



Escuela Técnica Superior  
de Ingenierías Agrarias **Palencia**



---

# Universidad de Valladolid

## Grado en Enología

### Trabajo Fin de Grado:

Compuestos Volátiles de Maderas Distintas a los Robles Utilizados Tradicionalmente para el Envejecimiento del Vino y el Efecto de Estas sobre la Composición Volátil de los Vinos: Una Revisión.

Alumna: Olga Noriega Pascual

Tutores: Ana María Martínez Gil

María del Álamo Sanza

## ÍNDICE

### 1. Resumen

### 2. Introducción

### 3. Justificación

### 4. Objetivos

### 5. Metodología

a. Búsqueda y clasificación de la bibliografía

b. Redacción del texto

### 6. Análisis bibliográfico

a. Composición volátil de las maderas del género *Quercus* diferentes a las tradicionales y de las maderas del género no *Quercus* con posibilidades enológicas y comparativa con las maderas tradicionales

b. Influencia de estas maderas no tradicionales en el aroma del vino durante el envejecimiento y comparación con los vinos envejecidos con maderas tradicionales.

### 7. Conclusiones

### 8. Bibliografía

### ANEXO I (Tablas 2 y 3)

## 1. Resumen

El uso de la madera como depósito para el almacenaje y transporte de vino se lleva utilizando desde tiempos inmemoriales. Con el paso de los años se descubrió que no era tan solo un mero recipiente, sino que aportaba a los vinos unas características especiales. Las maderas utilizadas tradicionalmente en el envejecimiento de los vinos han sido el roble francés (*Quercus robur* y *Quercus petraea*) y americano (*Quercus alba*) cuyas características hacen que los vinos mejoren su estabilidad, color, sabor, complejidad aromática, clarificación y además alargan la vida del vino. Pero las nuevas tendencias que acortan el tiempo de uso de las barricas, de 3 a 5 años, ha hecho que haya una mayor demanda de madera de roble por lo que necesitamos investigar nuevas maderas para la crianza de los vinos. Además, podría conseguirse dar un toque de distinción al vino con la diferente composición aromática que puede proporcionar estas nuevas maderas. Las maderas que se están investigando actualmente y de las que se va hablar en esta revisión bibliográfica son nuevas especies del género *Quercus*, como pueden ser *Quercus humboldtti* Bonpl., *Quercus pyrenaica* Willd., *Quercus faginea* Lam. Además, de otras especies arbóreas como pueden ser el castaño (*Castanea sativa* Mill.), cerezo (*Prunus avium* L.), fresno europeo (*Fraxinus excelsior* L.), fresno americano (*Fraxinus americana* L.), morera (*Morus alba* L), falsa acacia o acacia (*Robinia pseudoacacia* L).

En esta revisión se recopila y se compara los compuestos volátiles más representativos de la crianza en las maderas no tradicionales, estudiando los compuestos en madera y en vinos después de haber sido envejecido con estas maderas, para observar las diferencias y/o mejora que podemos encontrar respecto a los vinos con crianza en maderas tradicionales.

### Abstract

The use of wood as a deposit for the storage and transport of wine has been used for a long time. Over the years it was discovered that it was not just a container, but that it gave wines special characteristics. The woods traditionally used in the aging of wines are French oak (*Quercus robur* and *Quercus petraea*) and American oak (*Quercus alba*) whose characteristics make the wines improve their stability, color, flavor, aromatic complexity, clarification and also extend the life of the wine. But the new trends that shorten the time of use of the barrels, from 3 to 5 years, means that there is a greater demand for oak wood, so we need to investigate new woods for the aging of the wines. In addition, we will be able to give a touch of distinction to our wine with the different aromatic composition that these new woods can give us. The woods that are currently being investigated and that we are going to talk about in this bibliographic review are new species of the genus *Quercus*, such as *Quercus humboldtti* Bonpl., *Quercus pyrenaica* Willd., *Quercus faginea* Lam. In addition, other tree species such as chestnut (*Castanea sativa* Mill.), Cherry (*Prunus avium* L.), European ash (*Fraxinus excelsior* L.), American ash (*Fraxinus americana* L.), mulberry (*Morus alba* L), False acacia or acacia (*Robinia pseudoacacia* L).

In this review we will collect and compare the most representative volatile compounds of aging in non-traditional woods, studying the compounds in wood and in wines after having been aged with these woods, to observe the differences and / or improvement that we can find with respect to wines aged in traditional woods.

## 2. Introducción

La madera es uno de los materiales más apreciados en enología, pues la interacción madera-vino hace que el vino sufra cambios importantes en su composición química y en sus propiedades organolépticas. Los aromas, el color y el sabor de un vino son factores de calidad imprescindibles a ojos de los consumidores y expertos. Estos tres factores pueden modificarse en el vino por el contacto con el roble durante el proceso de vinificación y crianza, adquiriendo aromas complejos, estabilizando su color, mejorando la clarificación y conservación del vino [1, 2, 3, 4, 5].

Entre las maderas más conocidas para la crianza de los vinos destacan los robles y dentro de ellos las especies del género *Quercus*. Los *Quercus* que han sido tradicionalmente utilizados han sido: *Q. alba*, que se encuentra en la costa este de Estados Unidos (el llamado roble americano), y *Q. petraea* y *Q. robur* en los bosques de Francia (el llamado roble francés). Hoy en día, *Q. petraea* y *Q. alba* son las especies más utilizadas en la crianza del vino ya que aportan unas características organolépticas adecuadas con las que se puede conseguir la mejora de la calidad del vino buscada por los consumidores. Sin embargo, *Q. robur* cada vez se emplea en menor medida en enología por su alto aporte de elagitaninos, su alta permeabilidad al oxígeno y aunándose esto a su baja cesión de compuestos aromáticos, por todos estos inconvenientes se podría decir que esta madera es poco interesante para la crianza de vinos, pero es una madera óptima para la elaboración de bebidas alcohólicas como el coñac [5].

En los últimos años, las técnicas y metodologías de envejecimiento o crianza de los vinos llevadas a cabo por los enólogos han cambiado. En muchas regiones vitivinícolas del mundo está aumentando el uso de barricas nuevas (o con un tiempo limitado de uso), tendiendo a renovar el parque de barricas cada poco tiempo. Esta nueva tendencia ha producido un incremento en la demanda de barricas nuevas, lo que ha generado una necesidad de explorar nuevas fuentes de madera para tonelería. Además, encontramos que el mercado de vinos está muy saturado y debemos diferenciar nuestro producto para que destaque sobre los demás [6], con una crianza en una madera diferente podemos conseguir un perfil aromático distinto en nuestros vinos [7].

Una forma de expandir el mercado de la madera utilizada para crianza es la búsqueda de las especies tradicionales (*Q. petraea* y *Q. robur*) en otros puntos geográficos lejos de los bosques más tradicionales de Francia donde desde hace años se están cultivando. Muchos de estos lugares han sido utilizados desde hace tiempo, pero las maderas han sido menos estudiadas y caracterizadas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las características edafoclimáticas de los diferentes orígenes geográficos condicionan las características físicas y químicas de la madera [8]. En los últimos años, diferentes estudios han ofrecido información sobre estas mismas especies de roble, pero de diferentes orígenes como son los: eslovenos [9], españoles [4, 10], húngaros [11, 12], rusos [11, 13], rumanos, ucranianos y moldavos [14], entre otros. Podemos encontrar las mismas especies con características similares a los robles francés y robles americanos cultivados en los bosques tradicionales, lo que hace a estos robles europeos que sean perfectos para la crianza de los vinos [4, 15, 14].

Autores como Singleton et al., 1974 [16] mencionan diferentes maderas del mundo destinadas para su uso en tonelería, seleccionando las especies adecuadas o interesantes para el envejecimiento de vinos y bebidas alcohólicas [16]. Las nuevas especies que se están investigando actualmente dentro de la subespecie *Quercus* son *Quercus humboldtti* Bonpl., *Quercus oocarpa* Liebm., *Quercus frainetto* Ten, *Quercus pyrenaica* Willd., *Quercus faginea* Lam. Además, de otras especies como pueden ser el castaño (*Castanea sativa* Mill.), cerezo (*Prunus avium* L. y *Prunus cereaus* L.), fresno europeo (*Fraxinus excelsior* L.), fresno americano (*Fraxinus americana* L.), morera

(*Morus nigra* L. y *Morus alba* L.), acacia o falsa acacia (*Robinia pseudoacacia* L) [17, 6, 7, 18].

La pared celular de la madera está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, represando un 40-50%, 20-35% y 25-35% peso de madera seca cada una de ellas respectivamente. Estas macromoléculas le aportan a la pared celular características fisicoquímicas tales como la resistencia a la tracción y a la compresión, rigidez e impermeabilidad. El resto de los componentes que constituyen la madera se denominan "Fracción extraíble", y son los compuestos que la madera va a ceder al vino durante la crianza y representan un 10-15% de la madera seca [19]. Estos son compuestos de difícil clasificación ya que su naturaleza es muy variada. Los elagitaninos son los más abundantes, pero también se encuentran otros componentes de estructuras químicas muy diferentes, en especial, polifenoles de bajo peso molecular y compuestos volátiles. Esta fracción extraíble es muy interesante, ya que estos compuestos serán el origen de muchas de las características organolépticas de interés que se encuentran en los vinos de crianza.

Los compuestos volátiles que ceden las maderas durante el contacto con el vino juegan un papel fundamental en la calidad de los vinos, especialmente en el aroma final. Existen numerosos factores que pueden afectar a la concentración volátil final de las maderas. Un factor crucial es la especie (o género) de madera de la que partimos, ya que cada una tiene precursores aromáticos diferentes o en distinta proporción. Un claro ejemplo, es el caso del compuesto whiskylactonas que se encuentra en mayor proporción en las maderas de la especie *Quercus alba* que en otras especies como pueden ser *Q. robur* o *Q. petraea* [20, 21]. La composición aromática también se ve afectada por otros factores como pueden ser su origen geográfico, el tratamiento silvícola y el tipo de secado [22, 7]. El nivel de tostado de las duelas de las barricas o de los alternativos dependen principalmente de la tonelería ya que cada una de ellas considera un tipo de tostado a unas condiciones de temperatura y tiempo determinadas. Los principales tostados según Vivas que podemos encontrar de forma más habitual son el tostado ligero o débil de 120-130°C durante 30 min, medio 160-170°C durante 35 min, medio + 180-190°C durante 40 min y fuerte 200-210°C durante 45 min [17]. El proceso de tostado es fundamental por el gran cambio que produce sobre la composición volátil de la madera. El tratamiento térmico genera la termodegradación de algunos compuestos como son la lignina, lípidos, polisacáridos, etc. que producen compuestos aromáticos de las familias de los compuestos furánicos, fenoles volátiles, aldehídos fenólicos y fenilcetonas, lactonas, alcoholes fenólicos, etc. [23]. Los principales compuestos de las familias que hemos nombrado son los siguientes [24, 25, 7]:

- Derivados de carbohidratos o compuestos furánicos: furfural, 5-metilfurfural y 5-hidroximetilfurfural.
- Aldehídos fenólicos: vanillina, siringaldehído, sinapaldehído, coniferaldehído y acetovainillona (fenilcetona).
- Compuestos fenólicos: guaiacol, 4-metilguaiacol, 4-etilguaiacol, eugenol, etilfenol, siringol, 4-metilsiringol, fenol, cresol, matol, etc.
- Lactonas:  $\beta$ -octalactonas,  $\beta$ -nonalactonas y  $\beta$ -decalactonas. Siendo las más interesantes las  $\beta$ -octalactonas en concreto los isómeros *cis* y *trans* de  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octalactona (whiskylactonas).

De todos estos compuestos, esta revisión se ha centrado en los siguientes compuestos: furfural, 5-metilfurfural y 5-hidroximetilfurfural (Derivados de carbohidratos o compuestos furánicos); vanillina, siringaldehído, sinapaldehído y acetovainillona (Aldehídos fenólicos); guaiacol, 4-metilguaiacol, 4-etilguaiacol, eugenol y siringol (Compuestos fenólicos); *Cis* y *Trans* whiskylactonas (Lactonas). El estudio se ha

centrado en estos compuestos volátiles porque son los aromas más representativos de la madera y porque para poder estudiar las características de las maderas de envejecimiento era necesario que los compuestos que eligiésemos aparecieran estudiados en el mayor número de artículos posible.

En la siguiente tabla (Tabla 1) se observan algunas características de los compuestos volátiles seleccionados, en la primera columna aparece el compuesto a partir de cuales se forman, en especial, durante el proceso de tostado como ya se indicó anteriormente. La segunda columna nos muestra a que familia de compuestos pertenecen y, en la tercera columna se observa el nombre común. Cada uno de estos compuestos están relacionados con un descriptor aromático que nos va a indicar las notas que nos van a ceder al vino. Por último, en la última columna aparece la concentración mínima en vinos para que pueda ser percibido por los consumidores. Hay que recordar que, aunque los compuestos volátiles no lleguen a superar la concentración mínima marcada por el umbral de percepción para que su aroma se exprese directamente, las moléculas interactúan entre ellas ocasionando una potenciación del aroma de otros compuestos o generando otros matices aromáticos [26, 27].

**Tabla 1.** Características de los compuestos volátiles estudiados.

<b>Origen</b>	<b>Familia de compuestos</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descriptor</b>	<b>UPO</b>	
Lignina	Fenoles volátiles	Guaiacol	Ahumado, madera tosca, clavo, especias y fenólico.	9,5 µg/L [30]	
		4-Metilguaiacol		65 µg/L [33]	
		Siringol		570 µg/L [31]	
		Eugenol		6 µg/L [30]	
		4-Etilguaiacol		Farmacia, cuero y animal. 47 µg/L [32]	
Polisacáridos	Compuestos furánicos	Furfural	Tostado, almendras y caramelo.	20 mg/L [28]	
		5-Metilfurfural		45 mg/L [28]	
		5-Hidroximetilfurfural		45 mg/L [28]	
Lípidos	Lactonas	<i>Trans</i> -Whiskylacotna	Madera, coco y vainilla.	140-379µg/L [29]	
		<i>Cis</i> -Whiskylactona		20-46 µg/L [29]	
Lignina	Aldehídos volátiles	Vainillina	Vainilla	60 µg/L [31]	
		Acetovainillona		1000 µg/L [30]	
		Siringaldehído		Potenciadores aromáticos.	-
		Sinapaldehído		-	

UPO: *Umbral de percepción olfativo en vinos*

### 3. Justificación

El fin de este trabajo fue la búsqueda y recopilación de las características aromáticas que tienen las maderas no tradicionales estudiadas, que le puedan aportar al vino ese plus de calidad que tanto se busca cuando se envejece y además comparar frente a los vinos envejecidos en maderas tradicionales.

Los compuestos volátiles representados, de los que ya hemos hablado en la introducción, han sido elegidos por ser los más relevantes en la crianza de los vinos, ya que son los principales compuestos que cede la madera durante el envejecimiento [24, 25, 7]. Además, se tuvo en cuenta que los compuestos seleccionados estuvieran en el mayor número de las publicaciones. Otro requisito establecido para la búsqueda de artículos fue que en todos tuvieran la misma técnica de análisis, la cromatografía de gases (GC). Este método permite una separación de compuestos más eficaz que con otras técnicas, ya la matriz volátil del vino es muy compleja por estar compuesta por un gran número de sustancias y por su tendencia a la rápida evolución [34].

### 4. Objetivos

El objetivo de esta revisión es recapitular y comparar la composición volátil de las maderas alternativas *Quercus* y no *Quercus* diferentes a las utilizadas tradicionalmente en enología (*Q. alba*, *Q. petraea* y *Q. robur*). Conocer la influencia del envejecimiento de maderas alternativas sobre los aromas del vino.

- Conocer las maderas alternativas *Quercus* y no *Quercus* que han sido estudiadas para el envejecimiento del vino.
- Describir la composición volátil de las maderas alternativas tras los diferentes tostados y compararlas con las maderas utilizadas tradicionalmente en crianza de vinos.
- Evaluar la influencia del contacto de las maderas alternativas con el vino sobre los compuestos aromáticos dependiendo de su nivel de tostado y de su forma de crianza, ya sea con alternativos o con el método tradicional de la crianza en barricas.
- Comparar los compuestos aromáticos cedidos al vino tras el contacto con maderas alternativas o maderas tradicionales.
- Identificar las nuevas maderas que podrían ser interesantes desde el punto de vista aromático para la crianza de vinos.

### 5. Metodología

La revisión bibliográfica se realizó haciendo una búsqueda amplia y exhaustiva de artículos científicos donde centran la investigación en los compuestos volátiles de las maderas alternativas *Quercus* y no *Quercus* en madera y vino. La búsqueda 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 las palabras clave “Wood”, “Wine”, “Volatile compounds”, “Ash tree”, “Oak”, “Acacia”, “Chesnut”, “Cherry”, “Mulberry”, “*Quercus pyrenaica*”, “*Quercus humboldtii*” y “*Quercus faginea*”.

Las bases de datos utilizadas principalmente para la búsqueda fueron:

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

Libros consultados:

- Manual de tonelería de Vivas [17].
- Utilización del roble español en el envejecimiento de vinos. Comparación con roble francés y americano de INIA de la Serie forestal nº10-2004 [35].
- Utilización de *Quercus pyrenaica Willd* de Castilla y León en el envejecimiento de los vinos. Comparación roble francés y americano de INIA de la Serie forestal nº10-2008 [36].

## b. Redacción del texto

La bibliografía fue clasificada en primer lugar con una tabla donde separábamos nombre del artículo, año, tipo de maderas alternativas y muestra donde se analizaban los compuestos volátiles (vino, madera, vinagre, bebidas espirituosas, etc.). Seguidamente, se clasificaron en dos grandes grupos, por un lado, en los que analizaban los compuestos volátiles en madera y por otro lado los que analizaban estos compuestos en vinos, otras dos condiciones que debían cumplir los artículos para incluirlos en la revisión eran las maderas estuvieran tostadas y que el análisis de los compuestos volátiles se realizara mediante cromatografía de gases (CG). De esta segunda clasificación obtenemos 10 artículos donde se han analizado los compuestos volátiles en las distintas maderas alternativas (Tabla 2) y 14 artículos donde se han analizado los aromas en los vinos cuando son envejecidos con estas maderas alternativas (Tabla 3). Como ya se ha comentado, los compuestos seleccionados para representar en la tabla fueron los más representativos por su alta cesión al vino y por su importante contribución en el aroma, además de por ser los más estudiados por los diversos autores como se ha indicado anteriormente y son los siguientes: fenoles volátiles (guaiacol, 4-metilguaiacol, siringol, 4-etilguaiacol y eugenol), derivados de carbohidratos (furfural, 5-metilfurfural y 5-hidroximetilfurfural), lactonas (*cis* y *trans* whiskylactonas) y aldehídos volátiles (vainillina, acetovainillina, siringaldehído y sinapaldehído).

La Tabla 2 ha sido construida clasificando los artículos por los diferentes tostados teniendo en cuenta el tiempo y la temperatura de tostado o la intensidad que marque el artículo, ligero (L), medio (M), medio plus (M+) y fuerte (F). En la Tabla 3 la muestra se analiza en los vinos, además de tener en cuenta el tipo de tostado también se ha clasificado por el tipo de envejecimiento del vino ya sea con alternativos (astillas y duelas) o en barrica y se ha representado el tiempo máximo que ha durado el contacto de la madera con el vino.

Finalmente se analizaron rigurosamente las tablas (Tabla 2 y Tabla 3) con el fin marcado en los objetivos

## 6. Análisis bibliográfico

El tipo de tostado de la madera de roble afecta a los compuestos volátiles de la madera aumentando con este proceso, aunque también se ha visto que tostados muy fuertes pueden llegar a degradar estos compuestos [37]. Por lo tanto, la temperatura y el tiempo de tostado son factores fundamentales en la composición volátil final de las maderas. A pesar de que coloquialmente las tonelerías les llamen a los tipos de tostados ligero, medio, medio plus o fuerte las condiciones no son las mismas en unas tonelerías y en otras [38, 39].

Teniendo en cuenta que todas las maderas no se tratan igual en todos los artículos que vamos a analizar, no podemos comparar por sus diferencias todos los resultados de los trabajos sin tener este factor en cuenta, ya que ni la madera (origen, condiciones, etc) ni las condiciones (el tratamiento de la madera, secado, tostado, etc) son las mismas. Todas las maderas se han analizado mediante un equipo de cromatografía de gases (GC) con distintas preparaciones de muestras y distintos detectores.

#### **a. Composición volátil de las maderas del género *Quercus* diferentes a las tradicionales y de las maderas del género no *Quercus* con posibilidades enológicas y comparativa con las maderas tradicionales.**

La Tabla 2 presenta la composición volátil tras el tostado de las distintas maderas alternativas que han sido estudiadas. En los artículos donde se haya estudiado además las maderas tradicionales (*Quercus petraea*, *Quercus robur* y *Quercus alba*) se han incluido para poder comparar. Las maderas alternativas que se muestran en la tabla 2 de la especie *Quercus* son: *Quercus pyrenaica*, *Quercus faginea* y *Quercus humboldtii* y de especies arbóreas no *Quercus* son: *Prunus avium* (Cerezo), *Castanea sativa* (Castaño), *Robinia pseudoacacia* (Acacia), *Fraxinus excelsior* (Fresno Europeo) y *Fraxinus americana* (Fresno Americano).

Los compuestos analizados en este trabajo pertenecen a familias químicas muy diferentes, como los fenoles volátiles, lactonas, compuestos furánicos y aldehídos fenólicos. Sus concentraciones cubren una gama muy amplia, desde menos de 0,1 µg /g de madera, hasta a más de 5000 µg / g de madera (Tabla 2).

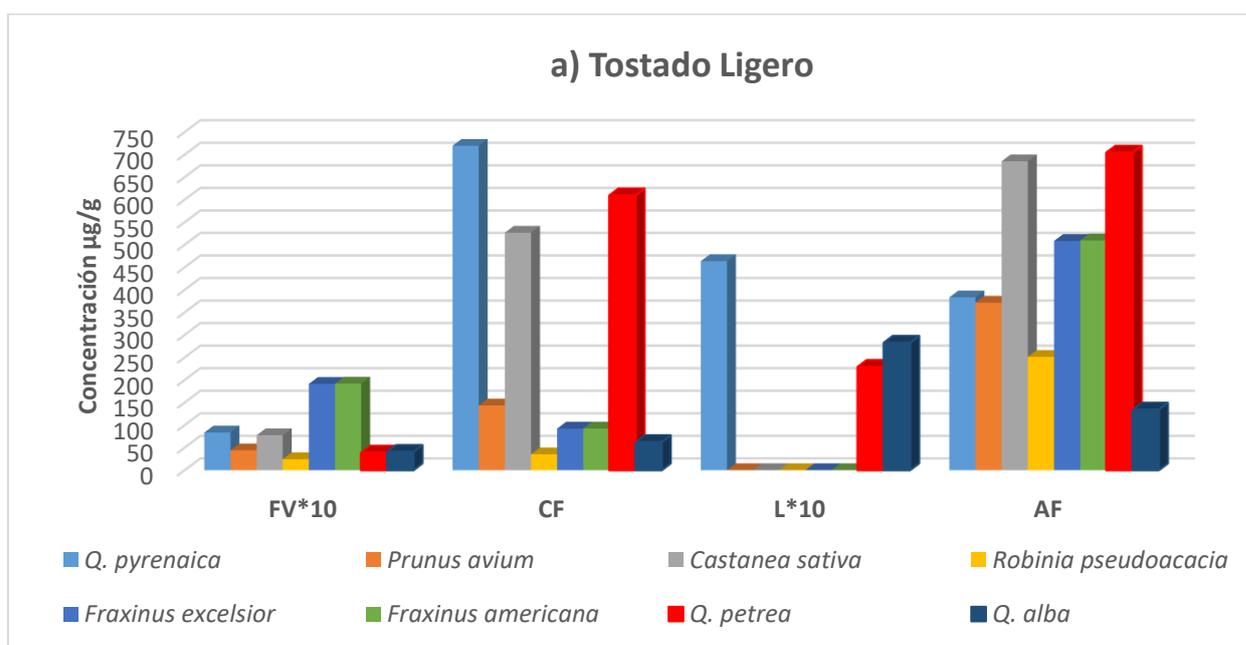
#### ***Quercus pyrenaica***

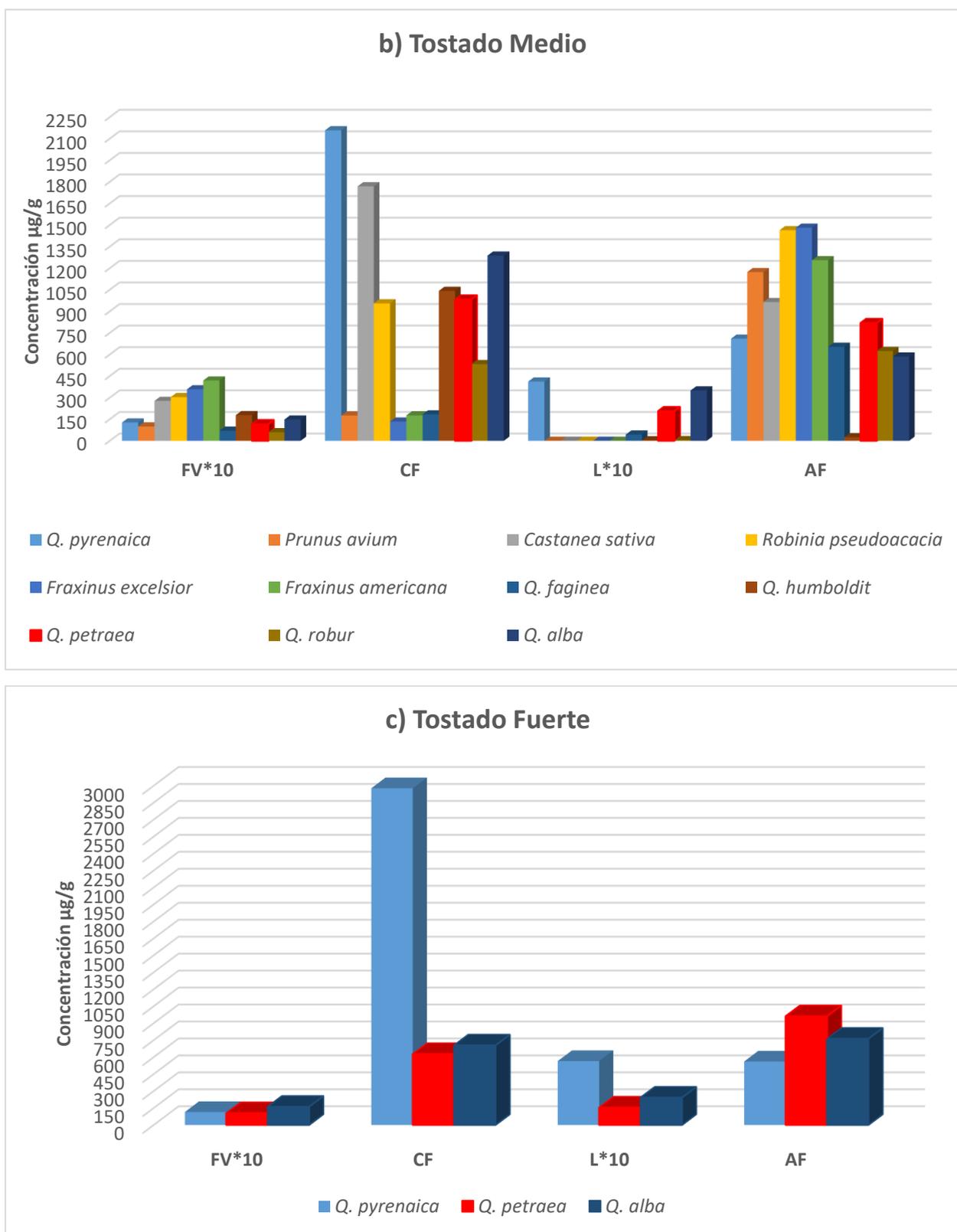
La especie *Quercus pyrenaica* ha sido la madera alternativa más estudiada, en la bibliografía se encuentran 7 artículos que han estudiado su composición volátil en madera. Las condiciones de tostado a las que han sido sometidas las maderas de los artículos han sido:

- Ligeros: Sin especificar tiempo y temperatura (L) [40] y un tostado de 190 °C durante 10 min (L<sub>1</sub>) [41].
- Medios: no especifica tiempo y temperatura (M) [41], 160-170°C durante 20 min (M<sub>1</sub>) [42], 160-170°C durante 35 min (M<sub>2</sub>) [38], 185°C durante 45 min (M<sub>3</sub>) [7], 200°C durante 15 min (M<sub>4</sub>) [40], 200°C durante 35 min (M<sub>5</sub>) [43], Medio + sin especificar ni tiempo ni temperatura (M+) [41].
- Fuertes: no especifica tiempo y temperatura (F) [41], 210°C durante 20 min (F<sub>1</sub>) [40], 250-260°C durante 27 min (F<sub>2</sub>) [42].
- Mezcla de tostados: de ligero a fuerte sin especificar ni temperatura ni tiempo [44].

En general, el compuesto que se encontró en mayor concentración independientemente del tostado en *Quercus pyrenaica* fue el furfural (Tabla 2), a excepción de la madera estudiada por Jordao, Ricardo-da-Silva, y Laureano et al., 2005 [42] donde se observaron mayores concentraciones de 5 HMF que de furfural, tanto tras el tostado medio (M1) como tras tostado fuerte (F2); y en la madera tras tostado M y M2 cuyo contenido mayor fue de sinapaldehído (Tabla 2). Los contenidos de furfural en la madera de *Q. pyrenaica* fue mayor que en los robles tradicionales (Tabla 2). La intensidad del tostado tiene una gran influencia en la composición volátil resultante, como se mencionó anteriormente. Estos compuestos furánicos se forman a partir de los polisacáridos

especialmente durante el tostado, por lo que en general, los trabajos donde se ha estudiado esta madera con un tratamiento térmico más fuerte (M4, M5, M+, F1 Y F) presentan mayores concentraciones de estos compuestos (Tabla 2). La madera tostada de *Q. pyrenaica*, en general, también presentó concentraciones más altas de 5-MF y de 5-HMF que las maderas de las especies tradicionales, a excepción de los algunos trabajos [44, 21, 42]. El 5-MF en la madera *Q. pyrenaica* con tostado ligero (L y L1) presentó concentraciones de 43,4-48,6 µg/g (Table 2). Al comparar este compuesto con las maderas tradicionales con el mismo tostado (L) se observó que *Q. petraea* tiene un 60% menos de 5-MF que *Q. pyrenaica* mientras que *Q. alba* un 85% menos. El 5-MF en esta madera alternativa tras un tostado medio (M1, M2, M3, M4, M5 y M+) estuvo comprendida entre 30,1-465,0 µg/g [38, 41], observándose que el valor mínimo del tostado medio era menor que el valor mínimo del tostado ligero. Sin embargo, la concentración de 5-MF en las maderas tradicionales tras el tostado medio fue menor, de 30,2-199,0 µg/g en roble francés y 38,3-237,0 µg/g en roble americano. Finalmente se analizó el 5-MF en los tostados más fuertes (F1, F2 y F) de *Q. pyrenaica*, *Q. petraea* y *Q. alba* donde se observó que la concentración del compuesto en la primera madera variaba de 130,0-185,5 µg/g, en la segunda madera de 25,1-243,5 µg/g y en la última de 10,8-169,6 µg/g. En el caso del 5-HMF, se observó que tras un tostado ligero (L1 y L) la concentración en *Q. pyrenaica* variaba entre 196,0-198,0 µg/g [40, 41], mientras que en roble francés era de 37,2 µg/g y en americano de 14,6 µg/g [41]. La concentración del 5-HMF con los tostados M2, M3 y M5 estaba muy por debajo de 196,0 µg/g, valor más bajo de los tostados ligeros (28,9 µg/g [7], 55,7 µg/g [38] y 182,0 µg/g [43]), no observándose el aumento esperado, debido probablemente a los muchos factores que pueden afectar en la comparativa de diferentes trabajos. Por lo tanto, la concentración de 5-HMF en la madera de *Q. pyrenaica* tras un tostado medio variaban entre 28,9-5078,3 µg/g [7, 42]. Por último, tras los tostados fuertes (F1, F2 y F) se vio que los valores del roble alternativo variaban entre 275,0-2976,8 µg/g [40, 42]. En el trabajo de Jordao, Ricardo-da-Silva, y Laureano et al., 2005 [42], se observó que la concentración de 5-HMF tras un tostado medio (M1:160-170 °C durante 20 min) fue de 5078,3 µg/g mientras que tras un tostado fuerte (F2: 250-260 °C durante 27 min) fue de 2976,8 µg/g, es decir, disminuyó con un aumento de la temperatura.





**Figura 1.** Representación gráfica de las medias de la suma de los compuestos de la madera fenoles volátiles, compuestos furánicos, lactonas y aldehídos fenólicos por especie de madera tras el tostado en tonelería: a) tostado ligero (Ligero, L1 190°C durante 10 min y L2 165°C durante 35 min); b) tostado medio (Medio, M1 160-170 °C durante 20 min, M2 160-170°C durante 35 min, M3 185°C durante 45 min, M4 200°C durante 15 min y M5 200°C durante 35 min, tostado medio plus y M+1 rampa de T<sup>a</sup> hasta

200°C durante 140 min); c) tostado fuerte (Fuerte, F1 210°C durante 20 min y F2 250-260°C durante 27 min).

Por lo tanto, se observa que *Q. pyrenaica* tanto tras un tostado ligero (Figura 1a), como medio (Figura 1b) o fuerte (Figura 1c), el contenido de compuestos furánicos fue mayor al resto de familias estudiadas. Además, que el contenido de compuestos furánicos de *Q. pyrenaica* fue tras todos los tostados mayor que en las maderas tradicionales.

Las whiskylactonas aportan al vino aromas a coco durante el envejecimiento, siendo el isómero *cis* el que tiene el umbral de percepción más bajo (Tabla 1) y por lo tanto suele ser el más interesante. Las concentraciones del isómero *cis* en la madera *Q. pyrenaica* estaban por encima de las concentraciones de *trans* en todos los trabajos presentados. La concentración de este isómero en la madera *Q. pyrenaica* en general fueron altas y mayores que en las maderas de las especies tradicionales, con excepciones en algunos tostados, las cuales que son: el M1, M2 y F2 [42, 38] donde las concentraciones son menores a *Q. petraea* y *Q. alba*, y en el tostado mezcla y M3 donde las concentraciones de esta nueva especie fueron mayores que *Q. petraea*, pero menores que *Q. alba* (Tabla 2). Los rangos de concentración de este isómero independientemente del tratamiento térmico en la madera *Q. pyrenaica* va de 2,90 a 91,9 µg/g [42, 40], en *Q. petraea* van de 0,05 a 21,1 y *Q. alba* de 14,6-44,1 µg/g. En lo que se refiere al isómero *trans* se observa en general al igual que en el isómero *cis* las concentraciones más altas se encontraron en la madera de *Q. pyrenaica*, siendo las excepciones los mismos tratamientos térmicos que en el isómero *cis* (M1, M2 y F2). Por lo que esta madera alternativa puede ser muy interesante desde el punto de vista de aromas en especial a coco como se puede observar en la Figura 1.

En el grupo de los aldehídos fenólicos, es importante destacar la vainillina como uno de los compuestos volátiles más importantes que da la crianza. En la madera de *Quercus pyrenaica* que fue tratada con un tostado ligero (L1 y L) se encontró que la concentración de vainillina variaba entre 28,3-29,4 µg/g [41, 40], bastante inferior a la madera de roble francés que presentó una concentración de 120,0 µg/g [41]. Tras un tostado medio (M1, M2, M3, M4, M5, M y M+) aunque la concentración de vainillina más alta se encontró en la madera de roble francés, el rango de concentraciones de *Q. pyrenaica* estaba comprendido entre los encontrados en los robles tradicionales, siendo de 10,5-210,0 µg/g en *Q. pyrenaica* [42, 38], de 8,3-270,0 µg/g en el roble francés [42, 38] y de 7,7-143,0 µg/g en el roble americano [42, 41]. Por lo tanto, las menores concentraciones se encontraron en el roble americano. Finalmente se observó la madera alternativa sometida a un tostado fuerte (F1, F2 y F) tuvo una concentración de vainillina que variaba entre 22,0-73,2 µg/g [42, 41], mientras que en roble francés la concentración variaba entre 3,0-262,0 µg/g y en americano entre 7,5-244,0 µg/g de vainillina en madera. Por lo que tostados muy altos en esta especie parece que provocan la degradación de la vainillina. Otros aldehídos fenólicos importantes son el siringaldehído y el sinapaldehído. El más significativo en *Q. pyrenaica* es el sinapaldehído, en los tostados ligeros se encontró con unas concentraciones de 231-291 µg/g (L y L1), cuando la madera fue sometida a un tostado medio (M1, M2, M3, M4, M5, M y M+) su rango de concentraciones variaba de 231-646 µg/g [43, 41], finalmente con los tostados fuertes (F1, F2 y F) la concentración del sinapaldehído variaba entre 241-1173 µg/g [41, 42]. La concentración promedio de los aldehídos fenólicos en la madera de *Q. pyrenaica* en tostado ligero (figure 1a) y tostado medio (figure 1 b) fue superior a *Q. alba* pero inferior a *Q. petraea*, sin embargo, tras un tostado fuerte esta nueva madera presentó los menores contenidos.

El eugenol es uno de los fenoles volátiles más característicos de la especie *Q. pyrenaica*. En la mayoría de los artículos este compuesto aumentó con la intensidad del tostado. Además, en general, la madera *Q. pyrenaica* presenta mayores contenidos de eugenol que las maderas de las especies tradicionales, como afirmaron los autores

Brígida Fernández De Simón, Muiño, y Cadahía et al., 2010 [41], De Simón et al., 2009 [7] y de Simón et al., 2010 [43] y se observa en la Tabla 2. En cambio, existen trabajos que están en desacuerdo con estos resultados ya que algunos autores observaron que la concentración de eugenol es bastante más baja en la madera de esta especie que en las maderas tradicionales [42, 38]. Otros compuestos como el guaiacol, 4-metil y 4-etilguaiacol se encuentran en valores intermedios entre las especies de robles tradicionales como muestran los artículos de Brígida Fernández De Simón, Muiño, y Cadahía et al., 2010 [41], De Simón et al., 2009 [7] y De Simón et al., 2010 [43]. El siringol se encuentra entre los valores de 0,6 a 1,3 µg/g en tostados ligeros, 2,6 y 4,1 µg/g en tostados medios, y entre los tostados M+ y F llega hasta 10,9 µg/g, encontrándose en la mayoría de las ocasiones entre los valores de las especies tradicionales [41, 21, 7]. Todo ello, hace que la madera *Q. pyrenaica* muestre mayores valores promedio de fenoles volátiles que las tradicionales tras un tostado ligero, y valores intermedios entre las maderas *Q. petraea* y *Q. alba* tras tostados medios y fuertes (Figura 1).

### ***Castanea sativa***

El castaño ha sido una especie muy utilizada ya que ha sido una madera con gran interés enológico. Además, esta es la única madera que junto con el roble está aprobada por la Organización de la Viña y el Vino (OIV) Resolución OENO 4/2005 [45]. Desde la perspectiva de la composición volátil la madera de castaño es reconocida por ser rica en fenoles volátiles (guaiacol y 4-metilguaiacol) y en aldehídos fenólicos (vainillina y derivados) siendo su composición volátil estudiada en 4 trabajos con las siguientes condiciones de tostados:

- Ligero: 165°C durante 35 min (L<sub>2</sub>) [37].
- Medios: Los artículos con tostados medios, tienen las mismas condiciones 185°C durante 45 min (M<sub>3</sub>) [7,46, 37].
- Mezcla: Mezcla de tostados desde ligeros a fuertes [44].

En *Castanea sativa* se observó que los compuestos derivados de los carbohidratos son los compuestos más importantes cuantitativamente. Dentro de estos, el furfural es el que se encuentra en mayor concentración seguido del 5-HMF. El furfural presentó unas concentraciones que van desde 86 hasta los 1675 µg/g [44, 37], en general mayores que los robles tradicionales. En el artículo de Culleré et al. 2013 [46] no se muestran datos de furfural, de 5-MF y 5-HMF en la madera castaño ni en las maderas de robles tradicionales ya no han sido estudiados estos compuestos. Tras el estudio de tostados mezcla el contenido de compuestos furánicos de esta madera es muy similar a los *Quercus*. Sin embargo, en los artículos de Fernández De Simón [7, 37] con tostado medio (M<sub>3</sub>), muestran contenidos de compuestos furánicos superiores a los *Quercus*, por ejemplo, el furfural con contenidos de 1505 y 1675 µg/g respectivamente en Castaño, mientras que en *Q. petraea* son de 430 µg/g, en *Q. alba* de 395 µg/g y en *Q. pyrenaica* de 494 µg/g. En la Figura 1 b se observa que la madera de castaño presentó un contenido promedio mayor que las maderas tradicionales, siendo un 56% mayor que *Q. petraea* y un 73% mayor que *Q. alba*. Por lo que probablemente, esta madera, en especial tras un tostado medio, podría proporcionar a los vinos más aromas de los proporcionados por estos compuestos que los *Quercus*, aunque serían necesarios más estudios con otros tostados.

La mayoría de los autores indican una no existencia de lactonas en esta madera, solo Caldeira et al., 2006 [44] muestra unos contenidos de los isómeros *cis* y *trans* de la WL de 0,66 y 0,88 µg / g respectivamente. Siendo incluso en este estudio los contenidos de la madera de castaño bastante inferiores a los encontrados en las maderas de *Quercus* (*Q. robur*, *Q. petraea*, *Q. pyrenaica* y *Q. alba*) [44]. Esta madera según

muestran los estudios que han sido publicados no proporcionarían al vino los aromas a coco tan buscados por los consumidores en los vinos envejecidos en madera.

El guaiacol se encuentra en esta madera en una concentración de 0,46 y 0,38  $\mu\text{g/g}$  en tostados L2 y mezcla y en tostados más fuertes como el M3 en los artículos Fernández De Simón et al. 2014 [37] y De Simón et al. 2009 [7] sus valores se encuentran alrededor de 5  $\mu\text{g/g}$ . En el caso del 4-metilguaiacol encontramos los valores en madera con un tostado L2 de 2,64  $\mu\text{g/g}$  y en tostado M3 con valores en torno a 7  $\mu\text{g/g}$ . En cuanto al eugenol en la mayoría de los artículos su concentración es la más baja en comparación con las maderas tradicionales como indican los autores Caldeira et al., 2006 [44] y Culleré et al., 2013 [46]. Sin embargo, según la autora De Simón [7, 37] el castaño fue la madera con el valor más alto de eugenol de las tres. Por último, dentro de este grupo también debemos de hablar del siringol su concentración en los tostados L2 y mezcla es de 1,41 y 0,53  $\mu\text{g/g}$  de madera mientras que en los tostados más fuertes como es el caso de M3 los valores son mucho más altos encontrándolos en el caso de los dos autores con una concentración alrededor de 13  $\mu\text{g/g}$  como podemos observar la diferencia es de 10 veces más. De Simón [7] mostró la diferencia entre la concentración de siringol en las maderas tradicionales y el castaño, siendo la concentración de esta madera de 12,9  $\mu\text{g/g}$  mientras que la del roble francés es de 5,76  $\mu\text{g/g}$  y la del roble americano de 9,65  $\mu\text{g/g}$  siendo el castaño la madera con mayor concentración de las tres. En la Figura 1 se muestra la importancia de la composición en fenoles volátiles de esta madera frente a las maderas tradicionales, observándose que tras un tostado ligero y medio la concentración de fenoles promedio fue de al menos un 47% mayor que en las maderas tradicionales.

Por último, se observa que la comparativa del contenido de vainillina con las maderas tradicionales dependió del tostado, tras un tostado ligero y medio son similares e incluso mayores a los robles tradicionales, sin embargo, en el trabajo que estudian un tostado mezcla sería menores (Tabla 2). Tras el tratamiento M3 fue cuando se observaron mayores diferencias [7, 37] encontrando unas concentraciones de 142,0  $\mu\text{g/g}$  en la madera de castaño, mientras que en el roble francés la concentración era de 117,0  $\mu\text{g/g}$  y en el roble americano era de 102,0  $\mu\text{g/g}$ . La acetovainillona, que también aporta aromas a vainilla, presentó mayores concentraciones en el castaño que en los robles tradicionales según los autores Caldeira et al. 2006 [44] y De Simón et al., 2009 [7] en cuyos trabajos podemos ver que no hay una diferencia muy grande entre las concentraciones de las tres maderas, la diferencia más grande es de 0,84  $\mu\text{g/g}$  entre el castaño y el roble francés en el artículo de Caldeira et al., 2006 [44]. El sinapaldehído se encontró en mayor concentración que el siringaldehído en todas las maderas de castaño. La concentración de estos dos compuestos en la madera de castaño es mayor que el contenido de los robles tradicionales con una diferencia aproximada de 230  $\mu\text{g/g}$  de madera [7, 37] Caldeira et al., 2006 [44] y Culleré et al., 2013 [46] no estudiaron estos compuestos. En la Figura 1 se puede observar como el contenido promedio en aldehídos volátiles de esta madera es muy similar a *Q. petraea*, aunque algo inferior tras un tostado ligero (Figura 1 a) y superior tras un tostado medio (Figura 1 b) y muy superior a *Q. alba* tanto tras tostado ligero como medio.

### ***Quercus faginea***

Esta especie ha sido menos estudiada, encontrándose que su composición volátil en madera únicamente ha sido estudiada por Cadahía et al., 2003 [38] tras un tostado medio de 160-170°C durante 35 min. El contenido de Guaiacol, 4-metilguaiacol y 4-etilguaiacol de esta madera es muy similar a la de *Q. pyrenaica* tras el mismo tostado y con menor contenido que en las maderas más utilizadas en enología (*Q. petraea* y *Q. alba*). Esta madera presenta una concentración de eugenol y siringol intermedia entre las encontradas en las maderas *Q. petraea* y *Q. alba*. El contenido promedio de fenoles volátiles en *Q. faginea* fue menor que la concentración encontrada en todas las otras

maderas del género *Quercus* a excepción de *Q. robur*, siendo esta última la madera más pobre de todas las especies. Respecto a los compuestos furánicos, en la especie *Q. faginea* observamos que presentó un contenido intermedio entre los valores de las maderas *Q. petraea* y *Q. alba* en furfural, 5-metilfurfural y 5-hidroxi-metilfurfural, siendo más similar a las maderas de *Q. petraea*. *Quercus faginea* es una especie pobre en lactonas, presentando las menores concentraciones de ambos isómeros si lo comparamos con las especies tradicionales *Q. alba* y *Q. petraea*, pero sin embargo las concentraciones de *cis* y *trans* whiskeylactonas de *Q. faginea* si son superiores a las de la especie tradicional *Q. robur*, pero como ya he mencionado esta madera es muy poco aromática y no es considerada actualmente como adecuada para el envejecimiento de vinos a pesar de que ha sido muy utilizada en este sector. De los dos isómeros el más interesante es el *cis* debido a que tiene un umbral de percepción mucho más bajo (Tabla 1) y por lo tanto más fácilmente perceptible por el consumidor. La concentración de *cis* whiskeylactona en *Q. faginea* es un 76% menor que *Q. pyrenaica*, 84% menos que *Q. petraea* y 93% menos que *Q. alba* (Tabla 2). La vainillina y la acetovainillona son importantes por su contribución al aroma con notas vainilla (Tabla 2) y la concentración de estos dos compuestos es mayor en la especie *Q. faginea* que en las especies *Q. robur*, *Q. pyrenaica* y *Q. alba* e inferior a *Q. petraea*. En general, los valores de los aldehídos fenólicos se encuentran entre medias de las especies *Q. alba* y *Q. petraea*, exceptuando el sinapaldehído que es algo inferior a todas las especies tratadas con el mismo tratamiento térmico [38]. Por lo tanto, en la Figura 1 b podemos observar como el contenido de aldehídos fenólicos de la madera *Q. faginea* fue menor que el de la madera *Q. petraea*, pero superior a la madera *Q. alba*.

### ***Quercus humboldtii***

El roble colombiano solo ha sido estudiado por Ana Martínez Gil et al., 2019 [47] con un tostado M+. Esta madera tiene una fuerte composición de fenoles volátiles respecto a las dos especies tradicionales (*Q. petraea* y *Q. alba*) siendo superior en guaiacol, siringol, 4-etilguaiacol y eugenol. En la Figura 1 se observa que el contenido promedio de estos fenoles volátiles es mayor en *Quercus humboldtii*, pero inferior que la mayoría de las especies no *Quercus*. Sin embargo, en lo que respecta a los compuestos furánicos, los valores encontrados en esta especie están por debajo de las especies tradicionales, exceptuando en el 5-metilfurfural. Este último compuesto fue de 1.6 veces mayor en esta nueva especie que en *Q. petraea* y 2.7 veces más que *Q. alba*. Aun así, este último el 5-MF tiene poca influencia en el promedio de compuestos furánicos, por encontrarse en concentraciones muy inferiores a los otros dos compuestos. El contenido de lactonas en las maderas de *Quercus humboldtii* también está muy por debajo de los valores de los robles tradicionales, con un valor de *trans* y *cis* whiskeylactona de 0,06 y 0,30 µg/g respectivamente mientras que en *Q. alba* fueron de 3,47 y 27,10 µg/g y en *Q. petraea* de 2,05 y 12,65 µg/g (Tabla 2). Observándose en la Figura 1, como la contribución de las lactonas en esta madera fue insignificante frente a las demás maderas *Quercus*. En cuanto a los aldehídos fenólicos, las concentraciones de vainillina son muy parecidas a las del roble francés pero inferiores a la madera de *Q. alba*, mientras que la concentración de acetovanillona en esta nueva madera se encuentra comprendida entre los contenidos de las tradicionales. En las conclusiones del estudio los autores comentan que es una madera apta para la crianza de vinos y que tiene mayores similitudes al perfil aromático que da el roble americano a los vinos.

### ***Robinia pseudoacacia***

La acacia es una de las maderas alternativas que se está empezando a ver en el mercado, ha sido estudiada en tres artículos que son: Fernández De Simón et al. 2014 [37], Culleré et al. 2013[46] y De Simón et al. 2009[7]. La madera de estos estudios ha sido tratada con dos tipos de tostados ligero y medio:

- Ligero: a una temperatura de 165°C durante 35 min (L<sub>2</sub>) [37].

- Medio: a una temperatura de 185°C durante 45 min (M<sub>3</sub>) [37, 46, 7].

Los compuestos más destacables de esta madera alternativa son los derivados de la lignina y de polisacáridos con lo cual estamos hablando de las familias de los aldehídos fenólicos, los compuestos furánicos y los fenoles volátiles. En especial, se observa en la Figura 1 b que esta madera tras un tostado medio presentó 1.6 veces más de promedio de aldehídos fenólicos que *Q. petraea* y 2.5 veces más que *Q. alba*, y de promedio de fenoles volátiles 2.6 y 2.1 veces más que *Q. petraea* y *Q. alba* respectivamente. Sin embargo, la acacia carece en su composición de *trans* y *cis* whiskylactona, al igual que el resto de especies del género no *Quercus*.

Es importante también observar el aumento significativo de las concentraciones de los compuestos del tostado ligero (L2) al tostado medio (M3) en el trabajo de Fernández De Simón et al., 2014 [37], también lo podemos comparar en el otro trabajo De Simón et al., 2009 [7] ya que el tostado medio (M3) se realizó en las mismas condiciones de temperatura y tiempo de tostado y los resultados son muy similares.

En general, las concentraciones en fenoles volátiles (Tabla 2) son superiores a las encontradas en las maderas tradicionales. Los compuestos más destacables en este grupo serían el guaiacol y el siringol con concentraciones alrededor de 5,4 y 21 µg/g de madera respectivamente. Si se compara el contenido de estos dos compuestos con las maderas tradicionales, observamos que las concentraciones son bastante más bajas ya que se encuentran en el caso del roble francés entre 2 y 6 µg/g y en el caso del americano entre 5 y 10 µg/g de guaiacol y siringol, respectivamente. En este caso el roble americano se acerca más a las concentraciones de la acacia. No obstante, las concentraciones mayoritarias de este compuesto no las tiene la acacia sino el fresno. El 4-etilguaiacol solo ha sido estudiado en el estudio de frecuencia, sin embargo, se ve claramente que la frecuencia de encontrarlo en la madera de acacia es mucho mayor que en los robles tradicionales, y este puede ser un problema a la hora de envejecer los vinos con esta madera, ya que puede dotar al vino de los aromas desagradables que proceden de este compuesto.

Dentro de los compuestos furánicos, destaca el contenido de furfural en la madera de acacia, ya como se puede observar en la Tabla 2, tras un tostado M3 tiene concentraciones de 700-800 µg/g de furfural sólo siendo superada por el castaño con 1500-1600 µg/g.

En cuanto a las concentraciones de aldehídos fenólicos, la Tabla 2 muestra que la concentración de vainillina en la madera de acacia fue de 19.2 µg/g en tostado L2 y de 77.1-106 µg/g en tostado M3, siendo concentraciones inferiores a *Q. petraea* y similares a *Q. alba*. Sin embargo, el contenido de siringaldehído en la madera de acacia tras un tostado medio (M3) presentó una concentración en torno a 300-400 µg/g y el sinapaldehído entre los 900-1100 µg/g, siendo concentraciones mucho mayores a las encontradas en robles tradicionales en especial de sinapaldehído, ya que la fueron entorno a los 220 µg/g de siringaldehído y de unos 250 µg/g de sinapaldehído (Tabla 2).

### ***Prunus avium***

La madera de cerezo es otra de las maderas alternativas al roble, no es nueva ya se utilizaba en la antigüedad cuando destinaban la madera de roble para otros fines, esta madera ha sido estudiada en los 3 artículos nombrados anteriormente en el apartado de la acacia. Los tostados eran de dos tipos ligero y medio:

- Ligero: a una temperatura de 165°C durante 35 min (L<sub>2</sub>) [37].
- Medio: a una temperatura de 185°C durante 45 min (M<sub>3</sub>) [37, 46, 7].

Esta madera no tuvo *trans* y *cis* whiskylactona y presentó bajas concentraciones de fenoles volátiles tras el tostado medio (derivados de la lignina) (Figura 1). En el estudio de Fernández De Simón et al., 2014 [37] observaron como las concentraciones de todos los compuestos aumentó con el tostado de la madera. En el tostado ligero los valores de guaiacol, 4-metilguaiacol, siringol y eugenol son 0,91, 0,62, 2,13 y 0,74 µg/g mientras que con el tostado medio casi se duplican estos valores, siendo el que más abundante el siringol. Si estas concentraciones las comparamos con las de las maderas tradicionales con el mismo tipo de tratamiento se puede ver que los valores de los fenoles volátiles en cerezo son muy inferiores a los de los robles con una diferencia mínima de 0,8 µg/g como es en el caso del siringol y la máxima es de 5,3 µg/g en el caso de 4-metilguaiacol entre las especies *Q. petraea* y el cerezo.

Respecto a los compuestos furánicos, el valor máximo en la madera de cerezo de los 3 compuestos lo tuvo el furfural en el caso de L2 y unos de los estudios realizados con tostado M3 [37], sin embargo, en el otro estudio del tostado M3 el furfural es el que presentó menores concentraciones [7]. El furfural en la madera de cerezo tras un tostado M3 muestra contenidos de furfural de 23 y 175 µg/g, valores que están por debajo de los valores de los robles tradicionales con 430 µg/g roble francés y 395 µg/g el roble americano. Los valores del 5-MF y el 5-HMF en la madera de cerezo fueron próximos a las concentraciones de los robles tradicionales incluso superándolos como es el caso del 5-HMF (Tabla 2).

Del grupo de los aldehídos fenólicos se puede destacar las altas concentraciones de siringaldehído y sinapaldehído de la madera de cerezo, siendo de 115 y 210 µg/g tras un tostado L2 respectivamente, las cuales aumentaron durante el tostado. Por lo que tras un tostado M3, la madera de cerezo mostró unas concentraciones de 455-535 µg/g siringaldehído y 804-897 µg/g de sinapaldehído doblando e incluso triplicando los valores de las maderas tradicionales, cuyos valores se encuentran alrededor de 200 µg/g en el caso del siringaldehído y los 250 µg/g en el sinapaldehído. La concentración de vainillina en la madera de esta especie estuvo por debajo de los 100 µg/g, siendo de 45 µg/g con un tostado ligero y de 68.3-91.7 µg/g tras un tostado M3, mientras que en las maderas tradicionales estuvieron entorno a los 100-120 µg/g en este mismo tostado M3.

### ***Fraxinus excelsior* (Fresno Europeo) y *Fraxinus americana* (Fresno Americano)**

Dos subespecies de la madera de fresno han sido investigados y utilizadas para la crianza de vinos, *Fraxinus excelsior* (Fresno Europeo) y *Fraxinus americana* (Fresno Americano). La madera de fresno ha sido estudiada en los 3 artículos anteriormente citados, la madera está tratada con dos tipos de tostados ligero (L2) y medio (M3). La concentración de todos los compuestos de la Tabla 2 de la madera del fresno europeo y del fresno americano fue muy similar entre ellos tras un tostado ligero, observándose en la Figura 1 iguales contenidos promedios de todas las familias. Sin embargo, se observaron mayores diferencias entre ambas maderas cuando fueron sometidas a un tostado más intenso (M3). La madera tostada de fresno americana parece ser más aromática que la europea en la mayoría de los compuestos [7,37] así como en los compuestos representados en la Tabla 2. El fresno según la bibliografía es pobre en compuestos derivados de lípidos, ya que tampoco presentó en su composición ninguno de los dos isómeros de las whiskylactonas, al igual que ocurría en las tres maderas anteriormente citadas (Tabla 2). En cuanto a los derivados de carbohidratos, el contenido de furfural en la madera de esta especie se encontró entre los 26 µg/g tras un tostado ligero y tras un tostado M3 en 60-80 µg/g (Tabla 2). Comparando estas maderas con las maderas de las especies tradicionales tras un tostado M3 se observó que el fresno es una madera pobre en furfural, ya que las maderas habituales tienen unos contenidos de alrededor de 400 µg/g casi 5 veces más (Tabla 2). Además, es una madera muy pobre en 5-MF en comparación con las tradicionales, sin embargo, es

mucho más rica en 5-HMF con contenidos de 2.6 veces más que las tradicionales. En definitiva, el fresno es una madera pobre en compuestos furánicos, observándose en la Figura 1 b que son las maderas con menores contenidos. En cambio, estas especies son muy ricas en fenoles volátiles como el guaiacol, el siringol y el eugenol superando a los robles tradicionales *Q. petraea* y *Q. alba* con concentraciones tres veces más altas en las maderas alternativas. Estas maderas, fueron las que más fenoles volátiles presentaron tanto tras un tostado ligero (Figura 1 a) como tras un tostado medio (Figura 1 b). La madera de fresno es también muy rica en aldehídos fenólicos, presentando concentraciones más altas de vainillina, acetovainillona, siringaldehído y sinapaldehído respecto a las maderas tradicionales [7]. Tras el tostado en la Figura 1 b se observa cómo estas maderas son las que mayores contenidos promedio de aldehídos fenólicos presentan junto con la madera de acacia.

### **b. Influencia de estas maderas no tradicionales en el aroma del vino durante el envejecimiento y comparación con los vinos envejecidos con maderas tradicionales.**

Este apartado está dedicado al estudio del contacto de vino con maderas no tradicionales. La Tabla 3 está organizada teniendo en cuenta la forma de envejecimiento del vino (astillas, duelas y barricas) y dentro de esta organización se tendría en cuenta el tipo de tostado. Además, esta Tabla muestra la dosis, tiempo máximo de contacto, tipo de vino y las especies de las maderas utilizadas. Los tipos de vinos que se estudian son tintos, blancos y rosados. Por último, se relacionarán los resultados con la Tabla 2 para observar si lo que se presenta en las maderas se correlaciona con lo que se observa en los vinos.

Las especies alternativas que han sido estudiadas durante el envejecimiento del vino son las mismas que en el apartado a. más otra nueva especie que es la Morera (*Morus alba*).

#### ***Quercus pyrenaica***

El vino envejecido en *Quercus pyrenaica* ha sido, al igual que pasaba en el estudio de las maderas, el más estudiado en comparación con el resto de maderas alternativas. La composición volátil del vino envejecido con esta madera ha sido analizada en 6 artículos. Todos los artículos han analizado vinos tintos, pero en diferentes condiciones de crianza. Envejecidos con astillas encontramos con una dosis por superficie simulando una barrica de 225L durante 120 y 180 días respectivamente [40, 43] y con una dosis por peso de 4 g/L durante 60 días [48]. Vino envejecido con duelas a razón de 225L durante 120 y 180 días [40, 43], el resto de los vinos han sido envejecidos en barricas de 225 L durante 12 y 21 meses [49, 50, 21].

Las intensidades de tostados a los que está sometida la madera de *Q. pyrenaica* son:

- Ligero: a una temperatura de 190 °C durante 10 min (LA1) [40].
- Medio: sin especificar las condiciones de tostado de las astillas (M) [48], a una temperatura de 200 °C durante 15 min (MA1) [40], 200 °C durante 35 min (MA2 y MD2) [43], a 165 °C durante 35 min (MB1) [49] y sin especificar las condiciones de tostado de las barricas (M) [50, 21].
- Fuerte: a una temperatura de 210 °C durante 20 min (FA1) [40].

Uno de los compuestos más destacados en el análisis de madera de *Q. pyrenaica* era el furfural. En la Tabla 3 se observa que las concentraciones de furfural se encuentran entre 48-61 µg/L en los tostados más ligeros (L y LA1) con 120 días de contacto, mientras que en los tostados medios y fuertes se encuentran en concentraciones mayores incluso cuando la dosis y el tiempo es el mismo. El furfural en estos tostados

más fuertes (M, MA2, MD2, MB1 y FA1) varía su concentración en el vino, entre unos artículos y otros, entre 120 µg/L [40] como el valor mínimo y el máximo lo encontraríamos en 3575 µg/L [49], siendo indiferente el tipo de alternativo o barrica utilizado para la crianza de los vinos, aquí se podría discutir otro factor importante para la cesión de compuestos aparte de los tostados que es el tiempo de contacto entre el vino y la madera, si contemplamos este factor podemos ver en la Tabla 3 como en el caso del vino con menor contenido de furfural ha tenido un tiempo de crianza de 120 días [40] mientras que el vino con mayor concentración se ha criado en una barrica durante 12 meses [49]. En general, se encuentran resultados de este compuesto como en las maderas tradicionales.

En cuanto a la familia de los fenoles volátiles podemos ver como esta especie se encuentra comprendida entre las concentraciones habituales que se han observado en las maderas de roble tradicionales. El guaiacol en madera de *Q. pyrenaica* con tostados ligeros (L y LA1) se ve comprendido entre los valores 6,9-10,7 µg/L de vino [40], en tostados medios (M, MA1, MA2, MD1 y MB1) se encuentra entre los 8,2 y 76,1 µg/L pero realmente la mayoría de los artículos los valores se encuentran alrededor de 20 y 50 µg/L, se observan en la Tabla 3 concentraciones similares en los vinos con crianza en madera tradicional siendo *Q. alba* el que mayor concentración de este compuesto suele tener seguido por *Q. pyrenaica*. El eugenol es otro compuesto clave en esta madera alternativa, en la Tabla 3 podemos ver como el vino envejecido con el roble alternativo y con un tostado ligero (L y LA1) tiene una concentración de eugenol entre 23,9-50,9 µg/L y en tostados medios (M, MA1, MA2, MD1 y MB1) 8,0-116,0 µg/L [48, 49]. En la mayoría de los artículos *Q. pyrenaica* es la madera con mayor concentración de eugenol mientras que las maderas tradicionales su rango de valores está comprendido entre 17,4-48,0 µg/L *Q. petraea* y *Q. alba* 14,0-88,6 µg/L [48, 43, 50, 21].

La *cis* whiskylactona también fue importante en la composición aromática de los vinos envejecidos en esta madera. En el estudio de *Q. pyrenaica* ya se observó que esta madera podría ser interesante debido a este compuesto (Tabla 2), lo que se confirma cuando es puesta en contacto con los vinos Tabla 3, ya que en general esta madera alternativa se encuentra entre las concentraciones que aportan las maderas *Q. petraea* y *Q. alba* (31,0-1096,0 µg/L de vino envejecido en *Q. pyrenaica* con tostado medio) en las mismas condiciones e incluso en ocasiones supera [43] al roble americano (188,0-1313,0 µg/L), roble conocido por el aporte de este compuesto al vino.

La concentración de vainillina en *Q. pyrenaica* como ya hemos comentado en el apartado a. se encuentra entre las concentraciones de robles tradicionales. En tostados ligeros (L y LA1) se encuentra entre los valores 120-225 µg/L mientras que en tostados medios se encuentra entre (M, MA1, MA2, MD1 y MB1) 77,5-819,0 µg/L (roble francés 80,1-938,0 µg/L y americano 145,0-988,0 µg/L), en tostados más fuertes (FA1 y F) podemos ver unas concentraciones de 584-706 µg/L de vino. Todos los valores que encontramos del vino con crianza en *Q. pyrenaica* de este compuesto están por encima del umbral de percepción de la vainillina 60 µg/L (Tabla 1).

Algo que podemos destacar que se ve fácilmente en la Tabla 3 es la diferencia entre concentraciones de compuestos volátiles entre vinos con envejecimiento con astillas y vinos con envejecimiento con duelas y barricas a pesar de tener las mismas condiciones (de tratamientos de la madera y de crianza del vino). Las barricas y las duelas aportan al vino más del doble de compuestos que las astillas un ejemplo que podemos ver esta en el eugenol de la especie *Q. pyrenaica* con tostado medio donde la concentración en astillas de este compuesto se encuentra alrededor de 8,0-21,9 µg/L mientras que en duelas se encuentran comprendidas entre los valores 45,2-53,4 µg/L [40, 43].

En el análisis sensorial se observó que los vinos envejecidos en *Q. pyrenaica* presentaban toques ahumados, especiados y tostados [49].

### ***Q. humboldtii***

La especie de roble colombiano *Q. humboldtii* en contacto con el vino ha sido estudiada por los autores Martínez-Gil et al., 2018 [51]. La madera fue tostada con una rampa de temperaturas hasta llegar a 210 °C durante 140 min (M-F). El vino que se ha estudiado fue un vino tinto y las condiciones de envejecimiento fueron astillas a razón de 3 g/L durante 90 días de crianza. En este estudio observaron que los aromas de los vinos envejecidos con esta madera alternativa diferían cuantitativamente de los envejecidos con las maderas tradicionales (*Q. petraea* y *Q. alba*). La característica más destacable de los vinos envejecidos con astillas de *Q. humboldtii* fue su alta concentración de fenoles volátiles en comparación de los vinos envejecidos con las maderas tradicionales (Tabla 3), lo que también se había observado en los análisis de esta (Tabla 2). La concentración de compuestos furánicos en los vinos puestos en contacto con esta madera alternativa fue muy similar a los encontrados en los vinos envejecidos con *Q. petraea*, ambas especies tienen una mayor riqueza de 5-MF y 5-HMF que la especie americana, esta última fue más rica en furfural. La madera de *Q. humboldtii* no presentó apenas contenido de lactonas en la madera (Tabla 2), lo que hace que la concentración en el análisis del vino tras el contacto con ella sea muy baja, de 0,06 µg/L en el isómero *trans* y 0,3 µg/L de isómero *cis* whiskylactona. *Q. humboldtii* tiene las concentraciones de lactonas más bajas dentro del género *Quercus*. El único aldehído volátil estudiado tras el contacto de vino con esta madera fue la vainillina, presentando una concentración de 22,4 µg/L, concentración más baja que los vinos envejecidos con las maderas *Quercus* tradicionales, pero con concentraciones muy cercana a los vinos de la especie francesa (con una diferencia de sólo 0,1- 0,8 µg/L), lo mismo que ocurría en el análisis de madera (Tabla 2). Este artículo destaca que los principales aromas que se encuentran en los vinos envejecidos con astillas de *Q. humboldtii* en el análisis sensorial fueron los ahumados principalmente y toques especiados y a madera de roble lo que concuerda con el análisis químico.

### ***Quercus faginea***

El envejecimiento de vinos con madera *Quercus faginea* ha sido estudiado en 2 artículos [50, 21]. Los resultados y las condiciones de ambos estudios son muy parecidos por ello ambos artículos se encuentran comprimidos en una única fila. La madera se trató con un tostado medio (no especifica tiempo y temperatura) y el vino envejecido fue un vino tinto y fue sometido la crianza durante 21 meses en bodega bordelesa. En general, el vino envejecido en barricas de *Q. faginea* fue más pobre en compuestos furánicos y aldehídos fenólicos. Sin embargo, los vinos envejecidos con esta madera presentaron concentraciones similares a *Q. petraea* en lo que respecta a fenoles volátiles y lactonas. En este estudio, se puede observar que los vinos envejecidos en barricas de *Q. alba* tenían mayor contenido de los aromas que el resto de vinos envejecidos en barricas con los que se compara y por lo tanto que *Q. faginea*. Los vinos envejecidos con *Q. faginea* presentaron concentraciones de los compuestos furánicos más bajas que los vinos envejecidos con las otras 5 especies (*Q. pyrenaica*, *Q. robur*, *Q. petraea* y *Q. alba*).

La *cis* whiskylactona se encontró en los vinos con una concentración de 352 µg/L cuando se han sido envejecidos con *Q. faginea*, encontrándose en valores similares a los vinos envejecidos con las especies *Q. petraea* y *Q. robur* y por encima de la especie *Q. pyrenaica*. Sin embargo, en el análisis de la madera vimos que esta madera era más pobre en este isómero que *Q. pyrenaica* (Tabla 2). A pesar de que en el apartado anterior observáramos que la madera de *Q. faginea* tiene mayor contenido en vainillina que la madera *Q. alba* (Tabla 2), los vinos presentaron menores concentraciones de este compuesto. Sin embargo, la concentración de vainillina de los vinos (74 µg/L) está por encima del umbral de percepción (60 µg/L) con lo que influye directamente en la composición aromática del vino. Sin embargo, desde el punto de vista sensorial los vinos envejecidos en barricas *Q. faginea* fueron los peor evaluados

por lo que parece carecer de interés tonelero. Por lo tanto, en los trabajos de Fernández De Simón, Cadahía, and Jalocha et al., 2003 [21] y Fernández De Simón et al., 2006 [50] se concluyó que esta madera no es óptima para el uso enológico.

### ***Castanea sativa***

Los aromas del vino envejecido en madera de castaño han sido estudiados en 4 artículos. El envejecimiento siempre ha sido realizado con vino tinto y con barricas de 225 litros. El tiempo de envejecimiento ha sido de 6, 9 y 12 meses, y el tratamiento de tostado de la madera son las siguientes:

- Ligerito: sin especificar condiciones de tostado de las barricas (L) [52].
- Medio: a una temperatura de 160-170°C durante 40-45 min (MB2), 200°C durante 10 min (MB3), 185 °C durante 45 min (MB4) [53, 54, 58].

Una de las principales características de la madera de castaño que hemos destacado en la Tabla 2 son las altas concentraciones de furfural. Durante el envejecimiento de vino con esta madera solo ha sido estudiado este compuesto en dos artículos [54, 52]. Se ha observado que el envejecimiento en barricas de castaño que ha sufrido un tostado ligero presentó, tras 9 meses de envejecimiento, menores concentraciones de furfural que el vino envejecido en barricas de *Q. petraea*, aunque mayores que el envejecido con el resto de especies estudiadas [52]. Sin embargo, cuando la madera ha sufrido un tostado medio, el vino envejecido en barricas de castaño durante 12 meses muestra los mayores contenidos de furfural (509 µg/L), siendo 13 veces más que el envejecido con *Q. petraea* (40 µg/L), 7.7 veces más que el vino envejecido en fresno (66 µg/L), 5 veces más que el envejecido en cerezo (101 µg/L) y 2 veces más que el vino con acacia (238 µg/L) [54]. Los vinos envejecidos en barricas de castaño durante 9 y 12 meses se caracterizaron por tener un mayor contenido en eugenol (26, 36,3 y 118 µg/L en los respectivos trabajos [52, 58, 54]), compuesto que aporta aromas a clavo, especiadas, miel, respecto a los vinos envejecidos en barricas con el resto de especies, incluso con la tradicional *Q. petraea* (18, 26,9 y 101 µg/L en los respectivos trabajos [52, 58, 54]), esto es importante ya que el umbral de percepción es de 6 µg/L. Este resultado concuerda con el análisis de la madera tostada, donde se observó que las maderas de castaño presentaban mayor contenido en este compuesto que *Q. petraea*. El uso de barricas de castaño aportaba a los vinos más vainilla que las barricas de *Q. petraea* en los trabajos de Rosso et al., 2009 y B. De Simón et al., 2014 [52, 54] sin embargo, en el trabajo Arfelli et al., 2007 aportaba menos [58]. Por lo tanto, de manera general, se podría decir que los vinos envejecidos en barricas *Q. petraea* aportan aromas a caramelo y almendras tostadas y los vinos envejecidos en barricas de castaño dan más aromas a madera y especiados, como el clavo, humo y vainilla.

### ***Robinia pseudoacacia***

El envejecimiento de vino en contacto con acacia ha sido estudiado en 5 artículos. Vinos blancos [55, 57], rosados [56] y tintos [52, 54] han sido envejecidos con esta madera y además se ha estudiado con productos alternativos (astillas) [55, 56] y barricas [52, 54, 55, 57], durante 20 y 28 días las astillas y 4, 9 y 12 meses las barricas. Las diferentes condiciones de tratamiento de la madera y de crianza que son:

- Ligerito: a una temperatura de 100°C durante 60 min (LA2 y LB1) [55] y sin especificar condiciones de tostado (L) [52].
- Medio: a una temperatura de 185 °C durante 45 min (MB4) [54] y sin especificar condiciones de tostado de las astillas y barricas (M) [56, 57].

En el artículo de Alañón et al., 2018 [55] estudió el envejecimiento del vino blanco con el mismo tostado en dos formatos, astillas y barrica las astillas en contacto con el vino

durante 28 días y el vino en barrica se mantiene durante 4 meses. Estos vinos blancos presentan una composición muy parecida en los compuestos representados (Tabla 3). Por lo tanto, se consiguieron resultados muy similares entre el envejecimiento en barrica y astillas si el tiempo de envejecimiento en cada uno se ajusta a la cesión de los compuestos, como se hizo en este estudio. Las concentraciones de los compuestos en los vinos blancos envejecidos con esta madera en estas condiciones, en general, fueron bajas probablemente debido al tostado ligero [55]. En el artículo de Kozlovic et al. 2010 [57] se puede observar las características aromáticas que la acacia aporta al vino blanco con un grado de tostado mayor (M) y además se puede ver la diferencia la madera tradicional *Q. petraea* al haber sido estudiada en las mismas condiciones. Como ya se ha descrito anteriormente esta madera no *Quercus* es más rica en fenoles volátiles que las maderas *Quercus* (Tabla 2) observándose que el vino blanco envejecido con ella presenta también mayores contenidos que los vinos envejecidos con *Q. petraea*. En cuanto al furfural era un compuesto que destacaba en esta madera alternativa (Tabla 2), sin embargo, las concentraciones en el vino blanco cuando ha sido envejecido con acacia no son superiores a las del vino envejecido con roble francés. La presencia whiskylactonas en el vino blanco y rosado envejecido con acacia es llamativo, ya que en la Tabla 2 se observa como esta madera alternativa no contenía whiskylactonas. De todos modos, las concentraciones de los isómeros *cis* y *trans*  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octalactonas en el vino con crianza en madera de acacia están muy por debajo de las concentraciones que posee el roble francés de estos compuestos. En cuanto a los aldehídos fenólicos, se observa que las concentraciones de vainillina y siringaldehído en los vinos blancos envejecidos con ambas maderas, acacia y *Q. petraea* son muy similares y en ambos casos bajas de 0,02 a 0,05  $\mu\text{g/L}$  de vainillina y 0,12 a 0,29  $\mu\text{g/L}$  de siringaldehído, respectivamente. Kozlovic et al., 2010 [57] pudieron extraer del análisis sensorial que los vinos envejecidos en barricas de acacia eran los vinos con mejores puntuaciones. En vino rosado envejecido en acacia se observó que las concentraciones de los compuestos furánicos son las más bajas de los vinos de las cuatro especies estudiadas, observando de nuevo que el mayor contenido en madera no se observa en vino. Y en cuanto a compuestos como la vainillina y el siringaldehído la concentración en el vino rosado analizado tras el envejecimiento con acacia fue bastante inferior a los vinos envejecido con roble americano y francés, pero se encuentra por encima del vino envejecido en cerezo.

El envejecimiento de vinos tintos con esta madera se ha realizado exclusivamente con barricas, con duración de 9 [52] y 12 meses [54]. Rosso et al., 2009 [52] encontraron unas concentraciones muy altas de 4-etilguaicol (3250  $\mu\text{g/L}$ ) en los vinos, esto es importante teniendo en cuenta el umbral de percepción en vino y el aroma que aportan, aun así, estos autores también encontraron concentraciones muy altas en los vinos envejecidos con *Q. petraea* (2900  $\mu\text{g/L}$ ). Sin embargo, Fernández De Simón et al. 2014 [54] observaron el menor contenido de 4-etilguaicol en los vinos envejecidos con la acacia, siendo de 19,9  $\mu\text{g/L}$ , valor que está por debajo del umbral de percepción. El fenol volátil más característico que observamos en el vino tinto envejecido con acacia fue el siringol cuya concentración está por encima del resto de las especies estudiadas, lo que concuerda con el análisis de las maderas (Tabla 2). Otro compuesto que debemos de destacar por alto contenido en los vinos envejecidos con acacia con un tostado medio fue el furfural. Este vino presento unas concentraciones de 238  $\mu\text{g/L}$ , mientras en el vino envejecido con *Q. petraea* fue de 40  $\mu\text{g/L}$ , aun así, estuvo muy por debajo de los observado en el vino envejecido con madera de castaño 509  $\mu\text{g/L}$ . Los vinos con crianza en acacia presentan un perfil aromático especiado, tostado y con notas ahumadas.

### ***Prunus avium***

La composición volátil del vino envejecido con madera de cerezo ha sido estudiada en 3 artículos diferentes. Ha sido estudiado tanto en vinos rosados [56] como tintos [52, 54], siendo el rosado envejecido utilizando astillas de esta madera durante 20 días, mientras que el vino tinto fue envejecido en barricas durante 9 [52] y 12 meses [54]. Las condiciones del tratamiento térmico de la madera en cada artículo fueron las siguientes:

- Ligero: sin especificar condiciones de tostado las astillas (L) [56].
- Medio: a una temperatura de 185 °C durante 45 min (MB4) [54] y sin especificar condiciones de tostado de la barrica (M) [52].

El vino rosado envejecido con astillas de cerezo mostró concentraciones de furfural intermedias entre los vinos envejecidos con *Q. petraea* y *Q. alba*. Sin embargo, las concentraciones de 5-MF del vino envejecido con cerezo fueron una tercera parte que lo encontrado en los vinos envejecidos con *Q. petraea* y una quinta parte que los vinos con *Q. alba*. También las concentraciones de eugenol de los vinos tratados con cerezo fueron menores que los envejecidos con las maderas tradicionales (Tabla 3). Además, el vino envejecido con cerezo presentó *cis* whiskylactona, con una concentración de 20 µg/L, cercanos a *Q. petraea* (29 µg/L). Este resultado no era esperable, ya que los análisis de las maderas indicaban que la madera de esta especie no contiene ninguna de las dos lactonas (Tabla 2). El contenido de aldehídos fenólicos del vino envejecido con cerezo era muy bajo, por ejemplo, mientras que los vinos envejecidos con maderas tradicionales presentaban contenidos de unos 700 µg/L de vainillina, los vinos tratados con cerezo únicamente 16 µg/L.

Los vinos tintos envejecidos durante 9 meses en barricas de cerezo mostraron altos contenidos de 4-etilguaicol (2790 µg/L) muy por encima de su umbral de percepción en vino de 47 µg/L, lo cual no es positivo ya que este compuesto se considera un defecto en el vino por sus olores a cuero y farmacia (Tabla 1). Todos los vinos estudiados por estos autores [52] mostraron altos contenidos de este compuesto, incluso mayores a los observados con la madera de cerezo, como es el caso de los vinos envejecidos con *Q. petraea* (2900 µg/L). El contenido de eugenol y de vainillina al igual que en el vino rosado era menor cuando se envejece el vino durante 9 y 12 meses en cerezo que cuando se envejece con maderas tradicionales. Rosso et al. 2009 [52] no encontraron compuestos furánicos en los vinos envejecidos con cerezo. En el estudio de 12 meses en barrica de cerezo [52] se podría destacar las concentraciones de siringaldehído en el vino como compuesto mayoritario y además por presentar las mayores concentraciones frente al resto de los vinos envejecidos con las otras especies de madera estudiadas. Los vinos envejecidos 12 meses en barrica de cerezo presentaron los contenidos más bajos de fenoles volátiles de los vinos envejecidos con maderas alternativas no *Quercus*.

En el análisis sensorial [52], los vinos envejecidos con cerezo presentaron un perfil aromático con notas tostadas, ahumadas y especiadas. Además, a partir de este análisis sensorial se observó que los vinos envejecidos con las barricas de cerezo durante más de 6 meses eran los que peores puntuaciones presentaban, por lo que esta madera era más adecuada en tiempos cortos de envejecimiento.

### ***Fraxinus excelsior* y *Fraxinus americana***

Solo se ha encontrado un trabajo donde el fresno haya sido utilizado durante el envejecimiento con vinos y se haya analizado la composición volátil [54]. Este estudio evalúa un vino tinto envejecido en barrica de 225 L de fresno en concreto la europea *Fraxinus excelsior* durante 12 meses. El vino envejecido con esta madera presentó mayores contenidos de fenoles volátiles que el mismo vino envejecido con *Q. petraea*,

excepto el eugenol que fue mayor en este último. Las lactonas no se encontraron en los vinos envejecidos con estas maderas como era de esperar tras observar los estudios realizados de esta madera. Los contenidos de vainillina y la acetovainillona encontrados en los vinos envejecidos con fresno fueron mayores a los vinos envejecidos con el resto de maderas. Las concentraciones de vainillina en los vinos de fresno fueron de 696 µg/L, 200 µg/L por encima del vino con roble francés (408 µg/L) y de acetovainillona de 111 µg/L, 40 µg/L por encima de la concentración del vino con roble francés (62,4 µg/L). Los aromas que aporta al vino esta especie alternativa son balsámicos y tostados, a pesar de predominar la vainillina no es uno de los aromas principales que se nota en el análisis sensorial de los vinos envejecidos con esta madera.

### ***Morus alba***

La madera de morera *Morus alba* ha sido estudiada en el artículo realizado por el autor Rosso et al. 2009 [52]. La madera de morera no ha sido estudiada en ningún artículo de la Tabla 2. La madera ha sido tratada con un tostado ligero y el envejecimiento del vino tinto ha durado 9 meses en barrica de 225L.

No aparecen los compuestos furánicos en la composición volátil del vino. En los vinos encontramos altas concentraciones de 4-etilguaiacol, pero menores a los encontrados en los otros vinos. El contenido en los vinos de vainillina fue de 80 µg/L y de eugenol de 6 µg/L, valores mucho menores que los encontrados en los vinos tratados con *Q. petraea*. Además, observaron que los vinos envejecidos en barricas de morera mostraban una disminución significativa de notas frutales como ester de etilo y otros compuestos, y cedían al vino compuestos considerados defectos por el aroma que aportan como el etilfenol.

## **7. Conclusiones**

Finalmente, se concluyó esta revisión bibliográfica haciendo un análisis de los resultados obtenidos en la comparación y recopilación de datos adquiridos de la revisión de los artículos elegidos para la realización de este trabajo, además de confirmar la resolución de los objetivos marcados en el punto 3 del trabajo.

La composición volátil de las maderas alternativas de *Quercus* frente a la de las maderas tradicionales únicamente difiere cuantitativamente, ya que se han encontrado los mismos compuestos. Además, las características aromáticas en vino envejecido con las especies del género *Quercus* fueron muy similares a las encontradas en los análisis de madera.

La madera de *Q. pyrenaica* en composición volátil puede considerarse similar a las maderas tradicionales y probablemente sea muy interesante por los aportes de notas a coco, especias, clavo, caramelo a almendras y clavo por el mayor contenido que suelen presentar en *Cis* whiskylactona, eugenol, 4-vinilguaiacol y compuestos furánicos. Estos resultados también han sido confirmados en los estudios realizados en vinos envejecidos en barricas y con trozos de madera, observándose que los vinos obtenidos con *Q. pyrenaica* tenían igual o mayor contenido de estos compuestos que los vinos obtenidos con maderas de roble tradicionales.

La composición volátil de la madera *Q. faginea* y de los vinos envejecidos con ella ha sido muy poco estudiada, pero parece ser cualitativamente igual a las tradicionales y con bastantes similitudes cuantitativas y su cesión al vino similar a las maderas tradicionales. Sin embargo, los vinos envejecidos con *Q. faginea* fueron los peor evaluados desde el punto de vista sensorial por lo que parece carecer de interés tonelero.

La madera de *Q. humboldtii* fue una madera con una mayor concentración de fenoles volátiles, pobre en compuestos furánicos (con la excepción del 5-metilfurfural) y lactonas, en cuanto a la vainillina se asemeja mucho a las concentraciones de los robles tradicionales en especial al americano. Los vinos envejecidos con esta madera corroboraron los resultados de la madera presentando altos contenidos en 5-MF, guaiacol, isoeugenol y siringol, y contenidos menores de 5-HMF, *cis* y *trans* whiskylactonas y vainillina.

Las especies arbóreas no *Quercus* alternativas castaño, acacia, fresno, cerezo y morera se pudo hacer una descripción conjunta de sus compuestos aromáticos ya que son parecidos. Son maderas muy ricas en fenoles volátiles, menos el cerezo, y una característica importante es la ausencia de lactonas en el análisis de la madera (exceptuando la madera de castaño). Por otro lado, también observamos como la acacia y el freno son muy ricas en aldehídos volátiles como son la vainillina, el siringaldehído y el sinapaldehído, especialmente la madera de fresno y en ambas especies descritas (fresno europeo y americano). Otra característica que destacar es la fuerte presencia de furfural en la madera de castaño y acacia que superó las concentraciones de los robles tradicionales. La madera con una composición volátil más pobre es la madera de cerezo.

Los vinos envejecidos en madera de acacia y castaño daban más aromas de madera y especiados, como el clavo, humo y vainilla.

Los vinos envejecidos en barricas de morera parecen no presentar aromáticamente buenos resultados. Las maderas no *Quercus* tienen y por lo tanto aportan otros compuestos aromáticos diferentes a los robles y muy característicos de cada especie, pero no han sido incluidos en este trabajo.

## 8. Bibliografía

- 1) Boidron, Jean-Noël, Pascal Chatonnet, and Monique Pons. 1988. "Influence Du Bois Sur Certaines Substances Odorantes Des Vins." *OENO One* 22(4).
- 2) SEFTON, M., I. FRANCIS, K. POCOCK, and P. WILLIAMS. 1993. "The Influence of Natural Seasoning on the Concentrations of Eugenol, Vanillin, and Cis- and Trans- $\beta$ -Methyl- $\gamma$ -Octalactone Extracted from French and American Oakwood." *Sciences Des Aliments* 13(4).
- 3) Jackson, R.S. 1994. "Wine science: Principles and applications". In *Oak and cooperage*; Academic Press: New York, NY 299-311.
- 4) Cadahía, Estrella, and Laura Mun. 2001. "Cadahía, E., Muñoz, L., Fernández de Simón, B. Ir García-Vallejo, MC. (2001). Changes in Low Molecular Weight Phenolic Compounds in Spanish, French, and American Oak Woods during Natural Seasoning and Toasting. *Journal of Agricultural and Food C.*": 33–36.
- 5) Garde-Cerdán, Teresa, and Carmen Ancín-Azpilicueta. 2006. "Review of Quality Factors on Wine Ageing in Oak Barrels." *Trends in Food Science and Technology* 17(8): 438–47.
- 6) Martínez-Gil, Ana, Maria del Alamo-Sanza, Rosario Sánchez-Gómez, and Ignacio Nevares. 2018. "Different Woods in Cooperage for Oenology: A Review." *Beverages* 4(4): 94.
- 7) De Simón, Brígida Fernández et al. 2009. "Volatile Compounds in Acacia, Chestnut, Cherry, Ash, and Oak Woods, with a View to Their Use in Cooperage." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(8): 3217–27.

- 8) Cadahía Fernández, Estrella. 2004a. Utilización de roble español en el envejecimiento de vinos: comparación con roble francés y americano. ed. Brígida. Fernández de Simón. Madrid: INIA - Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. book.
- 9) Chira, Kleopatra, and Pierre Louis Teissedre. 2015. "Chemical and Sensory Evaluation of Wine Matured in Oak Barrel: Effect of Oak Species Involved and Toasting Process." *European Food Research and Technology* 240(3).
- 10) Cadahía, Estrella et al. 2009. "Chemical and Chromatic Characteristics of Tempranillo, Cabernet Sauvignon and Merlot Wines from DO Navarra Aged in Spanish and French Oak Barrels." *Food Chemistry* 115(2).
- 11) Díaz-Maroto, M. Consuelo et al. 2008. "Aroma-Active Compounds of American, French, Hungarian and Russian Oak Woods, Studied by GC-MS and GC-O." *Flavour and Fragrance Journal* 23(2).
- 12) Guchu, E. et al. 2006. "Volatile Composition and Sensory Characteristics of Chardonnay Wines Treated with American and Hungarian Oak Chips." *Food Chemistry* 99(2).
- 13) Mosedale, Jonathan R, and Andrew Ford. 1996. "Variation of the Flavour and Extractives of European Oak Wood from Two French Forests." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 70(3).
- 14) Prida, Andrei, and Jean Louis Puech. 2006. "Influence of Geographical Origin and Botanical Species on the Content of Extractives in American, French, and East European Oak Woods." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(21).
- 15) Fernández de Simón, Brígida et al. 2003. "Phenolic Compounds in a Spanish Red Wine Aged in Barrels Made of Spanish, French and American Oak Wood." *European Food Research and Technology* 216(2).
- 16) SINGLETON, VERNON L. 1974. "Some Aspects of the Wooden Container as a Factor in Wine Maturation."
- 17) Vivas, Nicolas, and José Antonio (traductor) Hueso Oñate. 2005. *Manual de tonelería: destinado a usuarios de toneles*. Madrid: Mundi Prensa. book.
- 18) Sanz, Miriam et al. 2012. "Polyphenolic Profile as a Useful Tool to Identify the Wood Used in Wine Aging." *Analytica Chimica Acta* 732.
- 19) Martínez-Gil, Ana, María del Alamo-Sanza, Rosario Sánchez-Gómez, and Ignacio Nevares. 2020. "Alternative Woods in Enology: Characterization of Tannin and Low Molecular Weight Phenol Compounds with Respect to Traditional Oak Woods. A Review." *Molecules* 25(6).
- 20) Chatonnet, P., and D. Dubourdieu. 1998. "Comparative Study of the Characteristics of American White Oak (*Quercus Alba*) and European Oak (*Quercus Petraea* and *Q. Robur*) for Production of Barrels Used in Barrel Aging of Wines." *American Journal of Enology and Viticulture* 49(1).
- 21) Fernández De Simón, Brígida, Estrella Cadahía, and Jerzy Jalocho. 2003. "Volatile Compounds in a Spanish Red Wine Aged in Barrels Made of Spanish, French, and American Oak Wood." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(26): 7671–78.
- 22) Canas, S., M. C. Leandro, M. I. Spranger, and A. P. Belchior. 2000. "Influence of Botanical Species and Geographical Origin on the Content of Low Molecular Weight Phenolic Compounds of Woods Used in Portuguese Cooperage." *Holzforschung*

- 54(3).
- 23) Cerdán, Teresa Garde, Sara Rodríguez Mozaz, and Carmen Ancín Azpilicueta. 2002. "Volatile Composition of Aged Wine in Used Barrels of French Oak and of American Oak." *Food Research International* 35(7): 603–10.
  - 24) Mosedale, J. R., J. L. Puech, and F. Feuillat. 1999. "The Influence on Wine Flavor of the Oak Species and Natural Variation of Heartwood Components." In *American Journal of Enology and Viticulture*.
  - 25) Doussot, Franck, Bernard De Jéso, Stéphane Quideau, and Patrick Pardon. 2002. "Extractives Content in Cooperage Oak Wood during Natural Seasoning and Toasting; Influence of Tree Species, Geographic Location, and Single-Tree Effects." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(21).
  - 26) Díaz-Plaza, Eva María et al. 2002. "Influence of Oak Wood on the Aromatic Composition and Quality of Wines with Different Tannin Contents." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(9).
  - 27) Reazin, G.H. 1981. "Chemical Mechanisms of Whiskey Maturation." *American Journal of Enology and Viticulture* 32(4).
  - 28) Garde-Cerdán, Teresa, and Carmen Ancín-Azpilicueta. 2006. "Review of Quality Factors on Wine Ageing in Oak Barrels." *Trends in Food Science and Technology* 17(8): 438–47.
  - 29) Brown, Rachel C., Mark A. Sefton, Dennis K. Taylor, and Gordon M. Else. 2006. "An Odour Detection Threshold Determination of All Four Possible Stereoisomers of Oak Lactone in a White and a Red Wine." *Australian Journal of Grape and Wine Research* 12(2).
  - 30) Culleré, Laura, Ana Escudero, Juan Cacho, and Vicente Ferreira. 2004. "Gas Chromatography-Olfactometry and Chemical Quantitative Study of the Aroma of Six Premium Quality Spanish Aged Red Wines." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52(6).
  - 31) López, Ricardo, Margarita Aznar, Juan Cacho, and Vicente Ferreira. 2002. "Determination of Minor and Trace Volatile Compounds in Wine by Solid-Phase Extraction and Gas Chromatography with Mass Spectrometric Detection." *Journal of Chromatography A* 966(1–2).
  - 32) Chatonnet, P.; Boidron, J.N.; Pons, M. 1990. "Maturation of red wines in oak barrels: evolution of some volatile compounds and their aromatic impact". *Sci. Aliments* 10 (3) (565-587).
  - 33) Kennison, Kristen R. et al. 2007. "Smoke-Derived Taint in Wine: Effect of Postharvest Smoke Exposure of Grapes on the Chemical Composition and Sensory Characteristics of Wine." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55(26).
  - 34) Ferreira, Vicente, and Juan Cacho. 2009. "Identification of Impact Odorants of Wines." In *Wine Chemistry and Biochemistry*.
  - 35) Cadahía Fernández, Estrella. 2004a. Utilización de roble español en el envejecimiento de vinos: comparación con roble francés y americano. ed. Brígida. Fernández de Simón. Madrid: INIA - Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Book.
  - 36) Cadahía Fernández, Estrella. 2008. Utilización de "Quercus pyrenaica" Willd. de Castilla y León en el envejecimiento de vinos: comparación con roble francés y americano. ed. Estrella Cadahía Fernández. Madrid: Instituto Nacional de

Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. book.

- 37) Fernández De Simón, Brígida et al. 2014. "Nontargeted GC-MS Approach for Volatile Profile of Toasting in Cherry, Chestnut, False Acacia, and Ash Wood." *Journal of Mass Spectrometry* 49(5): 353–70.
- 38) Cadahía, Estrella, Brígida Fernández de Simón, and Jerzy Jalocha. 2003. "Volatile Compounds in Spanish, French, and American Oak Woods after Natural Seasoning and Toasting." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(20): 5923–32.
- 39) Spillman, Philip J., Mark A. Sefton, and Richard Gawel. 2004. "The Effect of Oak Wood Source, Location of Seasoning and Coopering on the Composition of Volatile Compounds in Oak-Matured Wines." *Australian Journal of Grape and Wine Research* 10(3).
- 40) Fernández de Simón, B., E. Cadahía, M. del Álamo, and I. Nevares. 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): 211–20.
- 41) Fernández De Simón, Brígida, Iria Muiño, and Estrella Cadahía. 2010. "Characterization of Volatile Constituents in Commercial Oak Wood Chips." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58(17): 9587–96.
- 42) Jordao, Antonio Manuel, Jorge M. Ricardo-da-Silva, and Olga Laureano. 2005. "Comparison of Volatile Composition of Cooperage Oak Wood of Different Origins (*Quercus Pyrenaica* vs. *Quercus Alba* and *Quercus Petraea*)." *Mitteilungen Klosterneuburg* 55(May 2014): 22–31.
- 43) De Simón, Brígida Fernández et al. 2010. "Volatile Composition of Toasted Oak Chips and Staves and of Red Wine Aged with Them." *American Journal of Enology and Viticulture* 61(2): 157–65.
- 44) Caldeira, Ilda, M. C. Clímaco, R. Bruno De Sousa, and A. P. Belchior. 2006. "Volatile Composition of Oak and Chestnut Woods Used in Brandy Ageing: Modification Induced by Heat Treatment." *Journal of Food Engineering* 76(2): 202–11.
- 45) OIV. 2005. "RESOLUCIÓN 4/2005 OENO - Castaño.": 4–6.
- 46) Culleré, Laura et al. 2013. "Characterization by Gas Chromatography-Olfactometry of the Most Odor-Active Compounds in Extracts Prepared from Acacia, Chestnut, Cherry, Ash and Oak Woods." *LWT - Food Science and Technology* 53(1): 240–48.
- 47) Martínez-Gil, Ana et al. 2019. "Phenolic and Volatile Compounds in *Quercus Humboldtii* Bonpl. Wood: Effect of Toasting with Respect to Oaks Traditionally Used in Cooperage." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 99(1).
- 48) Rodríguez-Bencomo, Juan José, Miriam Ortega-Heras, Silvia Pérez-MAGARIÑO, and Carlos González-Huerta. 2009. "Volatile Compounds of Red Wines Macerated with Spanish, American, and French Oak Chips." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(14): 6383–91.
- 49) De Simón, Brígida Fernández et al. 2008. "Volatile Compounds and Sensorial Characterization of Wines from Four Spanish Denominations of Origin, Aged in Spanish Rebollo (*Quercus Pyrenaica* Willd.) Oak Wood Barrels." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56(19): 9046–55.
- 50) Fernández De Simón, Brígida, Estrella Cadahía, Teresa Hernández, and Isabel Estrella. 2006. "Evolution of Oak-Related Volatile Compounds in a Spanish Red Wine during 2 Years Bottled, after Aging in Barrels Made of Spanish, French and

- American Oak Wood.” *Analytica Chimica Acta* 563(1-2 SPEC. ISS.): 198–203.
- 51) Martínez-Gil, Ana M. et al. 2018. “Volatile Composition and Sensory Characteristics of Carménère Wines Macerating with Colombian (*Quercus Humboldtii*) Oak Chips Compared to Wines Macerated with American (*Q. Alba*) and European (*Q. Petraea*) Oak Chips.” *Food Chemistry* 266(May): 90–100.
  - 52) Rosso, Mirko De et al. 2009. “Changes in Chemical Composition of a Red Wine Aged in Acacia, Cherry, Chestnut, Mulberry, and Oak Wood Barrels.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(5): 1915–20.
  - 53) Alañón, M. E. et al. 2013. “Enological Potential of Chestnut Wood for Aging Tempranillo Wines Part I: Volatile Compounds and Sensorial Properties.” *Food Research International* 51(1): 325–34.
  - 54) Fernández De Simón, B. et al. 2014. “Volatile Compounds and Sensorial Characterisation of Red Wine Aged in Cherry, Chestnut, False Acacia, Ash and Oak Wood Barrels.” *Food Chemistry* 147: 346–56.
  - 55) Alañón, M. Elena et al. 2018. “Fingerprints of Acacia Aging Treatments by Barrels or Chips Based on Volatile Profile, Sensorial Properties, and Multivariate Analysis.” *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98(15): 5795–5806.
  - 56) Santos, Filipa et al. 2019. “Acacia, Cherry and Oak Wood Chips Used for a Short Aging Period of Rosé Wines: Effects on General Phenolic Parameters, Volatile Composition and Sensory Profile.” *Journal of the Science of Food and Agriculture* 99(7): 3588–3603.
  - 57) Kozlovic, Gianfranco et al. 2010. “Use of Acacia Barrique Barrels - Influence on the Quality of Malvazija from Istria Wines.” *Food Chemistry* 120(3): 698–702.
  - 58) Arfelli, G. et al. 2007. “Impact of Wooden Barrel Storage on the Volatile Composition and Sensorial Profile of Red Wine.” *Food Science and Technology International* 13(4): 293–99.
  - 59) Cooper, Danielle, Lorna Doucet, and Michael Pratt. 2007. “Understanding in Multinational Organizations.” *Journal of Organizational Behavior* 28(3): 303–25.
  - 60) Ferreira, Vicente, Laura Culleré, Ricardo López, and Juan Cacho. 2004. “Determination of Important Odor-Active Aldehydes of Wine through Gas Chromatography-Mass Spectrometry of Their O-(2,3,4,5,6-Pentafluorobenzyl) Oximes Formed Directly in the Solid Phase Extraction Cartridge Used for Selective Isolation.” *Journal of Chromatography A* 1028(2).
  - 61) Chatonnet, Pascal, Jean-Noël Boidron, and Monique Pons. 1989. “Incidence Du Traitement Thermique Du Bois de Chêne Sur Sa Composition Chimique. 2e Partie: Évolution de Certains Composés En Fonction de l’intensité de Brûlage.” *OENO One* 23(4).
  - 62) Chatonnet, Pascal, Jean-Noël Boidron, and Monique Pons. 1989. “Incidence Du Traitement Thermique Du Bois de Chêne Sur Sa Composition Chimique. 2e Partie: Évolution de Certains Composés En Fonction de l’intensité de Brûlage.” *OENO One* 23(4).

## ANEXO I

µg/g madera		Fenoles Volátiles					Compuestos Furánicos			Lactonas		Aldehídos Fenólicos			
TOSTADO	ESPECIES	Guaiacol	4-MG	Siringol	4-EG	Eugenol	Furfural	5-MF	5-HMF	Trans WL	Cis WL	Vainillina	AV	SGA	SPA
L <sub>1</sub>	<i>Q. pyrenaica</i> [40]	0,68	0,61	1,47	-	6,61	585	48,6	196,0	4,16	33,6	29,4	1,45	101	291
L <sub>2</sub>	<i>Prunus avium</i> [37]	0,91	0,62	2,13	-	0,74	88	14,0	41,5	-	-	45,0	1,52	115	210
	<i>Castanea sativa</i> [37]	0,46	2,64	1,41	-	3,23	431	29,0	66,7	-	-	71,5	1,66	114	498
	<i>Robinia pseudoacacia</i> [37]	0,52	0,24	1,26	-	0,40	21	7,5	6,7	-	-	19,2	1,02	57	174
	<i>Fraxinus excelsior</i> [37]	6,46	3,65	7,45	-	1,58	26	15,2	51,0	-	-	76,1	4,23	98	330
	<i>Fraxinus americana</i> [37]	6,47	3,66	7,47	-	1,59	26	15,3	51,1	-	-	76,3	4,24	98	331
L	<i>Q. pyrenaica</i> [41]	0,44	0,47	1,32	-	5,10	368	43,4	198,0	8,18	46,80	28,3	1,50	83	231
	Roble Francés [41]	0,34	1,00	1,37	-	1,17	78	16,5	37,2	11,50	11,40	120,0	3,34	196	385
	Roble Americano [41]	0,42	0,70	1,30	-	1,63	41	6,7	14,6	3,35	24,90	27,4	0,91	57	49
Mezcla	<i>Q. pyrenaica</i> [44]	1,12	-	1,20	-	2,14	108	12,3	21,0	9,12	9,73**	18,4	1,33	-	-
	<i>Castanea sativa</i> [44]	0,38	-	0,53	-	0,71	86	11,0	16,6	0,66	0,88**	2,9	1,28	-	-
	<i>Q. robur</i> [44]	0,09	-	0	-	1,01	84	14,1	23,1	5,63	17,99**	1,2	0	-	-
	<i>Q. petraea</i> [44]	1,19	-	0,36	-	1,17	93	10,7	13,2	1,60	4,50**	8,3	0,44	-	-
	<i>Q. alba, stellata, bicolor y lyrata</i> [44]	1,48	-	0	-	4,48	93	15,4	13,6	4,26	46,59**	5,8	0,91	-	-
M <sub>1</sub>	<i>Q. pyrenaica</i> [42]	2,50	2,50	-	-	1,40	2670	465,0	5078,3	7,00	3,60	10,5	-	88	-
	<i>Q. petraea</i> [42]	3,40	1,60	-	-	1,70	773	199,0	1722,3	11,30	14,10	8,3	-	60	-
	<i>Q. alba</i> [42]	3,70	2,60	-	-	6,20	358	91,0	1678,3	7,40	26,50	7,7	-	24	-
M <sub>2</sub>	<i>Q. pyrenaica</i> *[38]	0,35	1,48	2,63	0,25	1,86	170	30,1	55,7	3,35	13,80	210,0	4,61	280	349
	<i>Q. faginea</i> *[38]	0,36	1,46	2,58	0,28	2,35	96	30,1	57,5	1,08	3,25	258,0	5,27	243	147
	<i>Q. robur</i> *[38]	0,17- 0,53	0,90- 1,03	1,22- 2,95	0,17- 0,23	1,01- 1,37	103- 340	18,5- 80,9	40,9- 112,0	0,25- 4,11	0,25- 4,98	130,0- 172,0	3,02- 3,90	162- 216	116- 233
	<i>Q. petraea</i> *[38]	0,17- 0,41	0,78- 2,12	1,25- 3,28	0,15- 0,57	0,85- 3,27	59- 186	26,3- 30,2	43,8- 51,7	0,10- 14,90	0,30- 19,80	119- 370,0	2,67- 7,88	160- 452	123- 704
	<i>Q. alba</i> *[38]	1,22	1,52	2,39	0,48	5,29	346	85,0	103,0	4,36	44,10	39,7	4,17	102	200

M <sub>3</sub>	<b>Q. pyrenaica</b> [7]	3,98	7,17	6,90	0,40	2,12	494	56,3	28,9	9,77	30,00	114,0	9,54	250	439
	<b>Prunus avium</b> [7]	1,71	1,92	4,96	0,43	1,50	23	31,3	47,6	-	-	68,3	9,44	455	804
	<b>Castanea sativa</b> [7]	5,13	6,88	12,90	0,78	2,13	1505	75,9	103,0	-	-	142,0	17,80	311	491
	<b>Robinia pseudoacacia</b> [7]	5,36	1,51	20,60	0,55	2,36	804	94,2	113,0	-	-	77,1	10,80	272	912
	<b>Fraxinus excelsior</b> [7]	5,97	2,31	19,80	0,29	2,18	59	10,5	59,9	-	-	119,0	13,20	334	965
	<b>Fraxinus americana</b> [7]	14,07	2,63	21,30	0,43	3,21	82	20,1	90,3	-	-	162,0	18,80	311	719
	<i>Q. petraea</i> [7]	2,41	7,23	5,76	0,35	1,83	430	35,1	22,9	14,60	21,10	117,0	9,05	221	263
	<i>Q. alba</i> [7]	4,89	5,87	9,65	0,37	1,29	395	38,3	21,1	3,36	31,80	102,0	8,98	226	239
	<b>Prunus avium</b> (%Fr)[46]	51	35	-	39	29	-	-	-	-	0	57	-	-	-
	<b>Castanea sativa</b> (%Fr)[46]	61	33	-	0	25	-	-	-	-	59	64	-	-	-
	<b>Robinia pseudoacacia</b> (%Fr)[46]	82	0	-	45	59	-	-	-	-	0	58	-	-	-
	<b>Fraxinus excelsior y americana</b> (%Fr)[46]	75	0	-	37	0	-	-	-	-	0	58	-	-	-
	<i>Q. petraea y robur</i> (%Fr)[46]	85	0	-	0	39	-	-	-	22	76	-	-	-	-
	<i>Q. alba</i> (%Fr)[46]	82	0	-	0	51	-	-	-	35	71	85	-	-	-
	<b>Prunus avium</b> [37]	1,56	1,86	4,98	-	1,45	175	29,4	45,8	-	-	91,7	8,61	535	897
	<b>Castanea sativa</b> [37]	5,30	7,20	13,60	-	2,28	1675	75,8	103,0	-	-	143,0	17,70	311	495
	<b>Robinia pseudoacacia</b> [37]	6,050	1,74	20,90	-	2,23	714	91,3	93,8	-	-	106,0	9,59	420	1120
	<b>Fraxinus excelsior</b> [37]	11,90	3,39	23,00	-	3,00	64	14,9	58,9	-	-	160,0	14,60	376	980
	<b>Fraxinus americana</b> [37]	13,30	2,61	23,60	-	3,08	62	17,1	81,9	-	-	187,0	17,40	351	744
M <sub>4</sub>	<b>Q. pyrenaica</b> [40]	0,59	0,54	1,43	-	3,79	1133	165,0	400,0	3,42	23,30	42,9	2,78	147	1027
M <sub>5</sub>	<b>Q. pyrenaica*</b> [43]	2,68	2,43	4,14	0,17	6,75	1636	193,0	182,0	8,27	32,40	39,5	2,16	79	231
	<i>Q. petraea*</i> [43]	2,25	3,76	5,10	0,28	2,25	963	148,0	100,0	0,01	0,05	53,1	3,63	102	214
	<i>Q. alba*</i> [43]	4,20	2,07	7,12	0,23	4,19	1539	237,0	122,0	3,29	32,00	41,9	2,30	86	166
M	<b>Q. pyrenaica</b> [41]	1,28	1,58	3,36	-	5,00	91	135,0	322,0	11,20	46,80	54,4	3,44	135	509
	Roble Francés [41]	1,67	4,37	7,29	-	1,37	359	25,1	44,2	9,65	12,10	172,0	12,20	443	781
	Roble Americano [41]	2,69	2,98	8,36	-	2,48	681	95,2	74,5	6,63	31,10	120,0	7,22	343	902
M <sub>1+</sub>	<b>Q. humboldtii</b> [47]	3,74	-	10,14	0,61	3,34	533	45,4	463,4	0,06	0,30	22,4	2,29	-	-
	<i>Q. petraea</i> [47]	0,40	-	1,43	0,14	1,60	924	27,7	579,0	2,05	12,65	22,5	1,44	-	-

	<i>Q. alba</i> [47]	0,93	-	3,39	0,26	2,07	1363	16,9	804,3	3,47	27,10	57,0	4,33	-	-
<b>M+</b>	<b><i>Quercus pyrenaica</i></b> [41]	2,64	2,57	10,90	-	6,05	1140	169,0	494,0	19,60	75,70	80,3	8,88	206	646
	Roble Francés [41]	2,26	3,59	8,11	-	1,69	301	37,8	54,3	6,11	6,12	145,0	9,28	731	833
	Roble Americano [41]	4,13	4,55	12,30	-	2,69	825	70,8	65,5	6,58	17,30	143,0	10,30	768	490
<b>F<sub>1</sub></b>	<b><i>Q. pyrenaica</i></b> [40]	1,04	1,46	2,68	-	5,83	1415	185,0	275,0	8,74	91,90	54,9	4,77	184	1173
<b>F<sub>2</sub></b>	<b><i>Q. pyrenaica</i></b> *[42]	1,60	0,80	-	-	0,50	2155	173,0	2976,8	5,00	2,90	22,0	-	89	-
	<i>Q. petraea</i> *[42]	1,70	0,60	-	-	1,60	118	243,5	654,2	11,50	7,40	3,0	-	118	-
	<i>Q. alba</i> *[42]	3,30	2,80	-	-	5,10	354	169,6	781,9	7,40	23,60	7,5	-	2	-
<b>F</b>	<b><i>Q. pyrenaica</i></b> [41]	3,05	3,01	9,83	-	4,43	1126	130,0	494,0	8,65	52,20	73,2	8,20	241	1011
	Roble Francés [41]	1,65	3,45	11,10	-	0,90	170	25,1	44,2	4,43	7,59	262,0	14,70	721	803
	Roble Americano [41]	2,09	1,62	16,30	-	0,95	61	10,8	30,2	2,78	14,60	244,0	13,70	768	490

**Tabla 2.** Composición volátil de las diferentes especies de maderas utilizadas para el envejecimiento de vinos con diversas intensidades de tostado.

**Leyenda:** Todas las maderas tienen un secado de 24 meses natural a excepción de las marcadas con un \* que tienen un secado de 36 meses natural, \*\* el 4-metilguaiacol ha sido analizado junto a la *Cis* whiskylactona. Tostados: L (Ligero), M (Medio), M+ (Medio plus) y F (Fuerte). L<sub>1</sub> (Ligero 190°C por 10 min) y L<sub>2</sub> (Ligero 165°C por 35 min). M<sub>1</sub> (Medio 160-170 °C por 20 min), M<sub>2</sub> (Medio 160-170°C por 35 min), M<sub>3</sub> (Medio 185°C por 45 min), M<sub>4</sub> (Medio 200°C por 15 min) y M<sub>5</sub> (Medio 200°C por 35 min). M+<sub>1</sub> (Medio + Rampa de T<sup>a</sup> hasta 200°C of 140 min). F<sub>1</sub> (Fuerte 210°C por 20 min), F<sub>2</sub> (Fuerte 250-260°C por 27 min). Mezcla (Mezcla de tostados valores medios de varios tipos de tostados de Ligero a Alto). Expresado en % de Frecuencia [46] tostado M<sub>3</sub>. Abreviaturas: 4-metilguaiacol (4-MG), 4-etilguaiacol (4-EG), 5-metilfurfural (5-MF), 5-hidroximetilfurfural (5-HMF), *trans*-whiskylactonas (*Trans*-WL) y *cis*-whiskylactonas (*Cis*-WL), acetovainillona (AV), siringaldehído (SGA) y sinapaldehído (SPA).

µg/ L Vino					Fenoles Volátiles					Compuestos Furánicos			Lactonas		Aldehídos Fenólicos				
TOSTADO	DOSIS	TIEMPO	VINO	ESPECIES	Guaiacol	4-MG	Siringol	4-EG	Eugenol	Furfural	5-MF	5-HMF	Trans WL	Cis WL	Vainillina	AV	SGA	SPA	
ASTILLAS	L <sub>A1</sub>	S225L	120 días	Tinto	<i>Q. pyrenaica</i> [40]	6,9	5,1	28,9	0,21	23,9	61	66,1	683	74,2	363,0	120,0	-	61	-
	L <sub>A2</sub>	4 g/L	28 días	Blanco	<i>Robinia pseudoacacia</i> [55]	0,8	0,4	1,3	0,90	0,6	9	0,2	5	-	-	3,0	33,7	2	-
	M	4 g/L	60 días	Tinto	<i>Q. pyrenaica</i> [48]	12,0	-	-	0,17-0,36	8,0-8,2	1660-2722	464,0-758,0	-	13,0-124,0	31,0-92,0	246,0-364,0	42,0-48,0	694-959	-
					<i>Q. petraea</i> y <i>Q. robur</i> [48]	12,0	-	-	0,53	9,4	168	169,0	-	30,0	66,0	774,0	56,0	1449	-
					<i>Q. petraea</i> [48]	18,0	-	-	0,31	33,0	1848	1005,0	-	37,0	86,0	220,0	41,0	505	-
					<i>Quercus alba</i> [48]	18,0	-	-	0,87	14,0	90	179,0	-	27,0	188,0	988,0	82,0	2541	-
	M	1,5 g/L	20 días	Rosado	<i>Prunus avium</i> [56]	-	-	-	-	3	2233	413	-	nd	20	16,0	17,0	72	-
					<i>Robinia pseudoacacia</i> [56]	-	-	-	-	3	1557	400	-	nd	7	39,0	26,0	117	-
					<i>Q. petraea</i> [56]	-	-	-	-	5	1722	1439	-	13	29	722,0	74,0	860	-
					<i>Q. alba</i> [56]	-	-	-	-	5	2715	1919	-	nd	70	748,0	41,0	1110	-

DUELAS	M <sub>A1</sub>	S225L	120 días	Tinto	<b><i>Q. pyrenaica</i></b> [40]	8,2	10,2	35,4	0,44	19,1	120	100,0	659	79,5	396,0	293,0	-	203	-
	M <sub>A2</sub>	S225L	180 días	Tinto	<b><i>Q. pyrenaica</i></b> [43]	21,9	37,6	181,0	3,29	21,6	437	104,0	182	86,9	351,0	819,0	-	2393	-
					<i>Q. petraea</i> [43]	21,7	44,5	156,0	2,87	17,4	715	145,0	240	122,0	289,0	811,0	-	2530	-
					<i>Q. alba</i> [43]	27,3	38,3	201,0	2,79	19,7	374	89,4	173	67,2	229,0	797,0	-	2533	-
	M-F	3 g/L	90 días	Tinto	<b><i>Q. humboldtii</i></b> [51]	3,7	-	10,1	-	3,3	1150	23,4	1192	0,06	0,3	22,4	-	-	-
					<i>Q. petraea</i> [51]	0,4- 0,6	-	1,4- 1,9	-	1,6- 5,6	924- 1150	23,4- 27,7	579-1192	2,1- 19,5	12,7- 13,3	22,5- 23,2	-	-	-
					<i>Q. alba</i> [51]	0,9	-	3,4	-	2,1	1363	16,9	804	3,5	27,1	57,0	-	-	-
	F <sub>A1</sub>	S 225L	120 días	Tinto	<b><i>Q. pyrenaica</i></b> [40]	10,7	20,1	55,8	0,93	12,7	148	143,0	468	85,2	413,0	706,0	-	794	-
	L	S 225L	120 días	Tinto	<b><i>Q. pyrenaica</i></b> [40]	16,0	12,6	92,1	76,1	50,9	48	146,0	2491	73,1	662,0	225,0	-	523	-
	M	S 225L	120 días	Tinto	<b><i>Q. pyrenaica</i></b> [40]	23,6	22,3	78,1	45,1	45,2	136	622,0	4296	84,3	703,0	415,0	-	965	-
M <sub>D1</sub>	S225I	180 días	Tinto	<b><i>Q. pyrenaica</i></b> [43]	43,4	41,4	192,0	2,84	53,5	14262	2163	2485	99,1	588,0	740,0	-	1912	-	
				<i>Q. petraea</i> [43]	36,5	54,6	184,0	3,39	28,5	8981	2063	1846	12,2	25,7	938,0	-	2304	-	
				<i>Q. alba</i> [43]	44,3	33,7	184,0	2,68	35,9	13582	1802	16602	64,4	466,0	613,0	-	1716	-	

	F	S225L	120 días	Tinto	<b>Q. pyrenaica</b> [40]	33,1	32,9	146,0	31,4	37,5	232	473,0	4224	89,5	314,0	584,0	-	1456	-
BARRICAS	L	225L	9 meses	Tinto	<b>Prunus avium</b> [52]	-	-	-	2790,0	7,0	nd	nd	-	-	-	12,0	-	-	-
					<b>Castanea sativa</b> [52]	-	-	-	1840,0	26,0	70	40,0	-	-	-	430,0	-	-	-
					<b>Robinia pseudoacacia</b> [52]	-	-	-	3250,0	21,0	30	30,0	-	-	-	31,0	-	-	-
					<b>Morus alba</b> [52]	-	-	-	1840,0	6,0	nd	nd	-	-	-	80,0	-	-	-
					<i>Q. petraea</i> [52]	-	-	-	2900,0	18,0	600	320,0	-	-	-	360,0	-	-	-
	L <sub>B1</sub>		4 meses	Blanco	<b>Robinia pseudoacacia</b> [55]	0,8	0,3	1,5	0,7	0,6	9,2	0,1	0,8	-	-	1,2	34,6	1	-
	M <sub>B1</sub>	225L	12 meses	Tinto	<b>Q. pyrenaica</b> [49]	31,2- 76,1	16,5- 37,2	-	5,23- 45,3	84,2- 116,0	134- 3575	93,5- 2477,0	1704-3141	183,0- 231,0	718,0- 1096,0	342,0- 574,0	121,0- 223,0	553- 1748	-
					<i>Q. petraea</i> [49]	25,3- 40,2	17,2- 47,6	-	5,59- 105	22,7- 36,2	110- 1546	51,4- 652	986-1611	125,0- 305,0	396,0- 611,0	389,0- 854,0	102,0- 309,0	743- 2274	-
					<i>Q. alba</i> [49]	27,1- 54,6	15,6- 65,7	-	4,98- 77,1	50,4- 63,3	187- 5256	41,8- 1543,0	713-2723	141,0- 236,0	992,0- 1313,0	437,0- 806,0	128,0- 286,0	1378- 2274	-
	M <sub>B2</sub>	225L	6 meses	Tinto	<b>Castanea sativa</b> [53]	35,1	29,8	242,1	123,53	162,1	-	-	-	-	-	240,7	155,0	-	-
M <sub>B3</sub>	225L	12 meses	Tinto	<b>Castanea sativa</b> [58]	54,3	-	-	79,53	36,3	-	-	-	-	43,6	20,0	-	-	-	
				<i>Q. petraea</i> [58]	49,7	-	-	108,58	26,9	-	-	-	-	52,9	113,6	-	-	-	
				<i>Q. robur</i> [58]	53,0	-	-	89,95	28,3	-	-	-	-	99,9	99,1	-	-	-	
		225L	21 mes	Tinto	<b>Q. pyrenaica</b> [50, 21]	20,2	-	-	-	42,3	49	14,5	49	67,4	229	77,5	-	74,8	-

<b>M</b>			<b>Q. faginea</b> [50, 21]	22,4	-	-	-	40,9	44	12,8	26,4	103,0	352	74,0	-	64,2	-	
			<b>Q. petraea</b> [50, 21]	27,2- 23,9	-	-	-	48,0- 34,7	93-90	28,0- 26,4	49,1-75,4	150-28	347- 65,5	80,1- 91,2	-	135- 150	-	
			<b>Q. robur</b> [50, 21]	27,6- 23,2	-	-	-	54,1- 37,2	67-60	25,7- 12,6	55,6-19,7	185- 101	331- 407	84,0- 59,1	-	136- 71,9	-	
			<b>Q. alba</b> [50, 21]	42,5	-	-	-	88,6	124	95,7	85	91,9	788,0	145,0	-	168,0	-	
<b>M</b>	12 meses	Blanco	<b>Robinia pseudoacacia</b> [57]	31,4- 2,7	-	-	2,6- 0,7	8,0- 2,5	1236- 83	250,0- 4,3	-	0,3-0,2	0,5- 0,2	0,03- 0,02	-	0,29- 0,25	-	
			<b>Q. petraea</b> [57]	4,9- 9,2	-	-	0,6- 1,3	6,6- 4,4	1796- 740	173,3- 93,0	-	38,7- 0,5	42,7- 1,2	0,05- 0,02	-	0,12- 0,13	-	
<b>MB4</b>	225L	12 meses	Tinto	<b>Prunus avium</b> [54]	42,8	24,6	169,0	73,3	10,5	101	31,8	145	nd	nd	304,0	75,1	1877	-
				<b>Castanea sativa</b> [54]	59,3	51,5	153,0	49,1	118,0	509	241,0	689	21,3	31,2	456,0	92,4	1189	-
				<b>Robinia pseudoacacia</b> [54]	59,8	14,1	217,0	19,9	19,3	238	450,0	248	nd	nd	233,0	61,3	768	-
				<b>Fraxinus excelsior</b> [54]	75,1	34,8	198,0	91,5	12,8	66	57,8	339	nd	nd	696,0	111,0	1090	-
				<b>Q. petraea</b> [54]	43,8	31,5	178,0	24,2	101,0	40	842,0	703	99,4	577,0	408,0	62,4	1305	-

**Tabla 3.** Compuestos volátiles analizados en vino.

**Leyenda:** Abreviaturas: 4-metilguaiacol (4-MG), 4-etilaguaiacol (4-EG), 5-metilfurfural (4-MF) y 5-hidroximetilfurfural (5-HMF), *Trans* Whiskylactonas (*Trans*-WL) y *Cis* Whiskylactonas (*Cis*-WL), Acetovainillona (AV), Siringaldehído (SGA) y Sinapaldehído (SPA). S 225 L: es la dosis por superficie de una barrica de 225L. LA1 (Ligero 10 min a 190°C), LA2 (Ligero 60 min a 100 °C), MA1 (Medio 15min a 200°C), MA2 (35 min a 200 °C), FA1 (Fuerte 20 min a 210°C). Ligero (L), Medio (M) y Fuerte(F). MD1(Medio 35 min a 200°C). LB1 (Ligero 60 min a 100 °C), MB1 (35 min a 165 °C), MB2 (Medio 45–50 min a 160–170 °C), MB3 (Medio 10 min a 200°C), MB4 (Medio 45 min a 185 °C).