con una media de los IPT de los brandis producidos en madera de castaño y roble, al participar cada especie de madera en un 50% en los compuestos cedidos al brandy envejecido. El trabajo de Lourenço et al., [17] tenía como valor de 56 de IPT en

el brandy envejecido por el uso de alternativos, mientras que en el trabajo de Anjos et al., [57] toma unos valores de 72 con la madera de castaño y de 41 con roble, es decir que se respeta el 50% del contenido final de polifenoles que aporta cada especie en la crianza del trabajo de Lourenço et al., [17].

Todos los trabajos que comparan el contenido de IPT en brandis envejecidos con madera de castaño y madera de roble (*Quercus robur*) son los trabajos de Anjos et al., Nocera et al., y Canas et al., [7,56,57]. Los contenidos de IPT son superiores en las crianzas con madera de castaño, lo cual concuerda con el contenido superior de compuestos fenólicos de bajo peso molecular de los brandis envejecidos en castaño.

En el trabajo de Canas et al., [7] el valor de IPT en el brandy envejecido en madera de castaño es el doble al de roble, sin importar la tecnología usada, observándose en duelas 52 IPT frente a los 26 IPT y en barricas 25 IPT frente a los 17 IPT. De nuevo se observan los mayores índices de polifenoles totales en alternativos que en barricas.

El único brandy que estudia IPT y no es de Lourihñã es el estudiado por Delgado et al., [63] que trata de un brandy de jerez con envejecimiento acelerado por uso de ultrasonidos y agitación. El uso de astillas de *Quercus alba* en dosis de 4 g/L con un caudal de flujo de 50 L/h proporciona 60 de IPT y en la dosis de 5 g/L con un caudal de 40 L/h proporciona 35 IPT.

a.3. Características cromáticas

Los brandis recién destilados se caracterizan por tener un elevado contenido de etanol y de compuestos volátiles, pero carecen de compuestos fenólicos distintos de los fenoles volátiles. Debido a ello, los aguardientes de vino son incoloros. El color es un atributo clave en el proceso de comercialización de las bebidas, ya que es la primera característica sensorial que el consumidor percibe, permitiendo predecir otras sensaciones sensoriales distintas de la bebida e influenciando en la toma de decisión a la hora de que producto escoger en la compra [55].

El método instrumental más usado en la industria alimentaria son los de "Commission Internationale de l'Éclairage" (CIE): CIELab. EL método CIELab mide diferentes parámetros: la luminosidad (L) describe la escala de grises en cada color, desde completamente transparente o brillante (100%) hasta un color totalmente opaco (0%). El croma (C) representa la intensidad de color percibida por el ojo humano proporcional al brillo, cuánto mayor color percibamos de la bebida mayor valor cuantitativo obtendremos. Sobre las coordenadas de cromaticidad, la "a" toma valores positivos para el tono rojo y negativos para los tonos verdes, en el caso de la coordenada "b" toma tonos amarillos en los valores positivos y azules en los negativos. Por último, la percepción del color complementario, el tono marrón, se mide con la absorbancia a 470 nanómetros [54].

Respecto al factor de la luminosidad (L), Canas et al., [54] obtuvo el valor más alto en el destilado previo al envejecimiento (99,68%). A continuación, independientemente de la modalidad de envejecimiento se observó una disminución regular en todos los brandis, que va desde 76,54% a 72,93% a los 365 días. Sin embargo, esta disminución fue más intensa en O60 y O30 que en O15. Además, se observó que el nivel más alto de MOX (O60) a los 60 días promovió la disminución de la "L" de manera más rápida que el resto de niveles de MOX (O15, O30). Por lo contrario, el nivel anoxia (N) mostró la mayor "L" a lo largo del tiempo, mostrando la importancia de la oxidación en la evolución de la luminosidad durante el envejecimiento con alternativos de madera. Anjos et al., [57]

detectó una evolución decreciente de la “L” durante todo el envejecimiento, tanto en crianza tradicional como en alternativos. Cabe destacar la mayor evolución de los brandis envejecidos con alternativos y en específico bajo la madera de castaño, que marca un valor del 62% a los 545 días respecto al 90% del brandy en barrica de *Quercus robur* en ese mismo momento (Tabla 2).

Lourenço et al., [17] comparó brandis envejecidos con maderas de *Quercus robur* y de *Castanea sativa Mill.* al 50:50 con brandis envejecidos de manera tradicional y con alternativos en formato duelas. Así se vio que a los 545 días el método alternativo tiene una “L” del 63% mientras que el método tradicional del 81%, siendo bastante superior la evolución del color en el uso de duelas como en los artículos anteriores.

Canas et al., [7] obtuvo una disminución regular de la “L”, siendo más pronunciada en los brandis con crianza de alternativos, especialmente la de castaño que partía con un 97% y a los 180 días contenía un 80%. En cuanto al alternativo de roble, este mostró un valor muy similar al de barrica de castaño con un 90% y un 88% respectivamente, seguido del brandy envejecido en barrica de roble, que mostró un valor del 96%. En el estudio de Canas et al., [22] llama la atención que prácticamente la luminosidad del brandy envejecido bajo el uso de alternativos no tiene evolución, con valores que van desde el 87% a los 180 días hasta el 85% a los 545 y 725 días. En el caso del brandy envejecido bajo el método tradicional, a los 180 días se obtuvo un valor del 92%. En cambio, los resultados obtenidos en el resto de los períodos evaluados fueron similares al del uso de alternativos. Esta diferencia con el resto de los artículos se puede deber a la dosis de duelas o tamaño de barrica empleado, en este caso se usó un volumen de 650 litros mientras que en los casos anteriores era de 250 litros. Al disminuir la superficie de contacto entre el brandy y la madera la evolución del destilado fue menor.

En el trabajo realizado por Canas et al., [62] la luminosidad de los destilados fue estudiada en tres tecnologías diferentes de envejecimiento; uso de duelas, de tabletillas y de barrica. En cada una de ellas se observó que este parámetro fue descendiendo durante los 365 días del estudio sin grandes diferencias entre las tres. A los seis días de crianza las muestras del brandy tomaron unos valores sobre el 97% y a los 365 días de entorno al 90%, destacando que las tres tecnologías en los últimos 180 días de estudio se mantuvieron constantes.

En el último artículo de la Tabla 2, que estudia la luminosidad en brandis de Lourinhã [60] (Cruz et al.), se detectó un menor valor en el brandy envejecido en duelas, 92%, respecto al envejecido en barrica, 95%, en los primeros 180 días sin MOX. Balcerek et al., [61], estudió la luminosidad sobre el único brandy que no es de indicación protegida Lourinhã, observando que este parámetro era mayor en aquellos brandis de ciruela que habían sido envejecidos con dosis más bajas de astillas de *Quercus robur* y *Quercus petraea* al 50% cada una; 3 g/L (91,09%), 5 g/L (88,70%) y 7 g/L (86,24%).

En cuanto al croma (C), el artículo de Canas et al., [54] mostró un aumento significativo de este parámetro a los 365 días. El valor en el vino recién destilado fue de 1,34% y tras un año de envejecimiento este valor osciló entre 75,33% y 82,70%. El envejecimiento en anoxia fue el que mantuvo el valor de más bajo en todos los tiempos de muestreo frente a los envejecimientos con niveles MOX. Entre los brandis expuestos a diferentes MOX no hubo diferencias significativas en su croma. En el trabajo de Anjos et al., [57] también se detectó un incremento de este parámetro con el paso del tiempo, destacando los brandis envejecidos con alternativos respecto a los de crianza tradicional, en específico con la madera de castaño que a los 545 días tenía un valor de 94% sobre el 77% del roble en formato alternativo. En cambio, en el caso de la barrica a los 545 días,

el castaño tenía un 75% de croma frente al 44% del roble. En el estudio de Lourenço et al., [17] el valor del croma volvió a ser más alto cuando se envejeció el brandy con alternativos (88 %) respecto al envejecimiento en barrica (63%), en este caso con mezcla de castaño y roble por igual en cada método. Por tanto, se pudo observar que los brandis criados bajo el uso de duelas tenían un color más intenso.

Canas et al., [7] también detectó un aumento en el croma del brandy durante su crianza, destacando que los valores de las barricas también son significativamente menores al de los alternativos y que la madera de roble es menor al de castaño. En el caso del alternativo de castaño, a los 180 días se obtuvo un valor del 72% mientras que la barrica de la misma especie fue del 50%. Similares resultados se encontraron en el artículo de Canas et al., [22], observándose una evolución creciente en todo el periodo, siendo superior en el brandy envejecido con tecnología de alternativo respecto al de barrica. En el caso de los alternativos, entre los 545 y 725 días, el valor se mantuvo constante (62%) mientras que el de barricas fue aumentando desde el 54% a los 545 días hasta el 59% a los 725.

Canas et al., [62] también observó que la cromaticidad de los brandis experimentó una gran evolución hacia valores más altos durante el envejecimiento. Así, se vio que ambos brandis, con duelas y tabletillas, a los 6 días tenían un valor del 17%, y a los 365 días este valor se incrementó hasta el 58% y 70% respectivamente. En cambio, la evolución del brandy envejecido en barrica fue más lenta, partiendo desde el 10% y evolucionando hasta el 50% al final del envejecimiento.

Cruz et al., [60] no detectó diferencias entre el croma de los brandis criados con el uso de alternativos en formato duelas y en barricas en los primeros 180 días, observando un valor del 29%, uno de los valores más bajos que se haya recopilado en esta revisión bibliográfica.

Sobre las coordenadas de cromaticidad y el color complementario, el trabajo de Canas et al., [54] mostró que los valores de "a" fueron incrementándose con el tiempo en el brandy. De este modo, hasta los 60 días de crianza el valor fue de -1,53, y después fue aumentando en todas las modalidades de envejecimiento estudiadas en el destilado, variando de 13,17 a 17,52 a los 365 días. Este incremento es lógico debido a los procesos oxidativos que hacen que el destilado pase de tener tonos verdosos a tener una mayor predominancia de los tonos rojizos. Este tono rojizo fue más intenso en los brandis bajo oxigenación que en brandy sometido a anoxia, como era de esperar. Del mismo modo, el valor de "b" fue incrementándose desde 1,34 hasta 74,17 a 80,82 a los 365 días de envejecimiento (Tabla 2). El color de los destilados sometidos a diferentes niveles de MOX fue similar tanto en la coordenada cromática "a" como en la "b". La tonalidad que menos influyó en el color final del destilado fue el marrón con un valor que oscilaba entre 0,46 y 0,56 a los 365 días de crianza, aunque fue aumentando con el tiempo. Por lo tanto, el brandy con anoxia destacó por su menor tonalidad marrón y el brandy sometido a MOX O60 por lo contrario (mayor tonalidad marrón). El efecto de MOX acentuó las diferencias de los brandis en los primeros 60 días con valores mayores en aquellos que tenían más oxigenación y hasta los 365 días de envejecimiento esta diferencia no fue significativa.

Anjos et al., [57] detectó importantes diferencias en la coordenada cromática "a" de los destilados envejecidos en la barrica de roble durante los primeros 365 días frente al resto de los envejecimientos. Los primeros mostraban valores negativos y los segundos valores positivos lo que indica que en los primeros había una predominancia de tonos verdes y en los segundos de tonos rojizos. El tono rojo inicial se intensificó con el paso

del tiempo sobre todo en el caso de los alternativos y en concreto con la madera de castaño, que también mostró una mayor tonalidad amarilla que en el resto de las crianzas. El valor de la coordenada "a" del alternativo de castaño a los 545 días fue de 29 respecto al valor 0 de la barrica de roble en ese mismo tiempo. En el caso de la coordenada "b" el valor fue de 89 y 44 respectivamente. El tono amarillo ganó predominancia sobre el rojo en términos generales sin importar tiempos, madera o tipo de envejecimiento.

Todos los brandis estudiados por Lourenço et al., [17] presentaron colores rojizos y amarillentos que corresponden a un color ámbar. La tecnología de envejecimiento alternativa indujo a una evolución del color más rápido que la tradicional (21 a 5 en "a" y 86 a 62 en "b") a los 545 días de maduración del brandy. Además, la medida de absorbancia a 470 nm mostró un color marrón más intenso en la tecnología alternativa (0,67) que en la tradicional (0,3). Por otro lado, Canas et al., [7] vieron una tendencia a la baja en la coordenada "a" de los brandis envejecidos en barricas, destacando el de roble que termina a los 180 días con un valor negativo de -1. Sin embargo, con los brandis envejecidos con alternativos sucede lo contrario observándose que el brandy envejecido con castaño llegó a tomar un valor de 12, mientras que el brandy de roble 2,8 a los 180 días. En el caso de la coordenada "b" se observó una tendencia al alza durante el envejecimiento en todas las muestras, destacando un mayor tono del amarillo en los brandis alternativos y en especial bajo la madera de castaño (70). Lo mismo ocurrió con el tono marrón, con un valor de 0,45.

Canas et al., [22] observaron que el valor de la coordenada "a" del brandy en barrica a los 180 días se situaba muy cerca del tono verdoso ("a"=0,5) multiplicándose este valor ("a"=4) a los 545 días. En cambio, el valor del alternativo era de 3 y aumentaba hasta casi triplicar el valor ("a"=8) al final de los 545 días. Los valores de la coordenada "b" y la absorbancia a 470 nm, tomaron una tendencia al alza, destacando el sistema alternativo sobre el tradicional con un valor de 0,35 del tono marrón al final de la crianza en el uso de astillas frente a 0,23 de la barrica.

Canas et al., [62] observaron que durante el primer mes de envejecimiento los valores de la coordenada "a" de los brandis bajo tabletillas y barricas descendieron, especialmente en el brandy de barrica que se sitúa muy cerca del tono verdoso entre los 30 y 90 días de envejecimiento. Este valor fue en aumento hasta los 365 días observándose en el caso de las tabletillas un valor de 11, en barricas de 3 y en duelas de 5. Este último tuvo un incremento positivo desde la primera muestra a los 6 días hasta los 365 días. En el caso de la coordenada "b" se mantuvo un incremento prolongado durante los 365 días, manteniéndose el formato tabletilla con los valores más altos, seguido de las duelas y por último el sistema de crianza con barrica, siendo los valores de 69, 60 y 51 respectivamente al final del estudio.

Cruz et al., [60] detectó que el valor de la coordenada "a" es el doble en el caso de la crianza con duelas (1,4) respecto a la crianza de barrica (0,7). En cuanto a la coordenada "b" y la absorbancia a 470nm no se vieron grandes diferencias entre los distintos tipos de crianza. Tal como se ha comentado anteriormente, el único artículo que estudia las características cromáticas del brandy final y que no sea un brandy portugués de Lourinhã, es el de Balcerek et al., [61] que estudió en concreto el brandy de ciruela. A los 365 días de crianza con uso de astillas de *Quercus robur* y *Quercus petraea* al 50% cada una, detectó un mayor valor de "a" y de "b" en las dosis más altas de astillas. Destacando que la "a" es negativa en todas las dosis; 3 g/L (-2,83), 5 g/L (-2,58) y 7 g/L (-0,57), por tanto, en estos brandis de ciruela predominaron los tonos

verdosos. En el caso de la coordenada “b” siempre fueron valores positivos; 3 g/L (26,42), 5 g/L (37,20) y 7 g/L (46,55), por tanto, predominaron los tonos amarillentos.

En definitiva, los brandis envejecidos en condiciones oxidativas más fuertes presentan una evolución más rápida, lo que se asocia a una luminosidad más baja y mayor croma, tonalidades rojas, amarillas y marrones. En cuanto al tipo de madera, destaca el castaño (*Castanea sativa Mill.*) que permite obtener aguardientes con características de mayor envejecimiento. A lo que respecta al sistema de envejecimiento empleado, el uso de la tecnología de alternativos en brandis hace evolucionar el color más rápidamente que en los brandis envejecidos en barrica y en general el uso de dosis más alta también hace evolucionar más rápidamente a la bebida.

a.4. Resultados más destacados sobre el envejecimiento de brandis con alternativos

En el envejecimiento de brandis con alternativos destaca la madera de castaño, por ser la madera que permite obtener aguardientes con mejores características de envejecimiento [10,56,62]. El contenido de minerales, en especial de metales, es bajo cuando el envejecimiento de aguardientes es con madera de Castaño, lo que refuerza la idoneidad de la madera de castaño para la crianza de aguardientes de vino [53]. Además, se ha observado que las concentraciones en los aguardientes de algunos de ellos, como son Na, K, Rb Zn, y Sr son menores cuando el envejecimiento se realiza en formato de alternativos respecto a cuando se utilizan barricas. Además, el uso simultáneo de roble de diversas maderas como *Quercus robur* y castaño son opciones prometedoras porque asegura la calidad del brandy, junto con un menor costo de la madera y la exención de la operación de mezcla [15,17,22,58].

En general, y como era de esperar por los antecedentes con vino, el envejecimiento de aguardientes de vino con madera en formato de alternativos conlleva un envejecimiento más rápido e intenso, presentando características más evolucionadas respecto a los envejecidos con sistema tradicional de barrica. La técnica de envejecimiento con maderas en formatos alternativos mejora la extracción de compuestos volátiles de la madera, la evolución de los atributos de color, aroma y sabor en los aguardientes de vino, la actividad antioxidante, presenta mayor acumulación de compuestos bioactivos y en general la calidad respecto a la crianza con barrica [6,7,10,13,15,18,20,22,56,58,60,62]. Los resultados obtenidos conllevan un ahorro de costes y tiempo, aumentando así la sostenibilidad. Anjos et al., [57] en base a los resultados analíticos sugieren que un año es suficiente/adecuado para conseguir un aguardiente de vino de alta calidad envejecido con microoxigenación y duelas de castaño.

Respecto al envejecimiento con alternativos se observa que la oxigenación tiene un papel fundamental ya que los brandis envejecidos con una mayor MOX dan brandis más evolucionados. Las condiciones oxidativas más fuertes conllevan una evolución más rápida de los vinos aguardientes, lo que se asocia con menor luminosidad y mayor croma, tonalidades rojas, amarillas y marrones, y mayores polifenoles totales. Estas diferencias son más significativas al comienzo del envejecimiento, 60 días, siendo mínimas al final de la crianza [54]. Se ha observado que no solo la MOX aumenta los polifenoles totales sino también aumenta la actividad antioxidante de los brandis [20]. El nivel de oxigenación se ha observado que tiene una gran influencia en la composición de taninos hidrolizables de los aguardientes envejecidos con madera de castaño en formato de alternativos [4]. El oxígeno modula la cinética de los compuestos de bajo

peso molecular al influir en los fenómenos de extracción de la madera y en las reacciones de oxidación y las interacciones posteriores con otros compuestos. Esto conlleva un perfil de compuestos fenólicos diferentes en base a la exposición de oxígeno ya que existen compuestos más fácilmente oxidables como el ácido gálico, el ácido siríngico y la vainillina o más difíciles de oxidar como el ácido elágico, el siringaldehído, el coniferaldehído y el sinaldehído [23].

La composición volátil se ve muy influenciada por el uso de alternativos de madera respecto a la barrica, y dentro de estos por la MOX, siendo los fenoles volátiles uno de los grupos de compuestos responsables de esta diferenciación [25]. En general, la modalidad de alternativos y la modalidad de microoxigenación con mayor aplicación de oxígeno es la más adecuada debido al contenido químico, a las características sensoriales obtenidas y es la opción tecnológica que parece ser la más adecuada para la calidad del aguardiente y la sostenibilidad del envejecimiento [4,20,25,54].

Los envejecimientos acelerados, dan características iguales a brandis de larga crianza en periodos inferiores a una semana, abaratando costes. La crianza continúa acelerada de aguardientes de vino mediante la aplicación de energía ultrasónica permite obtener aguardientes con características de aguardientes envejecidos por métodos tradicionales en tan solo tres días [63].

El alto grado alcohólico de los brandis después de 365 días de envejecimiento con alternativos confirma la ligera evaporación en esta tecnología alternativa en comparación con la pérdida reportada para el envejecimiento en barrica, lo que es una ventaja económica notable [54]. En general, todos los estudios revelan la gran potencialidad de estas tecnologías alternativas para producir aguardientes de vino con alta calidad y menores costos de envejecimiento.

b. Envejecimiento de otras bebidas alcohólicas con madera en formato de alternativo

La Tabla 3 muestra todos los trabajos que han estudiado el envejecimiento con madera en formato alternativo de otras bebidas alcohólicas que no sean brandis. El orujo de uva que más se ha investigado es el orujo tradicional griego Tsipouro, encontrándose 2 estudios. Otros orujos que también han sido investigados, utilizando el envejecimiento con alternativos, son la grappa, el orujo de uva y el orujo de Galicia y otras bebidas espirituosas como la cachaça y el whisky.

La graduación alcohólica media de los orujos encontrada es de 40 % v/v, excepto el orujo de Galicia que estudia orujo del 70 % v/v. La cachaça comparte el contenido alcohólico del orujo (40% v/v). En cambio, el whisky estudiado tiene un 60 % v/v de alcohol. En la mayoría de los artículos encontrados tratan de acortar tiempos de crianza mediante el uso de ultrasonidos y agitación, es decir realizan un envejecimiento acelerado.

Ninguno de los trabajos que investigan los orujos hacen comparación del uso de alternativos respecto al envejecimiento tradicional con barricas, por tanto, no ha sido posible conocer la relación que existiría con el método de crianza. Sin embargo, los estudios realizados con cachaça y con whisky si hacen comparación con el método tradicional de envejecimiento, la barrica. El alternativo más estudiado ha sido el formato astillas, siendo utilizado en 6 artículos de los 7 encontrados, mientras que el formato de cubos únicamente ha sido estudiado en 2 investigaciones, al igual que el formato serrín. En ninguno de los estudios de estas bebidas se aplica MOX.

El 71% de los estudios han usado exclusivamente madera del género *Quercus*, siendo la especie más usada la de *Quercus alba* encontrándose en 4 estudios, aunque en uno de ellos reutilizado. El resto de las especies estudiadas son *Quercus petraea*, *Quercus robur*, *Quercus* francés. En 2 artículos también se estudia el uso de madera del género no *Quercus*, como el álamo (*Populus alba*), el castaño (*Castanea sativa Mill.*), la falsa acacia (*Robinia pseudoacacia*) y el cerezo (*Prunus avium*)

Sobre el tostado de la madera, se puede observar que, aunque han sido usados todos los tipos de tostado (fuerte, medio superior, medio, ligero y sin tostar), el tostado fuerte y el tostado medio han sido los más utilizados.

En la tabla 3 se observa la dosis de alternativos empleada. En 6 estudios se aplica con una dosis por peso, que varía entre 1 y 25 g/L, y un único artículo que aplica la dosis por superficie (80 cm²/L).

En este apartado los autores se han centrado en medidas sobre los compuestos volátiles, capacidad antioxidante, compuestos de bajo peso molecular, IPT, CIELab y atributos sensoriales. Estos análisis se han llevado a cabo normalmente en tiempos cortos, entre 1 y 42 días de crianza, debido al uso del envejecimiento acelerado en los estudios.

En esta revisión no se ha realizado una tabla comparativa de los principales resultados debido a los pocos estudios y a la disparidad de condiciones, por lo tanto, este apartado se ha desarrollado con la descripción de los principales resultados obtenidos sobre los efectos que han tenido las bebidas con este envejecimiento alternativo en los diferentes estudios.

Los resultados del trabajo de Petrozziello et al., [64] indicaron que el uso de alternativos podría ser una solución para su uso en el futuro sobre bebidas espirituosas, debido a su bajo costo y su excelente capacidad de liberar compuestos aromáticos interesantes. El contenido más alto de vainillina coincide con los orujos envejecidos con la madera de tostado fuerte en formato de cubo, y el contenido de *cis*-whisky lactona era superior en el formato de astillas de roble sin tostar. Hubo diferencias entre el uso de madera de roble y de álamo, en los orujos envejecidos con *Populus alba* se obtuvieron menos contenidos de ésteres etílicos de los ácidos grasos y de algunos compuestos isoprenoides respecto a las muestras de orujo envejecidas con *Quercus*.

El trabajo de Coelho et al., [65] detectó en el orujo de uva, con un envejecimiento acelerado de 2 días por medio de agitación orbital, una concentración de 0,5 mg/L en vainillina y también en *cis*-whisky lactona. En cambio, ambos compuestos no fueron detectados en la muestra control sin contacto con madera. Al aplicar madera usada a las bebidas, se observaron varios cambios. A pesar de haber estado previamente en contacto con vino generoso, las maderas usadas todavía tenían una cantidad significativa de compuestos de madera para extraer. Las concentraciones de octanoato de etilo y decanoato de etilo disminuyeron significativamente en todas las bebidas en contacto con la madera. Además, en el aguardiente de orujo de uva se adsorbieron varios ésteres, con disminución de las concentraciones de acetato de hexilo, acetato de 2-feniletilo y dodecanoato de etilo.

El artículo de Taloumi & Makris, [66] estudió la evolución del contenido total de polifenoles del tsipouro envejecido con astillas de diferentes especies de madera: acacia, cerezo, castaño y roble. Todos los orujos mostraron un incremento exponencial de la concentración de polifenoles en los 12 días de envejecimiento. El orujo envejecido con madera de acacia y cerezo presento unos valores de 160 mg de ácido gálico/L,

mientras que en la de castaño 450 mg de ácido gálico/L y en roble 350 mg de ácido gálico/L en los primeros 12 días. En los 18 días siguientes, los orujos envejecidos con madera de acacia y cerezo se mantuvieron constantes. No obstante, en los envejecidos con roble siguió creciendo, pero con una menor tasa, alcanzando 430 mg de ácido gálico/L a los 27 días de envejecimiento. En el caso de la madera de castaño, una vez alcanzó su máximo a los 15 días con una concentración de 520 mg de ácido gálico/L, su tendencia fue decreciente hasta llegar a los 400 mg de ácido gálico/L al final de la crianza. Además, observaron que la mayor actividad antioxidante la presentaban los orujos envejecidos con astillas de madera de castaño.

El estudio de Giannakourou et al., [67] investigó también el orujo griego tsipouro en la crianza con alternativos. En un experimento preliminar determinó que el tiempo óptimo de crianza es de 5 días y que la dosis ideal de las astillas de madera en el experimento es del 2% p/v. En estas condiciones, no se pudo determinar que especie de madera y tostado aportaba la mayor concentración de polifenoles totales ni el grado de evolución de las características cromáticas. Esto se debe a que la tonelería proporcionó tratamientos aromáticos especiales de diferentes niveles en la madera, que inhiben las características propias de la especie de la madera y del tostado. Los valores más altos de polifenoles totales encontrados en el estudio son de entorno a 6,5 EAG (mg de equivalentes de ácido gálico/L) y los más bajos de 1,5 EAG. Sobre los parámetros de color, la luminosidad de las muestras oscilaba entre el 16% y 22%, el croma entre el 1% y 7%. En lo que respecta a la coordenada cromática "a" si que parece tener relación con la especie de madera usada, los orujos envejecidos con alternativos de *Quercus robur* de tostado medio superior son siempre negativos (-0,30), mientras que el resto de los resultados son positivos (0,50), sin embargo la coordenada cromática "b" vuelve a tener esa diferencia de resultados entre las muestras, con valores que van desde 1,10 hasta 6,79.

El trabajo de Rodríguez-Solana et al., [29], investigó los efectos producidos en el envejecimiento de alternativos del orujo de uva gallego, con una dosis de madera de 25 g/L y grado alcohólico del 70% v/v. Los orujos envejecidos con los alternativos de menor tamaño tuvieron los contenidos más altos de IPT independientemente del tostado o de la especie de la madera, por la mayor relación volumen/superficie entre el destilado y la madera. Con relación a las especies de madera, los orujos envejecidos con *Quercus petraea* presentaron el doble de IPT (5,26 IPT) que los envejecidos con *Quercus alba* (2,75 IPT), mientras que no hubo una tendencia clara por el tipo de tostado. Los orujos envejecidos con serrín presentaron mayores contenidos de vainillina que los envejecidos con astillas, debido a que los fragmentos más pequeños son más combustibles durante el proceso de tostado y por tanto se concentra un mayor número de compuestos de interés. Los orujos envejecidos con *Quercus petraea* mostraron también el doble de contenido en vainillina respecto a cuando se envejecieron con roble americano (9,62 mg/L y 5,54 mg/L respectivamente). Sobre las características cromáticas, en general el uso de roble americano presentó una tonalidad mayor y el tostado más alto conllevó una mayor intensidad de color. Los mejores resultados se obtuvieron con el tamaño de fragmento más pequeño (serrín) de *Quercus petraea* con nivel de tostado medio. El tiempo de contacto no influyó significativamente en los parámetros evaluados.

El trabajo de Bortoletto & Alcarde, [68] se centró en los efectos producidos en la crianza de cachaça con astillas de roble francés. La cachaça envejecida con la madera de un tostado más alto fue la que presentó mayores contenidos de compuestos fenólicos como la vainillina, siringaldehído, coniferaldehído o sinaldehído. En el caso del uso de astillas,

el valor medio de vainillina es de 0,52 mg/L, mientras que en el envejecimiento en barrica durante el mismo periodo de 15 días es de 0,11 mg/L.

El único estudio que investigó los efectos del envejecimiento con alternativos en whisky es de López, [69]. En el whisky joven sin envejecer se detectó una concentración de polifenoles totales de 127 mg de ácido gálico/L, este valor fue creciendo con la ayuda de la crianza con los fragmentos de madera. El whisky envejecido durante 28 días con roble americano en barrica (1 litro de volumen) obtuvo el triple en el contenido de polifenoles totales que en el envejecimiento de astillas (dosis 3 g/L), esto se debe a la mayor relación superficie volumen de la barrica que en el caso de las astillas. Por lo que el whisky envejecido en barricas presentó 540 mg de ácido gálico/L frente a los 166 mg de ácido gálico/L del envejecido con astillas. En cuanto a la luminosidad, la muestra sin envejecer parte de un 87,4% y disminuye a un 85,5% en el uso de alternativos y a un 78,4% en la crianza tradicional. Respecto al croma, fue de 13,3% en la muestra control, mientras que el whisky envejecido en astillas era del 26,9% y en barrica del 53,42%. Por tanto, el destilado envejecido en la barrica presentaba tonalidades más oscuras y evolucionadas debido a la mayor actividad de oxidación y de cesión de compuestos de interés.

7. Conclusiones

A lo largo del trabajo se han ido destacando importantes conclusiones que se han ido obteniendo del envejecimiento de bebidas de alta graduación de lo que habría que destacar:

- El brandy, en concreto el de Lourihñã, es la bebida más estudiada en el envejecimiento con sistemas alternativos a la barrica.
- El castaño es una madera con un alto potencial para el envejecimiento de brandis.
- Las duelas son el formato más estudiado en el envejecimiento de brandis, mientras que en las otras bebidas espirituosas han sido las astillas.
- El tostado más estudiado en el uso de maderas en formato alternativo para bebidas espirituosas ha sido el tostado medio superior.
- El oxígeno juega un papel fundamental en el envejecimiento de brandis con alternativos.
- La mayoría de los estudios de envejecimiento de brandis en formato alternativo usan dosis de madera que repliquen la superficie de la barrica con la que comparan.
- La tecnología de envejecimiento afecta al contenido de los compuestos de bajo peso molecular.
- Los brandis envejecidos con alternativos muestran que el ácido fenólico más abundante es el ácido gálico seguido del elágico.
- El menor contenido de ácidos y aldehídos fenólicos se da cuando se realiza el envejecimiento de brandy con alternativos en condiciones de anoxia.
- Los brandis envejecidos con alternativos tienen un color menos luminoso y más evolucionado, mayor croma, y más tonalidades rojas, amarillas y marrones que los envejecidos en barricas.
- El envejecimiento con alternativo conlleva un envejecimiento del destilado en menor tiempo, lo que supone un ahorro económico
- No se pueden sacar conclusiones claras sobre las otras bebidas espirituosas por el bajo número de artículos tratados

- Es necesario realizar mayor cantidad de estudios con el sistema de maderas en formato de alternativos y oxígeno en bebidas espirituosas, en especial bebidas que no sean brandis.

8. Bibliografía

- 1) Europeo, P. (2019). Reglamento (UE) 2019/787 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 abril de 2019 sobre a definición, designación, presentación y etiquetado de las bebidas espirituosas, la utilización de los nombres de las bebidas espirituosas en la presentación y etique. Diario Oficial de La Union Europea, 2019(4), L130/1-53.
- 2) Juan, F. E. (2017). Vinos, otras bebidas alcohólicas, aguas, cafés e infusiones. Ediciones Paraninfo, S.A.
- 3) Malagón, E. (2016). Confección de cartas de vinos, otras bebidas alcohólicas, aguas envasadas, cafés e infusiones. IC Editorial.
- 4) Fernandes, T. A., Antunes, A. M. M., Caldeira, I., Anjos, O., de Freitas, V., Fargeton, L., Boissier, B., Catarino, S., & Canas, S. (2022). Identification of gallotannins and ellagitannins in aged wine spirits: A new perspective using alternative ageing technology and high-resolution mass spectrometry. *Food Chemistry*, 382(January). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132322>
- 5) Roussey, C., Perré, P., Casalinho, J., & Colin, J. (2022). Inverse analysis of oxygen diffusivity in oak wood using the back-face method: application to cooperage. *Wood Science and Technology*, 56(1), 219–239. <https://doi.org/10.1007/s00226-021-01325-2>
- 6) Rodríguez Madrera, R., Garcia Hevia, A., & Suárez Valles, B. (2013). Comparative study of two aging systems for cider brandy making. Changes in chemical composition. *Lwt*, 54(2), 513–520. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.037>
- 7) Canas, S., Caldeira, I., Anjos, O., & Belchior, A. P. (2019). Phenolic profile and colour acquired by the wine spirit in the beginning of ageing: Alternative technology using micro-oxygenation vs traditional technology. *Lwt*, 111(May), 260–269. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.018>
- 8) Schwarz, M., Rodríguez, M. C., Sánchez, M., Guillén, D. A., & Barroso, C. G. (2014). Development of an accelerated aging method for Brandy. *Lwt*, 59(1), 108–114. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.060>
- 9) Anjos, O., Caldeira, I., Roque, R., Pedro, S. I., & Lourenço, S. (2020). Screening of Different Ageing Technologies of Wine Spectroscopy and Volatile Quantification. *Processes*, 8(6), 8–18.
- 10) Tarko, T., Krankowski, F., & Duda-Chodak, A. (2023). The Impact of Compounds Extracted from Wood on the Quality of Alcoholic Beverages. *Molecules*, 28(2). <https://doi.org/10.3390/molecules28020620>
- 11) Gadrat, M., Emo, C., Lavergne, J., Teissèdre, P. L., & Chira, K. (2022). Impact of Barrel Toasting on Ellagitannin Composition of Aged Cognac Eaux-de-Vie. *Molecules*, 27(8). <https://doi.org/10.3390/molecules27082531>
- 12) Canas, S., Caldeira, I., Fernandes, T. A., Anjos, O., Belchior, A. P., & Catarino, S. (2022). Sustainable use of wood in wine spirit production. Improving Sustainable Viticulture and Winemaking Practices, 259–280. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85150-3.00013-X>

- 13) Cadahía, E., Varea, S., Muñoz, L., Fernández de Simón, B., & García-Vallejo, M. C. (2001). Evolution of ellagitannins in Spanish, French, and American oak woods during natural seasoning and toasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(8), 3677–3684. <https://doi.org/10.1021/jf010288r>
- 14) Cadahía, E., Fernández de Simón, B., & Jalocha, J. (2003). Volatile compounds in Spanish, French, and American oak woods after natural seasoning and toasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(20), 5923–5932. <https://doi.org/10.1021/jf0302456>
- 15) Jordão, A. M., Ricardo-Da-Silva, J. M., Laureano, O., Adams, A., Demyttenaere, J., Verhé, R., & De Kimpe, N. (2006). Volatile composition analysis by solid-phase microextraction applied to oak wood used in cooperage (*Quercus pyrenaica* and *Quercus petraea*): Effect of botanical species and toasting process. *Journal of Wood Science*, 52(6), 514–521. <https://doi.org/10.1007/s10086-005-0796-6>
- 16) Guerrero-Chanivet, M., Valcárcel-Muñoz, M. J., Guillén-Sánchez, D. A., Castro-Mejías, R., Durán-Guerrero, E., Rodríguez-Dodero, C., & García-Moreno, M. de V. (2022). A Study on the Influence of the Use of Sulphur Dioxide, the Distillation System and the Aging Conditions on the Final Sensory Characteristics of Brandy. *Foods*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/foods11213540>
- 17) Lourenço, S., Anjos, O., Caldeira, I., Alves, S. O., Santos, N., & Canas, S. (2022). Natural Blending as a Novel Technology for the Production Process of Aged Wine Spirits: Potential Impact on Their Quality. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/app121910055>
- 18) Da Agricultura, M. (1994, 29 diciembre). Decreto-lei 323/94, de 29 de Dezembro. *Diários da República*. <https://dre.tretas.org/dre/63782/decreto-lei-323-94-de-29-de-dezembro>
- 19) Valme García-Moreno, M., Sánchez-Guillén, M. M., de Mier, M. R., Delgado-González, M. J., Carmen Rodríguez-Dodero, M., García-Barroso, C., & Guillén-Sánchez, D. A. (2020). Use of alternative wood for the ageing of brandy de Jerez. *Foods*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/foods9030250>
- 20) Oliveira-Alves, S., Lourenço, S., Anjos, O., Fernandes, T. A., Caldeira, I., Catarino, S., & Canas, S. (2022). Influence of the storage in bottle on the antioxidant activities and related chemical characteristics of wine spirits aged with chestnut staves and micro-oxygenation. *Molecules*, 27(1). <https://doi.org/10.3390/molecules27010106>
- 21) Canas, S., Caldeira, I., Belchior, A. P., Spranger, M. I., Clímaco, M. C., & Bruno de Sousa, R. (2011). Chestnut wood: A sustainable alternative for the aging of wine brandies. *Food quality: control, analysis and consumer concerns*, 181-228.
- 22) Canas, S., Caldeira, I., Anjos, O., Lino, J., Soares, A., & Pedro Belchior, A. (2016). Physicochemical and sensory evaluation of wine brandies aged using oak and chestnut wood simultaneously in wooden barrels and in stainless steel tanks with staves. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(12), 2537–2545. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13235>
- 23) Canas, S., Danalache, F., Anjos, O., Fernandes, T. A., Caldeira, I., Santos, N., Fargeton, L., Boissier, B., & Catarino, S. (2020). Behaviour of low molecular weight compounds, iron and copper of wine spirit aged with chestnut staves under different levels of micro-oxygenation. *Molecules*, 25(22). <https://doi.org/10.3390/molecules25225266>

- 24) Caldeira, I., Anjos, O., Belchior, A. P., & Canas, S. (2017). Sensory impact of alternative ageing technology for the production of wine brandies. *Ciencia e Técnica Vitivinícola*, 32(1), 12–22. <https://doi.org/10.1051/ctv/20173201012>
- 25) Caldeira, I., Vitória, C., Anjos, O., Fernandes, T. A., Gallardo, E., Fargeton, L., Boissier, B., Catarino, S., & Canas, S. (2021). Wine spirit ageing with chestnut staves under different micro-oxygenation strategies: Effects on the volatile compounds and sensory profile. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(9), 1–15. <https://doi.org/10.3390/app11093991>
- 26) Valcárcel-Muñoz, M. J., Guerrero-Chanivet, M., García-Moreno, M. V., Rodríguez-Dodero, M. C., & Guillén-Sánchez, D. A. (2021). Comparative evaluation of brandy de jerez aged in american oak barrels with different times of use. *Foods*, 10(2), 1–16. <https://doi.org/10.3390/foods10020288>
- 27) Nirogi, R., Kalaikadhiban, I., Rayapati, L. P., Pantangi, H. R., Chunduru, P., Jetta, S., Jubre, A., & Mohammed, A. R. (2023). Development, validation, and application of an ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry method for the estimation of Ropanicant in human plasma and urine. *Journal of Chromatography Open*, 3(November 2022), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jcoa.2022.100073>
- 28) Denominaciones de Origen e Indicaciones Geográficas Protegidas. (2017). <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-diferenciada/dop-igp/Default.aspx>
- 29) Rodríguez-Solana, R., Rodríguez-Freigedo, S., Salgado, J. M., Domínguez, J. M., & Cortés-Diéguez, S. (2017). Optimisation of accelerated ageing of grape marc distillate on a micro-scale process using a Box–Behnken design: influence of oak origin, fragment size and toast level on the composition of the final product. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 23(1), 5–14. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12249>
- 30) MacLean, Lane, K., & Lane, K. (2002). *Whisky pur Malt / Charles MacLean; traducción, Kate Lane*. Hachette.
- 31) Jackson, M. (2006). *Guía del whisky de malta : [el best seller mundial sobre el whisky de malta]. ([5a ed. rev.]*). Omega.
- 32) Piggott, J. R. (2015). Whisky, Whiskey, and Bourbon: Products and Manufacture. *Encyclopedia of Food and Health*, 519-525.
- 33) Gajek, M., Pawlaczyk, A., Jóźwik, K., & Szykowska-jóźwik, M. I. (2022). The Elemental Fingerprints of Different Types of Whisky as Determined by ICP-OES and ICP-MS Techniques in Relation to Their Type, Age, and Origin. *Foods*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/foods11111616>
- 34) Conner, J. (2022). Maturation. In *Whisky and Other Spirits* (pp. 291-311). Academic Press.
- 35) 27 CFR 5.143 -- Whisky. (2022). <https://www.ecfr.gov/current/title-27/chapter-I/subchapter-A/part-5/subpart-I/section-5.143>
- 36) Conner, J. M., Patterson, M., Owen, C. & Freeman, J. (2012). Reducing the need for new wood by regenerating and re-using casks. In: Walker, G., Fotheringham, R., Goodall, I., Murray, D. (Eds.), *Distilled Spirits—Science and Sustainability*. pp. 47–54.
- 37) Piggott, J. R. (2015). Whisky, whiskey and bourbon: Composition and analysis of whisky. *Encyclopedia of Food and Health*, 514-518.

- 38) Martínez, F. C., Peris-Fajarnes, G., Camo, P. M., Lengua, I. L., & García, B. D. (Eds.). (2021). *Advances in Design Engineering II: Proceedings of the XXX International Congress INGEGRAF, 24-25 June, 2021, Valencia, Spain*. Springer Nature.
- 39) Ruiz De Adana, M., López, L. M., & Sala, J. M. (2005). A Fickian model for calculating wine losses from oak casks depending on conditions in ageing facilities. *Applied Thermal Engineering*, 25(5–6), 709–718. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2004.07.021>
- 40) Tao, Y., García, J. F., & Sun, D. W. (2014). *Advances in Wine Aging Technologies for Enhancing Wine Quality and Accelerating Wine Aging Process*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(6), 817–835. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.609949>
- 41) Morales, M. L., Benitez, B., & Troncoso, A. M. (2004). Accelerated aging of wine vinegars with oak chips: Evaluation of wood flavour compounds. *Food Chemistry*, 88(2), 305–315. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.004>
- 42) Durán Guerrero, E., Mejías, R. C., Marín, R. N., Bejarano, M. J. R., Dodero, M. C. R., & Barroso, C. G. (2011). Accelerated aging of a Sherry wine vinegar on an industrial scale employing microoxygenation and oak chips. *European Food Research and Technology*, 232(2), 241–254. <https://doi.org/10.1007/s00217-010-1372-x>
- 43) Gómez-Plaza, E., & Bautista-Ortín, A. B. (2019). Emerging technologies for aging wines: use of chips and micro-oxygenation. *Red wine technology*, 149-162.
- 44) Costa, M., Fontes, L., Correia, A. C., Miljić, U., & Jordao, A. M. (2020). Impact of oak (*Q. pyrenaica* and *Q. pubescens*) and cherry (*P. avium*) wood chip contact on phenolic composition and sensory profile evolution of red wines during bottle storage. *Oeno One*, 54(4), 1159–1181. <https://doi.org/10.20870/OENO-ONE.2020.54.4.4026>
- 45) Martínez-Gil, A. M., del Alamo-Sanza, M., Nevares, I., Sánchez-Gómez, R., & Gallego, L. (2020). Effect of size, seasoning and toasting level of *Quercus pyrenaica* Willd. wood on wine phenolic composition during maturation process with micro-oxygenation. *Food Research International*, 128(February 2019), 108703. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108703>
- 46) Barzalona, M., & Casanova, J. (2008). Chemical variability of the leaf oil of 113 hybrids from. *April*, 152–163. <https://doi.org/10.1002/ffj>
- 47) Tavares, M., Jordão, A. M., & Ricardo-Da-Silva, J. M. (2017). Impact of cherry, acacia and oak chips on red wine phenolic parameters and sensory profile. *Oeno One*, 51(3), 329–342. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2017.51.4.1832>
- 48) Fernández de Simón, B., Cadahía, E., del Álamo, M., & Nevares, I. (2010). Effect of size, seasoning and toasting in the volatile compounds in toasted oak wood and in a red wine treated with them. *Analytica Chimica Acta*, 660(1–2), 211–220. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.09.031>
- 49) Martínez-Gil, A., Del Alamo-Sanza, M., Sánchez-Gómez, R., & Nevares, I. (2018). Different woods in cooperage for oenology: A review. *Beverages*, 4(4). <https://doi.org/10.3390/beverages4040094>
- 50) del Álamo Sanza, M. (2006). Sistemas alternativos al envejecimiento en barrica. *ACE: Revista de enología*, (74), 1.

- 51) Sánchez-Gómez, R., Nevares, I., Martínez-Gil, A. M., & Del Alamo-Sanza, M. (2018). Oxygen consumption by red wines under different micro-oxygenation strategies and q. Pyrenaica chips. effects on color and phenolic characteristics. *Beverages*, 4(3). <https://doi.org/10.3390/beverages4030069>
- 52) Stutz, T., Lin, S., & Herdman, I. (1999). Barrel renewal systems - A user's perspective. *American Journal of Enology and Viticulture*, 50(4), 541–543. <https://doi.org/10.5344/ajev.1999.50.4.541>
- 53) Catarino, S., Thanasi, V., Morin, G., Anjos, O., Fernandes, T. A., Caldeira, I., Fargeton, L., Boissier, B., & Canas, S. (2022). Shedding Light on Metals Release from Chestnut Wood to Wine Spirit Using ICP-MS. *Foods*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/foods11223617>
- 54) Canas, S., Anjos, O., Caldeira, I., Fernandes, T. A., Santos, N., Lourenço, S., Granja-Soares, J., Fargeton, L., Boissier, B., & Catarino, S. (2022). Micro-oxygenation level as a key to explain the variation in the colour and chemical composition of wine spirits aged with chestnut wood staves. *Lwt*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112658>
- 55) Canas, S. (2017). Phenolic composition and related properties of aged wine spirits: Influence of barrel characteristics. a review. *Beverages*, 3(4). <https://doi.org/10.3390/beverages3040055>
- 56) Nocera, A., Ricardo-Da-Silva, J. M., & Canas, S. (2020). Antioxidant activity and phenolic composition of wine spirit resulting from an alternative ageing technology using micro-oxygenation: A preliminary study. *Oeno One*, 54(3), 485–496. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.3.3114>
- 57) Anjos, O., Comesaña, M. M., Caldeira, I., Pedro, S. I., Oller, P. E., & Canas, S. (2020). Application of functional data analysis and FTIR-ATR spectroscopy to discriminate wine spirits ageing technologies. *Mathematics*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/MATH8060896>
- 58) Canas, S., Caldeira, I., & Belchior, A. P. (2013). Extraction/oxidation kinetics of low molecular weight compounds in wine brandy resulting from different ageing technologies. *Food Chemistry*, 138(4), 2460–2467. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.018>
- 59) Coldea, T. E., Socaciu, C., Mudura, E., Socaci, S. A., Ranga, F., Pop, C. R., Vriesekoop, F., & Pasqualone, A. (2020). Volatile and phenolic profiles of traditional Romanian apple brandy after rapid ageing with different wood chips. *Food Chemistry*, 320(March), 126643. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126643>
- 60) Cruz, S., Canas, S., & Belchior, A. P. (2013). Effect of ageing system and time on the quality of wine brandy aged at industrial-scale. *Ciencia e Tecnica Vitivinicola*, 27(2), 83–93.
- 61) Balcerek, M., Pielech-przybylska, K., & Dzieko, U. (2017). Changes in the Chemical Composition of Plum Distillate During Maturation with Oak Chips under Different Conditions. 55(3), 333–359.
- 62) Canas, S., Caldeira, I., & Belchior, A. P. (2009). Comparison of alternative systems for the ageing of wine brandy. wood shape and wood botanical species effect. *Ciencia e Tecnica Vitivinicola*, 24(1), 91–99.
- 63) Delgado-González, M. J., Sánchez-Guillén, M. M., García-Moreno, M. V., Rodríguez-Dodero, M. C., García-Barroso, C., & Guillén- Sánchez, D. A. (2017). Study of a laboratory-scaled new method for the accelerated continuous ageing of wine spirits by applying ultrasound energy. *Ultrasonics Sonochemistry*, 36, 226–235. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.11.031>

- 64) Petrozziello, M., Rosso, L., Portesi, C., Asproudi, A., Bonello, F., Nardi, T., Rossi, A. M., Schiavone, C., Scuppa, S., Cantamessa, S., Pollon, M., & Chiarabaglio, P. M. (2022). Characterisation of Refined Marc Distillates with Alternative Oak Products Using Different Analytical Approaches. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(17). <https://doi.org/10.3390/app1217844>
- 65) Coelho, E., Teixeira, J. A., Tavares, T., Domingues, L., & Oliveira, J. M. (2021). Reuse of oak chips for modification of the volatile fraction of alcoholic beverages. *Lwt*, 135(August 2020). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110046>
- 66) Taloumi, T., & Makris, D. P. (2017). Accelerated aging of the traditional greek distillate tsipouro using wooden chips. Part i: Effect of static maceration vs. ultrasonication on the polyphenol extraction and antioxidant activity. *Beverages*, 3(1). <https://doi.org/10.3390/beverages3010005>
- 67) Giannakourou, M., Strati, I. F., Manika, E. M., Resiti, V., Tataridis, P., Zoumpoulakis, P., & Sinanoglou, V. J. (2018). Assessment of phenolic content, antioxidant activity, colour and sensory attributes of wood aged “tsipouro.” *Current Research in Nutrition and Food Science*, 6(2), 318–328. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.6.2.07>
- 68) Bortoletto, A. M., & Alcarde, A. R. (2015). Aging marker profile in cachaça is influenced by toasted oak chips. *Journal of the Institute of Brewing*, 121(1), 70–77. <https://doi.org/10.1002/jib.202>
- 69) López, V. L. E. (2019). Elaboración, estudio fisicoquímico y sensorial de la maduración del whisky utilizando malta de maíz rojo y chips de madera.

ANEXO I

Tabla 1. Estudios sobre el envejecimiento con alternativos en brandis

BRANDY % v/v [ref]	ALTERNATIVO	CB	ESPECIE	TOSTADO	DOSIS	MOX ml/l/mes	TIEMPO (días)	ANÁLISIS
BL-78,30 [53]	Duelas	Si	CS	Medio S	S250L	0-2	21,60,180,270,365	Minerales
BL-78,30 [4]	Duelas	Si	CS	Medio S	S250L	0-2	8,21,60,180,270,365	Derivados del ácido gálico y eláxico
BL-78,30 [54]	Duelas	No	CS	Medio S	S250L	0-2	8,21,60,180,270,365	Parámetros generales, color, IPT y análisis sensorial
BL-78,30 [20]	Duelas	No	CS	Medio S	S250L	0-2	365	Capacidad antioxidante, IPT y BPM
BL-78,30 [25]	Duelas	Si	CS	Medio S	S250L	0-2	8,60,180,270,365	Compuestos volátiles y análisis sensorial
BL-78,30 [23]	Duelas	No	CS	Medio S	S250L	0-2	8,21,60,180,270,365	BPM
BL-77,40 [57]	Duelas	Si	CS,QR	Medio S	S250L	2	180,365,545	Color, IPT y BPM
BL-77,40 [9]	Duelas	Si	CS,QR	Medio S	S250L	2	8,30,180,365	Parámetros generales
BL-77,40 [10]	Duelas	Si	CS,QR	Medio S	S250L	2	365	Compuestos volátiles y análisis sensorial
BL-77,40 [17]	Duelas	Si	CS,QR	Medio S	S250L	2	545	Parámetros generales, color, IPT, BPM y análisis sensorial
BL-77,40 [56]	Duelas	Si	CS,QR	Medio S	S250L	2	8,15,30,180,365	Actividad antioxidante, IPT y BPM
BL-77,40 [13]	Duelas	Si	CS,QR	Medio S	S250L	2	8,180,365,545	Grado alcohólico y compuestos volátiles
BL-77,40 [7]	Duelas	Si	CS,QR	Medio S	S250L	2	8,15,30,180	Color, IPT y BPM
BL-77,30 [15]	Duelas	Si	CS,QR	Medio S	S650L	No MOX	180,365,545,730	Análisis sensorial
BL-77,30 [22]	Duelas	Si	CS,QR	Medio S	S650L	No MOX	180,365,545,730	IPT, OD, BPM y análisis sensorial
BL-ne [58]	Duelas,Tabletillas	Si	CS,QR	Alto	S650L	No MOX	6,30,90,180,360	BPM
BL-78,70 [18]	Duelas	Si	CS,QR	Alto	S650L	No MOX	180,365,545,730,910	Análisis sensorial
BL-78,70 [62]	Duelas,Tabletillas	Si	CS,QR	Alto	S650L	No MOX	6,30,90,180,365	Color e IPT
BL-78,70 [20]	Duelas	Si	CS,QR	Alto	S650L	No MOX	180	Análisis sensorial
BL-77,20 [60]	Duelas	Si	CS,QR	Medio S	S650L	No MOX	8,15,90,180	Color, IPT y BPM
BJ-65,40 [63]	Astillas	No	QA	Medio S	64 cm ² /L	No MOX	7	Color, IPT, BPM, ácidos orgánicos y análisis sensorial
BJ-40 [23]	Astillas	Si	Q	Medio S	64 cm ² /L	No MOX	30,180	Color, IPT, BPM y análisis sensorial
BQ-40/43/46 [24]	Astillas	No	QP	ne	5,7,10 g/L	No MOX	30,45,60	Parámetros generales, color, BPM, compuestos volátiles y análisis sensorial
BC-55 [61]	Astillas	No	QR,QP	Ligero	3,5,7 g/L	No MOX	90,180,270,365	Extracto seco, color y parámetros generales
BS-46,25 [59]	Astillas	No	QR,QP,MA,AA,JR,CS,PA	NT	30g/L	No MOX	60	Parámetros generales, BPM y compuestos volátiles
BS-43 [6]	Duelas	Si	QR,QR*,QA	Alto	178 cm ² /L	50	120,240,365	Parámetros generales, BPM y compuestos volátiles

Leyenda: [ref]= referencia; **CB**= comparativa barrica; **ne**= no específica; **MOX**= Microoxigenación empleado, No MOX (no microoxigenación); **tipos de brandis:** BL (Brandy de Lourinhã), BJ (Brandy de Jerez), BQ (Brandy de Quebranta), BC (Brandy de Ciruela) y BS (Brandy de ciruela); **especies:** Q (*Quercus*), QP (*Quercus petraea*), QR (*Quercus robur*), QR* (*Quercus robur* español), QA (*Quercus alba*), CS (*Castanea sativa* Mill.), MA (*Morus alba*), AA (*Abies alba*), JR (*Juglans regia*) y PA (*Prunus avium*); **Tostado:** Medio S (Medio superior, 240 grados durante 90 minutos con un espesor de tostado en la madera de 1,8 centímetros), NT (No tostado); **dosis de alternativos:** S250L (Dosis por superficie equivalente a una barrica de 250 litros de volumen), S650L (Dosis por superficie equivalente a una barrica de 650 litros de volumen); **Análisis,** BMP= Compuestos de bajo peso molecular, OD= Oxígeno disuelto.

Tabla 2. Resumen de resultados de brandis

Brandy Lourinhã						RESULTADOS						
[ref] Tostado	Dosis	TIEMPO (días)	MOX	Tecnología	Especie	GAL /ELAG /VAN	IPT	CIELab				
			(ml/l/mes)			(mg/l)		L	C	a	b	A470
[54] Medio S	S250L	180	N	Duelas	CS	na/na/na	39	82	62	7	62	0,35
			O15			na/na/na	48	78	70	10	67	0,4
			O30			na/na/na	46	79	70	10	67	0,4
			O60			na/na/na	46	79	70	10	67	0,4
		365	N			na/na/na	62	76	75	13	74	0,45
			O15			na/na/na	69	73	83	17	81	0,55
			O30			na/na/na	69	74	83	17	81	0,5
			O60			na/na/na	69	73	83	17	81	0,55
[20] Medio S	S250L	365	N	Duelas	CS	85,7/18,9/4,7	62	na	na	na	na	na
			O15			123,1/22,7/6,0	69	na	na	na	na	na
			O30			105,5/21,9/5,7	68	na	na	na	na	na
			O60			94,9/23,3/6,0	68	na	na	na	na	na
[25] Medio S	S250L	365	N	Duelas	CS	na/na/5,0	na	na	na	na	na	na
			O15			na/na/7,5	na	na	na	na	na	na
			O30			na/na/7,1	na	na	na	na	na	na
			O60			na/na/8,2	na	na	na	na	na	na
				Barrica		na/na/7,7	na	na	na	na	na	na

Envejecimiento con sistemas alternativos a la barrica en bebidas alcohólicas de alta graduación: Una revisión.

[23] Medio S	S250L	180	CS	Duelas	N	75/11/3,2	na	na	na	na	na	na	
					O15	112/14/4,1	na	na	na	na	na	na	
					O30	94/14/3,9	na	na	na	na	na	na	
					O60	83/14/4,2	na	na	na	na	na	na	
		365		Duelas	N	86/19/4,7	na	na	na	na	na	na	na
					O15	123/23/6,1	na	na	na	na	na	na	na
					O30	106/22/5,7	na	na	na	na	na	na	na
					O60	95/23/5,6	na	na	na	na	na	na	na
[57] Medio S	S250L	180	2	Duelas	CS	na/15,4/4,6	48	77	71	12	70	na	
					QR	na/6,3/3,3	27	88	46	2	46	na	
				Barrica	CS	na/8,1/2,0	25	85	51	3	51	na	
					QR	na/3,4/1,5	12	94	27	-1	27	na	
		Duelas		CS	na/24,9/8,7	66	66	91	26	87	na		
				QR	na/11,9/6,8	38	79	72	10	71	na		
		Barrica		CS	na/12,9/3,6	38	79	70	10	69	na		
				QR	na/5,6/2,7	18	91	41	-1	41	na		
		545		Duelas	CS	na/28,2/8,6	72	62	94	29	89	na	
					QR	na/13,8/7,5	41	77	77	13	76	na	
				Barrica	CS	na/15,5/4,4	41	77	75	12	74	na	
					QR	na/6,8/3,1	18	90	44	0	44	na	
[17] Medio S	S250L	545	2	Duelas	CS-QR	35/15/7	56	63	88	21	85	0,67	
				Barrica		60/8/3	31	81	63	5	60	0,3	
[56] Medio S	S250L	365	2	Duelas	CS	68,8/24,9/8,7	52	na	na	na	na	na	
					QR	4,3/11,9/6,8		na	na	na	na	na	
				Barrica	CS	115/13/4	28	na	na	na	na	na	
					QR	6/6/3,0		na	na	na	na	na	
[7] Medio S	S250L	180	2	Duelas	CS	62/21/6,2	52	80	72	12	70	0,45	
					QR	4/8/4,0	26	90	49	2,8	48	0,22	
				Barrica	CS	80/10/2,2	25	88	50	3,1	50	0,23	
					QR	5/4/2,0	17	96	20	-1	22	0,1	

Envejecimiento con sistemas alternativos a la barrica en bebidas alcohólicas de alta graduación: Una revisión.

[22] Medio S	S650L	180	ne	Astillas	CS-QR	10/na/2	18	87	50	3	50	0,22
				Barrica		50/na/2,2	22	92	45	0,5	45	0,15
		365		Astillas		11/na/2,6	20	86	55	4,6	58	0,25
				Barrica		70/na/3,1	28	86	47	1,5	48	0,21
		545		Astillas		10/na/3,3	22	85	62	8	62	0,35
				Barrica		80/na/4	30	86	54	4	55	0,23
[58] Alto	S650L	180	NO MOX	Duelas	CS-QR	na/na/2,7	na	na	na	na	na	na
				Tabletillas		na/na/3,8	na	na	na	na	na	na
				Barrica		na/na/1,9	na	na	na	na	na	na
		365		Duelas		na/na/3,2	na	na	na	na	na	na
				Tabletillas		na/na/2,6	na	na	na	na	na	na
				Barrica		na/na/2,6	na	na	na	na	na	na
[62] Alto	S650L	180	NO MOX	Duelas	CS-QR	na/na/na	27	90	53	4	55	na
				Tabletillas		na/na/na	22	88	65	9,7	65	na
				Barrica		na/na/na	23	92	41	1,8	42	na
		365		Duelas		na/na/na	40	90	58	5	60	na
				Tabletillas		na/na/na	13	88	70	11	69	na
				Barrica		na/na/na	27	92	50	3	51	na
[60] Medio S	S650L	180	NO MOX	Duelas	CS-QR	4,2/3,1/0,8	12	92	29	1,4	29,4	0,13
				Barrica		21,8/4,0/1,0	15	95	29	0,7	28,8	0,1
Otros brandis						RESULTADOS						
[63] Medio S	4 g/L	7 (EA)	NO MOX	Astillas	QA	na/na/na	60	na	na	na	na	na
	5 g/L					na/na/na	35	na	na	na	na	na
[61] Ligero	3 g/L	180	NO MOX	Astillas	QR-QP	na/na/na	na	na	na	na	na	na
		365				na/na/na	na	91,09	na	-2,83	26,42	na
	5 g/L	180				na/na/500	na	na	na	na	na	na
		365				na/na/700	na	88,7	na	-2,58	37,2	na
	7 g/L	180				na/na/na	na	na	na	na	na	na
		365				na/na/na	na	86,24	na	-0,57	46,55	na

[59] NT	30 g/L	60	NO MOX	Astillas	QR	4,0/2,9/3,0	na	na	na	na	na	na
					QP	2,6/3,3/2,9	na	na	na	na	na	na
					MA	nd/nd/3,6	na	na	na	na	na	na
					AA	nd/nd/5,4	na	na	na	na	na	na
					JR	nd/nd/5,9	na	na	na	na	na	na
					CS	3,7/4,4/7,4	na	na	na	na	na	na
					PA	2,3/11,5/nd	na	na	na	na	na	na
[6] Alto	178 cm ² /L	365	50	Astillas	QA	8,4/na/5,9	na	na	na	na	na	na
					QR	18,3/na/6,1	na	na	na	na	na	na
					QR*	33,2/na/5,8	na	na	na	na	na	na
				Barrica	QA	6,0/na/3,8	na	na	na	na	na	na
					QR	10,6/na/3,3	na	na	na	na	na	na
					QR*	23,6/na/4,1	na	na	na	na	na	na

Leyenda: [ref]= referencia; **na**= no analiza; **ne**= no especifica; **nd**= no detecta; **EA**= envejecimiento acelerado, **tostado:** A (Alto, 25 minutos de duración), MS (Medio superior, 240 grados durante 90 minutos con un espesor de tostado en la madera de 1,8 centímetros), L (Ligero), NT (No tostado), **dosis de alternativos:** S250L (Dosis por superficie equivalente a una barrica de 250 litros de volumen), S650L (Dosis por superficie equivalente a una barrica de 650 litros de volumen); **MOX**= Microoxigenación empleado, No MOX (no microoxigenación), N (caudal de nitrógeno de 20 mL/L/mes), O15 (caudal de oxígeno de 2 mL/L/mes durante los primeros 15 días seguido de 0,6 mL/L/mes hasta los 365 días), O30 (caudal de oxígeno de 2 mL/L/mes durante los primeros 30 días seguido de 0,6 mL/L/mes hasta los 365 días) y O60 (caudal de oxígeno de 2 mL/L/mes durante los primeros 60 días seguido de 0,6 mL/L/mes hasta los 365 días), barrica (difusión del oxígeno a través de las paredes de la barrica); **especies:** Q (*Quercus*), QP (*Quercus petraea*), QR (*Quercus robur*), QR* (*Quercus robur* español), QA (*Quercus alba*), CS (*Castanea sativa* Mill.), MA (*Morus alba*), AA (*Abies alba*), JR (*Juglans regia*), PA (*Prunus avium*), CS-QR (combinación de CS y QR) y QR-QP (combinación de QR y QP); **compuestos de bajo peso molecular:** GAL (Ácido gálico), ELAG (Ácido elágico) y VAN (Vainillina); **IPT** (Índice fenólico total); **CIELab** (análisis de color): “L” (Luminosidad), “C” (Cromaticidad), “a” y “b” (Coordenadas de cromaticidad) y A470 (Absorbancia a 470 nm).

Tabla 3. Estudios sobre el envejecimiento con alternativos en otras bebidas alcohólicas

OTRAS BEBIDAS % v/v [ref]	ALTERNATIVO	CB	ESPECIE	TOSTADO	DOSIS	MOX ml/L/mes	TIEMPO (días)	ANÁLISIS
Grappa-40 [64]	Cubos,Astillas,Serrín	NO	<i>Quercus</i> <i>Populus alba</i>	F,L,NT	80 cm ² /L	NO MOX	365	Compuestos volátiles y espectroscopia molecular
Orujo-41 [65]	Cubo	NO	<i>Quercus alba reut.</i>	MS	20 g/L	NO MOX	2	Compuestos volátiles
Tsipouro-49 [66]	Astillas	NO	<i>Quercus alba</i> <i>Castanea satival Mill.</i> <i>Robinia pseudoacacia</i> <i>Prunus avium</i>	NT	4'5 g/L	NO MOX	30	IPT
Tsipouro-40 [67]	Astillas	NO	<i>Quercus robur</i> <i>Quercus alba-robur (50/50)</i>	F,MS,M	2,% p/V	NO MOX	1,2,5,7,10,15	Capacidad antioxidante, color, IPT y análisis sensorial
Orujo de uva gallego-70 [29]	Serrín,Astillas	NO	<i>Quercus petraea,</i> <i>Quercus alba</i>	F,M,L,NT	25 g/L	NO MOX	14,28,42	Capacidad antioxidante, color, IPT y BPM
Cachaça-40 [68]	Astillas	SI	<i>Quercus francés</i>	F,M,L	1 g/L	NO MOX	15	BPM
Whisky-60 [69]	Astillas	SI	<i>Quercus alba</i>	ne	3 g/L	NO MOX	28	Capacidad antioxidante, compuestos volátiles, color, IPT y análisis sensorial

Leyenda: [ref]= referencia; **CB**= comparativa barrica; **ne**= no específica; **MOX**= Microoxigenación empleado, No MOX (no microoxigenación); **especies:** *Quercus alba reut.* (*Quercus alba* reutilizado de barrica con previo envejecimiento de vino generoso) **Tostado:** F (Fuerte), MS (Medio superior), M (Medio), L (Ligero) y NT (No tostado); **Análisis,** BMP= Compuestos de bajo peso molecular.