



# UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

## TESIS DOCTORAL

Título
<b>Estudio de técnicas de higienización mediante proyección de dióxido de carbono y renovación aromática mediante inserción de duelillas en barricas usadas</b>
Autor/es
<b>Francisco Javier Flor Montalvo</b>
Director/es
Julio Blanco Fernández y Emilio Jiménez Macías
Facultad
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Titulación
Departamento
Ingeniería Mecánica
Curso Académico



**Estudio de técnicas de higienización mediante proyección de dióxido de carbono y renovación aromática mediante inserción de duelillas en barricas usadas**, tesis doctoral de Francisco Javier Flor Montalvo, dirigida por Julio Blanco Fernández y Emilio Jiménez Macías (publicada por la Universidad de La Rioja), se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported.

Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.

- © El autor
- © Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones, 2018  
publicaciones.unirioja.es  
E-mail: publicaciones@unirioja.es



## **Tesis doctoral**

Doctorado en Innovación en Ingeniería de producto y procesos industriales

“ESTUDIO DE TÉCNICAS DE HIGIENIZACIÓN MEDIANTE PROYECCIÓN DE  
DIÓXIDO DE CARBONO Y RENOVACIÓN AROMÁTICA MEDIANTE  
INSERCIÓN DE DUELILLAS EN BARRICAS USADAS”

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

DIRECTORES DE LA TESIS: Julio Blanco Fernández

Emilio Jiménez Macías

DOCTORANDO: Francisco Javier Flor Montalvo

Logroño, Junio 2017

**TÍTULO:** Estudio de técnicas de higienización mediante proyección de dióxido de carbono y renovación aromática mediante inserción de duelillas en barricas usadas

**PROGRAMA:** Doctorado en Innovación en Ingeniería de producto y procesos industriales

**DOCTORANDO:** Francisco Javier Flor Montalvo

**DIRECTORES:** Emilio Jiménez Macías

Julio Blanco Fernández

*A Noelia y Gabriel,  
a mis padres y mi hermana*

## AGRADECIMIENTOS

El trabajo desarrollado a lo largo de estos años no hubiera dado fruto alguno sin las aportaciones de muchas personas y organizaciones que, con su dedicación, experiencia y esfuerzo, han colaborado de forma determinante a la consecución de esta tesis.

En primer lugar, deseo agradecer a mis directores de tesis, Dr. Emilio Jiménez Macías y Dr. Julio Blanco Fernández, la confianza que depositaron en mí al darme la oportunidad de desarrollar a su lado este trabajo.

Bajo su tutela y gracias a su apoyo, ayuda y paciencia, el camino ha sido mucho más corto y agradable.

Junto con ellos, resulta igualmente necesario reconocer la constante ayuda de la Dra. Mercedes Pérez de la Parte, y el Dr. Eduardo Martínez Cámara, cuya colaboración ha sido constante a lo largo del desarrollo, tratamiento y procesado de los datos obtenidos.

Deseo agradecer a la familia Echepare el permitirme investigar a través de sus empresas, Uniriver Ebro S.L., Quercus Manufacturas S.L. y Riveroak S.L. brindándome siempre el cariño y animándome a mejorar continuamente a lo largo de los años.

Resulta reseñable la labor desarrollada por FUNDACIÓN TECNALIA RESEARCH & INNOVATION y muy especialmente la de Eburne Elejalde, habiendo colaborado de forma intensa en la realización de las pruebas analíticas y habiéndome abierto las puertas de su organización para el progreso de esta investigación.

Son muchos otros los partícipes de esta tesis a los que debo agradecer su colaboración y para los que sin duda, guardaré un sitio especial en mi recuerdo.

Sin embargo, deseo especialmente agradecer el apoyo y el cariño de mi familia, sin el cual no habría sido fácil haber finalizado las investigaciones reflejadas en la presente tesis.

## Abstract

The current trend among wine consumers is moving increasingly toward the consumption of high quality and high value wines.

Those wines are usually characterized with intense color and a well-integrated fine wood bouquet.

In order to produce quality wines with these characteristics, the winemaker's only possible response is the use of oak barrels in the ageing of their wine or alternative systems with oak wood addition.

Classic alternatives for oak aging without barrels are oak staves into stainless-steel container or oak fragments into a mesh submerged in wine.

Frequently, those systems are used with micro-oxygenation technologies.

This study presents the results from integrating a system, setting staves into the barrel, to provide multiple hues and aromas derived from barrels, so that it is possible to reuse barrels and extend their useful life.

The research shows how the wine contained in these barrels undergoes the same process of ageing as it would in new barrels, but at a lower cost than that involved in replacing the barrels.

This is all carried out without compromising the high quality of the wines, while producing them at a competitive final price.

However, the penetration of microorganisms into the barrels over the years increases the risks of wine spoilage.

Currently the most widely used technique for barrel sanitation is the application of sulfur dioxide gas combined with physical treatments (pressured hot and cold water or steam treatments)

But sulfur dioxide gas for barrel sanitation has been forbidden by EU directives.

Therefore it is necessary to develop effective and economically viable cleanliness technologies so that the barrels may be reused.

We propose an alternative to traditional cleanliness methods, a new carbón spraying treatment that can be integrated into the cleaning line in the winery itself, giving the wine-making industry an adequate barrel maintenance system.

Finally, we will analyze the impact of classic aging with different oak barrels and with setting staves into the barrel system.

Although selection of technologies is different for each wine and for each winemaker, those studies give us the way to determinate which system for wine aging using oak Wood is more suitable for our wine.



## Resumen

La tendencia actual entre los consumidores de vino se está desplazando cada vez más hacia el consumo de vinos de alta calidad y valor añadido.

Estos vinos suelen caracterizarse por un color intenso y un toque de madera, fino y bien integrado.

Para producir vinos de calidad con estas características, la única herramienta disponible para el enólogo es el uso de barricas de roble para el envejecimiento del vino así como los sistemas alternativos mediante adición de madera de roble.

Las alternativas clásicas para el envejecimiento en roble sin barricas son la inserción de duelas de roble en depósitos de acero inoxidable o la introducción de fragmentos de roble en una malla sumergida en el vino.

Con frecuencia, estos sistemas se utilizan con tecnologías de micro-oxigenación.

Este estudio presenta los resultados de la integración de un sistema, colocando duelas en la barrica, para proporcionar múltiples tonos y aromas derivados, de manera que es posible reutilizar barricas y prolongar su vida útil.

La investigación muestra cómo el vino contenido en estas barricas sufre un proceso de envejecimiento similar al de las barricas nuevas, pero a un costo menor que el que implica la sustitución de las barricas.

Todo ello sin comprometer la alta calidad de los vinos, produciéndolos a un precio final competitivo.

Sin embargo, la penetración de microorganismos en los barriles a lo largo de los años incrementan el riesgo de deterioro del vino.

Actualmente la técnica más utilizada para su limpieza es la aplicación de dióxido de azufre gaseoso combinada con tratamientos físicos (agua a presión fría y caliente o tratamiento mediante vapor).

Pero el uso de dióxido de azufre para la limpieza de barricas ha sido prohibido por las directivas de la UE.

Por lo tanto, es necesario desarrollar tecnologías de limpieza efectivas y económicamente viables para que las barricas puedan ser reutilizadas.

Proponemos una alternativa a los métodos tradicionales de limpieza, un nuevo tratamiento de dióxido de carbono que se puede integrar en la línea de limpieza de la propia bodega, proporcionando a la industria vitivinícola un adecuado sistema de mantenimiento de barricas.

Finalmente, se analizará el impacto del envejecimiento clásico con diferentes barricas de roble y con adoquines en el sistema barril.

Aunque la selección de las tecnologías para vinificación es diferente para cada vino y para cada enólogo, los estudios desarrollados nos dan una herramienta para determinar qué sistema para el envejecimiento del vino con madera de roble es el más adecuado para nuestro vino.

## ÍNDICE

<b>1. Objeto y alcance de la tesis .....</b>	<b>18</b>
1.1 Objeto de la tesis .....	19
1.2 Alcance de la tesis .....	21
1.3 Estructura de la tesis .....	22
<b>2. Introducción.....</b>	<b>25</b>
2.1 LA SITUACIÓN VITIVINÍCOLA GLOBAL .....	26
2.1.1 La vitivinicultura a nivel mundial.....	26
2.1.2 Producción vinícola .....	31
2.1.3 Consumo de vino.....	33
2.1.4 Comercio mundial de vino.....	36
2.2 Situación del sector vitivinícola en España.....	39
2.2.1 Situación del viñedo .....	39
2.2.2 Producción vinícola en España .....	42
2.2.3 Estructura empresarial .....	44
2.2.4 Consumo interno.....	45
2.2.5 Exportaciones de vino .....	47
2.3 Situación del sector vitivinícola en La Rioja .....	49
2.4 Conclusiones.....	56
Referencias .....	57
<b>3. Proceso de elaboración del vino tinto .....</b>	<b>58</b>
3.1 Definición del vino tinto .....	59
3.2 La uva tinta. Composición y variedades .....	59
3.2.1 Variedades de Uva.....	60
3.3 Fases de la elaboración del vino tinto .....	67

3.3.1 Recepción de la uva.....	67
3.3.2 Despalillado y estrujado .....	67
3.3.3 Encubado .....	68
3.3.4 Sulfitación .....	68
3.3.5 Corrección de acidez total .....	68
3.3.6 Adición de levaduras.....	69
3.3.7 Adición de otros productos .....	69
3.3.8 Maceración.....	69
3.3.9 Fermentación alcohólica .....	70
3.3.10 Trasiegos.....	71
3.3.11 Descube .....	71
3.3.12 Fermentación maloláctica .....	72
3.3.13 Procesos de estabilización.....	73
3.3.14 Crianza del vino .....	74
Referencias .....	76
<b>4. Crianza en barrica de roble.....</b>	<b>78</b>
4.1 Historia .....	79
4.2 El roble como herramienta de vinificación .....	80
4.2.1 El roble.....	80
4.2.2 Composición del roble.....	82
4.2.3 Curado de la madera .....	88
4.2.4 Tostado de la madera.....	89
4.3 La crianza del vino en barrica de roble.....	90
Referencias .....	94
<b>5. Técnicas de crianza con sistemas alternativos a la barrica.....</b>	<b>97</b>
5.1 Introducción .....	98
5.2 Normativa referente a la utilización de fragmentos de madera en vinificación .	99
5.3 La vinificación con fragmentos de roble .....	102

5.3.1 Antecedentes .....	102
5.3.2 Motivaciones para la utilización de técnicas alternativas de crianza .....	103
5.3.3 Formatos de fragmentos de roble para vinificación .....	106
5.3.4 Sistemas para regeneración aromática de barricas usadas .....	110
5.3.5 Aportación de los fragmentos de roble.....	113
5.3.6 Utilización de fragmentos de madera para vinificación.....	116
Referencias .....	119
<b>6.    Análisis comparativo de sistemas de limpieza e higienización de barricas.....</b>	<b>121</b>
6.1 Introducción .....	122
6.2 Objeto y alcance .....	126
6.3 Materiales y métodos.....	127
6.3.1 Barricas .....	128
6.3.2 Equipos de higienización y limpieza de barricas .....	129
6.3.3 Control analítico .....	129
6.3.3.1 Presencia de cristales de tartrato.....	130
6.3.3.2 Análisis de presencia de Brettanomyces.....	131
6.3.3.3. Composición aromática de la madera.....	133
6.3.4 Estudio estadístico de resultados.....	135
6.4 Resultados obtenidos .....	136
6.4.1 Análisis de limpieza mecánica de la superficie de la barrica.....	136
6.4.2 Análisis de acción biocida del tratamiento.....	136
6.4.3 Influencia del tratamiento sobre la capacidad de cesión aromática de la barrica .....	138
6.5 Conclusiones sobre resultados obtenidos.....	140
Referencias .....	141
<b>7.    Estudio del efecto de la limpieza con dióxido de carbono en barricas renovadas mediante la inserción de duelillas.....</b>	<b>144</b>

7.1 Introducción .....	145
7.2 Materiales y métodos empleados.....	147
7.2.1 Barricas utilizadas y equipos de higienización .....	147
7.2.2. Análisis microbiológico y de componentes aromáticas de las barricas de roble utilizadas	148
7.2.3. Análisis de la influencia de la higienización en el envejecido en barrica .....	150
7.2.4. Statistical analysis.....	151
7.3 Exposición y análisis de resultados.....	154
7.4 Conclusiones.....	168
Referencias .....	169
<b>8. Estudio del efecto del tipo de roble y del tipo de tostado en las barricas .....</b>	<b>171</b>
8.1 ANTECEDENTES .....	172
8.1.2 Tostado de las duelas .....	173
8.2 MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS EN LAS PRESENTES PRUEBAS .....	175
8.2.1. Variables del proceso .....	175
8.2.2. Medida y cuantificación .....	176
8.3. RESULTADOS.....	179
8.3.1. Maderas analizadas y condiciones del proceso. ....	179
8.3.2. Análisis de Compuestos furánicos.....	179
8.3.3. Análisis de Aldehídos fenólicos .....	180
8.3.4. Análisis de Ácidos fenólicos.....	182
8.3.5. Análisis de Fenoles volátiles .....	183
8.3.6. Análisis de Lactonas.....	185
8.3.7. Análisis de Cumarinas.....	187
8.3.8 Análisis de Taninos elágicos .....	187
8.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	190
8.5 CONCLUSIONES .....	193
Referencias .....	195

<b>9. Parámetros enológicos y composición aromática asociada al envejecimiento en barricas de roble usadas renovadas mediante inserción de listones de madera.....</b>	<b>200</b>
9.1 ANTECEDENTES .....	201
9.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	204
9.2.1. Parámetros iniciales .....	204
9.2.1.1. Caracterización inicial del vino .....	204
9.2.1.2 Caracterización de las barricas utilizadas en las pruebas. ....	204
9.2.1.3 Geometría de las duelas para de envejecimiento en el vino .....	205
9.2.2 Seguimiento del proceso de envejecimiento. ....	207
9.2.3 Análisis de muestras.....	207
9.2.4. Estudio estadístico.....	208
9.3. RESULTADOS.....	210
9.3.1. Composición aromática de las barricas utilizadas.....	210
9.3.2 Aplicación en el envejecimiento del vino .....	212
9.4 CONCLUSIONES .....	218
Referencias .....	220
<b>10. Análisis del impacto ambiental de la fabricación de una barrica .....</b>	<b>223</b>
10.1 Introducción y antecedentes.....	224
10.1.1 Proceso productivo .....	224
10.2. Materiales y métodos.....	227
10.2.1. Objetivos y alcance.....	227
10.2.2. Unidad funcional. ....	227
10.2.3. Límites del sistema. ....	227
10.2.4. Suposiciones. ....	229
10.2.5. Inventario .....	230
10.2.5.1. Tratamiento de la madera.....	231

10.2.5.2. Fabricación de los fondos.....	232
10.2.5.3. Fabricación de duelas y montaje de la barrica.....	233
10.2.5.4. Almacenaje .....	235
10.2.5.5. Consumos generales .....	236
10.3. Resultados .....	238
10.3.1. Análisis global del impacto ambiental.....	238
10.3.2. Análisis del impacto ambiental por fases.....	241
10.3.2.1. Tratamiento de la madera.....	241
10.3.2.2. Fabricación de fondos .....	241
10.3.2.3. Fabricación de duelas y montaje de la barrica.....	243
10.3.2.4. Consumos generales .....	244
10.4. Conclusiones.....	248
10.5. Referencias .....	250
<b>11. Análisis del impacto ambiental de la vinificación con barrica de roble .....</b>	<b>256</b>
11.1 Introducción y antecedentes.....	257
11.2 Materiales y métodos.....	258
11.2.1 Objetivos y alcance.....	258
11.2.2. Unidad funcional .....	258
11.2.3. Límites del sistema .....	258
11.2.4. Suposiciones.....	260
11.2.5. Inventario .....	261
11.2.5.1. Proceso de fabricación de barricas .....	261
11.2.5.2. Proceso de envejecimiento .....	262
11.3. Resultados .....	265
11.3.1. Análisis global del impacto ambiental.....	265
11.3.2. Análisis del impacto ambiental por fases.....	267



11.3.2.1. Fabricación de barricas.....	267
11.3.2.2. Envejecimiento .....	270
11.4 CONCLUSIONES .....	278
<b>12. Análisis comparativo del impacto ambiental de la vinificación en barrica de roble de 225 litros y barrica usada de 225 litros renovada mediante inserción de duelillas.....</b>	<b>280</b>
12.1 Introducción y antecedentes.....	281
12.2 Materiales y métodos.....	283
12.2.1 Objetivos y alcance.....	283
12.2.2. Unidad funcional .....	283
12.2.3. Límites del sistema .....	284
12.2.4. Suposiciones .....	286
12.2.5. Inventario .....	287
12.2.5.1. Proceso de fabricación de barricas y barricas renovadas .....	288
12.2.5.2. Proceso de envejecimiento .....	289
12.3. Resultados .....	292
12.3.1 Análisis de impacto ambiental para una barrica de 225 l. de Quercus Alba.....	292
12.3.1.1 Análisis global del impacto ambiental para barrica de 225 litros .....	292
12.3.1.2. Análisis del impacto ambiental por fases para barrica nueva de 225 l. .....	293
12.3.2. Análisis global del impacto ambiental para barrica de 225 litros renovada con 9 duelillas de roble tostadas.....	299
12.3.2.1 Análisis del impacto ambiental por fases para barrica de 225 l. agotada y renovada.....	299
12.4 CONCLUSIONES .....	305
<b>13. Conclusiones .....</b>	<b>308</b>
13.1 Resultados y discusión.....	309



13.2 Líneas de investigación futuras..... 312

## FIGURAS

Figura 1. Evolución de la superficie de viñedo en el mundo (2) .....	26
Figura 2. Distribución de las principales superficies de viñedo por países (2) .....	26
Figura 3. Mapa de la distribución de superficie de viñedo en el mundo (2) .....	27
Figura 4. Evolución de la producción global de uva en el mundo (2) .....	28
Figura 5. Distribución de la producción de uva por tipo de producto final (2) .....	28
Figura 6. Mapa de principales productores de uva y clasificación por destino productivo de las mismas (2) .....	30
Figura 7. Evolución de la producción mundial de vino desde el año 2000 (2) .....	31
Figura 8. Distribución de los principales productores de vino por países (2) .....	33
Figura 9. Evolución del consumo mundial de vino (2).....	34
Figura 10. Evolución de la superficie de viñedo en España (9) .....	39
Figura 11. Evolución de la superficie de viñedo por Comunidades entre los años 2015 y 2016 (6).....	40
Figura 12. Volumen de vino producido en España en 2015/2016, desglosado por comunidad autónoma (en miles de hectolitros) (10).....	43
Figura 13. Evolución del valor de las ventas de bebidas entre los años 2009 y 2016 segmentados por tipologías (7,8).....	46
Figura 14. Participación de las denominaciones de origen en el mercado de vino tinto criado (7) .....	47
Figura 15. Volúmenes de exportaciones de vino y nº de empresas exportadoras (5)	48
Figura. 16 Viñedos según variedades (11) .....	50
Figura 18. Tipos de vinos clasificados según crianza (11) .....	55

<b>Figura 19. Tipos de vinos por colores (11)</b> .....	<b>55</b>
<b>Figura 20. Variedad de uva Barbera</b> .....	<b>60</b>
<b>Figura 21. Variedad de uva Cabernet Franc</b> .....	<b>61</b>
<b>Figura 22. Variedad de uva Cabernet Sauvignon</b> .....	<b>61</b>
<b>Figura 23. Variedad de uva Cariñena</b> .....	<b>62</b>
<b>Figura 24. Variedad de uva Gamay</b> .....	<b>62</b>
<b>Figura 25. Variedad de uva Garnacha tinta</b> .....	<b>63</b>
<b>Figura 26. Variedad de uva Malbrc</b> .....	<b>63</b>
<b>Figura 27 Variedad de uva Monastrell</b> .....	<b>64</b>
<b>Figura 28. Variedad de uva Nebbiolo</b> .....	<b>64</b>
<b>Figura 29. Variedad de uva Sangiovese</b> .....	<b>65</b>
<b>Figura 30. Variedad de uva Syrach</b> .....	<b>65</b>
<b>Figura 31. Variedad de uva Cabernet Franc</b> .....	<b>66</b>
<b>Figura 32. Distribución del roble en Europa (Rodriguez, 2006)</b> .....	<b>81</b>
<b>Figura 33. Distribución del roble en EEUU (Rodriguez, 2006)</b> .....	<b>82</b>
<b>Figura 34. Influencia de la intensidad del tostado de las duelas la concentración de aromas (5)</b> .....	<b>90</b>
<b>Figura 35. Influencia del grado de tostado de las duelas sobre el futuro impacto aromático (5)</b> .....	<b>90</b>
<b>Figura 36. Influencia de la crianza en barrica sobre la evolución del vino tinto (9; 23)</b> .....	<b>91</b>
<b>Figura 37. Arroz o granulado - Fuente: Riveroak</b> .....	<b>106</b>
<b>Figura 38. Chips - Fuente: Riveroak</b> .....	<b>107</b>
<b>Figura 39. Fragmentos - Fuente: Riveroak</b> .....	<b>108</b>

<b>Figura 40. Duelas para inmersión - Fuente: Riveroak .....</b>	<b>108</b>
<b>Figura 41. Duelas en depósito de inoxidable - Fuente: Riveroak .....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 42. Arroz o granulado - Fuente: Andes wines .....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 43. Duelas en barrica - Fuente: Riveroak .....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 44. Características de la madera en función del nivel de tostado (1). .....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 45. Levadura Brettanomyces en un microscopio óptico.....</b>	<b>131</b>
<b>Figura 46: Detección de Brettanomyces en el medio diferencial. ....</b>	<b>132</b>
<b>a) muestra inicial; b) muestra tras 5 días de maceración.....</b>	<b>132</b>
<b>Figura 47: Imagen obtenida mediante microscopía SEM de la madera de una barrica;</b>	
<b>a) antes de la limpieza con carbónico b) después de la limpieza con carbónico.....</b>	<b>136</b>
<b>Figura 48: Diagrama Box-and-Whisker que muestra reducción porcentual de presencia</b>	
<b>de Brettanomyces (%) para cada uno de los tratamientos aplicados.....</b>	<b>138</b>
<b>Figura 49: Ficha con protocolo de cata.....</b>	<b>151</b>
<b>Figura 50: Eliminación de cristales de tartrato en una barrica tras la proyección de</b>	
<b>carbono supercrítico (a) antes del tratamiento (b) tras el tratamiento .....</b>	<b>154</b>
<b>Figura 51: Cultivo de Brettanomyces en una barrica tras la proyección de carbono con</b>	
<b>resultado negativo .....</b>	<b>155</b>
<b>Figura 52: Valoraciones con 4 meses de crianza. ....</b>	<b>159</b>
<b>Figura 53: Valoraciones con 8 meses de crianza. ....</b>	<b>160</b>
<b>Figura 54. ACP de compuestos furánicos, fenoles volátiles y lactonas de la madera en</b>	
<b>función de la barric .....</b>	<b>162</b>
<b>Figura 57. ACP de los compuestos volátiles durante la crianza del vino en las diferentes</b>	
<b>barricas.....</b>	<b>164</b>
<b>Figura 58. ACP de los compuestos volátiles y valoración olfativa durante la crianza del</b>	
<b>vino en las diferentes barricas .....</b>	<b>166</b>

<b>Figura 60. Sistema de sujeción de listones diseñado para su uso en barricas agotadas</b> .....	<b>206</b>
<b>Figura 61. PCA de la composición aromática de los vinos envejecidos en las barricas de estudio</b> .....	<b>213</b>
<b>Figura 62. PCA de los parámetros pH, grado alcohólico, acidez volátil, acidez total y glicerol de los vinos envejecidos en las barricas de estudio.....</b>	<b>216</b>
<b>Figura 63: Límites del sistema</b> .....	<b>228</b>
<b>Figura 64: Diagrama de flujo</b> .....	<b>237</b>
<b>Figura 65: Límites del sistema</b> .....	<b>259</b>
<b>Figura 66. Diagrama de flujo</b> .....	<b>264</b>
<b>Figura 67: Límites del sistema barrica de 225 l.</b> .....	<b>284</b>
<b>Figura 68: Límites del sistema barrica de 225 l. renovada mediante la inserción de duelillas</b> .....	<b>285</b>
<b>Figura 69. Diagrama de flujo barrica 225 l.</b> .....	<b>290</b>
<b>Figura 70. Diagrama de flujo barrica 225 l. renovada mediante inserción de duelillas tostadas</b> .....	<b>291</b>

## TABLAS

<b>Tabla 1. Distribución de la producción de uva clasificada por principales productores y destino producido entre los años 2012 y 2016 (2) .....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 2. Evolución de la producción mundial de vino desde el año 2000 (2).....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 3. Tabla de evolución del consumo en los principales países consumidores de vino (2) .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 4. Distribución de la superficie de viñedo en España por Comunidades Autónomas (6) .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 5. Evolución del valor de las ventas de bebidas entre los años 2015 y 2016 (8)</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 6. Peso por ventas de los principales grupos en Gran Consumo para los años 2015 y 2016 (7,8).....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 7. Producción de uva en DOC Rioja en 2016 (11) .....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 8. Bodegas inscritas en la DOC Rioja 2012 (11) .....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 9. Evolución del parque de barricas (11).....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 10. Evolución de la comercialización de vinos de Rioja 2016 (11).....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 11. Exportaciones de vinos de Rioja por países (11) .....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla. 12 Principales sustancias volátiles procedentes del roble (Zamora, 2003) .....</b>	<b>93</b>
<b>Tabla. 13 Características morfológicas de la levadura Brettanomyces .....</b>	<b>132</b>
<b>Tabla 14: Origen de los compuestos volátiles de interés enológico para las maderas de roble .....</b>	<b>134</b>
<b>Tabla 15: .Presencia de Brettanomyces antes y después del tratamiento (ufc/ml)..</b>	<b>137</b>
<b>Tabla 17. Barricas tratadas con carbónico en el presente estudio .....</b>	<b>147</b>

<b>Tabla 18. Descripción de las principales moléculas del vino aportadas por la crianza en barrica .....</b>	<b>149</b>
<b>Tabla 19. Composición aromática de las barricas usadas tras aplicarles un tratamiento de limpieza con carbono supercrítico. (Resultados <math>\pm</math> DS).....</b>	<b>156</b>
<b>Tabla 20. Resultados analíticos de la evolución del vino en barricas usadas con diferentes grados de tostado y limpiadas con el prototipo de proyección de carbono. (Resultados <math>\pm</math> DS).....</b>	<b>157</b>
<b>Tabla 21. Maderas y tostados utilizados en los ensayos.....</b>	<b>179</b>
<b>Tabla 22. Compuestos furánicos de maderas de roble analizadas .....</b>	<b>180</b>
<b>Tabla 23. Aldehídos fenólicos de maderas de roble .....</b>	<b>181</b>
<b>Tabla 24. Ácidos fenólicos de maderas de roble.....</b>	<b>182</b>
<b>Tabla 25. Fenoles volátiles de maderas de roble .....</b>	<b>184</b>
<b>Tabla 26. Lactonas de maderas de roble .....</b>	<b>186</b>
<b>Tabla 27. Cumarinas de maderas de roble .....</b>	<b>187</b>
<b>Tabla 28. Taninos elágicos de maderas de roble .....</b>	<b>189</b>
<b>Tabla 29. Datos de las barricas de roble utilizadas .....</b>	<b>205</b>
<b>Tabla 30. Características de las duelas añadidas. ....</b>	<b>206</b>
<b>Tabla 31. Características de las barricas ensayadas.....</b>	<b>207</b>
<b>Tabla 32. Composición aromática de las barricas utilizadas tras el proceso de limpieza .....</b>	<b>211</b>
<b>Tabla 33. Resultados analíticos de composición aromática del vino a mitad de la crianza y tras finalizar la crianza del mismo en las barrica(resultado <math>\pm</math> DS).....</b>	<b>212</b>
<b>Tabla 34. Resultados analíticos de los parámetros físico-químicos del vino durante la crianza. (Resultado <math>\pm</math> DS) .....</b>	<b>215</b>
<b>Tabla 35: Datos de inventario de la fase del tratamiento de la madera.....</b>	<b>231</b>



<b>Tabla 36: Datos de inventario de la fase de la fabricación de fondos .....</b>	<b>232</b>
<b>Tabla 40: Impacto Ambiental Global - Metodología CML .....</b>	<b>240</b>
<b>Tabla 41: Impacto ambiental fase “Tratamiento de la madera”, Metodología CML.</b>	<b>244</b>
<b>Tabla 42: Impacto Ambiental Fase de Fabricación de fondos. ....</b>	<b>245</b>
<b>Metodología CML. ....</b>	<b>245</b>
<b>Tabla 43: Impacto Ambiental Fase de Montaje de la barrica.....</b>	<b>247</b>
<b>Metodología CML. ....</b>	<b>247</b>
<b>Tabla 44: Impacto ambiental fase “Consumos generales”, Metodología CML. ....</b>	<b>248</b>
<b>Tabla 45: Datos de inventario de la fase fabricación de la barrica .....</b>	<b>262</b>
<b>Tabla 46: Datos de inventario de la fase de envejecimiento .....</b>	<b>263</b>
<b>Tabla 47: Impacto Ambiental Global - Metodología CML .....</b>	<b>267</b>
<b>Tabla 48: Impacto ambiental fase “Tratamiento de la madera”, Metodología CML.</b>	<b>270</b>
<b>Tabla 49: Impacto ambiental fase “Fabricación de fondos”, Metodología CML. ....</b>	<b>272</b>
<b>Tabla 50: Impacto Ambiental Fase de Montaje de la barrica.....</b>	<b>274</b>
<b>Metodología CML. ....</b>	<b>274</b>
<b>Tabla 51: Impacto ambiental fase “Consumos generales”, Metodología CML. ....</b>	<b>276</b>
<b>Tabla 52: Impacto ambiental fase “Envejecimiento”, Metodología CML. ....</b>	<b>277</b>
<b>Tabla 53. Características de las duelillas utilizadas en la renovación de las barricas</b>	<b>282</b>
<b>Tabla 54: Impacto Ambiental Global - Metodología CML .....</b>	<b>293</b>
<b>Tabla 55: Impacto ambiental fase “Tratamiento de la madera”, Metodología CML.</b>	<b>296</b>
<b>Tabla 56: Impacto ambiental fase “Fabricación de fondos”, Metodología CML. ....</b>	<b>296</b>
<b>Tabla 57: Impacto Ambiental Fase de Montaje de la barrica.....</b>	<b>297</b>
<b>Metodología CML. ....</b>	<b>297</b>

<b>Tabla 58: Impacto ambiental fase “Consumos generales”, Metodología CML. ....</b>	<b>298</b>
<b>Tabla 59: Impacto ambiental fase “Envejecimiento”, Metodología CML. ....</b>	<b>298</b>
<b>Tabla 60: Impacto Ambiental Global - Metodología CML. ....</b>	<b>299</b>
<b>Tabla 61: Impacto ambiental fase 1 “Tratamiento de la madera”, Metodología CML. .....</b>	<b>302</b>
<b>Tabla 62: Impacto ambiental fase 2 “Fabricación y tostado de duelillas”, Metodología CML. ....</b>	<b>302</b>
<b>Tabla 63: Impacto Ambiental Fase 3 “Renovación de la barrica”. Metodología CML. .....</b>	<b>303</b>
<b>Tabla 64: Impacto ambiental fase 4 “Almacenamiento”, Metodología CML.....</b>	<b>303</b>
<b>Tabla 65: Impacto ambiental fase “Consumos generales”, Metodología CML. ....</b>	<b>304</b>



## Tesis doctoral

Doctorado en Innovación en Ingeniería de producto y procesos industriales

“ESTUDIO DE TÉCNICAS DE HIGIENIZACIÓN MEDIANTE PROYECCIÓN DE  
DIÓXIDO DE CARBONO Y RENOVACIÓN AROMÁTICA MEDIANTE  
INSERCIÓN DE DUELILLAS EN BARRICAS USADAS”

SECCIÓN 1 – OBJETO, ALCANCE Y ESTRUCTURA DE LA TESIS

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

DIRECTORES DE LA TESIS: Julio Blanco Fernández

Emilio Jiménez Macías

DOCTORANDO: Francisco Javier Flor Montalvo

Logroño, Junio 2017



# 1. Objeto y alcance de la tesis

---

## 1.1 Objeto de la tesis

La producción vinícola ha estado ligada, a lo largo de la historia, a la figura de la barrica de roble.

Las diversas experiencias y estudios sobre los orígenes del roble, el proceso de curado y aserrado del mismo, la geometría de los recipientes, los tiempos de permanencia en barrica o los tostados a los que se sometía la madera han dado lugar a un profundo entendimiento de los mecanismos para la consecución de vinos de cada vez mayor calidad.

La aparición de nuevas tecnologías para emular los efectos de la crianza con barrica, si bien han logrado la producción de vinos interesantes, no ha conseguido igualar la calidad de los vinos elaborados por métodos tradicionales.

Por otro lado, en un entorno cada vez más competitivo, el valor diferencial de la crianza clásica, hasta el momento imposible de emular, y la percepción de calidad y tradición derivada de la utilización de barricas, se nos antoja imprescindible para que los productores de vinos de calidad mantengan su valor diferencial.

No obstante, se está imponiendo, en especial entre los vinos asociados a la gama media de precios, una tendencia a la reducción de costes manteniendo los niveles de calidad ofrecidos hasta el momento.

Es en este punto cuando la normativa europea, y más especialmente la normativa española coloca a los productores foráneos en una profunda desventaja limitando los recursos de vinificación existentes.

La inserción de duelillas dentro de una barrica, si bien es un procedimiento que trabajo y experiencia, debido a la necesidad de abrirla desmontando uno de sus fondos, permite realizar una vinificación similar a la realizada en una crianza clásica, dado que mantiene los estándares de micro-oxigenación de la barrica original en términos de superficie y porosidad, aportando únicamente aquellas sustancias aromáticas que la barrica ha perdido tras su cesión

a los vinos que han pasado por ella en un formato próximo geométricamente al de la propia duela.

No obstante, para que la renovación aromática de una barrica tenga éxito, debemos asegurarnos de que se encuentre en unas excelentes condiciones higiénicas y sanitarias, evitando de esta forma contaminación del vino.

Adicionalmente ante la aparición de nuevas normativas que limitan la utilización de recursos de higienización de barricas (como la limitación de uso del SO<sub>2</sub>) se antoja necesario definir nuevos métodos de limpieza e higienización que permitan aprovechar la vida de la barrica si acaso no prolongarla. En nuestro caso experimentaremos con la utilización de CO<sub>2</sub> como sistema de higienización.

Es por ello que se propone como objeto de la presente tesis doctoral el estudiar capacidad de regeneración aromática derivada de la inserción de duelillas de roble tostado en barricas usadas y previamente higienizadas para la consecución de vinos de crianza similares a los obtenidos por el sistema de crianza tradicional.

Asimismo, se planteará como objetivo probar un nuevo tipo de limpieza e higienización de barricas basado en la proyección de dióxido de carbono a muy baja temperatura y alta presión.

Por último, ante la inexistencia de una herramienta capaz de permitir evaluar éste tipo de crianza en comparación con el resto de sistemas de crianza con roble más allá de la propia experiencia del técnico o enólogo, proponemos desarrollar dicha herramienta de forma que permita a futuros investigadores y profesionales del sector tomar decisiones basadas en criterios organolépticos, de cesión aromática y criterios de sostenibilidad.

## 1.2 Alcance de la tesis

Para alcanzar este objetivo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Determinar si en la comparación entre barricas usadas, barricas nuevas barricas usadas y renovadas aromáticamente mediante duelillas insertadas, hay diferencias sensoriales perceptibles en términos gustativos y olfativos.
- Concretar si, en caso del anterior punto ser afirmativo, las aportaciones originadas son consideradas como positivas o negativas.
- Realizar una comparación entre la evolución de las aportaciones realizadas por una barrica nueva con las de una barrica renovada.
- Determinar si el sistema de higienización de barricas mediante CO<sub>2</sub> es eficiente en la eliminación de contaminación biológica y limpieza física superficial.
- Determinar si el sistema de higienización de barricas mediante CO<sub>2</sub> influye de forma significativa en la cesión aromática de la barrica y por lo tanto en la capacidad de dicha barrica para la crianza de vinos.
- Determinar los impactos ambientales de barricas fabricados con maderas de diferentes orígenes y diferentes tamaños.
- Determinar la influencia de una eventual renovación aromática de una barrica, mediante la inserción de duelillas, en el impacto ambiental de la vinificación con dicha barrica
- Comparación del impacto ambiental de una barrica renovada mediante inserción de duelillas con el de una barrica tradicional.

## 1.3 Estructura de la tesis

Para el desarrollo de la tesis la hemos dividido en 5 secciones numeradas del 1 al 5, de las cuales, la primera, en el que nos encontramos, es una sección meramente introductoria en la cual definiremos los objetivos y el alcance de la misma así como el esquema en el cual dividiremos las diferentes aportaciones desarrolladas.

Cada una de las secciones, a su vez, se dividirá en uno o varios capítulos.

En la primera sección numerada como sección 1, expondremos el objeto y el alcance de la tesis así como la estructura de la misma.

La segunda sección, numerada como sección 2, corresponderá a una exposición pormenorizada del sector vitivinícola a nivel mundial, estatal y regional, una exposición de las técnicas tradicionales de crianza de vinos así como de las diferentes formas de utilizar alternativos para realizar procesos de vinificación con madera sin necesidad de usar barricas o alargando la vida útil de las mismas. Dicho capítulo nos ayudará a comprender las circunstancias, motivaciones y fundamentos de la presente tesis.

La tercera sección, numerada como sección 3, desarrollará un estudio pormenorizado de los sistemas de limpieza e higienización de barricas. Este punto nos pareció especialmente importante dado que los sistemas de limpieza tradicionales implican en mayor o menor manera reducción de la capacidad de cesión aromática de las citadas barricas. Adicionalmente a lo anterior, la entrada en vigor de normativas europeas ha obligado a dejar de utilizar el azufre como método de higienización. En este capítulo compararemos sistemas tradicionales de higienización con otros más actuales y muy especialmente con la proyección de gas carbónico a alta presión y baja temperatura.

La cuarta sección, numerada como sección 4, comparará de forma individualizada los sistemas de crianza con roble tradicionales y los compararemos con el sistema de regeneración aromática de barricas propuesto y consistente en la introducción de duelillas dentro de una barrica usada.



La quinta sección, numerada como sección 5, se realizará un análisis de ciclo de vida para diferentes barricas así como para la crianza con barricas y se comparará con otros métodos de crianza con alternativos de madera haciendo especial hincapié en el sistema de prolongación de la vida de las barricas mediante inserción en el interior de las barricas de duelillas tostadas.

Para finalizar la tesis, formularemos a lo largo de los apartados de cada capítulo, unas conclusiones en función de los datos anteriores a modo de síntesis de lo desarrollado a lo largo de este documento.



## Tesis doctoral

Doctorado en Innovación en Ingeniería de producto y procesos industriales

“ESTUDIO DE TÉCNICAS DE HIGIENIZACIÓN MEDIANTE PROYECCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO Y RENOVACIÓN AROMÁTICA MEDIANTE INSERCIÓN DE DUELILLAS EN BARRICAS USADAS”

SECCIÓN 2 – CONCEPTOS PREVIOS Y DATOS JUSTIFICATIVOS DE LA TESIS

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

DIRECTORES DE LA TESIS: Julio Blanco Fernández

Emilio Jiménez Macías

DOCTORANDO: Francisco Javier Flor Montalvo

Logroño, Junio 2017



## 2. Introducción

---

## 2.1 LA SITUACIÓN VITIVINÍCOLA GLOBAL

### 2.1.1 La vitivinicultura a nivel mundial

La superficie vitivinícola mundial ocupaba 7.516.000 ha en el año 2016, incluyendo las zonas cultivadas y aún sin explotar (1), lo que supone una variación mínima respecto de la superficie de viñedo en el año 2015 (inferior a las 1000 ha).

#### Trend of world area under vines

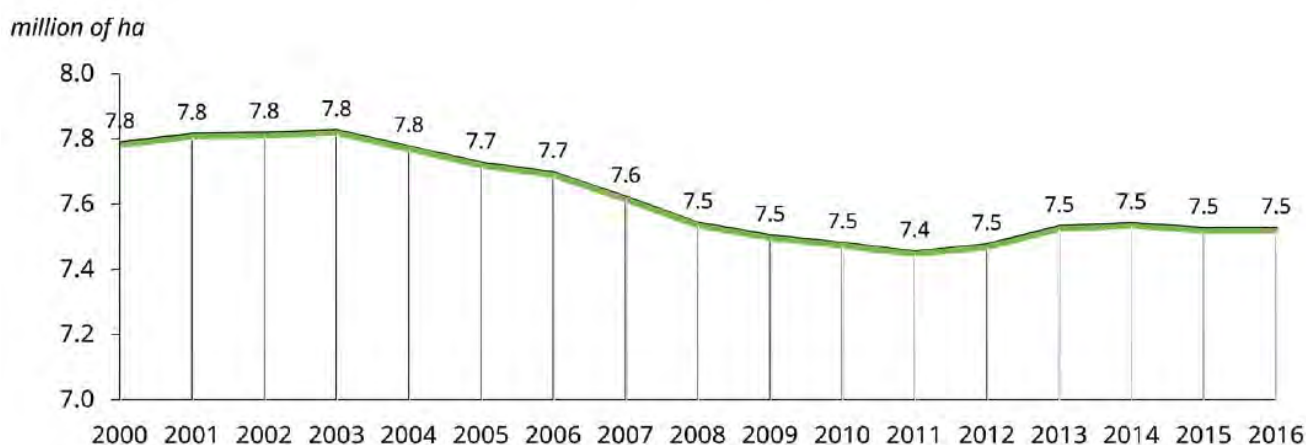
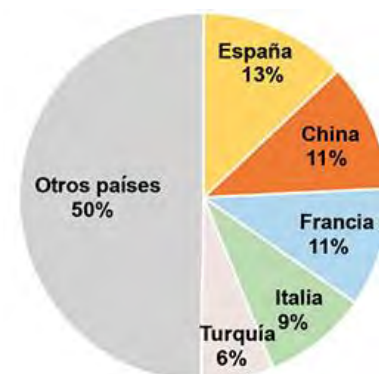
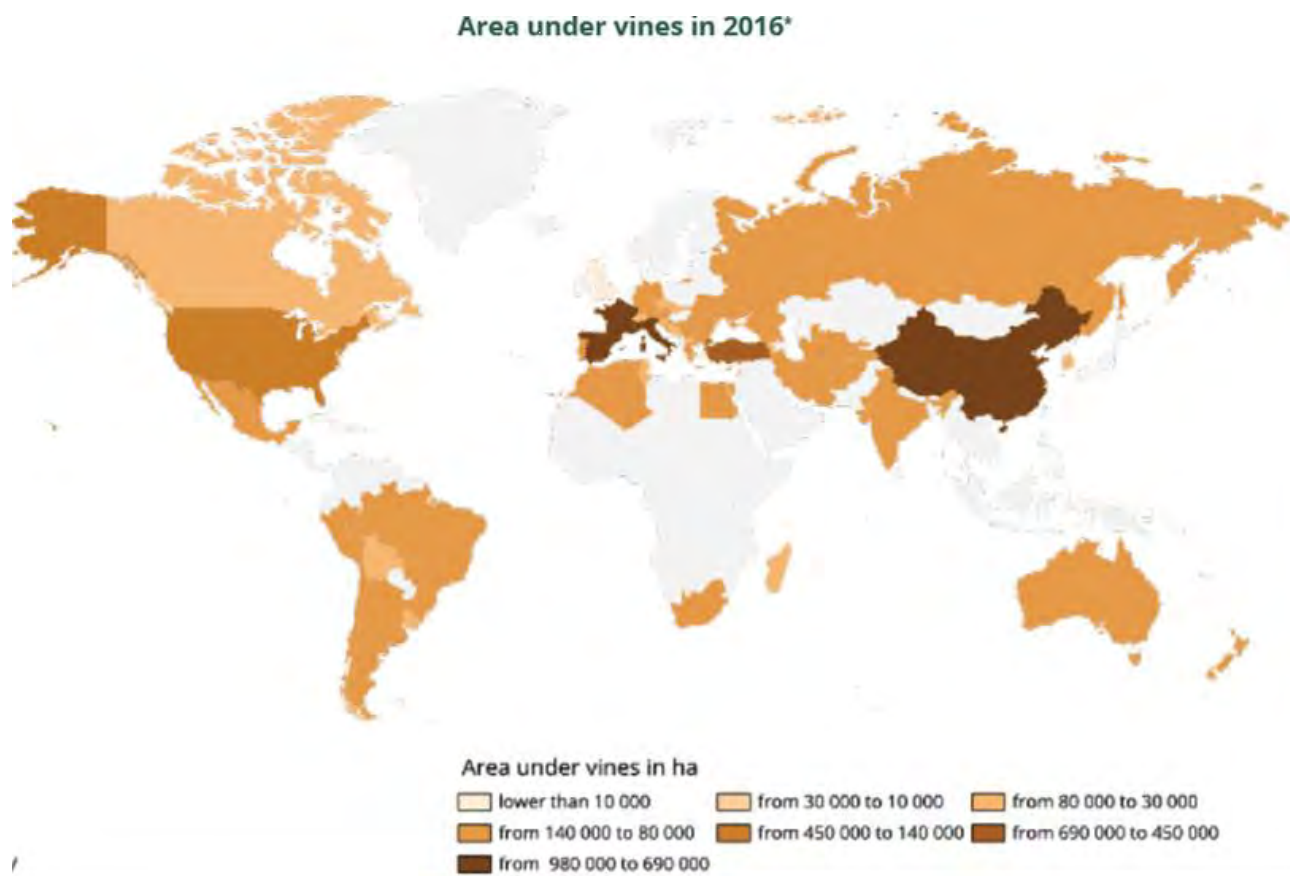


Figura 1. Evolución de la superficie de viñedo en el mundo (2)

Un vistazo al mapa global de superficies de viñedo, nos permite apreciar como la producción está muy agrupada. Resulta destacable el hecho de que un 50% de la superficie mundial de viñedo esté concentrada en 5 países.

Figura 2. Distribución de las principales superficies de viñedo por países (2)





*Figura 3. Mapa de la distribución de superficie de viñedo en el mundo (2)*

El primer país por superficie de viñedo plantada en 2016 sigue siendo España, con 975.000 ha (lo que implica un crecimiento de +0,8% respecto a los datos comparativos de los años 2016 a 2015). En segundo lugar encontramos a China con 847.000 ha (lo que implica un crecimiento de +16,8 %), seguida de Francia con 785.000 ha (+0,1%), Italia con 690.000 ha (+8,2%) y Turquía con 480.000 ha (-17%).

Resulta asimismo destacable que Estados Unidos con 440.000 mantiene su superficie plantada (0%) mientras que Portugal con 195.000 ha sufre un importante retroceso de 9.000 ha (9%).

Respecto de la producción de uva, en 2016, la producción global ascendió a 75,8 millones de toneladas de las cuales un 39% son producidas en Europa, un 34% en Asia y un 18% en América.

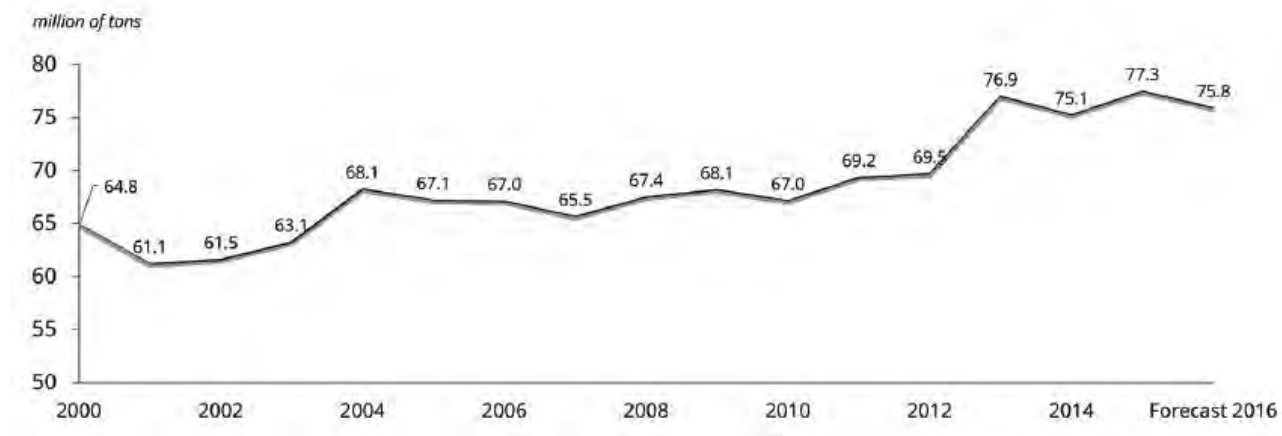


Figura 4. Evolución de la producción global de uva en el mundo (2)

De los valores consolidados de producción global de uva para el año 2015, un 47,3% se destinó a la producción de vino. Este dato, si bien aparentemente es un valor considerable, implica un descenso considerable (-9,7%) desde el año 2010.

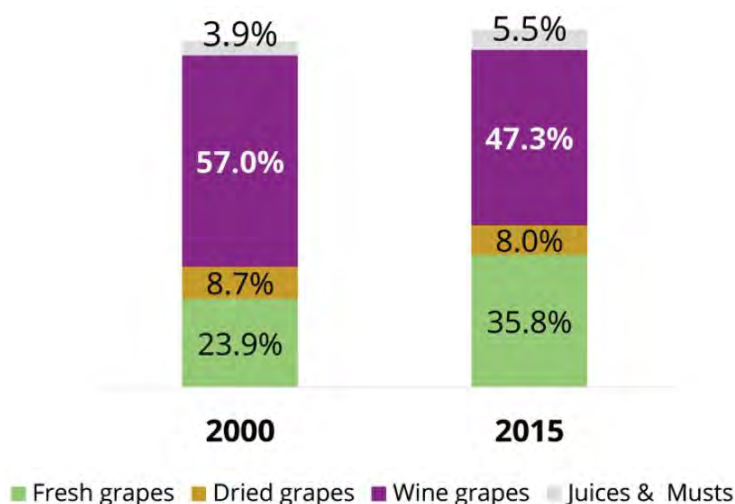


Figura 5. Distribución de la producción de uva por tipo de producto final (2)

Si analizamos la producción por países y destino productivo de la producción de uva, podemos apreciar como China es el primer productor de uva a nivel mundial, si bien solamente un 12% de la uva se destina a producción de vinos.

Si analizamos por el contrario la situación de los principales productores europeos, vemos como Italia destina un 85% de su producción, Francia un 99% y España un 87%.

Otros productores representativos, destinan porcentajes muy dispares de su producción a elaboración de vinos, siendo ejemplos representativos el caso de USA, con un 42% de su producción de uva, Argentina o Chile con un 77% y un 98% respectivamente o en el extremo opuesto Turquía con solamente un 2% de su producción de uva destinada a elaboración de vinos.

### Grape production

Total grape production <sup>a b</sup>						Production, 2015 (in %)		
million of tons	2012	2013	2014	2015	2016	Fresh grape	Dried grape <sup>c</sup>	Wine grape <sup>d</sup>
China	10.5	11.6	12.5	13.7	14.5	83%	6%	12%
Italy	6.9	8.0	6.9	8.2	7.9	15%	0%	85%
USA	6.8	7.8	7.1	7.3	7.1	40%	18%	42%
France	5.4	5.5	6.2	6.4	6.4	1%	0%	99%
Spain	5.3	7.4	6.1	6.0	6.0	5%	0%	87%
Turkey	4.2	4.0	4.2	3.6	4.0	48%	50%	2%
India	2.2	2.5	2.6	2.6	2.6	32%	10%	58%
Iran	2.2	2.1	2.2	2.2	2.2	89%	10%	1%
Chile	2.8	2.9	2.8	3.1	2.2	2%	5%	77%
South Africa	1.8	2.0	2.0	2.0	1.9	61%	39%	0%
Australia	1.7	1.8	1.7	1.7	1.8	9%	13%	78%
Argentina	2.4	2.9	2.6	2.4	1.8	1%	2%	98%
Egypt	1.4	1.4	1.6	1.6	1.6	100%	0%	0%
Uzbekistan	1.2	1.3	1.4	1.4	1.3	67%	0%	33%
Germany	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2	81%	15%	3%
Brazil	1.5	1.4	1.5	1.5	1.1	0%	0%	100%
World	69.5	76.9	75.1	77.3	75.8	36%	8%	47%

... : Not available data

a): Countries with a production of more than 1 million of tons

b): Excluding intermediate products and juices

c): Dried grape converted in fresh grape. On average 4kg to obtain 1kg of raisin

d): OIV conversion factor used: production of wine \* 1,325 kg of fresh grape, average quantity necessary to obtain 1 hl of wine

Tabla 1. Distribución de la producción de uva clasificada por principales productores y destino producido entre los años 2012 y 2016 (2)

Si atendemos a la figura 6, resulta evidente ver cómo, con la excepción de Australia, los productores de la mitad occidental destinan cantidades importantes de su producción de uva a la elaboración de vinos mientras que en la mitad oriental dicha utilización es muy baja.

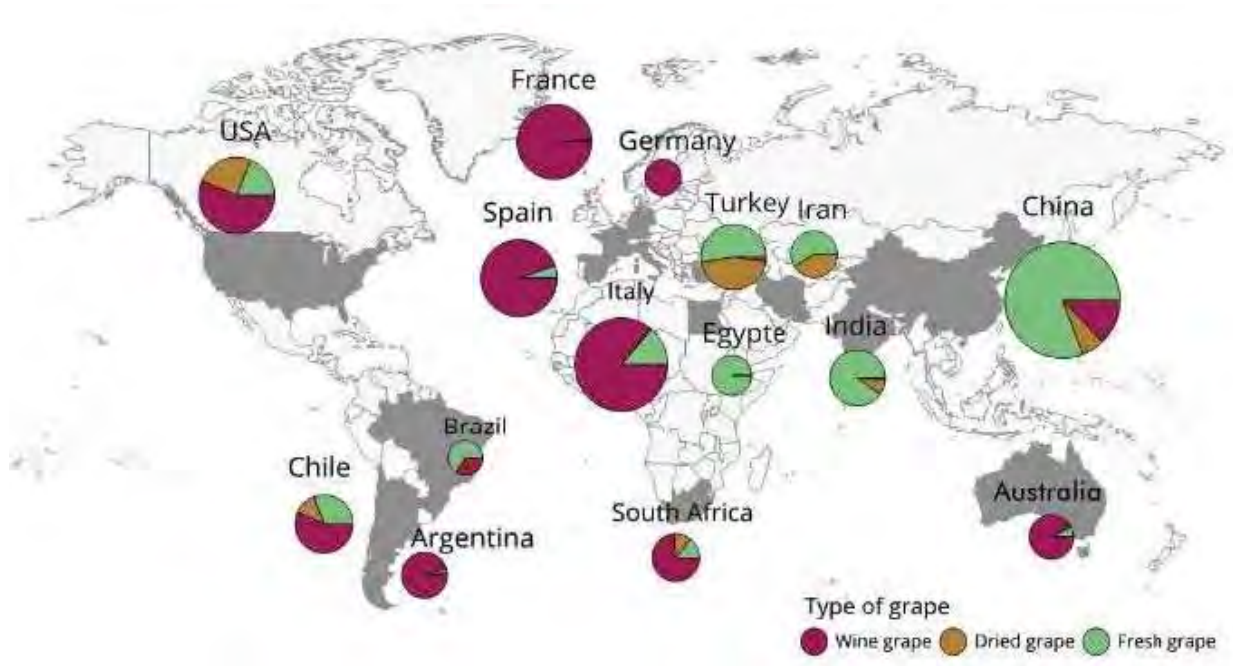


Figura 6. Mapa de principales productores de uva y clasificación por destino productivo de las mismas (2)



## 2.1.2 Producción vinícola

La producción mundial de vino en el año 2016 excluyendo zumo y mosto ascendió a 267 millones de hectolitros (1,2).

Esto supone un decremento de 9 millones respecto de las cantidades producidas en 2015.

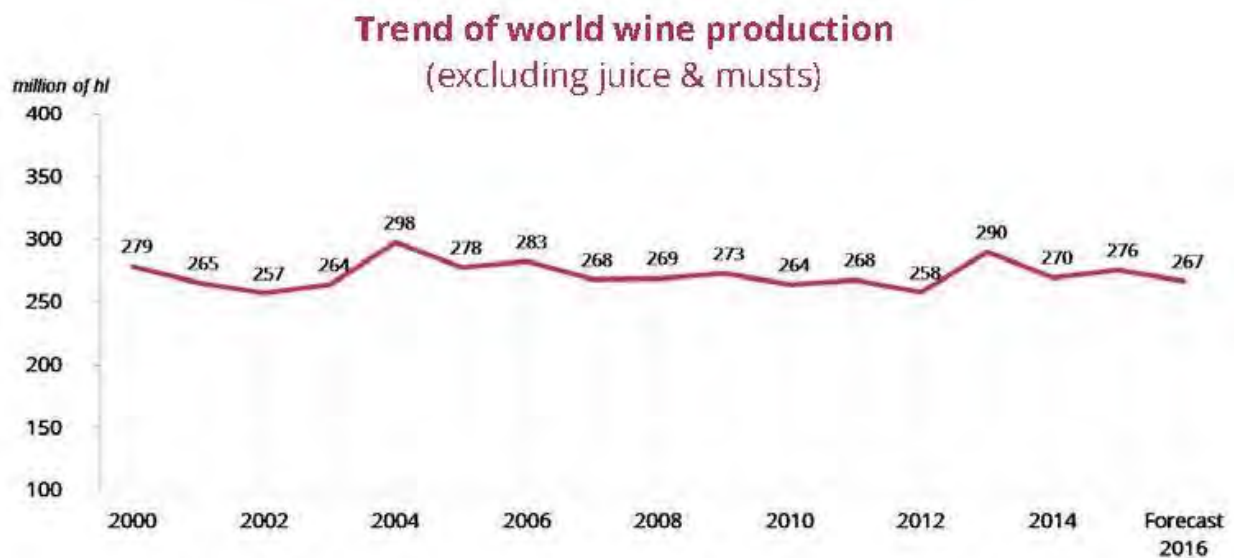


Figura 7. Evolución de la producción mundial de vino desde el año 2000 (2)

Si atendemos al volumen de producción, el mayor productor de vino es Francia, con 50,9 millones de hl (19,6 % del volumen mundial), seguido en segundo lugar por Francia, con 40,1 millones de hl (16% del volumen mundial), y por España en tercer lugar con 29,7 millones de hl (14,7 % del volumen mundial) (1,2).

### Wine production

million of hl	2012	2013	2014	2015 <sup>b</sup>	2016 <sup>c</sup>	2016/2015	2016/2015
						Variation in volume	Variation in %
Italy	45.6	54.0	44.2	50.0	50.9	0.9	2%
France	41.5	42.1	46.5	47.0	43.5	-3.5	-7%
Spain	31.1	45.3	39.5	37.7	39.3	1.7	4%
USA <sup>d</sup>	21.7	24.4	23.1	21.7	23.9	2.2	10%
Australia	12.3	12.3	11.9	11.9	13.0	1.1	9%
China	13.5	11.8	11.6	11.5	11.4	-0.1	-1%
South Africa	10.6	11.0	11.5	11.2	10.5	-0.7	-6%
Chile	12.6	12.8	10.0	12.9	10.1	-2.7	-21%
Argentina	11.8	15.0	15.2	13.4	9.4	-3.9	-29%
Germany	9.0	8.4	9.2	8.9	9.0	0.1	1%
Portugal	6.3	6.2	6.2	7.0	6.0	-1.0	-15%
Russia	6.2	5.3	4.9	5.6	5.6	0.0	0%
Romania	3.3	5.1	3.7	3.5	3.3	-0.3	-8%
New Zealand	1.9	2.5	3.2	2.3	3.1	0.8	34%
Greece	3.1	3.3	2.8	2.5	2.6	0.0	2%
Serbia	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	0.0	0%
Austria	2.1	2.4	2.0	2.3	2.0	-0.3	-14%
Hungary	1.8	2.6	2.6	3.0	1.9	-1.2	-38%
Moldova	1.5	2.6	1.6	1.7	1.7	0.0	0%
Brazil	3.0	2.7	2.7	3.5	1.6	-1.9	-55%
Bulgaria	1.3	1.7	0.7	1.3	1.2	-0.1	-8%
Georgia	0.8	1.0	1.1	1.3	1.1	-0.2	-16%
Switzerland	1.0	0.8	0.9	0.9	1.0	0.1	18%
World	258	290	270	276	267	-9	-3%

Tabla 2. Evolución de la producción mundial de vino desde el año 2000 (2)

Si analizamos la distribución de la producción vinícola por países, apreciamos como de forma evidente, dicha producción se concentra en aquellos países que destinan mayores cantidades de uva a elaboración de vinos, quedando por lo tanto la producción centrada en Francia, Italia, España, USA, Canadá y en menor medida Australia y China.

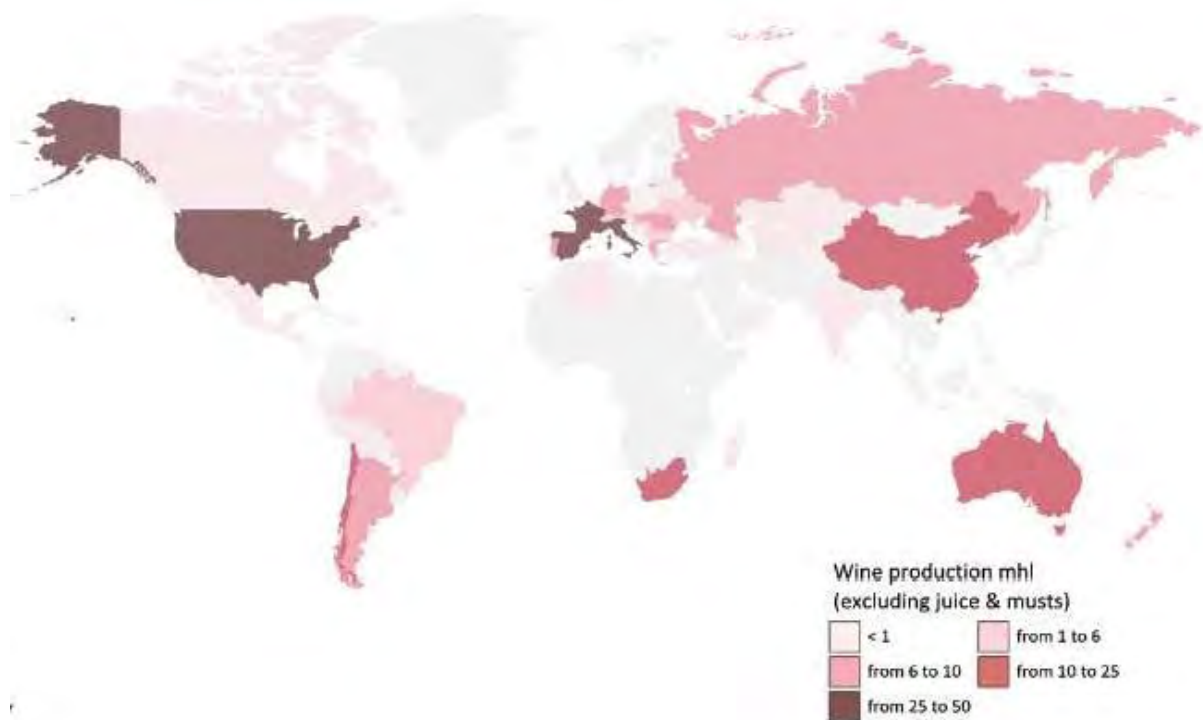


Figura 8. Distribución de los principales productores de vino por países (2)

### 2.1.3 Consumo de vino

Atendiendo a las estadísticas recogidas por la Organización Internacional del vino (OIV) en el 2016 (241 Mhl), podemos apreciar que los consumidores empiezan a volver a tener interés, después del descenso debido a la crisis económica.

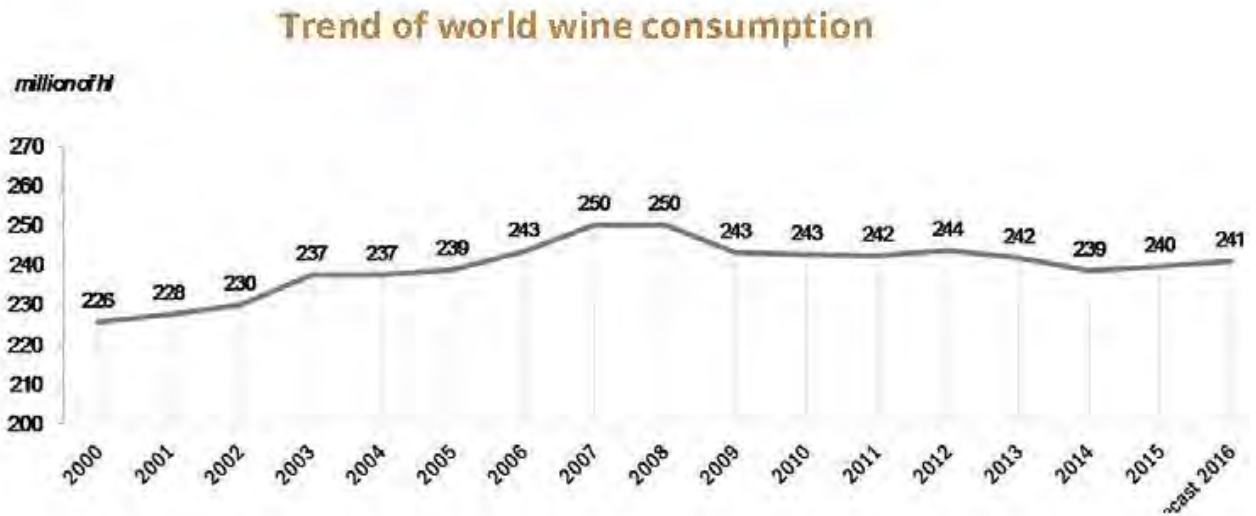


Figura 9. Evolución del consumo mundial de vino (2)

Algunos países, que hasta el momento han sido grandes consumidores, han reducido su nivel de consumo. Sirva como ejemplo los casos de Francia o Alemania que en los últimos 5 años han disminuido su consumo en un 3,7% y un 4,1% respectivamente (1,2).

En el otro extremo tenemos a Estados Unidos e Italia, para los cuales el de consumo en la última década ha crecido en el último lustro un 5,7 % y un 4,4 % respectivamente (1,2).

Wine consumption<sup>a</sup>

million of hl	2012	2013	2014	2015 <sup>b</sup>	2016 <sup>c</sup>	2016/2012	
						Variation in volume	2016/2012 Variation in %
USA	30,0	30,2	30,4	31,0	31,8	1,8	5,7%
France	28,0	27,8	27,5	27,2	27,0	-1,0	-3,7%
Italy	21,6	20,8	19,5	21,4	22,5	0,9	4,4%
Germany	20,3	20,4	20,2	19,6	19,5	-0,8	-4,1%
China*	17,1	16,5	15,5	16,2	17,3	0,2	1,1%
United Kingdom	12,8	12,7	12,6	12,7	12,9	0,1	0,9%
Spain	9,9	9,8	9,9	10,0	9,9	0,1	0,9%
Argentina	10,1	10,4	9,9	10,3	9,4	-0,6	-6,2%
Russia	11,3	10,4	9,6	9,3	9,3	-2,0	-21,1%
Australia	5,4	5,4	5,4	5,3	5,4	0,0	-0,4%
Canada	4,9	4,9	4,7	4,9	5,0	0,2	3,5%
Portugal	5,0	4,2	4,3	4,8	4,6	-0,4	-8,4%
South Africa	3,6	3,7	4,0	4,2	4,4	0,8	18,1%
Romania	4,3	4,6	4,7	3,9	3,8	-0,5	-13,5%
Japan	3,1	3,4	3,5	3,5	3,5	0,4	11,2%
Netherlands	3,5	3,5	3,4	3,5	3,4	-0,2	-4,4%
Belgium	2,9	2,9	2,7	3,0	3,0	0,1	4,3%
Brazil	3,2	3,5	3,5	3,3	2,9	-0,3	-9,8%
Switzerland	2,7	2,7	2,8	2,9	2,8	0,1	4,5%
Austria	2,7	2,8	3,0	2,4	2,4	-0,2	-9,7%
Serbia	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	0,1	3,8%
Sweden	2,3	2,4	2,3	2,4	2,3	0,0	0,2%
Greece	3,1	3,0	2,6	2,4	2,3	-0,8	-32,1%
Chile	3,2	2,9	3,0	2,1	2,2	-1,0	-45,6%
Czech Republic	1,8	1,6	1,6	1,9	2,0	0,2	11,3%
Hungary	2,0	1,9	2,2	2,2	1,9	-0,1	-2,3%
Denmark	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	0,1	4,2%
Croatia	1,4	1,4	1,2	1,1	1,2	-0,2	-21,4%
Poland	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	0,2	17,0%
Bulgaria	1,0	0,8	0,9	1,0	1,0	0,0	1,4%
World	244	242	239	240	241	-3	-1,1%

Sources: OIV, OIV Experts, Trade Press

a): Countries with a wine consumption of more than 1 mhl

b) 2015: provisional data

c) 2016: forecasted data

\*Apparent consumption calculated by "Production + Imports - Exports" data for 2015 and 2016

Tabla 3. Tabla de evolución del consumo en los principales países consumidores de vino (2)

Los datos de consumo mundial de vino para 2016 son de 241 millones de hectolitros, apreciándose un leve aumento respecto al año anterior y un incremento cercano al millón de hectolitros (1,2,3).

Resulta patente que este estancamiento en el consumo no es global, sino que es fruto de dos corrientes contrapuestas; por un lado encontramos países como USA, que en el periodo 2012-2016, con un incremento de 1,8 millones de hl llegó a un consumo de 31,8 millones (+5,7%) o Italia con un incremento de 0,9 millones de hl hasta alcanzar los 22,5 millones de hl (+4,4%) en el mismo periodo; en el extremo opuesto debemos destacar países como Alemania, que en el periodo 2012-2016 sufrieron un decremento de 0,8 millones de hl. Alcanzando los 19,5 millones de hl (-4,1 %) o Francia con un decremento de 1,0 millón de hl hasta los 27 millones de hl (-3,7%) (2,3).

Asimismo son destacables los incrementos del consumo en países como Reino Unido y España con crecimientos en ambos casos del 0,1% en el periodo 2012-2016 tras más de una década de retroceso y el relanzamiento en el consumo de vino en China tras tres años de retroceso (2,3).

Si atendemos al consumo de vino por habitante, los mayores consumidores en 2016 serían Portugal con 54 litros por habitante y año, seguidos por Francia con 51,8 litros por habitante y año, Italia con 41,5 litros por habitante y año, Suecia con 41 litros por habitante y año y Suiza con 40,3 litros por habitante y año.

España quedaría relegada a una octava posición con 25,4 litros por habitante y año, seguida por Holanda (24,5 l/hab.\*año) y el Reino Unido (24 l/hab\*año) que si bien son tradicionalmente países consumidores de vino, no tienen tradición productora (OEMV 2017).

#### **2.1.4 Comercio mundial de vino**

A lo largo del año 2016 el valor de vinos tranquilos españoles vendidos creció un 4,8% mientras que el valor de espumosos lo hizo un 4,1%.

Si bien el conjunto de las bebidas cerró el año con un incremento de valor positivo del 3,1 % alcanzando los 7.592 millones de euros, resulta evidente que vinos tranquilos y espumosos lo hicieron muy por encima de este valor (7).

Respecto de la representatividad de estos productos, el vino tranquilo supuso 1.219,2 millones de euros lo que implica un 2,5 % del total del mercado de Gran Consumo mientras que los espumosos alcanzaron un 0,4% del total (7).

No obstante debemos recalcar el cambio de tendencia en el sector derivada de los cambios en las tendencias de consumo y muy especialmente en exportación.

En 2016 se produjo una considerable reducción del volumen de vino exportado por España, alcanzando únicamente los 2.226 millones de litros. Esto implica un decremento de 167,2 millones de litros lo que implica una reducción en volumen del 7%. Sin embargo, si extrapolamos estos datos a valor del vino exportado, veremos como dicho valor asciende a de 2.635,3 millones de euros para el año 2016, lo que implica únicamente una reducción de 5,9 millones de euros (un -0,2%) (3, 4).

El aumento del precio del vino en el mercado internacional en el año 2016 responde a una cosecha menor y a un cambio en los mercados: que haya menos vino disponible ha significado que se exporte menos vino a granel.

El precio medio del vino exportado por España asciende a 1,18 €/l., lo que implica un crecimiento del 7,3% respecto del año anterior (2).

No obstante realizaremos un pequeño análisis de la evolución de los vinos envasados y los vinos a granel.

Si analizamos los vinos envasados, podemos apreciar como los vinos con DOC y DOP así como los vinos de aguja tiran de las exportaciones en 2016. Estos vinos han crecido en valor un 0,3% hasta alcanzar los 2.141 millones de euros (2,4).

No obstante, un análisis de los vinos a granel deba ver que las exportaciones de este tipo de productos cayeron en volumen un 10,3% menos de vino a granel en 2016 y mientras que en valor

sólo lo hicieron en un 2%. Esto implica que el precio medio subió un 9,2% suponiendo las exportaciones de vino a granel 1.254,4 millones de litros y 494 millones de euros (2,4).

Solamente los vinos sin indicación caen, reduciendo su volumen exportado en 183,6 millones de litros siendo los principales causantes de la reducción en volumen exportado del vino español (2,4).

Si analizamos la situación global apreciamos que las importaciones de vino crecen ligeramente en volumen alcanzando los 9.976 millones de litros con un crecimiento de 3,1 millones de litros pero con un crecimiento considerable en valor alcanzando los 28.547,3 millones de euros con un incremento de 371,9 millones de euros lo que supone un incremento de un 1,3% en valor (2,4)

El precio medio de los vinos ascendió hasta los 2,86 €/litro.

Si analizamos las tipologías de producto, detectamos que los vinos que más crecieron en ventas el pasado ejercicio fueron los espumosos

Los vinos envasados aumentaron un 1% tanto en volumen como en valor de ventas.

Por el contrario, cayeron las ventas de vino a granel, siendo éste por otro lado el que menor valor unitario tiene.

Las compras mundiales de vinos españoles descendieron 25,9 millones de euros lo que supone un decremento de un 1% respecto del año anterior, mientras que el volumen exportado decreció en 163,9 millones de litros lo que implica un decremento de un 7,2% del volumen y deja patente la importante reducción de ventas de graneles siendo su lugar ocupado por vinos de mayor valor añadido con la consecuente reducción de volumen exportado.



## 2.2 Situación del sector vitivinícola en España

### 2.2.1 Situación del viñedo

España tiene en la actualidad 955.717 hectáreas destinadas al cultivo de la vid, de las cuales un 97,4% están destinadas a vinificación, un 2% a uva de mesa, un 0,3 % a elaboración de pasas y un 0,3 % restante a viveros (6,9)

Es el país con mayor extensión de viñedo del mundo y casi el 30% de la superficie total de la UE.

No obstante, resulta evidente la caída de la superficie de viñedo en las últimas décadas pasando de las 1.642.622 Hectáreas en 1980 a las 955.717 hectáreas actuales.

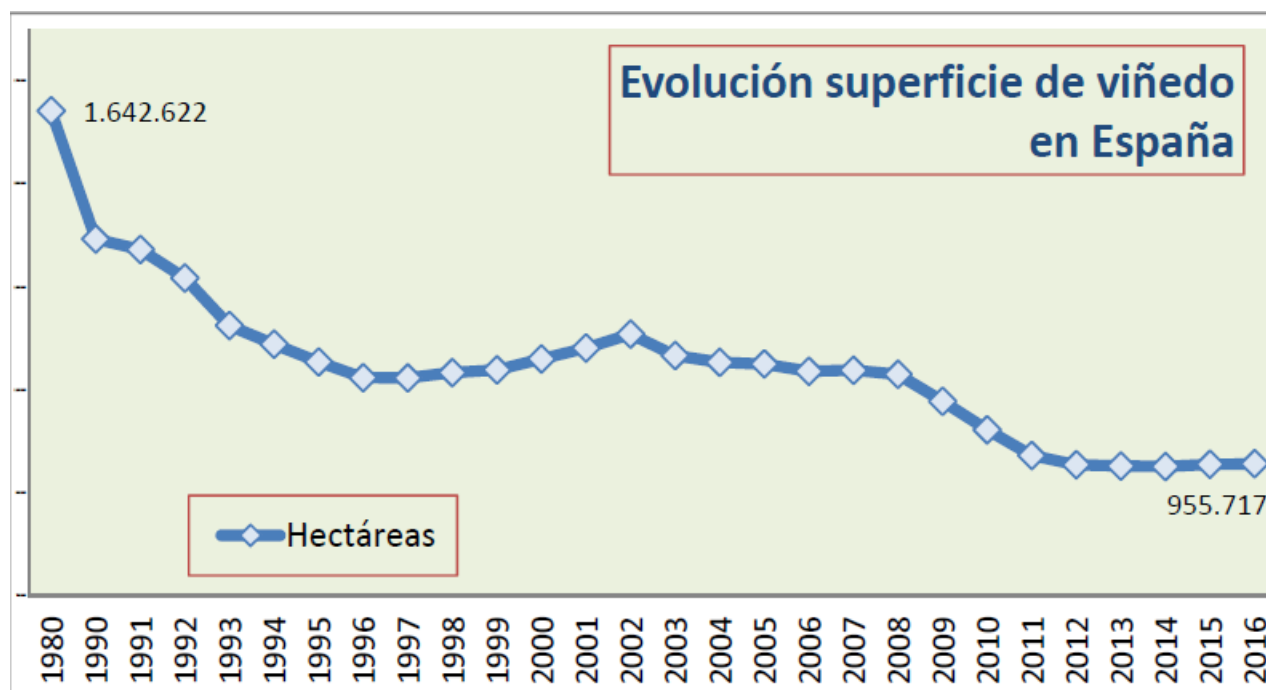


Figura 10. Evolución de la superficie de viñedo en España (9)

Si analizamos la distribución de superficies de viñedo por comunidades autónomas, podemos destacar como Castilla La Mancha con 473.331 hectáreas (un 49,53 % del total), es seguida de lejos por Extremadura con 83.039 hectáreas (un 8,69 % del total), Castilla y León con 64.473 hectáreas (un 6,75 % del total), Comunidad Valenciana 61.367 hectáreas (un 6,42 % del total), Cataluña con 55.118 hectáreas (un 5,77 % del total), La Rioja con 52.076 hectáreas (un 5,45 % del total) (6,9)

Estas 6 comunidades suman el 82,60% de la superficie de viñedo para transformación cultivada en España, lo que refleja una evidente concentración de la producción.

Por último, un análisis de la evolución de la superficie de viñedo por Comunidades Autónomas podemos apreciar como la superficie de viñedo de mantiene existiendo fluctuaciones destacables que resultan mucho más amortiguadas conforme mayor es la superficie de viñedo de la comunidad.

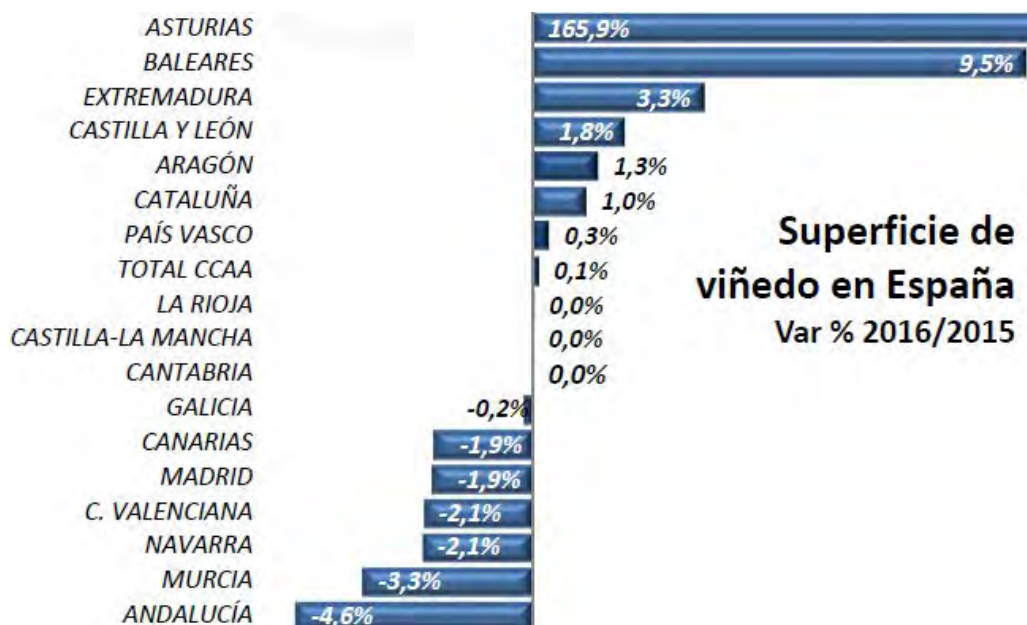


Figura 11. Evolución de la superficie de viñedo por Comunidades entre los años 2015 y 2016 (6)

Comunidad Autónoma	Secano (ha)	Regadio (ha)	Total (ha)	% 2015-16	% s/ total	% regadio / total
ANDALUCIA	20.625	3.191	23.816	-3,25%	2,5%	13,4%
ARAGÓN	25.783	11.428	37.211	1,25%	3,9%	30,7%
ASTURIAS	3	0	3	165,88%	0,0%	0,0%
BALEARES	1.128	2.001	3.129	9,47%	0,3%	63,9%
CANARIAS	5.267	2.967	8.233	-1,91%	0,9%	36,0%
CANTABRIA	14	0	14	0,00%	0,0%	0,0%
CASTILLA-LA MANCHA	249.841	223.490	473.331	0,01%	49,5%	47,2%
CASTILLA Y LEÓN	44.526	19.947	64.473	1,76%	6,7%	30,9%
CATALUÑA	46.333	8.785	55.118	1,02%	5,8%	15,9%
EXTREMADURA	58.074	24.965	83.039	3,29%	8,7%	30,1%
GALICIA	25.255	695	25.950	-2,12%	2,7%	2,7%
LA RIOJA	31.788	20.288	52.076	0,02%	5,4%	39,0%
MADRID	9.296	1.200	10.496	0,31%	1,1%	11,4%
MURCIA	18.835	6.060	24.895	-0,18%	2,6%	24,3%
NAVARRA	7.269	11.743	19.012	-4,55%	2,0%	61,8%
PAÍS VASCO	11.902	1.652	13.554	-1,94%	1,4%	12,2%
C. VALENCIANA	44.216	17.151	61.367	-2,09%	6,4%	27,9%
<b>TOTAL ESPAÑA</b>	<b>600.155</b>	<b>355.562</b>	<b>955.717</b>	<b>0,11%</b>	<b>100,0%</b>	<b>37,2%</b>

Tabla 4. Distribución de la superficie de viñedo en España por Comunidades Autónomas (6)

## 2.2.2 Producción vinícola en España

Los datos provisionales para la campaña 2016 muestran como la producción ha decrecido levemente (un 3,3 %) tras varios años de estabilización de la producción vinícola en torno a los 40 millones de hectolitros, para colocarse en 42 millones de hectolitros producidos en 2016 contra los 43,4 millones de hectolitros producidos en 2015 (5,10).

De la citada producción de 42 millones de hectolitros, 4,8 millones de hl. se destinan a mostos y zumos mientras que 37,2 millones de hl. Son destinados a producción vinícola.

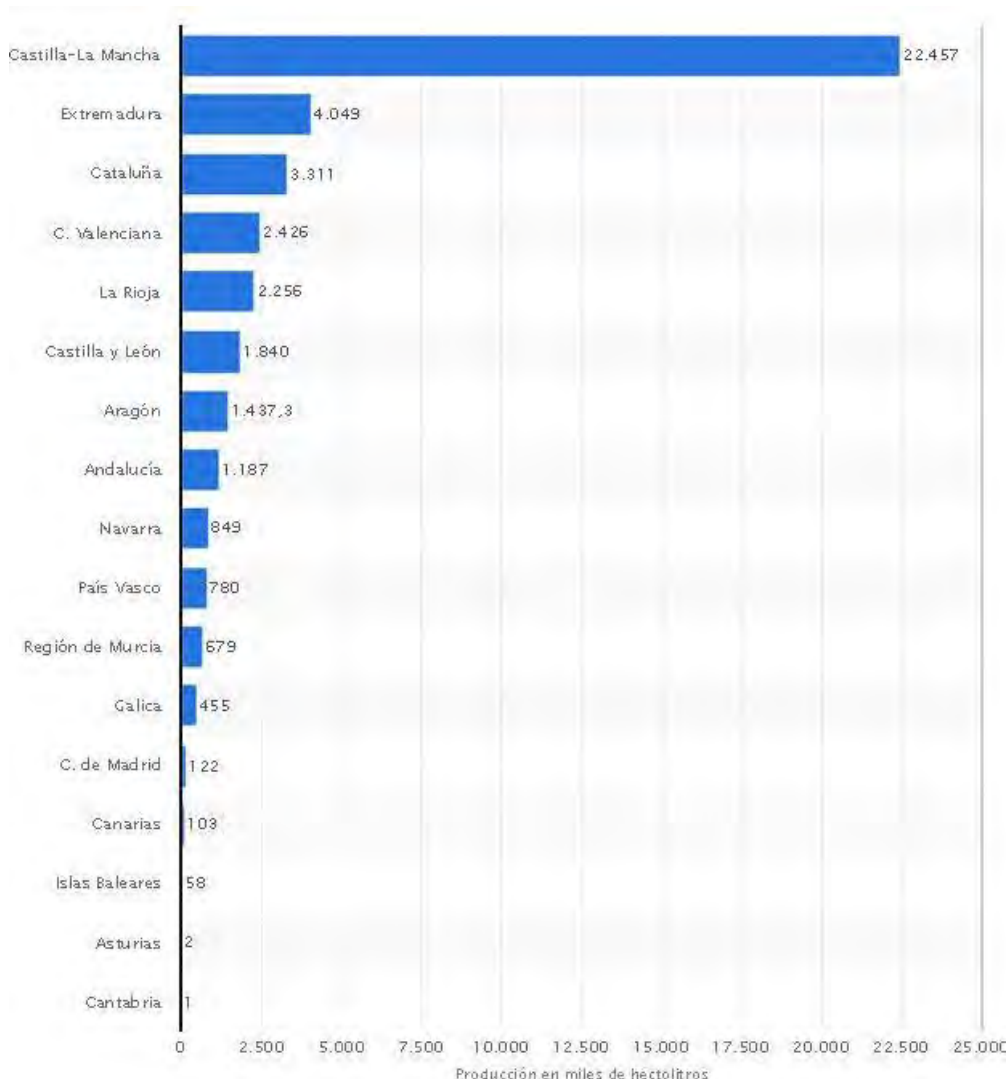
Es destacable la reducción de volumen producido por Castilla La-Mancha que asciende a 2,1 millones de hectolitros que suponen un caída superior a la de todo el país, lo que implica de forma explícita que el sumatorio del resto de comunidades exceptuando la citada Castilla La Mancha ha sido positivo.

En primer lugar detectamos un decremento en la producción respecto de la campaña 2015 desde los 43,4 millones de litros producidos en dicha campaña hasta los 42 millones de hl para la campaña 2016.

Si atendemos al reparto geográfico Castilla-La Mancha es la principal región productora con 22.457 miles de hl en la campaña 2016, que suponen un 53,45 %.

En segundo lugar encontramos Extremadura con 4.049 miles de hl en la campaña 2016, lo que supone un 9,64% del total.

A continuación se encuentran Cataluña (con 3.311 miles de hl y un 7,88% del total), Comunidad Valenciana (con 2.426 miles de hl y un 5,77 % del total), y La Rioja (con 2.256 miles de hl y un 5,37 % del total) (5,10).



*Figura 12. Volumen de vino producido en España en 2015/2016, desglosado por comunidad autónoma (en miles de hectolitros) (10)*

Si atendemos a la tipología de la producción, los 42 millones de hectolitros producidos se dividen inicialmente en 37,2 millones de hl. destinados a vinificación y 4,8 millones de hl. Destinados a producción de mostos.

De entre las cantidades destinadas a vinificación apreciamos incrementos en la producción de vinos con Denominación de Origen Protegida (+4,5%), vinos con varietal especiales (+3,2%) y vinos con Indicación Geográfica Protegida (+19%).

Por el contrario apreciamos una caída importante de los vinos sin indicación (un -17,7%) (5,10).

### 2.2.3 Estructura empresarial

En los últimos años, el sector vitivinícola español se encuentra inmerso en un importante proceso de actualización y renovación. Así, desde el año 2000, la superficie sujeta a reconversión y reestructuración ha superado las 130.000 hectáreas, lo que representa una inversión cercana a los 800 millones de euros. Se estima que algo más de 4.059 bodegas elaboran en España vinos tranquilos, espumosos y de licor. (,4)

Dichas bodegas son de pequeño tamaño, de capital mayoritariamente de origen español y de tipo familiar. Una parte considerable de las mismas están constituidas como cooperativas agrarias. (3)

El nivel de inversión para edificación de nuevas bodegas así como para la mejora de instalaciones y equipamientos destinadas a ofrecer una gama de vinos más amplia y de mayor calidad, a sido considerable, si bien dicho nivel de inversión ha disminuido en los años recientes por causa de la crisis económica.

Si atendemos al número de bodegas, la DOCa Rioja tiene registradas el mayor número de bodegas de vino de calidad (797), seguida de DO Cava (402), DO Ribera del Duero (307), DO La Mancha (252), DO Cataluña (211), DO Penedés (178) y DO Rías Baixas (179) (3).

## 2.2.4 Consumo interno

El consumo interno de vino ha crecido en España en 2016 hasta los 7.592 millones de euros (+3,1%), rompiendo la tendencia de los años anteriores.

El valor de las ventas de vino tranquilo creció en un 4,8% mientras que el de los espumosos creció en un 4,1% (8).

% Var. ventas valor	Año 2016
Total bebidas	+3,1%
Aguas	6,0%
Vinos	4,8%
Espumosos	4,1%
Cervezas	3,7%
Zumos	3,4%
Bebidas alcohólicas	3,2%
Bebidas refrescantes	0,5%

*Tabla 5. Evolución del valor de las ventas de bebidas entre los años 2015 y 2016 (8)*

Dado que el conjunto de las ventas de gran consumo creció en 2016 un 2,7% hasta los 48.769 millones de euros, podemos apreciar señales de recuperación en el consumo para el sector de las bebidas y muy especialmente el de vinos tranquilos y espumosos (8).

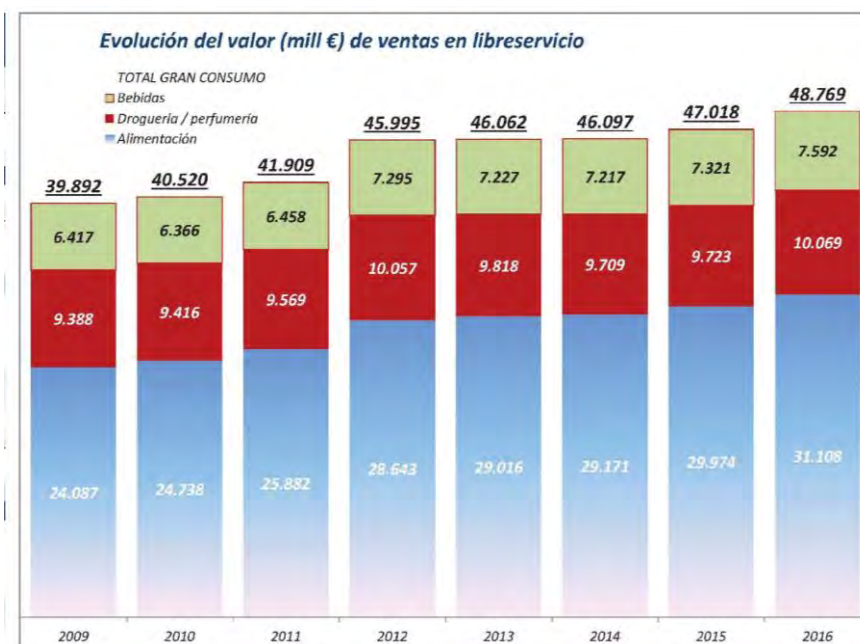


Figura 13. Evolución del valor de las ventas de bebidas entre los años 2009 y 2016 segmentados por tipologías (7,8)

No hay que perder de vista que el consumo de vinos en España se encuentra en mínimos históricos con 25,4 litros por habitante para el año 2016 (8) así como que el peso en las ventas para el sector bebidas sigue siendo similar al del ejercicio anterior (si bien el de vinos tranquilos y espumosos crece considerablemente más).

	Peso en Ventas	
	Año 2015	Año 2016
Alimentación	63,8%	63,8%
Bebidas	15,5%	15,6%
Droguería/Perfumería	20,7%	20,6%

Tabla 6. Peso por ventas de los principales grupos en Gran Consumo para los años 2015 y 2016 (7,8)



Sin embargo, el vino con Denominación de Origen incrementó sus ventas en 2016, tanto en volumen como en valor.

Atendiendo a denominaciones, los vinos de Rioja son líderes del mercado español, con un 60,2% en valor de ventas de vinos tintos con Denominación de Origen.

En hostelería, esta cuota alcanza el 75,9 % (7).

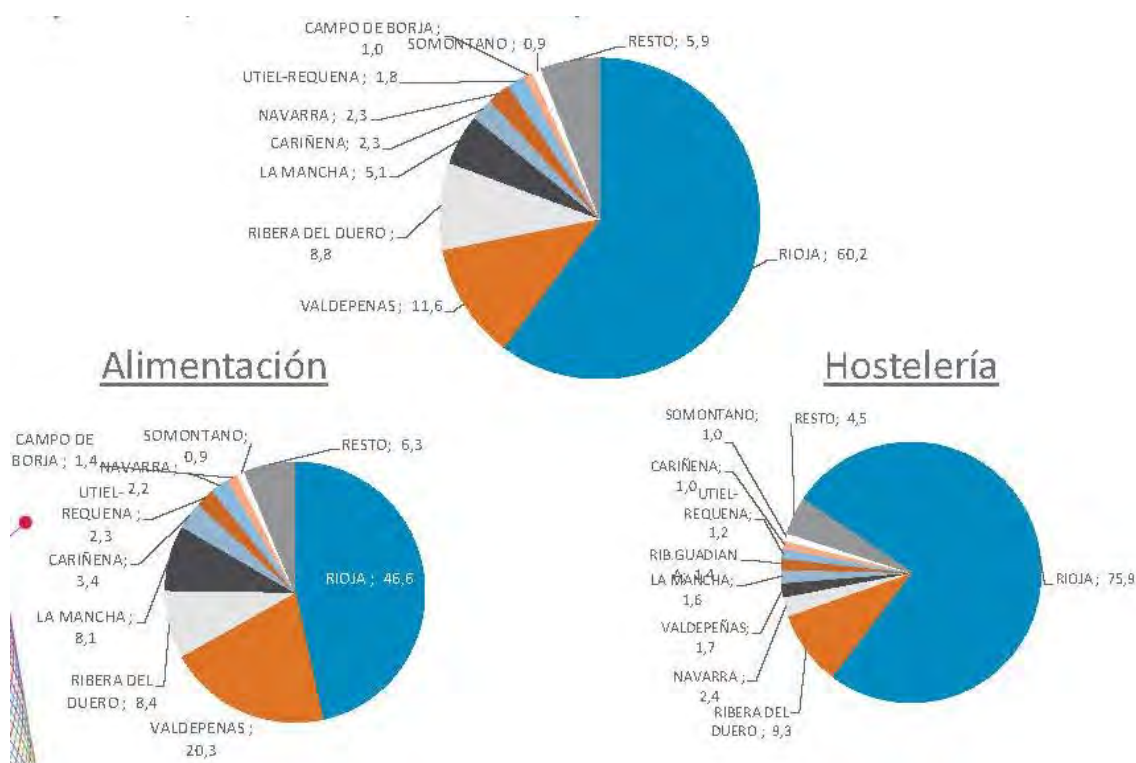


Figura 14. Participación de las denominaciones de origen en el mercado de vino tinto criado (7)

## 2.2.5 Exportaciones de vino

A pesar de que España es un productor de vino con una tradición que se remonta a más de 2000 años, hasta hace relativamente poco nunca había tenido una fuerte vocación exportadora.

No obstante, en la última década, dicha tendencia ha cambiado, logrando convertirse en una potencia exportadora.

Actualmente, la tendencia del vino español en el mercado exterior parece clara: fuerte encarecimiento de precios, fuerte descenso del volumen de venta, y buenos datos de facturación (4,5).

Este comportamiento se explica por el descenso en las exportaciones de vino a granel sin DOP como se cita en apartados anteriores, manteniendo de esta forma el valor de las ventas con una reducción considerable del volumen vendido.



Figura 15. Volúmenes de exportaciones de vino y nº de empresas exportadoras (5)

## 2.3 Situación del sector vitivinícola en La Rioja

La superficie cultivada de viñedo en La Rioja asciende a 62.619,60 ha, de las cuales 57.998,22 ha son de variedades tintas y 4.621,38 ha son de variedades blancas.

2. PRODUCCIÓN AMPARADA DE UVA DE RIOJA - COSECHA 2016					
		LA RIOJA	ÁLAVA	NAVARRA	TOTAL
Variedades tintas (hectáreas)		39.408,37	12.288,96	6.300,89	57.998,22
Producción tintas (kg)		271.778.270	84.444.759	43.726.898	399.949.927
Rendimiento tintas (kg/ha)		6.896	6.872	6.940	6.896
Variedades blancas (hectáreas)		3.279,05	918,28	424,03	4.621,38
Producción blancas (kg)		29.940.654	8.296.542	3.957.054	42.194.250
Rendimiento blancas (kg/ha)		9.131	9.035	9.332	9.130
Total blancas y tintas	Hectáreas	42.687,42	13.207,25	6.724,92	62.619,60
	Producción (kg)	301.718.924	92.741.301	47.683.952	442.144.177
	Rendimiento medio	7.068	7.022	7.091	7.061

*Tabla 7. Producción de uva en DOC Rioja en 2016 (11)*

Esto supone un incremento de en la D.O.Ca. Rioja cercano a las 9.000 ha en la última década (11).

Resulta significativo el hecho de que a superficie de variedades tintas se ha duplicado en los últimos 25 años, lo que indica una concentración de la producción en este tipo de variedades, siendo la más destacada el Tempranillo, con un 81% de la superficie de viñedo de la D.O.Ca. Rioja (11).

6. VIÑEDOS SEGÚN VARIEDADES DE UVA POR COMUNIDADES - 2016 (EN HECTÁREAS)

BLANCAS	La Rioja	% S/T	Álava	% S/T	Navarra	% S/T	Total	% S/blancas	% S/ Total viñedo
VIURA	3.129,98	70,93%	884,29	93,86%	195,50	44,98%	4.209,78	72,71%	6,48%
MALVASÍA	100,43	2,28%	18,61	1,98%	3,63	0,84%	122,67	2,12%	0,19%
GARNACHA BLANCA	136,81	3,10%	4,14	0,44%	6,99	1,61%	147,94	2,56%	0,23%
TEMPRANILLO BLANCO	518,75	11,76%	18,30	1,94%	70,09	16,13%	607,14	10,49%	0,93%
MATURANA BLANCA	33,54	0,76%	0,04	0,00%	0,99	0,23%	34,56	0,60%	0,05%
VERDEJO	193,17	4,38%	2,07	0,22%	106,52	24,51%	301,77	5,21%	0,46%
TURRUNTES	4,07	0,09%	0,01	0,00%	0,00	0,00%	4,08	0,07%	0,01%
CHARDONNAY	101,52	2,30%	3,68	0,39%	33,69	7,75%	138,88	2,40%	0,21%
SAUVIGNON BLANC	153,91	3,49%	7,35	0,78%	15,43	3,55%	176,69	3,05%	0,27%
OTRAS BLANCO	40,67	0,92%	3,61	0,38%	1,76	0,41%	46,04	0,80%	0,07%
TOTAL BLANCO	4.412,85	100%	942,09	100%	434,61	100%	5.789,55	100%	8,91%

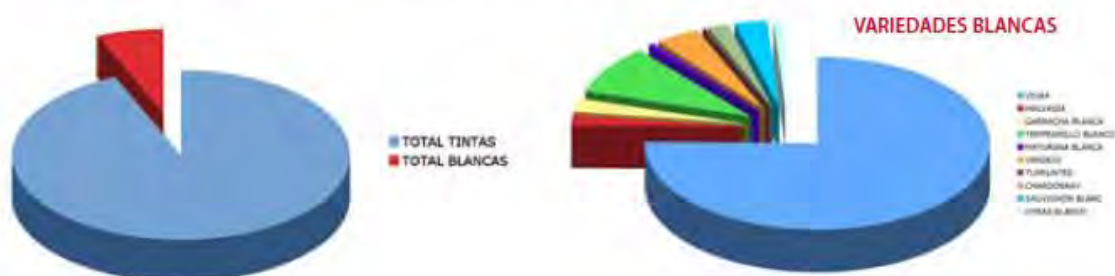


Figura. 16 Viñedos según variedades (11)

Asimismo, y resulta un dato de vital importancia para el estudio que nos ocupa, se está produciendo un paulatino decremento en la elaboración de vinos cosecheros y un progresivo aumento de los vinos de crianza.

Sirva como ejemplo el hecho de que los cosecheros redujeron a la mitad el volumen elaborado en el período comprendido entre 1983-2007, suponiendo hoy en día el 5,8% del volumen total elaborado.

Como principales motivos de esta pérdida de volumen elaborado por los vinos cosecheros, debemos resaltar el cambio de los mercados que cada vez demandan más vinos de crianza con la consiguiente adaptación de los productores a las nuevas realidades del mercado.

Esto ha acarreado un incremento en el número de bodegas de crianza (141 en 1993 a 379 en 2016) (11).

15. BODEGAS DE RIOJA INSCRITAS A 31-12-2016										
TITULARES	LA RIOJA		ÁLAVA		NAVARRA		TOTAL		BOD. CON REGISTRO DE EMBOTELLADOR	
	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015
Criadores	219	219	147	148	13	14	379	381	391	390
Almacenistas	40	39	36	34	1	1	77	74	60	54
Cooperativas	28	28	7	7	2	2	37	37	27	27
Cosecheros	132	134	165	169	0	0	297	303	123	123
Totales	419	420	355	358	16	17	790	795	601	594

*Tabla 8. Bodegas inscritas en la DOC Rioja 2012 (11)*

Las existencias de vino han crecido de 470,28 millones de litros en 1993 a 624,18 millones de litros en 2012 y 821.45 millones de litros en 2016. (11).

De igual manera, se ha producido un incremento muy importante del parque de barricas (pasando de 546.615 en 1990 a 1.325.629 en 2016), que como podemos ver ha recuperado la línea de crecimiento del parque de barricas que parecía haberse estancado en los últimos años (11).

14. EVOLUCIÓN DEL PARQUE DE BARRICAS					
AÑO	TOTAL BARRICAS	AÑO	TOTAL BARRICAS	AÑO	TOTAL BARRICAS
1990	546.615	2010	1.292.261	2016	1.325.629
1995	598.000	2011	1.290.226		
2000	939.454	2012	1.277.696		
2005	1.161.331	2013	1.262.296		
2008	1.261.022	2014	1.284.672		
2009	1.286.738	2015	1.271.688		
<b>Evolución año 2016:</b>		El número total de barricas de roble de 225 litros para la crianza a 31-12-2016 era de <b>1.325.629</b> , con un aumento de <b>53.941</b> sobre el año anterior.			

*Tabla 9. Evolución del parque de barricas (11)*

Esto refleja un desplazamiento del tipo de vinos elaborados, hacia vinos de crianza y con mayor valor añadido.

Debe ser resaltado, no obstante, que desde el año 2011, el parque de barricas ha descendido ligeramente y por primera vez en décadas, lo que puede marcar una estabilización del número de barricas existentes si bien en el último ejercicio ha vuelto a crecer de forma sustancial.

Atendiendo a la comercialización, desde los años 90, las ventas han pasado de ser 103,78 millones de litros en 1990 a 282,45 millones de litros en 2017, lo que supone un 272,16 % del volumen vendido en 1990 (11).

Si atendemos al mercado destino de las ventas, el crecimiento del mercado de exportación ha sido muy superior al del mercado interior.

Así, entre los años 1993 y 2012, el mercado interior ha pasado de suponer 120.199.499 litros a 178.674.747 litros (lo que implica un incremento del 48,65 %), mientras que el mercado de exportación ha pasado de suponer 38.722.771 litros a 103.770.362 litros (lo que implica un incremento del 267,98 %).

18. EVOLUCIÓN DE LA COMERCIALIZACIÓN DE VINOS DE RIOJA 1985-2016 (EN LITROS)						
Años	Mercado Interior		Mercado Exterior		Total ventas	
	LITROS	% S/AA	LITROS	% S/AA	LITROS	% S/AA
1985	67.743.375	-----	28.633.625	-----	96.377.000	-0,35
1986	74.651.578	10,70	29.902.122	4,43	104.553.700	+8,48
1987	77.442.665	3,74	35.665.935	19,28	113.108.600	+8,18
1988	82.894.300	7,04	34.301.700	-3,82	117.196.000	+3,61
1989	77.784.543	-6,16	26.631.578	-22,36	104.416.121	-10,90
1990	77.252.631	-0,68	26.029.946	-2,26	103.782.577	-0,61
1991	99.841.642	29,2	29.137.809	11,9	128.979.451	24,28
1992	114.478.913	14,6	34.362.372	17,9	148.841.285	15,40
1993	120.199.494	5	38.722.771	12,7	158.922.265	6,77
1994	139.918.321	16,4	56.790.139	46,6	196.708.460	23,78
1995	125.953.908	-9,98	59.116.887	4,1	185.070.795	-5,92
1996	119.444.519	-5,46	58.846.727	-0,46	178.291.246	-3,66
1997	137.458.184	15,08	67.781.317	15,18	205.239.501	15,11
1998	150.682.311	9,47	71.550.035	5,5	222.232.346	8,15
1999	138.445.732	-8,13	57.133.801	-20,67	195.579.533	-11,99
2000	120.119.230	-13,24	39.858.918	-30,24	159.978.148	-18,20
2001	159.986.313	33,28	60.405.880	51,53	220.392.193	37,83
2002	178.115.778	11,27	72.097.169	19,33	250.212.947	13,48
2003	170.209.213	-4,43	66.138.317	-8,26	236.347.530	-5,54
2004	182.308.591	7,10	69.027.451	4,36	251.336.042	6,34
2005	179.565.974	-1,57	71.230.807	3,19	250.796.781	-0,26
2006	182.715.391	1,75	78.965.590	10,86	261.680.981	4,34
2007	187.461.381	2,59	84.589.517	7,12	272.050.898	3,96
2008	171.992.928	-8,25	79.916.305	-5,52	251.909.233	-7,40
2009	163.672.090	-4,89	72.425.805	-9,38	236.097.895	-6,31
2010	181.262.567	10,75	85.855.264	18,53	267.117.831	13,14
2011	176.985.130	-2,42	91.920.407	7,06	268.905.537	0,62
2012	169.448.349	-4,26	96.967.206	5,47	266.415.555	-0,93
2013	174.982.696	3,17	102.184.584	5,39	277.167.280	3,98
2014	175.003.261	0,02	105.786.163	3,52	280.789.424	1,31
2015	177.410.848	1,10	106.612.815	1,20	284.023.663	1,13
2016	178.674.747	0,67	103.770.362	-2,70	282.445.109	-0,59

Tabla 10. Evolución de la comercialización de vinos de Rioja 2016 (11)

Respecto del destino de las exportaciones, Reino Unido (33,24 %), Alemania (16,54 %) y EEUU (9,36 %) suponen un 59,14 % de las ventas. No obstante, países como China, que habitualmente no han sido potenciales clientes de vinos, se están posicionando como clientes de gran importancia (11).

20. EXPORTACIÓN EN 2016 POR PAÍSES		
PAIS	LITROS 2016	% S/TOTAL
Reino Unido	34.491.248	33,24
Alemania	17.163.258	16,54
EE.UU.	9.712.149	9,36
Suiza	5.786.179	5,58
Holanda	3.778.736	3,64
China	3.697.014	3,56
Suecia	3.188.975	3,07
Canadá	3.121.826	3,01
Irlanda	2.721.116	2,62
Bélgica	2.451.734	2,36
Resto países	17.658.127	17,02
Total 2016	103.770.362	100,00%

*Tabla 11. Exportaciones de vinos de Rioja por países (11)*

Para finalizar debemos destacar que solamente un 36% de los vinos comercializados no tienen crianza y que un 88% del total sigue siendo vino tinto , a pesar del creciente empuje de rosados y en especial vinos blancos.



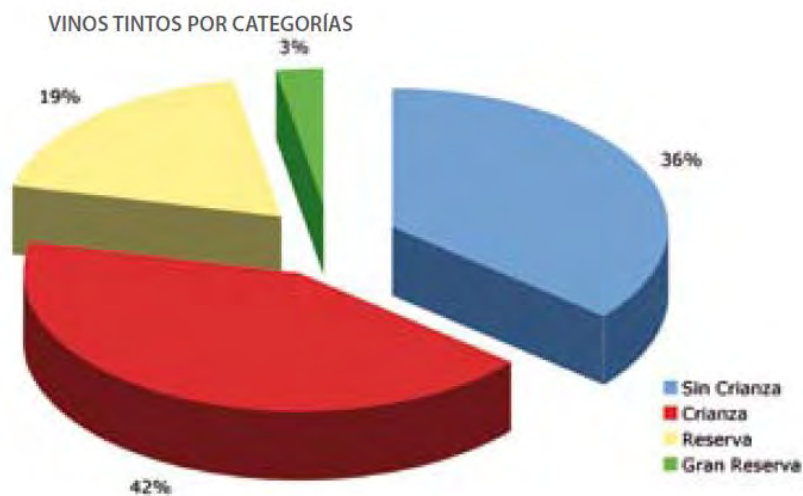


Figura 18. Tipos de vinos clasificados según crianza (11)

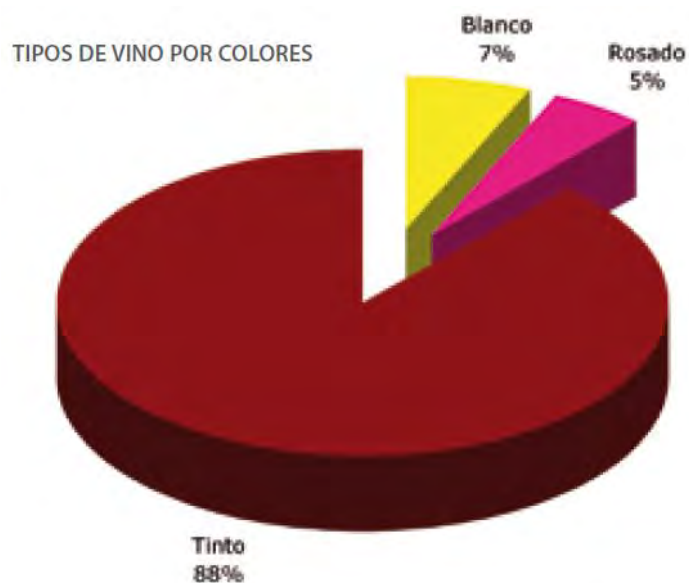


Figura 19. Tipos de vinos por colores (11)

## 2.4 Conclusiones

En una situación de paulatina superación de la crisis económica, el panorama vitivinícola mundial está cambiando sustancialmente.

Por un lado, a nivel global, los productores tradicionales, si bien continúan consolidados como primeros productores en volumen e importe, han visto como la distancia que les separa de los nuevos productores es cada vez menor.

El volumen de vino consumido por los clientes tradicionales ha caído también de forma considerable, si bien, los nuevos mercados han sido suficiente como para limitar el impacto de dicha caída.

Los precios que habían caído fuertemente, se han estabilizado comenzando un proceso de recuperación, en especial dentro de los vinos de gama media y alta.

Si miramos al mercado nacional, y más aún al del Rioja, se aprecia como ese cambio es aún más latente.

Estos hechos, junto con una necesidad de exportar los productos derivada de la reducción del volumen del mercado interior, hacen que las bodegas se vean en la tesitura de explorar técnicas y metodologías que les permitan ser más competitivos en términos de costes y de calidad así como adaptarse a un mercado cambiante, que está evolucionando rápidamente hacia vinos más fáciles de beber y con una alta expresividad.

## Referencias

1. OIV, 2017; XL th World Congress of Vine and Wine;
2. OIV, 2017; Statistical report on world viniviculture 2017;
3. ICEX, 2016; El Vino en Cifras – Año 2015
4. OEMV, 2017; Exportaciones españolas de vino. Año 2016
5. OEMV, 2017; Consumo interior. Informe IWSR sobre consumo de bebidas en España 2016.
6. OEMV, 2017; Superficie de viñedo en España 2016.
7. NIELSEN, 2017; Informe anual de mercados de vinos en España Nielsen 2016.
8. NIELSEN, 2017; Informe Market trends. Año 2016.
9. MAGRAMA, 2017; “Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos ESYRCE” sobre datos de 2016 del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA)
10. FEAGA, 2017; Producción declarada de vino. Campaña 2015/2016.
11. D.O.Ca.Rioja, 2017 – “Memoria Anual Ejercicio 2016”



## 3. Proceso de elaboración del vino tinto

---

### 3.1 Definición del vino tinto

En el presente proyecto nos hemos basado en la elaboración de vinos tintos de crianza dado que la mayoría de los vinos criados en bodega son vinos tintos.

Los vinos tintos son vinos de maceración, siendo necesarias tanto las sustancias del zumo de la uva como otras en la fracción sólida.

Podemos definir vino tinto como aquel procedente del mosto de uva tinta. Dicho mosto, en maceración con las partes sólidas de la uva (habitualmente hollejos) durante la fermentación alcohólica del mismo da lugar al vino tinto (12).

Durante dicha maceración se produce la extracción de compuestos fenólicos, aromas y de todas aquellas sustancias que caracterizarán química y organolépticamente al vino (6; 13).

### 3.2 La uva tinta. Composición y variedades

La uva es el fruto que crece de la vid común o vid europea, formando agrupaciones denominados racimos.

La vid pertenece al género *Vitis* de la familia de las Vitáceas.

Se trata de un fruto conocido desde la antigüedad, siendo utilizado inicialmente como alimento, utilizándose más adelante para la vinificación, donde hoy ocupa un lugar preponderante (10).

Tal y como hemos citado, es la materia prima de los procesos de vinificación, siendo parte importante todos sus componentes, desde la piel, hasta el mosto, pasando por pepitas y hollejos.

En el mosto, podemos encontrar de forma representativa ácido tartárico, ácido málico, ácido cítrico, ácido ascórbico, diversas sales, glucosa y fructosa, pudiéndose en determinadas variedades encontrar sacarosa y otros azúcares (1).

Diferenciaremos inicialmente las tipologías de uva en uva blanca y uva tinta en función del color de su piel.

En nuestro caso, y dado que la crianza en barrica es predominante en los vinos procedentes de uva tinta expondremos las variedades de esta última.

### 3.2.1 Variedades de Uva

Las variedades de uvas tintas más conocidas son las siguientes Jaeger (7):

*Barbera*. Junto con la variedad sangiovese, es la variedad tinta más cultivada de Italia. Se da en la zona del Piamonte. Produce vinos tintos de un marcado matiz afrutado, densamente estructurado e idóneo para el envejecimiento.



Figura 20. Variedad de uva Barbera

*Cabernet franc*. Amplio en varietales afrutados, con una ligera cantidad de tanino.



*Figura 21. Variedad de uva Cabernet Franc*

*Cabernet sauvignon*. Es la variedad más conocida. Caracterizada por sus frutos oscuros, pequeños y de gruesa piel, produce vinos tánicos y muy coloreados. A menudo se usa en un "coupage" con otras variedades, destacando cabernet franc y merlot.



*Figura 22. Variedad de uva Cabernet Sauvignon*

*Cariñena*. Variedad típica de Campo de Cariñena, de donde recibe su nombre. Produce vinos tánicos y de color intenso. Ofrece muchas posibilidades en combinación con otras variedades.



*Figura 23. Variedad de uva Cariñena*

*Gamay*. Esta variedad permite densidades de hasta 10.000 plantas por hectárea. La vendimia se realizará a mano para fermentar los racimos de uva enteros en un proceso de maceración carbónica. Esto extraerá gran cantidad de aromas de las pieles, consiguiendo, sin embargo, poco aporte tánico.



*Figura 24. Variedad de uva Gamay*



*Garnacha tinta.* Se utiliza para la producción de vinos jóvenes y rosados. Sus vinos tienden a la oxidación, por lo que tiende a mezclarse con otros varietales, aportando cuerpo y alcohol.



*Figura 25. Variedad de uva Garnacha tinta*

*Malbec.* Variedad oscura y rica en aporte tánico. Sus rendimientos pequeños, favorecen la consecución de vinos con gran complejidad y buen potencial de envejecimiento.



*Figura 26. Variedad de uva Malbrc*

*Monastrell*. Se caracteriza por una maduración muy tardía. Su sabor varía dependiendo de la zona, pudiendo ser silvestre o maderizado, con ligeros aromas de zarzamora. Sus vinos son suaves y carnosos por lo general.



*Figura 27 Variedad de uva Monastrell*

*Nebbiolo*. Uva de grano pequeño con gran bouquet y ligeros aromas de té, rosas, especias y brea. Tiene gran capacidad de envejecimiento, fundamentada en su amplio aporte tánico.



*Figura 28. Variedad de uva Nebbiolo*

*Sangiovese*. Si bien en años fríos en raras ocasiones a madurar por completo, en los cálidos sus vinos se caracterizan por una alegre acidez y una fina estructura tánica.



*Figura 29. Variedad de uva Sangiovese*

*Syrach*. Variedad de producción regular y abundante. Aporta aromas a violeta, cerezas negras, hierbas silvestres, regaliz, humus y diversas especias. Asimismo tiene un importante aporte tánico que dota a este varietal de gran fuerza y potencia a la vez que permite conseguir vinos de gran redondez.



*Figura 30. Variedad de uva Syrach*

*Tempranillo*. es una variedad sensible a la sequía y a las enfermedades con un ciclo vegetativo breve. Los aromas afrutados y los colores oscuros de sus vinos resultan muy apreciados. Tiene gran potencial de maduración en madera. Por su gran aportación tánica de compleja estructura. Dado que es la variedad de gran potencial de envejecimiento más usada en la zona, nos hemos decantado por el tempranillo para la ejecución de las pruebas realizadas en este proyecto.



*Figura 31. Variedad de uva Cabernet Franc*

## 3.3 Fases de la elaboración del vino tinto

### 3.3.1 Recepción de la uva

Una vez recogida la uva en campo, ésta se recibe en bodega. En primer lugar se pesa y realiza un análisis inicial de la misma. Para la consecución de dicho análisis, se toma una muestra representativa mediante un toma-muestras manual o automático (generalmente usado en el caso de grandes bodegas) automático. Se tomarán muestras en diferentes zonas del remolque logrando que la muestra sea representativa.

Los parámetros habitualmente medidos son densidad, los grados Brix, acidez total, pH, nitrógeno fácilmente asimilable, color, contenido en polifenoles y estado sanitario de la uva. Este último punto implica estudiar la presencia de mohos de géneros potencialmente perjudiciales para la vinificación como los géneros *Mildium* y *Botrytis*.

Debemos recalcar, no obstante, que gran parte del éxito de las posteriores etapas de vinificación no comienzan con la recepción de la uva en la bodega, sino en la propia viña, dado que la consecución de una materia prima de calidad requiere un seguimiento intensivo del desarrollo y la maduración de la uva. Conseguiremos con ello una uva sana y en un grado de madurez adecuado para la vinificación (6).

### 3.3.2 Despalillado y estrujado

Tras la recepción de la uva, ésta pasa a un proceso mecánico de eliminación del raspón o escobajo. Con esto se busca evitar la presencia en el mosto de exceso de tanino ni sabores herbáceos predominantes.

Tras éste proceso, habitualmente se añade dióxido de azufre sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) con el objeto de inhibir el desarrollo de microorganismos presentes en la uva (especialmente bacterias lácticas) (5).

Tras la eliminación del raspón, la uva será estrujada extrayendo el zumo.

### 3.3.3 Encubado

El mosto, junto con la pasta creada junto con el mosto se llevan a tanques de fermentación. Suelen ser tanques de acero inoxidable.

Deberemos controlar la temperatura y la frecuencia de regado del sombrero. De esta forma conseguiremos una adecuada extracción de pigmentos consiguiendo un adecuado color en el vino.

En esta fase, se llevarán a cabo varios procesos necesarios para un adecuado desarrollo del vino tinto.

Los principales de dichos procesos son la sulfitación descrita anteriormente, la corrección de acidez, la adición de levaduras así como de productos adecuados para el desarrollo de las mismas.

### 3.3.4 Sulfitación

Consiste en la adición de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) debido a sus propiedades antisépticas, antioxidantes, desinfectantes y por su capacidad para favorecer la extracción del color.

Sus capacidades y su facilidad de uso, han hecho que, este procedimiento usado desde hace siglos, haya perdurado hasta la actualidad, siendo la técnica de control microbiano más convencional (3).

### 3.3.5 Corrección de acidez total

El ácido natural que podemos encontrar en la uva es el ácido tartárico. Es por ello que, para ajustar la acidez del vino utilizaremos dicho ácido.

El mosto deberá encontrarse en un pH cercano a 3,60 para lograr una óptima entrada en los procesos fermentativos posteriores.

### **3.3.6 Adicción de levaduras**

Se adicionarán en esta fase las levaduras, capaces de transformar el azúcar en alcohol y aportar ciertos aromas característicos al vino.

Estas levaduras, si bien pueden proceder de la propia uva, también pueden ser añadidas mediante productos comerciales, o mediante cultivos aislados seleccionados específicamente, estando estas técnicas en la actualidad, totalmente generalizada. Su utilización permite un arranque correcto y rápido de la fermentación y la obtención de un producto homogéneo y de gran calidad (11).

### **3.3.7 Adición de otros productos**

Habitualmente se adicionan productos destinados a fomentar un adecuado crecimiento de levaduras (como fosfato biamónico, vitaminas del grupo B, tiamina, riboflavina, niacina, etc. así como diversos agentes de origen mineral).

Asimismo, la presencia de madera en las fases de fermentación, puede fomentar la aparición de aromas (en especial a partir de la fermentación maloláctica) y la fijación del color (con aplicaciones desde la propia fermentación maloláctica).

### **3.3.8 Maceración**

Durante la maceración, el vino permanecerá en contacto con los hollejos, los cuales aportan al vino principalmente concentración, taninos y color.

Este proceso es simultáneo al de fermentación alcohólica.

Durante este proceso, los hollejos flotarán depositándose en una capa en la parte superior del tanque, denominada sombrero.

Los remontados, son un procedimiento destinado a extraer la mayor cantidad de color y tanino desde el hollejo. Consiste en regar el sombrero con mosto en fermentación procedente de la base del mismo depósito.

El remontado logra una adecuada homogeneización de los azúcares, las levaduras y los hollejos del depósito de fermentación, favoreciendo la extracción de los compuestos fenólicos y evitando la aparición de zonas de elevada temperatura.

Este proceso ayuda a potenciar la extracción de color, pudiendo automatizarse el proceso para lograr el tono deseado.

### **3.3.9 Fermentación alcohólica**

Es un proceso simultáneo a la maceración que consiste en la transformación de los azúcares del mosto en alcohol.

La duración de la fermentación alcohólica puede oscilar entre 7 y 20 días.

La temperatura, las levaduras adicionadas o la cantidad de nutrientes, tal y como se explica en el punto anterior, pueden hacer variar la duración de este proceso.

Las reacciones presentes durante la fermentación alcohólica transforman mediante un proceso de glicólisis, los azúcares presentes en el mosto en ácido pirúvico.

Dicho ácido pirúvico es, a su vez, transformado en CO<sub>2</sub> y acetaldehído por acción de la enzima piruvato descarboxilasa.

El acetaldehído es sintetizado por la enzima alcohol deshidrogenasa, produciéndose el etanol.

En la misma reacción se produce NAD<sup>+</sup>, gracias al cual la glicólisis continúa y la célula obtiene energía por medios fermentativos, sin necesidad de oxígeno (lo que resulta adecuado para el medio presente en ese momento, rico en azúcares y pobre en oxígeno) (12).



Los parámetros a controlar en este proceso son la temperatura y la densidad del mosto.

La temperatura, en el caso de los vinos tintos, será cercana a los 25°C pudiendo llegar a los 28°C.

Si la temperatura superase los 30°C, el crecimiento tumultuoso de las levaduras puede provocar que se alcancen temperaturas incluso superiores a los 35°C en determinadas zonas de los depósitos de fermentación.

Si las temperaturas resultan demasiado elevadas, podría detenerse la actividad metabólica de las levaduras y con ello la propia fermentación.

Esto podría ocasionar el desarrollo de bacterias ajenas al proceso.

Respecto de la densidad del mosto, resulta necesario su control para saber cuándo termina la fermentación. La fermentación tras el despalillado y estrujado se aproxima a los 1100 g/l. Se estima que la fermentación ha terminado cuando la densidad se mantiene constante durante al menos dos días con una densidad cercana a los 990 g/l.

### **3.3.10 Trasiegos**

Tras la finalización de la fermentación alcohólica, el vino debe ser trasladado a otros depósitos, en los cuales precipitarán fangos, agregados de proteínas, restos de hollejos, pepitas, etc.

Se logrará con ello con el fin de que el vino pase limpio a etapas posteriores.

Se realizarán trasiegos también tras la fermentación maloláctica, pudiendo realizarse en otros instantes si el enólogo lo considera oportuno.

### **3.3.11 Descube**

Es un proceso que consiste en la separación del vino y los hollejos.

El tiempo de permanencia de vino y hollejos en el depósito de fermentación, dependerá del tipo de vino a lograr (6).

El descube consta de dos fases. En la primera, se obtendrá el vino yema por sangrado de los depósitos.

En una segunda fase, se prensarán los hollejos restantes obteniendo el vino prensa. Dicho vino tiene una gran riqueza fenólica, posee más color y es más duro, astringente y áspero.

En función del tipo de vino a obtener, se adicionará total o parcialmente al vino yema.

### **3.3.12 Fermentación maloláctica**

En este proceso las bacterias lácticas (en especial los géneros *Oenococcus*, *Pediococcus* y *Lactobacillus*) transformarán el ácido málico en ácido láctico.

Es por ello que no interviene levadura alguna en el proceso.

La fermentación maloláctica logra disminuir la acidez total del vino y estabilizarlo microbiológicamente, lo que redundará en un vino más suave y agradable y resulta idónea para los vinos destinados a crianza en barrica.

Su duración es de dos o tres semanas, pudiendo su arranque verse retrasado si las condiciones no son óptimas.

A pesar de que, la presencia de estas bacterias en la uva y la propia bodega puede desencadenar espontáneamente la fermentación maloláctica, en ocasiones puede forzarse mediante la adición de iniciadores (en especial de la especie *Oenococcus oeni*) permitiendo un mejor control del proceso (11).

También puede forzarse el proceso inoculando el vino con otro en el cual ya haya comenzado dicho proceso fermentativo.

Este proceso requiere un control adecuado de la concentración de SO<sub>2</sub> (inferior a 40 mg/l), pH (el óptimo será 4 y nunca debe ser inferior a 3), temperatura (que deberá estar entre 20 y 25°C) y un grado alcohólico inferior a 15 ‰.

La fermentación maloláctica tiene varios efectos sobre el vino siendo destacables los siguientes:

- aparición de aromas asociables sensitivamente a la mantequilla. Este proceso se debe a la formación de diacetilo a partir del ácido cítrico. Estos aromas, si bien en principio son considerados como positivos, en determinadas cantidades pueden llegar a suponer un defecto (9).
- variaciones en la intensidad de color derivada del cambio de equilibrio de antocianos originado por el aumento del pH durante la fermentación. El catión flavilium pasa a sus formas incoloras, con la consiguiente disminución en la intensidad de color (9).

### 3.3.13 Procesos de estabilización

Tras la fermentación maloláctica, el vino tiene numerosas partículas en suspensión y coloidales.

Esto implica una turbidez considerable que se elimina mediante los procesos de estabilización.

Ante la gran variedad de partículas presentes en el vino, resulta complejo conseguir una adecuada estabilización con un solo proceso (2).

Los más habituales son los siguientes:

- *Clarificación natural*: consiste en la eliminación de las sustancias en suspensión por decantación de forma similar a la realizada en un trasiego. No elimina sólidos coloidales.

- *Clarificación con adicción de floculantes:* se adiciona una sustancia floculante con objeto de mejorar el proceso de decantación. El floculante fomenta el incremento del tamaño de las partículas en suspensión y coloidales, con el consiguiente incremento de rendimiento de la decantación gravitatoria. Los floculantes más habituales son la bentonita y la clara de huevo.
- *Estabilización con frío:* los tartratos de fósforo y potasio, en el caso de los vinos de crianzas prolongadas, pueden terminar decantando en botella. A pesar de que su presencia no daña el vino, los consumidores tienden a rechazar los vinos con dicho efecto.

Mediante una estabilización con frío, se puede lograr decantar los tartratos previamente, evitando este efecto.

Cabe ser resaltado que, en determinados mercados, la presencia de tartratos en un vino así como la calificación de vinos “unfiltered” es sinónimo de una calidad superior, por lo que estos procesos no son universales.

*Filtración:* resulta habitual que, de forma previa al embotellado, se filtren los vinos para evitar que las materias en suspensión entren en el producto final. Los sistemas más habituales de filtración son la filtración con tierras (utilización de filtros de diatomeas o perlitas) y la microfiltración (por el que se pasa el vino a través de una membrana porosa, donde quedan retenidos los microorganismos y partículas de mayor tamaño que los poros de la membrana).

*Centrifugación:* en este proceso se eliminan los sólidos por un proceso de centrifugación. Suele utilizarse como último proceso antes del embotellado y puede estar precedido de una filtración.

### 3.3.14 Crianza del vino

Podemos definir la crianza como el proceso de envejecimiento con una duración determinada por el tipo de crianza, cuya finalidad principal es estabilizar las características del vino (3).

Atendiendo a su naturaleza, podemos clasificarlos en crianza oxidativa (cuando los vinos envejecen en presencia de oxígeno y condiciones de oxidación) y crianza reductora (cuando los vinos se desarrollan en un ambiente reductor, dentro de un recipiente hermético) (4,8).

En el caso de los vinos tintos de crianza, lo más habitual es una crianza mixta, correspondiendo lo crianza oxidativa a la realizada en barrica (con la cual se buscará lograr aportes de la madera destinados a conseguir aromas complejos y estabilización del color) y la crianza reductora tras su embotellado (destinada a potenciar los aromas, equilibrarlos y darles complejidad).

Dada la gran importancia de este proceso para nuestro proyecto, trataremos la crianza del vino con mayor detenimiento en el próximo capítulo haciendo especial hincapié en la crianza en barrica.

## Referencias

1. AMERINE, M. AND OUGH, C. (1976). Análisis de Vinos y Mostos. Ed. Acribia. Zaragoza, España. Pp.78-79.
2. BOULET JC, ESCUDIER JL, 2000. Clarificación de los vinos por procedimientos físicos. En C Flanzly (Ed.), Enología: Fundamentos Científicos Tecnológicos (pp. 470-480). AMV: Madrid.
3. COUTO, JA, NEVES F, CAMPOS F, HOGG T, 2005. Thermal inactivation of the wine spoilage yeasts *Dekkera/Brettanomyces*. *International Journal of Food Microbiology* 104, 337-344.
4. FERNANDEZ DE SIMON B, CADAHIA E, HERNANDEZ T, ESTRELLA I, 2006. Evolution of oak-related volatile compounds in a Spanish red wine during 2 years bottled, alter aging in barrels made of Spanish, French and American oak wood. *Analytica Chimica Acta* 563, 198-203.
5. FUGELSANG KC, 1989. Recent research on SO<sub>2</sub> (sulphur dioxide). *Wines and Vines*, August 1.
6. HIDALGO-TOGORES J. 2003. Tratado de Enología. Tomos I y II. Mundi-Prensa: Madrid.
7. JAEGER, H. (2004). En el Viñedo y en la Bodega. EL Vino. Ed. KÖNEMAN. S.L. BARCELONA. Pp.80-87.
8. JOYEUX A, LAFON-LAFOURCADE S, RIBEREAU-GAYON P, 1984. Evolution of acetic acid bacteria during fermentation and storage of wine. *Applied and Environmental Microbiology* 48, 153-156.
9. LLAUDY MC, 2006. Contribución al estudio de los factores que afectan la astringencia del vino tinto. Tesis Doctoral. Universitat Rovira i Virgili, Espana.

10. PARRA, M.E., 2006. Estudio de la Generación de Acetaldehído y Presencia de Carbamato de Etilo Durante el Proceso de Elaboración del Vino de Uva (*Vitis vinifera*) Carigñane de Sonora. Tesis de Maestría. Universidad de Sonora.
11. POZO-BAYÓN MA, ANDÚJAR-ORTIZ I, MORENO-ARRIBAS MV, 2009. Scientific evidences beyond the application of inactive dry yeast preparations in winemaking. *Food Research International* 42, 754-761.
12. RIBEREAU-GAYON P, DUBOURDIEU D, DONECHE B, LONVAUD A, 2006. *Handbook of Enology. Volume 1. The microbiology of Wine and Vinification. 2nd Edition.* John Wiley & Sons: Chichester.
13. ZAMORA F, 2003. *Elaboración y crianza del vino tinto: Aspectos científicos y prácticos.* AMV: Madrid.



## 4. Crianza en barrica de roble

---



## 4.1 Historia

La crianza de los vinos mediante utilización de recipientes de madera es conocida desde hace miles de años.

Los primeros datos documentados, datan del siglo II a.C., en los comentarios sobre la guerra de las Galias de Julio César (11), si bien fue como elemento de transporte de vino hacia Nuevo Mundo, cuando se generalizó el uso de barricas (12).

Se descubrió que los vinos se conservaban mejores en recipientes de madera que en recipientes de barro. No obstante, con el paso del tiempo, el vino terminaba avinagrándose.

Esto condujo al embotellado del vino, siendo la combinación de ambos procesos el germen de los actuales procesos de crianza (3).

Las primeras barricas destinadas a la crianza de vinos se fabricaron en Burdeos, en 1836. Tenían una capacidad de 225 l. y actualmente se siguen comercializando bajo el nombre de barricas bordelesas.

A mediados del siglo XX, la barrica pasó a un segundo plano ante la aparición de materiales como el cemento o el acero inoxidable (21)

A finales del siglo XX, la vinificación en barrica resurge con gran fuerza a nivel mundial, estandarizándose su utilización, en especial la de barrica joven y el incremento del uso de barricas de roble francés (19).

Se debe destacar también, que a través del Reglamento CEE 1507/2006, la Unión Europea se ha autorizado el uso de fragmentos de madera de roble como alternativa a la crianza en barrica para la elaboración de vinos.

## 4.2 El roble como herramienta de vinificación

### 4.2.1 El roble

El género *Quercus*, al cual pertenecen los robles, está formado por más de 600 especies. Podemos localizarlos dentro de la familia de las fagáceas, subfamilia *Quercoidae*.

Se trata de árboles robustos, de copa ancha, y con una vida de hasta mil años.

Su presencia se extiende por Europa, Norteamérica, América central, y en menor medida por sudeste de Asia y norte de África y Sudamérica.

Francia y Estados Unidos son los mayores productores de roble para uso enológico.

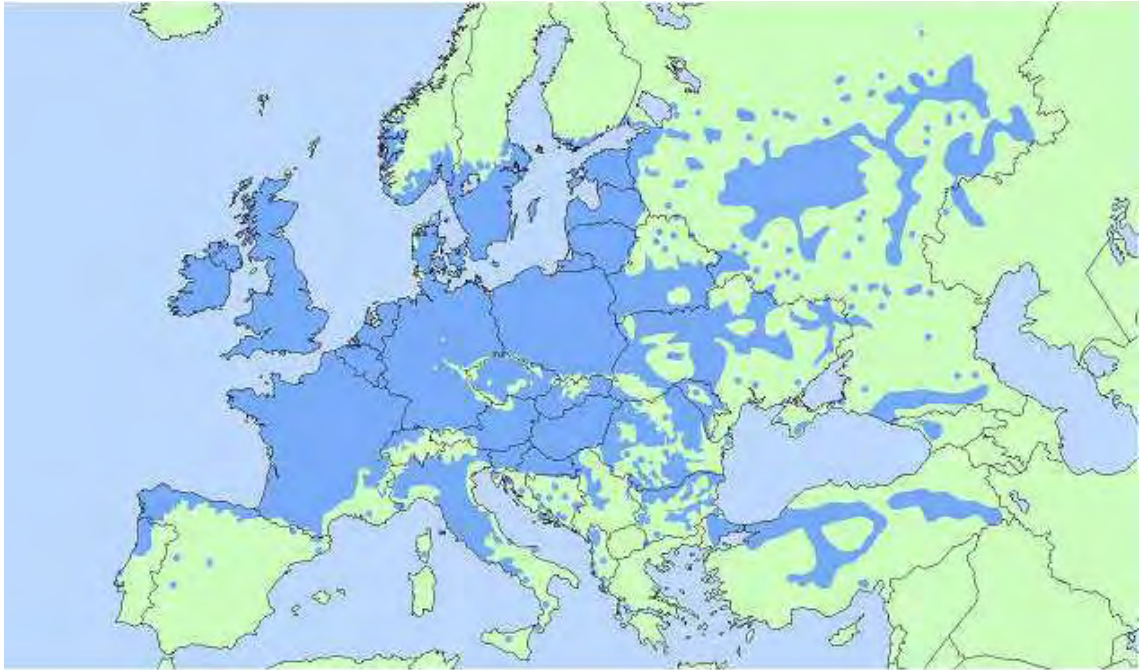
Las tres principales especies con interés enológico son el *Quercus Robur* (o *Quercus Pedunculata*) que se extiende por, el *Quercus Sessilis* (o *Quercus Petraea*) y el *Quercus Alba*.

El *Quercus Robur* se extiende por Europa Central, los Urales y el Cáucaso. Asimismo se puede encontrar en Francia, en las estribaciones del macizo central y disperso, en distintas zonas de la Península Ibérica.

Crece en suelos fértiles y requiere de mucha luz, dando lugar, con un cultivo adecuado, a árboles de gran diámetro, de grano medio y ancho y gran capacidad de cesión tánica (2).

El *Quercus Sessilis* queda limitado, en el norte de Europa, a Lituania y Bielorrusia. En Francia, podemos encontrarlo en las zonas norte y centro.

No requiere de suelos ricos, siendo proclive a su aparición en suelos arenosos y exige menos luz. Da lugar a árboles altos y delgados, de grano más fino y menor contenido en polifenoles (2).



*Figura 32. Distribución del roble en Europa (Rodríguez, 2006)*

Respecto del *Quercus Alba*, su origen más destacado son los Estados Unidos, siendo representativos los robledales de Missouri, Tenesy o Kentuckuy (Serrano, 2002).



Figura 33. Distribución del roble en EE.UU (Rodriguez, 2006)

#### 4.2.2 Composición del roble

En el roble podemos diferenciar los varios compuestos, alguno de los cuales resulta de vital importancia para la crianza en barrica de los vinos.

A continuación expondremos brevemente los más representativos.

- Celulosa

La celulosa es el constituyente más abundante en los vegetales. Se agrupa en forma de fibra vegetal cuya longitud y espesor varía según el origen.

En el caso del roble, supone un 40% del peso seco de la madera (13).

- Hemicelulosa

La hemicelulosa, en forma de cadena, se asocia a las fibras de celulosa en las paredes celulares.

En el caso del roble, supone un 25% del peso seco de la madera (13).

Dentro del conjunto conocido como hemicelulosa, podemos encontrar diversos polisacáridos, entre los que debemos destacar los xilanos, xiloglucanos y manano-oligosacáridos (18) por su importancia para la vinificación.

- Lignina

Es el polímero natural con estructura más compleja y heterogénea. Es por ello que no se ha descrito una estructura definida para la misma. Se trata, no obstante, de un polímero tridimensional formado por copolimerización de tres unidades de fenilpropano sustituidas, unidas entre sí por enlaces éter.

Su nombre, cuyo significado procede del término latino "lignum", que significa 'madera', indica su relación con la madera y resalta su función como sostén, conducción y material que aporta resistencia y rigidez.

Es el tercer componente mayoritario por peso en la madera de roble, suponiendo un 23 % de su peso seco. (13).

Se puede clasificar en la lignina soluble y la lignina extraíble (22).

La lignina soluble corresponde a la fracción de bajo peso molecular, extraíble con soluciones acuosas o hidroalcohólicas. Es rica en aldehídos libres, entre los que podemos destacar la vanillina, el siringaldehído y lioniresinol.

La lignina extraíble, contiene altas concentraciones de ácido elálgico. Tal y como su nombre indica, lo es pero en una solución de etanol en medio ácido.

- Lactonas

Son compuestos orgánico del tipo éster cíclico. En el caso de la madera de roble, proceden de la degradación de los lípidos por ciclación del ácido 3-metil-4hidroxioctanoico.

Su efecto sobre el vino consiste en el aporte de aromas de madera, roble, coco, vainilla, etc. pudiendo llegar a alcanzar concentraciones muy elevadas, de hasta 10-20 veces su umbral de detección.

Debemos destacar la  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octalactona y más concretamente los isómeros cis y trans cuya influencia sobre el aroma de los vinos es notable (14; 16).

De hecho, la capacidad de transferencia aromática de una madera de roble depende de la concentración de la de la concentración del isómero cis- principalmente, siendo ésta más importante que la de  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octalactona, o la de isómero -trans, cuyo umbral de detección olfativa es de entre 2 y 12 veces más bajo que el isómero trans- en solución acuosa o hidroalcohólica (4) y 20 veces más bajo en medio gaseoso (1).

En las maderas sin tostar, conocidas como maderas verdes, puede tener concentraciones muy variables en función del árbol, el bosque y la especie,... Estos valores pueden oscilar entre 0 y 180  $\mu\text{g/g}$  para el isómero -trans, y 0 y 250  $\mu\text{g/g}$  para el el isómero -cis.

Esto lleva a que algunos autores citen el “efecto árbol”, dado que, a pesar de que las maderas sean sensibles al secado y tostado, su concentración en lactonas es muy dependiente de la madera verde (8; 20).

- Polifenoles de bajo peso molecular

En la madera de roble se han encontrado ácido gálico y elágico (y en menor medida ácido vanílico, siríngico y ferúlico (10).

Se han encontrado también sinapaldehído y coniferaldehído. Se trata de aldehídos cinámicos procedentes de la degradación de la lignina. (2).

Aparecerán también aldehídos benzoicos como la vainillina y el siringaldehído

Respecto de los fenoles volátiles, deberemos destacar el eugenol por su abundancia encontrándose en cantidades inferiores otros como el isoeugenol, el fenol, el cresol, el guayacol,...

Debemos considerar también la presencia de cumarinas , habitualmente percibidas por su aroma a heno recién cortado.

La escopoletina, es la cumarina más abundante en las maderas de roble, aunque se han encontrado presencia de otras como la aesculetina, la ombelliferona o la metilombelliferona.

- Elagitaninos

Son ésteres hexahidroxidifénicos de tipo C-glicosídico.

En la madera de roble podemos encontrar vescalagina, castalagina, grandinina, roburina A, roburina B, roburina C, roburina D y roburina E.

Como principales características destacaremos sus capacidades antioxidantes y para consumir oxígeno, lo que se traduce en una aceleración de la condensación de antocianos y taninos con acetaldehído, formando etanal y favoreciendo la polimerización de los flavanoles del vino (17).

Concentraciones elevadas, dan lugar a amargores y verdor, considerándose dichos aromas profundamente negativos.

El aporte de elagitaninos va a depender de la cantidad que aporte la madera de la propia bodega.

No obstante, los procesos de secado natural de la madera al aire libre así como los tostados fuertes, disminuyen su concentración.

- Compuestos furánicos

Aportan aromas a almendras tostadas y caramelo, así como a tostados tradicionales, por lo que son bastante apreciados en vinos con cierto grado de maderización.

Proceden de la termodegradación de las hemicelulosas.

Los más destacados son el furfural, el 5-metilfurfural y el 5-hidroximetilfurfural.

- Alcoholes y aldehídos

Su presencia implica la transferencia al vino de aromas vegetales, a hierba, serrín o tierra que se consideran muy negativos. No obstante, su concentración disminuye considerablemente utilizando tostados medios y fuertes (6).



Su presencia se debe a la degradación de ácidos grasos en alcoholes y aldehídos lineales. Los más frecuentes son (E)-2-nonenal, (E)-2-octenal, 1-decanal, 2-etil-1-hexanol, 1-hexanal, 1-hexanol, 1-nonanal, 2,4-heptadienal, (E)-2-decenal y (Z,Z)-2,4-decadienal (6).

- Otros

Como las cetonas cíclicas que aportan aromas a caramelo y tostados o los heterociclos nitrogenados relacionados con los aromas de cacao, café o pan (7).

### 4.2.3 Curado de la madera

El curado de la madera de roble con fines enológicos, tiene como objeto aprovechar las condiciones climatológicas y ambientales para reducir su contenido en humedad.

No obstante, se producirá una evolución de su estructura tanto física como química que terminará desembocando en una transferencia de aromas más redonda, menos agresiva y, en definitiva, más adecuada para las prácticas enológicas.

El proceso de curado se realiza apilando la madera a la intemperie, de forma que las condiciones de temperatura, humedad, pluviosidad, radiación ultravioleta, acción fúngica,... provoquen los cambios anteriormente citados.

La duración de este proceso debe prolongarse entre 18 y 36 meses, dependiendo del origen y características del roble así como de las propias condiciones del parque de secado.

Existen otros métodos de secado, consistentes en reducir la humedad de la madera en hornos de secaje.

Estos métodos, están ampliamente desaconsejados para la elaboración de barricas de calidad debido a que no se producirá el efecto de evolución en la estructura de la madera derivada del resto de los factores ambientales presentes en un parque de secado.

Si atendemos a la modificación química de la madera, el secado natural implica una reducción de polifenoles hidrosolubles y más en concreto de elagitaninos, con amplia relación con sabores amargos y astringentes. Se reducirá también la concentración de otros componentes volátiles relacionados con la aparición de aromas vegetales habitualmente poco apreciados.

Por el contrario, el secado natural incrementa la concentración de compuestos fenólicos (aldehídos fenólicos y fenoles volátiles) y de otros volátiles como (whisky lactona) relacionados con la transferencia de aromas de la madera de roble.

#### 4.2.4 Tostado de la madera

El tostado es una de las fases fundamentales para lograr una adecuada transferencia aromática de la madera de la barrica al vino.

Influye en la composición química de la madera dado que, conforme aumenta la temperatura de tostado, determinados componentes, como la lignina, se transforman en otros compuestos aromáticos como la vainillina, el siringaldehído o el coniferaldehído.

A continuación describiremos las transformaciones más representativas que se llevan a cabo durante el tostado:

- Lignina: durante el tostado se degrada dando lugar a fenoles volátiles, fenilcetonas y aldehídos fenólicos.

Debemos destacar entre los fenoles volátiles el guayacol y eugenol por su importancia para la vinificación.

Entre los aldehídos, adquieren gran importancia la vainillina, el siringaldehído, el coniferaldehído y el sinapaldehído.

- Lípidos: se degradan dando lugar a la aparición de lactonas. Calentamientos prolongados pueden llegar a eliminarlos por completo.
- Poliosidos o glucanos: durante el calentamiento se degradarán formando aldehídos furánicos. Las aldohexosas producirán hidroximetilfurfural y metilfurfural. Las pentosas producen furfural. Aportan aromas de almendras tostadas y caramelo.
- Taninos hidrolizables: con el tostado, la cantidad de elagitaninos extraíbles disminuye, pudiendo, con tiempos de tostado elevados, llegar a eliminar su presencia superficial.

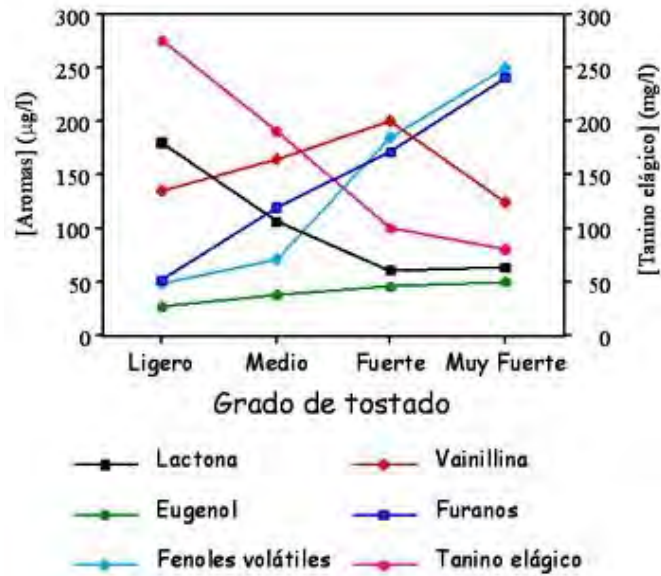


Figura 34. Influencia de la intensidad del tostado de las duelas la concentración de aromas (5)

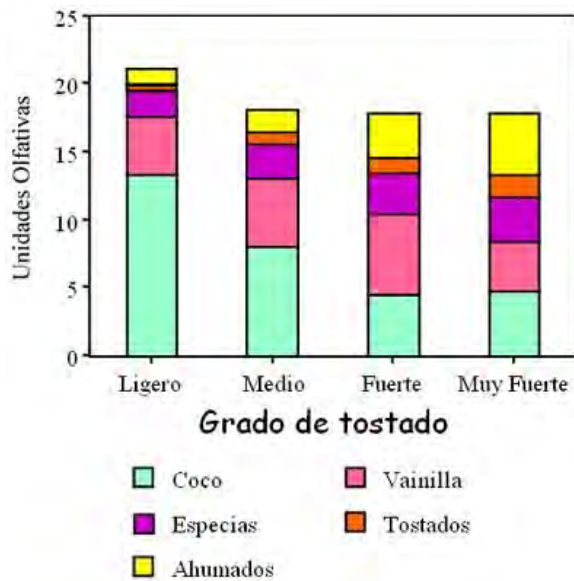


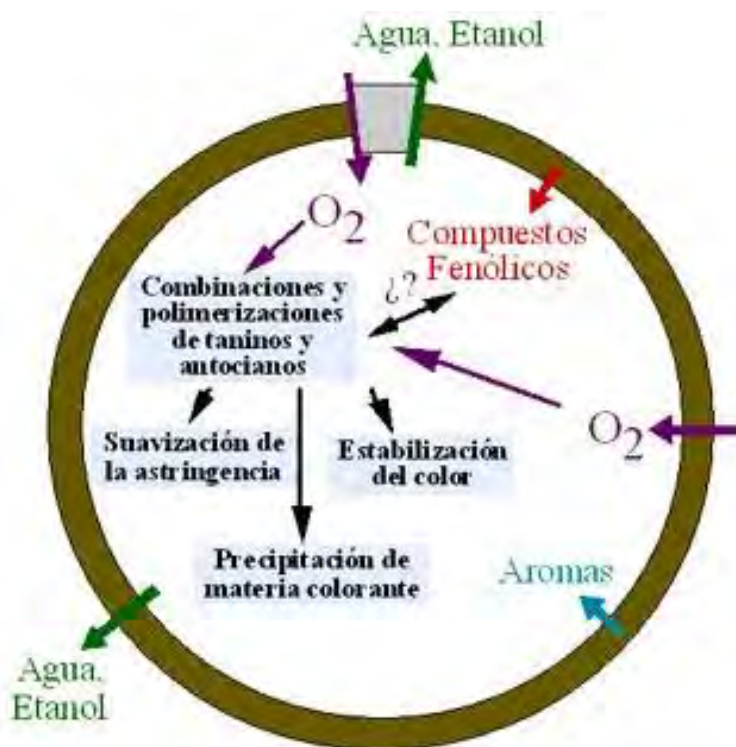
Figura 35. Influencia del grado de tostado de las duelas sobre el futuro impacto aromático (5)

### 4.3 La crianza del vino en barrica de roble

Durante la crianza del vino oxidativa, en barrica de roble, ésta es más que un mero recipiente. Se convierte en una herramienta capaz de provocar cambios muy diferentes en

función de factores como el origen de la madera, el tipo de tostado o el tiempo de permanencia en la misma, siendo las más destacables un incremento de complejidad y estabilidad (15).

Esto se debe a procesos de evaporación, extracción, oxidación principalmente, favorecidas por las características de la propia madera de roble y la superficie de contacto.



Adaptado de Feuillat et al., 1998 [7]

Figura 36. Influencia de la crianza en barrica sobre la evolución del vino tinto (9; 23)

El roble, en contacto directo con el vino, aportará al vino aromas y compuestos fenólicos, con la consiguiente modificación de las características aromáticas y gustativas del vino.

La barrica se comporta, por otro lado, como un oxigenador tanto a través de las juntas existentes en las propias duelas, como a través de la porosidad de la madera (23).

Este aporte de oxígeno, es suficiente para permitir las reacciones de polimerización y la combinación de antocianos y procianidinas con la consiguiente estabilización del color, incremento de la suavidad y reducción de la astringencia del vino (15) y la precipitación de materia colorante inestable. Esto último ayudará a reducir la precipitación de dichas partículas durante la crianza en botella (24;25).

La evaporación es otro fenómeno representativo de la crianza en barrica. Esto comporta una pérdida de agua y de alcohol.

El efecto económico de la evaporación es muy importante, dado que las pérdidas de volumen de vino durante la crianza, implican una consecuente reducción del volumen de vino que pasa a fases posteriores, con el consiguiente incremento de coste (9).

Como hemos citado, entre los principales efectos que se buscan con la crianza en barrica de roble, se encuentra la aromatización del propio vino.

Mientras que algunas de las sustancias transferidas a los vinos se encuentran en la forma natural del roble, muchas otras sólo aparecen tras los procesos de secado y tostado de dicha madera.

		Descriptor	Origen	
Furanos	Furfural	Almendras tostadas	POLISACÁRIDOS	
	Metilfurfural			
	Hidroximetilfurfural			
	Alcohol furfurílico			
Otros heterociclos volátiles	Maltol	Caramelo, tostados		
	Dimetilpirazinas	Café, avellanas, tostados		
Ácido acético		Vinagre		
Aldehídos fenoles	Vainillina	Vainilla		LIGNINA
	Siringaldehído	-		
	Sinapaldehído	-		
	Coniferaldehído	-		
Fenil cetonas	Acetofenona	Vainilla		
	Acetovainillona			
	Propiovainillona			
	Butinvainillona			
Fenoles volátiles	Guayacol	Quemado		
	Metil-guayacol			
	Etil-guayacol			
	Eugenol	Clavo de especia		
	Etil-4-fenol	Sudor de caballo		
$\beta$ -Metil $\gamma$ -octol actona	Isómero cis	Nuez de coco, roble	LÍPIDOS	
	Isómero trans			

Tabla. 12 Principales sustancias volátiles procedentes del roble (Zamora, 2003)

## Referencias

1. ABBOTT, N., PUECH, J. L., BAYONOVE, C. Y BAUMES, R. (1995). Determination of the aroma threshold of the cis and trans racemic forms of  $\beta$ - Methyl- $\gamma$ -Octalactone by Gas-Chromatography-Sniffing Analysis. *Am. J. Enol. Vitic.*, 46, 292-294.
2. ARTAJONA-SERRANO, J. (2002). El roble y la crianza del vino. *Viticultura/Enología Profesional*, 78, 56-62.
3. CADAHÍA, E.; FERNÁNDEZ DE SIMÓN, B.; POVEDA, P; SANZ, M. (2008). Utilización de *Quercus pyrenaica* Willd. de Castilla y León en el envejecimiento de vinos. Comparación con roble francés y americano. *Monografías INIA: Serie forestal*, 18: 5-175. Ed. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Ciencia e Innovación.
4. CHATONNET, P. (1992). Incidence du bois de chêne sur la composition chimique et les qualités organoleptiques des vins. Applications technologiques. *Bull. O.I.V.*, 731-732, 88-89.
5. CHATONNET, P. (1995) Influence des procédés de tonnellerie et des conditions d'élevage sur la composition et la qualité des vins élevés en fûts de chêne. Tesis Doctoral. Université de Bordeaux II.
6. CHATONNET P., DUBOURDIEU D. (1998) *Am. J. Enol. Vitic.* 49, 79-85.
7. CHATONNET P., CUTZACH I., PONS M., DUBORDIEU D. (1999) *J. Agric. Food. Chem.* 47, 4310-4318.
8. DOUSSOT F., DE JESO B., QUIDEAU S., PARDON P. (2002) *J. Agric. Food Chem.* 50, 5955-5961.
9. FEUILLAT, F., KELLER, R., MASSON, G. Y PUECH, J.L. (1998) Bois de chêne. En *Enologie: Fondements scientifiques et technologiques*". Ed Claude Flancy, Lavoisier, París. pp 1002-1027.



10. FERNÁNDEZ DE SIMÓN, B.; CADAHÍA, E.; CONDE, E.; GARCÍA-VALLEJO, M.C. (1999) Ellagitannins in Woods of Spanish, French and American oaks. *Holzforschun*, 53, 147–150.
11. GAUTIER J.F. (2003) *Revue des Oenologues* 109, 13-15.
12. HIDALGO-TOGORES J. 2003. *Tratado de Enología*. Tomos I y II. Mundi-Prensa: Madrid.
13. MOUTOUNET, M., PUECH, J. L., KELLER, R. Y FEUILLAT, F. (1999). Les caractéristiques du bois de chêne en relation avec son utilisation en oenologie. Le phénomène de duramisation et ses conséquences. *Rev. Franç. Oenolog.*, 174, 12-17.
14. MOSEDALE, J. R., PUECH, J. L. Y FEUILLAT, F. (1999). The influence on wine flavor of the oak species and natural variation of hertwood components. *Am. J. Enol. Vitic.*, 50, 503-512.
15. RIBÉREAU-GAYON, P., GLORIES, Y., MAUJEAN, A. Y DUBOURDIEU (1999) Phenolic Compounds. En “Handbook of enology, Vol 2 The chemistry of wine, Stabilization and treatmets”. John Wiley & sons, Ltd, Chichester, pp 129-186.
16. PÉREZ-PRIETO, L. J., LÓPEZ-ROCA, J. M., MARTÍNEZ-CUTILLAS, A., PARDO-MÍNGUEZ, F. Y GÓMEZ-PLAZA, E. (2002). Maturing wines in oak barrels. Effect of oak origin, volume and age of the barrel on the wine volatile composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 3272-3276.
17. RODRÍGUEZ, P. (2006) UTILIZACIÓN DE TANINOS ENOLÓGICOS Y VIRUTAS DE ROBLE PARA MEJORAR Y ESTABILIZAR EL COLOR DE LOS VINOS TINTOS
18. SAUCIER C., JOURDES M., GLORIES Y., QUIDEAU S. (2006) *J. Agric. Food Chem.* 54, 7349-7354.
19. SINGLETON, V. L. (1995). Maturation of wines and spirits:comparaisons, facts and hypotheses. *Am. J. Enol. Vitic.*, 46, 98-115.
20. SINGLETON VERNON L. (2000). Le stockage des vins en barriques: utilisation et variables significatives. *J. Sci. Tech. Tonnellerie*, 6 : 1-25.

21. SPILLMAN P.J., SEFTON M.A., GAWEL R. (2004) Aust. J. Grape Wine Res. 10, 216-226
22. VIVAS, M. ; GLORIES, Y. ; FRANÇOIS J. (1991). Mise au point sur l'élevage des vins rouges en fûts de chêne. Le rôle des mécanismes oxydatifs et la diversité des constituants du bois cédés au vin. Revue des oenologues, 62 : 17-21.
23. VIVAS, N., PIANET, I., BOURGEOIS, G., VITRY, C., SERVERNS, CC. y GLORIES, Y. (1998). Characterization of hertwood lignin fractions from Quercus robur. L. and Quercus petraea (Matt) Liebl., the main oak species used for barrel making. Am. J. Enol. Vitic., 49, 49-55.
24. ZAMORA, F. (1999) La madera de roble y su incidencia sobre las características organolépticas de los vinos de crianza. En "La estabilidad del color en los vinos tintos nuevos ". Ed. Ayuntamiento de Haro, Haro, 1999, pp 9-36.
25. ZAMORA, F. (2003) Elaboración y crianza del vino tinto; aspectos científicos y prácticos. Editorial Mundi-Prensa; AMV Ediciones, Madrid.
26. ZAMORA, F. (2003) El concepto de grano en tonelería; un criterio para clasificar el roble. *Enólogos*, 24, 24-28.



## 5. Técnicas de crianza con sistemas alternativos a la barrica

---

## 5.1 Introducción

Tal y como se ha citado en capítulos anteriores, la vinificación oxidativa en barrica de roble tiene grandes ventajas. El aporte de aromas, gusto, color y cuerpo, supone un incremento en el valor y calidad de los vinos así elaborados.

Este tipo de crianzas, se ha convertido en un estándar entre los principales países productores de vinos de calidad pero su utilización supone, sin embargo, incurrir en unos altos costes económicos, no sólo derivados de la propia inversión en barricas, sino también de los costes directos de mantenimiento, limpieza y operativa y los indirectos originados por la necesidades de espacio y la inmovilización del vino durante largas temporadas.

El coste, y consecuentemente el precio de venta de los vinos está ligado de forma importante con este proceso, lo que ha llevado al desarrollo de sistemas de crianza alternativos a la barrica.

Es en países emergentes en el mundo vinícola, como Chile, Argentina, Sudáfrica o Australia, donde más impulso ha tenido la vinificación oxidativa con sistemas alternativos a la barrica.

La inexistencia en dichos países de una tradición enológica que así como de normativas específicas que limiten las tecnologías a utilizar e la vinificación, les hace propicios para el desarrollo y utilización de estas prácticas.

En la Unión Europea, no estaban admitidas estas metodologías de crianza, ni por la normativa comunitaria, ni por las estatales. No obstante, sí lo eran por la Oficina Internacional de la Vid y el Vino (OIV) desde 2001.

El empleo de fragmento de roble para vinificación no se incorporó al Anexo IV- Lista de Prácticas y Tratamientos Enológicos Autorizados, del Reglamento CE 1.493/1.999 del Consejo, que establece la Organización Común del Mercado del Vino, con lo que la práctica continuaba prohibida en la UE.

A pesar de lo anterior, si se permitía importar dentro de la UE vinos criados con este tipo de técnicas, lo que dejaba a los vinos de crianza comunitarios en una posición de desventaja respecto de los vinos de otras regiones como las citadas anteriormente.

Esta situación desembocó en la aprobación del “Reglamento (CE) nº 2165/2005 de 20 de diciembre de 2005 que modifica el Reglamento (CE) nº 1493/1999 por el que se establece la organización común del mercado vitivinícola”, en cuyo anexo IV recoge la lista de prácticas y tratamientos enológicos autorizados para la elaboración de los vinos (donde expresamente se incluye la utilización de fragmentos de madera de roble en la elaboración de los vinos, condicionada al desarrollo de un reglamento, unas normas de utilización y de presentación).

Adicionalmente, otros procedimientos no contemplados en dicho anexo, han sido autorizados por algunos Estados miembros en virtud del Reglamento (CE) nº 1622/2000 de la Comisión, de 24 de julio de 2000, que fija determinadas disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) nº 1493/1999, por el que se establece la organización común del mercado vitivinícola, e introduce un código comunitario de prácticas y tratamientos enológicos.

## **5.2 Normativa referente a la utilización de fragmentos de madera en vinificación**

Como se cita en el apartado anterior, mientras en casi todas las regiones vitivinícolas el uso de los fragmentos de roble estaba regulado, en la Unión Europea, la normativa sólo contemplaba la elaboración de los vinos de forma tradicional.

Esta situación se corrige recientemente, a través del REGLAMENTO (CE) Nº 1507/2006 DE LA COMISIÓN de 11 de octubre de 2006 por el que se modifican los Reglamentos (CE) nº 1622/2000, (CE) nº 884/2001 y (CE) nº 753/2002, que establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) nº 1493/1999 del Consejo, por el que se establece la organización común del mercado vitivinícola, en lo referente a la utilización de trozos de madera de roble en la elaboración de vinos y a la designación y presentación de los vinos sometidos a ese tratamiento.

Este Reglamento establece los límites y condiciones para la utilización de fragmento de madera de roble en vinificación, atendiendo a las prescripciones de la OIV.

En cualquier caso, establece la necesidad de diferenciar, tal y como aparece en su preámbulo, aquellos productos vitivinícolas así elaborados a través de unas normas de etiquetado adecuadas.

De esta forma se establece que no se pueden utilizar las indicaciones “fermentado, criado o envejecido en barrica” ni tampoco “fermentado, criado o envejecido en barrica de roble” para los vinos elaborados con ayuda de fragmentos de madera de roble, independientemente de que, durante su elaboración, se hayan utilizado barricas u otros recipientes de madera de roble.

En España, a través del Real Decreto 1365/2007, se aplica lo establecido en el Reglamento (CE) Nº 1507/2006 y se actualiza la designación, denominación, presentación y protección de los productos vitivinícolas, de forma que sólo los vinos criados en recipientes de madera de roble pueden recibir las indicaciones “Noble”, “Añejo” y “Roble”.

Asimismo, se especifica que los reglamentos para vinos de calidad de cada región así como los vinos con indicación geográfica de ámbito superior al de una comunidad autónoma, pueden prohibir la utilización de fragmentos de madera de roble en la crianza de vinos.

Respecto de la utilización de fragmento de roble, el RD 1365/2007, incluye un anexo específico que regula su elaboración, origen de maderas y etiquetado y que por su importancia, plasmamos entero continuación

#### *ANEXO XI BIS*

##### *Prescripciones para los trozos de madera de roble*

##### *OBJETO, ORIGEN Y ÁMBITO DE APLICACIÓN*

*Trozos de madera de roble utilizados para la elaboración de vinos y para transmitir al vino ciertos constituyentes provenientes de la madera de roble.*

*Los trozos de madera deben provenir exclusivamente de las especies de Quercus.*

*Pueden dejarse al natural o tostarse de manera calificada como ligera, media o fuerte, sin que hayan sufrido combustión, incluso en la superficie, y no deben ser carbonosos ni friables al tacto. No deben haber sufrido ningún tratamiento químico, enzimático o físico, aparte del tostado. No se les puede añadir producto alguno para aumentar su poder aromatizante natural o sus compuestos fenólicos extraíbles.*

#### *ETIQUETADO DEL PRODUCTO*

*Deben figurar en la etiqueta el origen de la especie del roble, la intensidad del tostado (en su caso), las condiciones de conservación y las consignas de seguridad.*

#### *DIMENSIONES*

*Las dimensiones de las partículas de madera debe ser tal que al menos el 95% de ellas sean retenidas por un tamiz con malla de 2mm (es decir, malla 9).*

#### *PUREZA*

*Los trozos de madera de roble no deben liberar sustancias en concentraciones que puedan acarrear riesgos para la salud.*

*El tratamiento debe ser consignado en el registro contemplado en el artículo 70, apartado 2, del Reglamento (CE) nº 1493/1999.*

## 5.3 La vinificación con fragmentos de roble

### 5.3.1 Antecedentes

Desde hace décadas, se ha buscado conseguir envejecimientos acelerados y económicos de los vinos, intentando transmitirles un carácter similar al de una crianza oxidativa con aromas y características gustativas de madera gustativas de madera por otro.

Ya en 1866, L.. Pasteur citaba la maceración del vino a temperaturas de entre 25 y 30 ° C, en contacto con oxígeno, por un periodo de entre 10 o 20 días y con la adición de virutas de roble, como técnica para el envejecimiento rápido de vinos.

La calidad de los vinos así criados, quedaba muy lejos de las crianzas tradicionales en barrica de roble.

Con el desarrollo de las técnicas de micro-oxigenación en la década de los 80, gracias principalmente a los trabajos de Michel Moutounet, se constata que la aportación a los vinos de pequeñas cantidades de oxígeno puro permite emular el envejecimiento en barrica con unos resultados satisfactorios.

Si bien, esta herramienta buscaba dotar al enólogo de una herramienta para controlar el proceso oxidativo de crianza del vino, sin tener que depender de factores difíciles de controlar, como la transferencia de oxígeno a través de la barrica, pronto estos trabajos se inclinan hacia nuevas formas de elaboración no dependientes de la barrica.

Es en ese momento cuando se retoman las técnicas de maceración de fragmentos de madera de roble de forma conjunta con las técnicas desarrolladas de microoxigenación, consiguiendo una aproximación interesante a la crianza clásica.



### 5.3.2 Motivaciones para la utilización de técnicas alternativas de crianza

Para comprender el auge de la vinificación con sistemas alternativos a la tradicional crianza en barrica, debemos comprender las ventajas de este sistema sobre la vinificación tradicional.

A continuación expondremos aquellos que consideramos de mayor importancia:

- Factores económicos: el principal factor motivador para la utilización de estas técnicas son los factores de tipo económico.

Los costos de la crianza son debidos a:

El abultado precio de una barrica de roble americano se acerca a los 270 euros mientras que el de una barrica francesa, sustancialmente más cara, oscila entre 580 y 700 euros, en función del origen exacto de la madera.

La vida recomendable de cada unidad es de 5 años, aunque generalmente se utilizan 6 e incluso más años.

Dado que su volumen es de 225 l., en cada barrica procesaremos aproximadamente 1350 litros de vino, con lo que los costes directos ascenderían a 0,2 €/l en el caso de una barrica americana y 0,45 €/l en el caso de una barrica francesa.

Debemos tener en cuenta el coste de la mano de obra para su utilización (rellenos, limpieza,...), las pérdidas por absorción de la madera de una barrica nueva (aproximadamente 5 litros de vino), las mermas por evaporación (entre un 3 y un 6%) y el inmovilizado financiero a soportar de los largos tiempos de crianza.

Es por ello que las regiones vinícolamente emergentes, ante la necesidad de competir con vinos de mayor tradición y nombre, acudiesen a este tipo de

procedimientos con el fin de recortar sus costes de producción y poder competir en los segmentos medios con vinos con algunos aromas y características propias de la crianza tradicional.

- Acceso a la madera de roble:

Muchas regiones vitivinícolas emergentes, debían importar barricas, o madera para su elaboración, ante la imposibilidad de acceder a maderas adecuadas para la vinificación en su entorno. Los costes de transporte elevados, hacen mucho más interesante el transporte de materiales paletizables que el de barricas.

- Homogeneidad de producto:

Los sistemas de crianza tradicionales, implicaban un proceso de vigilancia de cada barrica para posteriormente realizar los descartes y las mezclas adecuadas con las que conseguir un vino final (en un proceso conocido como “coupage”).

Esto llevaba a la consecución de vinos muy diferentes dentro de una misma región en años diferentes y creaba una dependencia muy importante de la figura del enólogo.

En el caso de la vinificación en tanque con adicción de fragmentos de roble y micro-oxigenación, el proceso está completamente controlado en todo momento, logrando una homogeneidad del producto.

Si bien, la variedad y la exclusividad de cada vino y añada es muy apreciada en vinos de alta gama, en los segmentos medios y bajos de producto, el consumidor busca una repetitividad en la adquisición de un vino más difícil de conseguir con los métodos tradicionales.



- Condiciones de almacenaje de las barricas

La vinificación clásica con barrica requiere de una sala acondicionada, con control de humedad y temperatura. Asimismo, requiere de mucho espacio dado que los sistemas de apilado y manipulación no logran los rendimientos de optimización del espacio de un tanque.

### 5.3.3 Formatos de fragmentos de roble para vinificación

#### Sistemas para utilización en depósito

##### **Arroz o granulado**

Consiste en pequeños fragmentos de roble tostado o sin tostar, con un tamaño inferior a los 5 mm. Se introducen en bolsas de infusión, a través de las cuales se realiza la transferencia de compuestos aromáticos.

En ocasiones, se vierte directamente al tanque de fermentación durante la fermentación maloláctica para potenciar principalmente la intensidad del color.



*Figura 37. Arroz o granulado - Fuente: Riveroak*

##### **Chips o viruta**

Similar al arroz, pero con mayor tamaño, se trata de fragmentos de madera con unas dimensiones que varían entre los 5 y los 20 mm.

Al igual que el arroz, suele utilizarse en bolsas de infusión.

Por lo general ha sido sometido a un proceso de tostado, si bien, en ocasiones, se utiliza sin tostar.



*Figura 38. Chips - Fuente: Riveroak*

### **Fragmentos**

Se trata de fragmentos de madera aserrados con diversas geometrías.

Su tamaño es sustancialmente superior al de los chips.

Sus presentaciones más habituales son forma cúbica de aproximadamente un 1 cm. de arista y sección rectangular de entre 5 y 8 cm. de lado y un espesor de 1 cm., si bien se pueden encontrar presentaciones esféricas y geometrías diversas.



*Figura 39. Fragmentos - Fuente: Riveroak*

Se suelen utilizar en bolsas de infusión.

#### **Duelas para inmersión**



*Figura 40. Duelas para inmersión - Fuente: Riveroak*

Esta presentación consiste en la utilización de tablas aserradas de roble ancladas al depósito.

Los sistemas de anclaje son muy diversos pudiendo consistir en sistemas tan simples como unas cadenas de acero inoxidable soportadas por unos pernos, hasta llegar a estructuras complejas con forma de torre que se montan dentro del propio depósito.



*Figura 41. Duelas en depósito de inoxidable - Fuente: Riveroak*

Las dimensiones de las duelillas son muy variables, pudiendo llegar desde los 80-90 cm de longitud hasta los 150 cm., las anchuras pueden oscilar entre los 7 y los 20 cm. mientras que los espesores pueden oscilar entre los 6 mm. hasta los 2 cm.

La utilización de duelas requiere el mismo compromiso técnico que las barricas (mantenimiento y mano de obra), sin ofrecer la flexibilidad de los chips de roble.

El resultado, sin embargo, es bien diferente por el aporte progresivo, más cercano al de una barrica, que el de otro tipo de fragmentos como los chips, los gránulos o los fragmentos (1).

#### **5.3.4 Sistemas para regeneración aromática de barricas usadas**

Tal y como se cita en el capítulo 3, las barricas de roble transfieren diversas sustancias al vino modificando así sus características organolépticas.

No obstante, la transferencia de dichas sustancias es limitada y termina por agotarse.

Existen diversas alternativas para intentar “regenerar una barrica”, diferenciándose entre aquellas que implican aportación de nueva madera y aquellas que buscan el reaprovechamiento aromático de la madera de la propia barrica.

Nos centraremos en aquellas en las cuales se introduce nueva madera de roble para la vinificación.

##### **Tablillas encadenadas**

Se enlazan una serie de listones por sus extremos y se introducen por el orificio de llenado de la barrica.

El último listón queda anclado al tapón de cierre de dicha barrica facilitando la extracción posterior del conjunto.





*Figura 42. Arroz o granulado - Fuente: Andes wines*

### **Utilización de granulado o viruta de roble**

De forma análoga al depósito, se introducirán gránulos o chips de roble tostados para realizar el aporte. Para ello se dispondrá de una bolsa de infusión adaptada o se usará una malla de acero inoxidable o material polimérico cilíndrica que se insertará en el orificio de llenado de la barrica.

Los fragmentos utilizados no deberán quedar en contacto con el fondo de la barrica en ningún momento.

### **Entablillado interior de la barrica**

Consiste en introducir unas tablillas dentro de la barrica.

Esta operación requiere el desmontaje de uno de los fondos de la barrica para la inserción de las tablillas.

Las citadas tablillas podrán quedar fijadas a la barrica mediante una varilla polimérica o bien quedar sujetas mediante un cordel polimérico o de acero inoxidable.

El vino criado de esta forma, estará sometido a unas condiciones de oxidación similares a las de una barrica convencional mientras que los aportes de madera serán transferidos desde las duelas insertadas.



*Figura 43. Duelas en barrica - Fuente: Riveroak*

La superficie de madera introducida, así como su origen y tostado, serán determinantes para el resultado final de la crianza, pudiendo llegar a realizarse mezclas de diferentes orígenes y tostados.

Este sistema es, por tanto, el que mejor imita la crianza clásica en barrica y el que utilizaremos en el punto posterior como base de nuestro proyecto de investigación.

### 5.3.5 Aportación de los fragmentos de roble

La acción combinada de los fragmentos de roble y la micro-oxigenación tiene un efecto que, si bien no es idéntico al de una crianza en barrica, puede emular alguna de sus características, siendo destacable su efecto sobre el color, el dulzor y estructura del vino, el aumento de la expresión afrutada del vino y la disminución del carácter vegetal y el ajuste aromático y la complejidad (1).

Habitualmente, se suelen utilizar los diferentes formatos en momentos concretos del proceso, siendo los más habituales la utilización de polvo durante la fermentación alcohólica o para un enmaderado rápido antes del embotellado, chips durante el descube y duelas durante la crianza (1).

Los efectos de la utilización de fragmentos en la vinificación son variados. Procederemos a describirlos clasificándolos por su percepción sensorial.

- **Efecto sobre el color**

Generalmente, la aportación de fragmentos de madera aumenta el color de los vinos siendo superior cuanto más tiempo de contacto exista entre vino y madera y, por consiguiente, cuanto antes se aporte dicha madera.

Los taninos aportados reaccionan con los antocianos por copigmentación al comienzo de la maceración.

(1).

Dado que la madera sin tostar o con bajos niveles de tostado tiene una concentración de taninos más alta, este efecto se potencia con la adicción de fragmentos de bajo nivel de tostado.

Asimismo, la superficie de contacto estará directamente relacionada con la transferencia de taninos, por lo que para potenciar este efecto se usarán geometrías pequeñas (habitualmente gránulos).

Para la estabilización del color será necesaria la presencia de oxígeno, pudiéndose usar micro-oxigenación, bazuqueo u otros métodos.

- **Efecto sobre estructura y dulzor**

La madera, mediante un aumento de la estructura y el dulzor, aumenta el volumen global del vino.

Mediante la utilización de fragmentos (en especial aquellos con geometrías pequeñas como chips y segmentos) podremos conseguir los siguientes efectos:

- Aporte de dulzor mediante uso de madera sin tanino (compuestos de degradación de las ligninas en el caso de maderas tostadas) o de madera sin tostar (por acción de lactonas y polisacáridos).
- Incremento de la estructura mediante aportación de madera con tanino tras la fermentación maloláctica (efecto que se ve incrementado por determinados compuestos volátiles procedentes de aplicación de fragmentos de roble con tostados intensos).

- Debemos resaltar, asimismo, que las fermentaciones alcohólica y maloláctica, tiene n un efecto inhibitor de los aromas a madera sobre la estructura.

(1).

- **Efecto sobre el aroma**

El efecto de los aportes de fragmentos de madera sobre el aroma del vino, es unos de los puntos más representativos de la crianza.

Los principales aportes que se lograrán mediante la adicciónd e fragmentos son los siguientes:

- Compuestos volátiles. Se encontrarán habitualmente en bajas concentraciones, aunque representativas aromáticamente. Debemos destacar el eugenol (caracteres especiados), la  $\beta$ -ionona (caracteres florales) y las lactonas (notas lácteas y afrutadas).

Los tostados más intensos son los que producen aromas más intensos.

- La lignina se degrada dando lugar a fenoles volátiles y aldehídos aromáticos (guayacol, vainillina, siringaldehído).

La hemicelulosa da lugar a compuestos furánicos (furfural, 5-metilfurfural).

- Las fermentaciones alcohólica y maloláctica disminuyen la intensidad aromática, dado que los microorganismos consumen muchas de las sustancias que dan lugar a esos aromas y determinadas sustancias aromáticas (vainillina, furfural,...) se transforman en otras cuyo nivel de percepción es muy inferior (alcohol vainílico o furfuriltiol respectivamente).

(1).

- **Efectos sobre la expresión afrutada/vegetal**

La madera puede disminuir los caracteres vegetales por incremento de la expresión afrutada potenciada por la presencia de sustancias como las whiskylactonas (aromas cítricos y de coco) o bien por el efecto de enmascarado de aromas vegetales con aromas tostados.

(1).

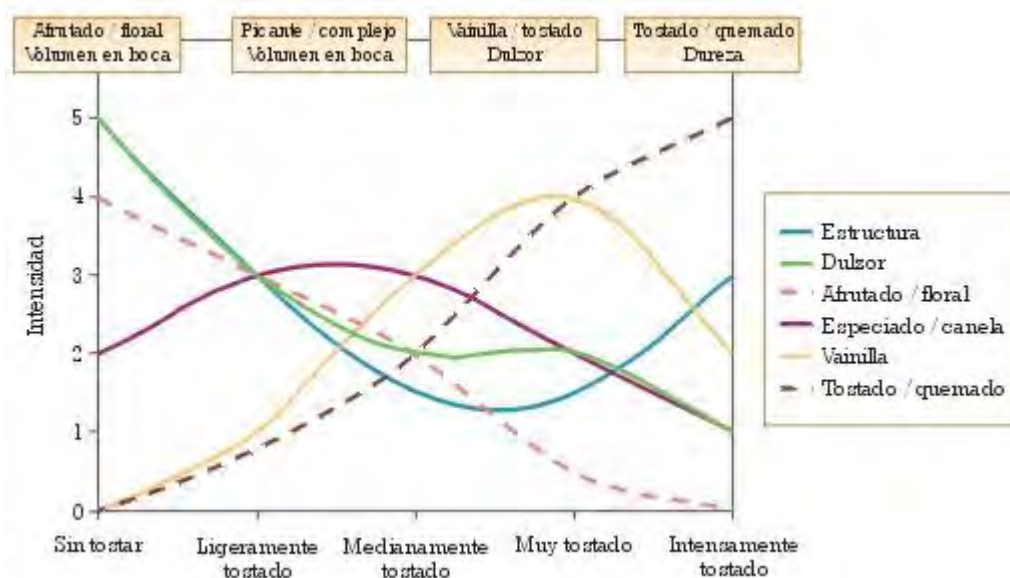


Figura 44. Características de la madera en función del nivel de tostado (1).

### 5.3.6 Utilización de fragmentos de madera para vinificación

Como hemos podido apreciar en apartados anteriores, los fragmentos pueden aportar caracteres muy diferentes en función de su tostado, su geometría, su mecánica aplicación y del momento de la crianza en el cual se utilicen.

A continuación expondremos brevemente los principales estándares de utilización de fragmentos de roble durante el proceso de vinificación.

- Fermentación: en el caso de los vinos tintos, la adición de fragmentos con geometría pequeña (gránulos, chips e incluso polvo) potencian la expresión aromática y el color.

La eficacia es similar a una adición posterior al descube y prensado y pero se suele realizar en este momento por cuestiones operativas.

En vinos blancos y rosados se puede aplicar tras la limpieza del mosto. Se deberá tener en cuenta que se producirá una volatilización de compuestos aromáticos arrastrados por el CO<sub>2</sub> liberado durante la fermentación.

Las dosis oscilarán entre de 1 y 10 g/l en función del objetivo (frescor, boca, complejidad, etc.).

- Sangrado: un aporte de fragmentos de madera mejorará la estabilidad, potenciará la expresión aromática y fomentará el equilibrio aromático proveniente de la madera.

Las dosis oscilan entre 2 y 15 g/l en función del objetivo deseado.

- Crianza: las dosis suelen ser inferiores para evitar un endurecimiento excesivo. La utilización de duelas en tanque aporta un enmaderado progresivo, más cercano a la crianza clásica que el aporte de chips o gránulos. Existe, no obstante, riesgo de endurecimiento tánico excesivo.

Los clasificaremos según el instante de aplicación:

-Aporte anterior a la fermentación alcohólica: habitualmente se aplica madera sin tostar en una concentración de entre 1 y 3 g/l.

Potencia el volumen en boca y la intensidad de los aromas a frutados.

-Aporte posterior a la fermentación alcohólica y anterior a la fermentación maloláctica: se utilizarán maderas tostadas en concentraciones que oscilarán entre 5 y 10 g/l.

Aportará complejidad aromática y el volumen en boca.

-Aporte durante la crianza: se realizarán aportes según criterio del enólogo. Habitualmente maderas tostadas en concentraciones que oscilarán entre los 0 y los 4 g/l.

-Aporte previo al embotellado: en caso de requerirse caracteres enmaderados rápidamente, se aplicarán fragmentos de madera de roble en formato pequeño (polvo o gránulos habitualmente). Es un proceso arriesgado dado que los vinos así elaborados pueden volverse inestables por hidrólisis de elagitaninos liberando ácido elágico insoluble.

-Aporte eventual: se pueden usar tostados diversos, habitualmente fuertes, para ajustes aromáticos concretos. Las dosis de aplicación oscilarán entre 0,5 y 2 g/l.

- (1).





## Referencias

1. BÉTEAU, J. Y ROIG JOSA, G. (2006); Los chips de roble como herramienta de vinificación y crianza



## Tesis doctoral

Doctorado en Innovación en Ingeniería de producto y procesos industriales

“ESTUDIO DE TÉCNICAS DE HIGIENIZACIÓN MEDIANTE PROYECCIÓN DE  
DIÓXIDO DE CARBONO Y RENOVACIÓN AROMÁTICA MEDIANTE  
INSERCIÓN DE DUELILLAS EN BARRICAS USADAS”

SECCIÓN 3 – HIGIENIZACIÓN Y LIMPIEZAS DE BARRICAS

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

DIRECTORES DE LA TESIS: Julio Blanco Fernández

Emilio Jiménez Macías

DOCTORANDO: Francisco Javier Flor Montalvo

Logroño, Junio 2017



## 6. Análisis comparativo de sistemas de limpieza e higienización de barricas

---

## 6.1 Introducción

El beneficio de la crianza en barrica, para lograr vinos de calidad a la vez que permitir el envejecimiento de dichos vinos, es bien conocido desde la antigüedad (1,2).

En los últimos años, la demanda de vinos de crianza del ha crecido enormemente viéndose reflejado tanto en la evolución de los litros de vino consumidos como en relación al valor de venta de dichos vinos tal cual se puede deducir del primer capítulo de la presente tesis (3).

En la actualidad hay en España un importante parque de barricas siendo el más notable el de la Denominación de Origen Calificada (D.O.Ca.) Rioja con más de 1.300.000 barricas.

En el caso concreto de la D.O.Ca. Rioja se ha pasado de 141 bodegas de crianza en el año 1993, a 379 bodegas en el 2016.

Asimismo el parque de barricas ha pasando de 546.615 barricas en 1990 a 1.325.629 barricas en 2016 (4).

Dado que el precio medio de una barrica de roble americano oscila entre los 270 y los 350 €, el de las barricas de roble europeo oscila entre 420 y 470 euros y el de una barrica de roble francés puede oscilar entre los 610 y los 750 euros, resulta extremadamente interesante alargar la vida de las barricas dentro de lo posible.

En línea con lo anterior es fundamental reutilizar las barricas y desarrollar tecnologías de limpieza y desinfección económicamente viables y que aseguren la estabilización microbiológica, teniendo en cuenta el control de calidad de los vinos de crianza.

La particular estructura de la madera y en concreto, su microporosidad natural, dificultan la limpieza y desinfección de la barrica lo que conlleva un riesgo de alteración microbiológica del vino si las condiciones de higiene no están bien controladas.

Es particularmente destacable el problema derivado de la proliferación de la levadura *Brettanomyces Dekkera* que, si bien no supone un riesgo en sí misma, si implica la aparición de 4-etilfenol, relacionado con el aroma a “sudor animal” y siendo su presencia considerada como muy negativa (5-10).

No existe ninguna normativa que exija que, aquellas barricas que ya no resultan aptas para una adecuada vinificación, sean retiradas, lo que origina una caída en la calidad de los vinos producidos así como problemas de índole organoléptica derivados de contaminación biológica (y más concretamente, fomenta la aparición de bacterias de la familia *Brettanomyces* con el consiguiente y ya clásico problema del 4-etil-fenol), si bien los productores buscan las formas de minimizar el impacto de este problema.

Un estricto control de las medidas higiénicas durante todo el proceso de elaboración así como en todos los procesos relacionados es clave para el control de este problema.

Dentro de estas medidas, quizá las más importantes sean las relacionadas con la propia limpieza e higienización de la barrica.

Hasta el momento, los tratamientos habitualmente utilizados para dicha limpieza son tratamientos mecánicos para la limpieza exterior, limpieza interior con agua (fría o caliente) para la eliminación de superficie sólida y cristales de tartrato depositados en la superficie interior de la barrica, tratamientos mediante vapor de agua para desinfección aprovechando la capacidad del vapor para penetrar en la estructura porosa de la madera.

Respeto de los tratamientos destinados a eliminar la presencia de microorganismos presentes, si bien se utilizan tecnologías como la proyección de agua ozonizada, tecnologías de cavitación o incluso microondas, la técnica más extendida es la aplicación de Sulfuro de Hidrógeno por combustión del azufre ( $S + O_2 \rightarrow SO_2$ ).

Se puede aplicar en formato pastillas o varillas o bien mediante un soporte de almidón, celulosa, silicato de calcio o aluminio impregnado de azufre (11,12).

El tratamiento con Sulfuroso tiene como principales ventajas su capacidad activa contra bacterias acéticas y su capacidad para conservar el vino. Por el contrario, debe ser destacada la formación de sulfitos. Asimismo, otros inconvenientes son su acción limitada e inestable (derivada de su aplicación mediante mechado) y los prolongados tiempos necesarios para que sea efectivo.

No obstante, la Directiva 98/8 / CE del Parlamento Europeo relativa a la comercialización de productos biocidas (13) y las normas de la UE de 2012 para la producción de vino ecológico (14) prohibió el uso del azufre para la limpieza de barricas por razones de seguridad alimentaria y ambiental. Esto ha fomentado la investigación y el desarrollo de sistemas alternativos de limpieza y desinfección (15).

Respecto de los otros tratamientos, el tratamiento con vapor de agua se caracteriza por su capacidad desinfectante (incrementada por la capacidad del vapor para “entrar” en la madera) y la posibilidad de tratamientos prolongados dado que se trata de un producto inocuo . Por el contrario los tiempos de tratamiento largos pueden hacer que el tratamiento por vapor incremente el coste unitario. Adicionalmente, al igual que otros tratamientos dependientes de la temperatura, se somete a la barrica a cambios de temperatura, lo que por un lado no los hace efectivos hasta no vencer la inercia térmica de la citada barrica y adicionalmente puede provocar problemas mecánicos en las mismas debido a la dilatación de los cellos (16).

El tratamiento con ozono (agua ozonizada) tiene como principales ventajas su alta capacidad desinfectante (directamente relacionada con el poder oxidante del ozono y por ende de la concentración de ozono en el agua), y su fácil aplicación (similar a las limpiezas tradicionales con agua fría o caliente). Asimismo, debemos tener en cuenta que la utilización de ozono propicia la desaparición de anisoles. Por contra, como inconveniente principal debemos destacar que, al igual que la limpieza con agua, el tratamiento será eminentemente superficial. No debemos tampoco obviar la toxicidad del propio ozono, su capacidad de reacción con materia orgánica (habitualmente mediante procesos de oxidación) y su propensión a

fomentar procesos corrosivos en los trenes de limpieza de barricas (lo que suele aparejar complejas instalaciones de extracción) (17,18).

La tecnología de limpieza con microondas tiene como principal ventaja que desinfecta integralmente la barrica (desinfecta las duelas en todo su volumen y por completo). Resulta asimismo, inocuo con la madera no afectando a su estructura así como tampoco a sus propiedades organolépticas ni aportaciones aromáticas. Como inconvenientes debemos destacar que si bien desinfecta completamente las barricas y su acción biocida es más que notable, no limpia la superficie de la barrica. Asimismo, es reseñable el que el tratamiento no sea implementable en una línea convencional, lo que implica que resulta necesario desplazar las barricas hasta el punto de desinfección (19).

La tecnología de ultrasonidos supone unos buenos niveles de limpieza superficial, incluyendo una alta capacidad para la eliminación de cristales de tartrato. Asimismo, tiene una notable acción biocida en la superficie de la barrica hasta una profundidad superior a la de envinado. Este tratamiento respeta las características de la madera, no afectando de forma representativa a su estructura así como tampoco a sus propiedades organolépticas ni aportaciones aromáticas. Por el contrario, resulta complicada su implementación a nivel industrial debido a los tiempos de tratamiento para lograr resultados óptimos. Adicionalmente, los consumos energéticos y de agua son muy altos (20).

## 6.2 Objeto y alcance

En este estudio se propone un tratamiento por proyección de dióxido de carbono alternativo al sulfuroso que permitirá al sector vitivinícola de la D. O. Ca. Rioja el mantenimiento adecuado de su parque de barricas.

Este no dispone en la actualidad de un sistema de higiene a un precio razonable para la crianza del vino de una forma segura. Además se muestran los resultados que corroboran los beneficios de esta innovadora tecnología de limpieza y desinfección de barricas que logra un elevado nivel de eliminación de tartratos y levaduras como la *Brettanomyces* (21).

La elaboración de un vino de crianza desde la perspectiva de la sostenibilidad medioambiental colabora en la lucha contra el cambio climático y la reducción de la huella de carbono del sector vitivinícola por el uso responsable las barricas de roble para la crianza del vino.



## 6.3 Materiales y métodos

La presente investigación se ha dividido en tres partes, destinadas a comprobar la eficiencia de la proyección de Dióxido de carbono como tratamiento para la limpieza de barricas de roble.

- La primera corresponde a un análisis de deposición de cristales de tartrato en la superficie interior de la barrica que nos mostrará hasta qué punto el sistema utilizado es adecuado como tratamiento físico de limpieza.
- La segunda consiste en un análisis microbiológico de barricas tratadas con dióxido de carbono y la realización de un análisis comparativo con barricas tratadas con los tratamientos de uso más frecuente en bodegas (agua caliente, vapor de agua y ozono) con lo que determinaremos la idoneidad de este tratamiento para la desinfección de barricas usadas.
- La tercera parte del estudio consiste el análisis de los diferentes compuestos transferidos desde la madera al vino durante su crianza antes y después de la aplicación del tratamiento, cuyo objeto es determinar como el tratamiento mediante dióxido de carbono afecta a la capacidad de aporte aromático de la barrica y por tanto a su capacidad para la crianza de vinos y su vida útil.

Se han escogido estas tecnologías por ser las más utilizadas de forma recurrente en bodegas puesto que las tecnologías de microondas y ultrasonidos no son aplicables a líneas estándar de limpieza de barricas (en el caso de microondas por la imposibilidad de implantarlo en línea y en el caso de ultrasonidos por el coste de la inversión, que ha llevado a unos bajos niveles de implantación).

Una línea convencional líneas suelen estar conformadas por una suma de procesos de limpieza mecánica (especialmente para el exterior), una limpieza con agua a presión (fría o caliente. Limpieza mecánica interior), vapor de agua y en ocasiones agua ozonizada.

### 6.3.1 Barricas

Para la realización del estudio se han utilizado 12 barricas de roble americano con dos años de uso. QUERCUS MANUFACTURAS S.A. se ha encargado de suministrar toda la madera necesaria para la realización de los ensayos de limpieza.

Sus características son las siguientes:

- Barricas usadas
- Modelo: bordelesa
- Capacidad: 225 + 3 l.
- Madera: Quercus Alba
- Espesor duelas y fondos: 25-27 mm.
- Fleje: Galvanizado con canto redondeado y galvanizado
- Tapón agujero de boca y/o falso: Silicona de tipo alimentaria
- Dimensiones:
  - Diámetro de vientre: 70 cms.
  - Diámetro de testa: 57 cms.
  - Diámetro de boca: Cónica, de 45 mm.
  - Altura barrica: 95 cms.
- Peso: 50 + 5 kg.
- Superficie de contacto: 2,06 m<sup>2</sup>
- Edad: 2 años
- Nº de vinificaciones: 2 vinificaciones

### 6.3.2 Equipos de higienización y limpieza de barricas

Respeto del equipo de limpieza, se ha utilizado un equipo de lavado de barricas mediante agua fría y caliente con un cabezal de alta presión giratorio multidireccional comandado por aire comprimido.

El agua, a una temperatura de 75°C, es proyectada a 120 bares de presión con un caudal de 0,25 l/s durante un tiempo de 2 minutos para el agua fría y dos minutos para el agua caliente.

Respecto del tratamiento de vapor se ha utilizado vapor saturado a una temperatura de 120 °C durante 90 segundos.

Para la realización de limpieza con dióxido de carbono se ha utilizado un sistema de proyección de carbónico en fase sólida mediante un equipo de proyección de “pellets” a una distancia de 200 mm., con una presión de 12 bares y con un tamaño medio de pellet de 45 nm., proyectando un caudal de hielo seco de 48 kg/h. El tiempo de este tratamiento ha sido de 180 segundos.

Posteriormente se ha realizado una aplicación de CO<sub>2</sub> líquido a una distancia de 12 mm., a una presión de 10 bares y un consumo de 0,288 l/s. de CO<sub>2</sub> líquido. El tiempo de este tratamiento ha sido de 210 segundos.

Todos los equipos han sido aportados por Uniriver Ebro S.L. para la realización de estos ensayos.

### 6.3.3 Control analítico

Se han realizado pruebas sobre barricas con distintos grados de contaminación física (consistente fundamentalmente en deposición de cristales de tartrato) y contaminación microbiológica (fundamentalmente presencia de *Brettanomyces*) aplicando las tecnologías de limpieza seleccionadas.

Las muestras a analizar se han enviado a FUNDACIÓN TECNALIA RESEARCH & INNOVATION que ha puesto a punto los métodos de análisis de los diferentes parámetros analizados en la madera.

Los análisis que se han llevado a cabo en las muestras para estudiar el efecto de la limpieza aplicada han sido los siguientes: presencia de cristales de tartrato, presencia de la levadura *Brettanomyces* y composición de compuestos volátiles de la barrica.

### **6.3.3.1 Presencia de cristales de tartrato**

La presencia de cristales de tartrato se puede valorar de manera visual y de manera más detallada utilizando técnicas de microscopía.

Estas últimas permiten visualizar los poros de la madera y detectar si existen depósitos de cristales de tartrato en el interior de los mismos.

En la FUNDACIÓN TECNALIA RESEARCH & INNOVATION se utilizó the Scanning Electron Microscopy (SEM) de la marca JEOL modelo JSM-5910LV, que lleva incorporada una micro sonda Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) OXFORD-INCA Xact, con una resolución de 128 eV.

Con esta tecnología se pueden realizar estudios de los aspectos morfológicos de zonas microscópicas de la madera con lo que el análisis de las imágenes obtenidas nos podría ofrecer una muy buena información adicional al análisis microbiológico de la madera tras la limpieza de la misma.

Para poder aplicar esta técnica es necesario realizar una preparación previa de la muestra a analizar.

Para ello se parte de una duela con presencia de cristales de tartrato y se divide (a partir de la cara con presencia de cristales de tartrato) en secciones aproximadas de 4 mm de ancho x 12 mm de largo x 12 mm de profundidad.

El ancho de la pieza de madera que se obtiene corresponde al plano transversal de la madera.

A partir de estas piezas de madera se realizan cortes con una cuchilla para llegar a una dimensión menor, de aproximadamente 3 mm de ancho x 7 mm de largo x 7 mm de profundidad.

Posteriormente como la muestra de madera no es conductora es necesario recubrirla con una capa de oro.

Como resultado de la aplicación de esta técnica se obtiene una imagen que permite saber si la muestra tiene presencia de depósitos de tartratos en el interior de sus poros.

### 6.3.3.2 Análisis de presencia de *Brettanomyces*

El procedimiento de análisis de la levadura *Brettanomyces* en las barricas ha consistido en tomar una cierta cantidad de madera (cara interna de la duela) y añadirle vino tinto estéril (22).



*Figura 45. Levadura Brettanomyces en un microscopio óptico*

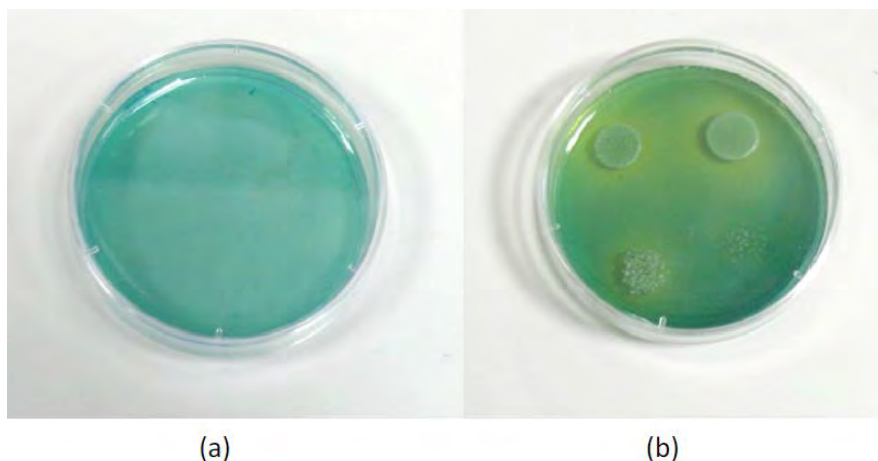
Características morfológicas	Brettanomyces
Shape	Circular
Topografía	Convex
Colour	Amarillo
Surface	Lisa y suave
Borde	Entero

*Tabla. 13 Características morfológicas de la levadura Brettanomyces*

Se ha dejado en maceración durante un periodo de tiempo de 96 horas, suficiente para que se haya producido la difusión de las levaduras Brettanomyces presentes en la madera al vino estéril.

Posteriormente, se ha tomado parte de la muestra y se ha sembrado en una placa con un medio diferencial de esta levadura.

Tras 5 días de incubación ha sido posible realizar el recuento de la misma. En el caso de las maderas que han presentado Brettanomyces se ha observado que el medio ha pasado de un color verde turquesa a verde y se ha creado un halo amarillo alrededor de la levadura.



*Figura 46: Detección de Brettanomyces en el medio diferencial.*

*a) muestra inicial; b) muestra tras 5 días de maceración.*

### 6.3.3.3. Composición aromática de la madera

Se ha realizado un análisis completo de la composición aromática de la madera con el fin de poder conocer el potencial de la madera de roble para llevar a cabo la crianza del vino. Los compuestos a analizar en la madera han sido aquellos que proporcionan al vino de crianza su carácter a madera de roble.

Estos compuestos han sido:

- **Compuestos furánicos:** 5-metilfurfural y 5-hidroximetilfurfural. - Aldehídos fenólicos: vainillina y siringaldehído. - Ácidos fenólicos: ácido gálico, ácido elágico, ácido vainillínico, ácido siríngico y ácido ferúlico.

- **Fenoles volátiles:** eugenol, siringol y guaiacol. - Lactonas: cis y trans  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octolactona (cis y trans whiskey lactona).

- **Cumarinas:** esculetina y escopoletina.

- **Taninos elágicos:** roburinas A-E, grandinina, vescalagina y castalagina (23-25). Los análisis han sido realizados mediante técnicas de cromatografía líquida de alta precisión (HPLC) y por cromatografía de gases con detector de espectrometría de masas (GC/MS) (26-27).

En la Tabla 14 podemos apreciar el origen de algunos de los compuestos volátiles en la madera, así como la familia de compuestos a la que pertenecen y su correspondiente atributo sensorial.

Oak wood component	Family of compounds	Molecule	Sensory attributes
Celulosa/Hemicelulosa (polisacaridos)	Compuestos furanicos	Furfural	Aroma a almendras
		5-Metilfurfural	Aroma a almendras tostadas
		5-Hidroximetilfurfural	Aroma a almendras tostadas
Lignina	Alehdos fenolicos	Vainilla Siringaldehido	Aroma de vainilla Aroma de vainilla potenciado
Lignina	Fenoles volatiles	Eugenol Siringol Guaiacol o guayacol	Aroma a clavo de especia Aroma a ahumado Aroma a tostado
Sustancias extraibles	Acidos fenolicos	Acido galico	Sensacion de astringencia
		Acido elagico	Sensacion de astringencia
		Acido vainillico	Aroma de vainilla potenciado
		Acido siringico	Aroma de vainilla potenciado
		Acido ferulico	Aroma de vainilla potenciado
Sustancias extraibles	Lactonas (M-octolactonas)	Cis-whiskey lactona (cis-M-octolactona)	Aroma a nuez de coco
		Trans-whiskey lactona (trans-M-octolactona)	Aroma a nuez de coco
Sustancias extraibles	Cumarinas	Esculetina	Aroma de amargor
		Escopoletina	Aroma de amargor
Sustancias extraibles	Taninos elagicos	Castalagina	Sensacion de astringencia
		Grandinina	Sensacion de astringencia
		Vescalagina	Sensacion de astringencia
		Roburina A	Sensacion de astringencia
		Roburina B	Sensacion de astringencia
		Roburina C	Sensacion de astringencia
		Roburina D	Sensacion de astringencia
		Roburina E	Sensacion de astringencia

Tabla 14: Origen de los compuestos volátiles de interés enológico para las maderas de roble

El procedimiento de análisis de estos compuestos en las barricas ha consistido en macerar una cierta cantidad de madera, en una solución hidroalcohólica, durante el tiempo necesario para que se produzca una cesión de los compuestos volátiles de la madera a la solución.

Posteriormente se han analizado en el extracto los compuestos volátiles de interés.



### 6.3.4 Estudio estadístico de resultados

Una vez obtenidos los resultados se ha realizado un tratamiento estadístico de los mismos con ayuda del programa estadístico software Statgraphics Centurion XVI.II. para establecer las conclusiones del estudio.

Se ha aplicado en los resultados obtenidos la prueba no paramétrica H de Kruskal-Wallis.

Este tratamiento estadístico permite comparar varias muestras independientes al mismo tiempo.

En nuestro caso hemos comparado los resultados obtenidos con los diferentes tratamientos aplicados a la barrica sobre los parámetros de limpieza analizados.

El resultado de esta prueba ha sido que existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en la eliminación de la levadura *Brettanomyces* en función del tratamiento aplicado en la barrica.

Para determinar entre que tratamientos existen diferencias significativas se ha seleccionado el gráfico Box and Whisker Plot en el programa estadístico.

Tal y como se refleja en la Tabla 15 el tratamiento con carbónico es el único que ha conseguido eliminar totalmente la levadura *Brettanomyces* de la barrica contaminada, seguido del tratamiento con ozono que ha conseguido reducir de media un 84% la presencia de esta levadura.

El tratamiento de vapor de agua ha sido significativamente menos eficaz en la eliminación de la levadura *Brettanomyces* con respecto al resto de tratamientos, no llegando a reducir ni el 50% de la presencia de esta levadura en la barrica.

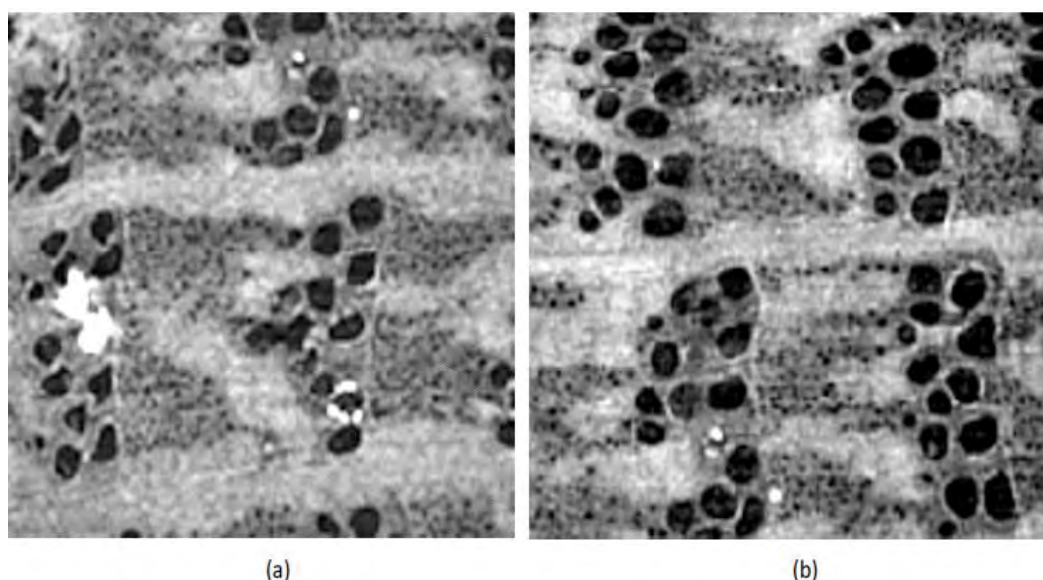
En relación a la composición volátil de las barricas no se han observado diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en la concentración de los diferentes compuestos analizados tras los tratamientos aplicados, así como tampoco se han observado diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en función del tratamiento aplicado.

## 6.4 Resultados obtenidos

### 6.4.1 Análisis de limpieza mecánica de la superficie de la barrica

Respecto de la eliminación de cristales de tartrato. los mejores resultados se han obtenido con el tratamiento con dióxido de carbono.

En la figura 47 podemos apreciar el efecto de este tratamiento en las barricas mediante imagen obtenida por microscopía antes y después del mismo.



*Figura 47: Imagen obtenida mediante microscopía SEM de la madera de una barrica; a) antes de la limpieza con carbónico b) después de la limpieza con carbónico*

Tal y como se observa en la imagen anterior es posible observar mediante el análisis microscópico con SEM and EDS la presencia de depósitos de tartratos en los poros de la madera.

Las manchas blancas en los poros se corresponden con los depósitos de tartratos antes del tratamiento.

Resulta evidente la reducción de dichos cristales tras el proceso de limpieza.

### 6.4.2 Análisis de acción biocida del tratamiento

En los ensayos planteados se ha realizado pruebas para 3 tratamientos diferentes consistiendo cada una de ellas en el análisis de 3 barricas tras el tratamiento.

Las muestras de madera 1, 2, 3 y 4 se refieren a barricas en las que se ha aplicado el tratamiento con ozono. En las barricas 5, 6, 7 y 8 se ha aplicado el tratamiento con vapor de agua caliente y en las 9, 10, 11 y 12, el tratamiento con carbónico.

En la tabla 15 se presentan algunos de los resultados obtenidos al aplicar los diferentes tratamientos de limpieza en barricas usadas y contaminadas.

Treatment	Barrels				
Ozone	B1 B2 B3 B4	4/0	29/3	0/0	>100/22
Steam	B5 B6 B7 B8	9/5	0/0	37/46	16/14
Carbon	B9 B10 B11 B12	2/0	2/0	23/1	43/6

*Tabla 15: .Presencia de Brettanomyces antes y después del tratamiento (ufc/ml)*

En ella se puede observar que con el tratamiento de carbono supercrítico se logran los mejores resultados de eliminación de la levadura Brettanomyces en las barricas tratadas.

La interpretación de los datos se hace mucho más evidente previa representación en un diagrama de cajas y bigotes (Box-and-Whisker).



*Figura 48: Diagrama Box-and-Whisker que muestra reducción porcentual de presencia de Brettanomyces (%) para cada uno de los tratamientos aplicados*

### 6.4.3 Influencia del tratamiento sobre la capacidad de cesión aromática de la barrica

Con el fin de valorar el efecto de los tratamientos aplicados en barricas usadas y contaminadas sobre la composición volátil de las mismas se han analizado diferentes compuestos volátiles de la madera de interés enológico.

En la tabla 16 se muestran los resultados y se verifica que la composición de los compuestos volátiles de la barrica no se ve sustancialmente afectada tras la aplicación de los diferentes tratamientos de limpieza.

Onoze Treatment				
Significant Compounds	B1	B2	B3	B4
Vanillin	39/40	51/37	46/42	87/43
Eugenol	4/4	6/3	3/3	3/4
Guaiacol	4/3	4/4	3/3	3/3
Cis-M-Octalactona	20/12	22/17	14/11	23/13
Trans-M-Octalactona	1/4	5/1	4/2	4/2

Steam Treatment				
Significant Compounds	B5	B6	B7	B8
Vanillin	59/42	54/40	78/35	40/44
Eugenol	6/4	5/5	7/4	5/5
Guaiacol	5/3	4/2	3/2	7/4
Cis-M-Octalactona	26/14	14/11	34/22	18/17
Trans-M-Octalactona	5/5	2/1	15/7	7/6

Carbon Dioxide treatment				
Significant Compounds	B9	B10	B11	B12
Vanillin	53/60	36/41	40/40	32/32
Eugenol	6/3	5/8	3/2	3/3
Guaiacol	1/3	3/4	2/2	2/2
Cis-M-Octalactona	14/12	18/14	12/13	15/16
Trans-M-Octalactona	2/3	2/2	1/2	2/2

*Tabla 16: concentración de compuestos volátiles en las barricas B1-B12 antes y después del tratamiento ( $\mu\text{g/L}$ )*

## 6.5 Conclusiones sobre resultados obtenidos

Gracias al tratamiento estadístico de los resultados se han podido establecer conclusiones sobre:

- La influencia de la tecnología de limpieza aplicada a la barrica sobre los parámetros de limpieza estudiados.
- El efecto de la tecnología de limpieza aplicada a la barrica usada sobre la potencialidad aromática de la madera de roble para su nuevo empleo.
- La influencia del tipo de limpieza aplicado en la barrica usada sobre la evolución de distintos parámetros físico-químicos del vino en crianza.
- Comparación de los resultados obtenidos analíticamente como organolépticamente.

De los resultados obtenidos con el desarrollo del presente proyecto de investigación se pueden extraer las siguientes conclusiones.

La tecnología de carbónico es la tecnología con la que ha logrado el resultado más eficaz en la limpieza de barricas tanto en la eliminación de cristales de tartrato, así como de la levadura *Brettanomyces*, sin perder al mismo tiempo el potencial aromático de la barrica (24,29).

No obstante, resulta interesante ver como la eficiencia de otros tratamientos y muy especialmente del ozono puede ser suficiente para la operativa diaria de las bodegas y supone una reducción menor de algunos compuestos aromáticos de interés en la barrica higienizada.

## Referencias

1. Ortega-Heras, M.; Gonzalez-Sanjose, M. L.; Gonzalez-Huerta, C. *Food Chem.* 2008, 103, 1434–1448.
2. Garde-Cerdan, T.; Lorenzo, C.; Carot, J. M.; Esteve, M. D.; Climent, M. D.; Salinas, M. R. *Food Chem.* 2010, 122, 1076–1082.
3. *Statistical Analysis on world viniviculture 2015* ; International Organisation of Vine and Wine OIV: Paris, France, 2015.
4. *El vino en cifras 2015* ; ICEX Spain Trade and Investment: Madrid, Spain, 2015.
5. Mansfield, A. K.; Zoecklein, B. W.; Whiton, R. S. *Am. J. Enol. Viticult.* 2002, 53, 303–307.
6. Dominguez, C.; Guillen, D. A.; Barroso, C. G. *Anal. Chim. Acta* 2002, 458, 95–102.
7. Dias, L.; da Silva, S. P.; Tavares, M.; Malfeito-Ferreira, M.; Loureiro, V. *Food Microbiol.* 2003, 20, 377–384.
8. Snowdon, E. M.; Bowyer, M. C.; Grbin, P. R.; Bowyer, P. K. J. *Agr. Food Chem.* 2006, 54, 6465–6474.
9. Coulon, J.; Perello, M.; Lonvaud-Funel, A.; de Revel, G.; Renouf, V. J. *Appl. Microbiol.* 2009, 108, 1450–1458.
10. Barata, A.; Laureano, P.; D'Antuono, I.; Martorell, P.; Stender, H.; Malfeito-Ferreira, M.; Querol, A.; et al, J. *J. of Food Res.* 2013, 2, 140–149.
11. Wirtanen, G.; Salo, S. *Aus. NZ. Wine Ind. J.* 2003, 2, 293–306.
12. Ashar, N. G. *Advances in Sulphonation Techniques*, 1st ed.; Springer International Publishing, 2016.

13. EU Directive 98/8/EC Biocides; European Commission: Brussels, Belgium, 1998.
14. EU rules for organic wine production Background, Evaluation and Further Sector Development; European Commission: Brussels, Belgium, 2012.
15. Winery Sanitation Driven by changing regulations and consumer demand; Vineyard & Winery Management: California, USA, 2004.
16. Storm, D. Winery utilities, 1st ed.; Springer International Publishing, 1997.
17. Marko, S. D.; Dormey, E. S.; Fugelsang, K. C.; Dormedy, D. F.; Gump, B.; Wample, R. L. *Am. J. Enol. Viticult.* 2005, 56, 46–51.
18. Bar-Am, C.; Lapsley, J.; Mueller, R.; Sumner, D. A. *J. Wine Econ.* 2012, 7, 108–125.
19. Yap, A.; Bagnall, W. *Aus. NZ. Wine Ind. J.* 2009, 24, 29–39.
20. (Gonzalez-Arenzana, L.; Santamaria, P.; Lopez, R.; Garijo, P.; Gutierrez, A. R.; Garde-Cerdan, T.; Lopez-Alfaro, I. *Food Control* 2013, 30, 536–539.
21. Guzzon, R.; Widmann, G.; Malacarne, M.; Nardin, T.; Nicolini, G.; Larcher, R. *Eur. Food Res. Technol.* 2011, 233, 285–291.
22. Couto, J. A.; Barbosa, A.; Hogg, T. *Lett. Appl. Microbiol.* 2005, 41, 505–510.
23. Vivas, N.; Pianet, I.; Bourgeois, G.; Vitry, C.; Serverns, C.; Glories, Y. *Am. J. Enol. Vitic.* 1998, 49, 49–55.
24. Ribereau-Gayon, P.; Dubourdieu, D.; Dochene, B.; Lonvaud, A. *Handbook of Enology (Vol 1): The microbiology of Wine and Vinification*, 2nd ed.; John Wiley & sons: Chichester, United Kingdom, 2006.
25. Ribereau-Gayon, P.; Glories, Y.; Maujean, A.; Dubourdieu, D. *Handbook of Enology (Vol 2): The chemistry of wine, Stabilization and Treatments*, 2nd ed.; John Wiley & sons: Chichester, United Kingdom, 2006.





26. Monje, M. C.; Privat, C.; Gastine, V.; Nepveu, F. *Anal. Chim. Acta* 2002, 111–117.
27. Nicolini, G.; Larcher, R.; Bertoldi, D.; Puecher, C.; Magno, F. *Vitis* 2007, 4, 202–206.



## 7. Estudio del efecto de la limpieza con dióxido de carbono en barricas renovadas mediante la inserción de duelillas

---

## 7.1 Introducción

La vinificación oxidativa en barrica de roble presenta grandes ventajas que incrementan el valor y calidad de los vinos, como son el aporte de aromas, gusto, color y cuerpo.

Este tipo de crianza supone incurrir en altos costes económicos, no solo derivados de la propia inversión en barricas, sino también de los costes directos de mantenimiento, limpieza y operación, y los indirectos originados por las necesidades de espacio y la inmovilización del vino durante largas temporadas.

Sin embargo, a finales del siglo XX la vinificación en barrica ha resurgido con gran fuerza a nivel mundial y se ha estandarizado su utilización entre los principales países productores de vinos de calidad.

Existen tres especies principales de roble con interés enológico: *Quercus Robur* (o *Quercus Pedunculata*), *Quercus Sessilis* (o *Quercus Petraea*) y *Quercus Alba*.

Este estudio ha sido desarrollado a partir de barricas de la variedad *Quercus* originalmente procedentes de Missouri, Tennessee o Kentucky (USA) (1,3).

Como hemos citado en el apartado anterior los nuevos sistemas de higienización y limpieza de barricas usadas deben asegurar su estabilización microbiológica, proteger contra oxidación y mantener sus propiedades organolépticas.

La interacción entre la madera y el vino en el transcurso de la crianza da lugar a una estabilización natural del vino y a una mejora organoléptica del mismo, siempre que el proceso de crianza esté totalmente controlado (4,5).

La posible prohibición por parte de la Unión Europea del empleo del dióxido de azufre para la limpieza de barricas (6) ha suscitado en los últimos años la necesidad de la investigación y desarrollo de sistemas de limpieza y desinfección alternativos.

En este capítulo hemos estudiado un sistema alternativo a los tradicionales basado en la proyección de dióxido de carbono de forma alternativa al dióxido de azufre.

Los beneficios de este nuevo tratamiento fueron garantizando una eliminación importante de tartratos y levaduras *Brettanomyces*.

Su implantación permitirá al sector vitivinícola de la Denominación de Origen Calificada (DOc) Rioja un mantenimiento alternativo de su parque de barricas, a un coste aceptable.

En este apartado estudiaremos la evolución de un vino durante su permanencia en barricas que han sido usadas e higienizadas mediante proyección de dióxido de carbono.

Una vez analizada la madera de su superficie interna de la barrica, se ha llevado a cabo la crianza del vino (8).

En todas las barricas diferenciadas se ha introducido el mismo vino con el fin de poder comparar los resultados obtenidos.

Se han analizado diversos parámetros físico-químicos, así como la composición aromática del vino envejecido, procedentes del aporte desde la madera al vino de distintos compuestos volátiles de interés enológico (9).

Simultáneamente, se ha creado un panel de cata que se ha encargado de estimar la evolución organoléptica de esos vinos, con el fin de poder contrastar los datos sensitivos de la cata ciega con los datos obtenidos de forma analítica.

## 7.2 Materiales y métodos empleados

### 7.2.1 Barricas utilizadas y equipos de higienización

Las barricas usadas en nuestros ensayos eran barricas bordelesas de 225 l. de capacidad elaboradas en roble americano (*Quercus alba*), con unos o dos años de uso, y tres diferentes tipos de tostados (3) según queda reflejado en la Tabla 17.

Referencia	Tostado	Años de uso
TI1	Ligero	1
TL2	Ligero	2
TM1	Medio	1
TM2	Medio	2
TH2	Fuerte	2

*Tabla 17. Barricas tratadas con carbónico en el presente estudio*

*Quercus Manufacturas* ha suministrado toda la madera necesaria para la realización de los ensayos de limpieza y crianza.

El equipo de limpieza externa consiste en un cabezal rotativo multidireccional de alta presión accionado mediante aire comprimido.

Este sistema proyecta agua fría y caliente (a una temperatura de 75 °C) con las siguientes características:

- 120 bares de presión
- 0.25 l/s de caudal
- tiempo de aplicación de 2 minutos de agua fría seguidos de dos minutos de agua caliente.

Tras la limpieza con agua a presión, las barricas se desmontan y se extraen las duelas llevándolas hasta el equipo de limpieza mediante gas carbónico.

Se utiliza un equipo de proyección que emite fragmentos de CO<sub>2</sub> sólido (con un tamaño máximo de 45 nm) a una distancia constante de 200 mm., una presión de 12 bares y un caudal de 48 kg/h por un periodo de 180 segundos por duela.

Tras esta prueba se realiza otra prueba con un caudal de 0.288 l/s de CO<sub>2</sub> líquido proyectado a una distancia de 12 mm. A una presión de 10 bares durante 210 segundos.

Todos los equipos utilizados en esta prueba han sido suministrados por Uniriver Ebro S.L.

### **7.2.2. Análisis microbiológico y de componentes aromáticas de las barricas de roble utilizadas**

Se han realizado pruebas sobre barricas con diferentes niveles de contaminación microbiológica (presencia de *Brettanomyces*) y física (depósitos de cristales de tartrato).

Para analizar la presencia de *Brettanomyces* se procedió a tomar una muestra de madera de la cara interior de la barrica a la cual añadiremos vino tinto estéril.

Tras ello se deja macerar durante un periodo diferente para permitir el crecimiento de la presencia de *Brettanomyces* en el medio aportado (vino tinto estéril).

Parte de las muestras fueron llevadas a una placa agar en medio diferencial para la citada levadura. Tras un periodo de 5 días de incubación, se realizará el recuento de U.F.C.

Se ha realizado de forma adicional una inspección visual para verificar el nivel de eliminación de cristales de tartrato.

En la Tabla 18 podemos ver las moléculas presentes en el vino debido a su contacto con la madera durante su crianza y que pueden llegar a ser percibidos durante la cata de los mismos. Asimismo indica los umbrales de percepción referenciados por los principales autores reconocidos en este campo (4,5).

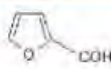

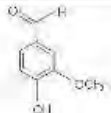
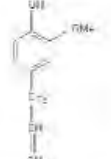
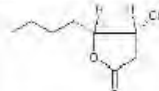
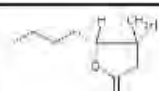
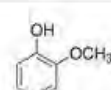
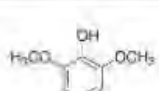
Molécula	Estructura química	Descriptor del aroma	Umbral de percepción
Furfural		Almendras	20 mg/l
5-metilfurfural		Almendras tostadas	45 mg/l
Vainillina		Vainilla	320 µg/l
Eugenol		Clavo	0,5 mg/l
Cis-whiskey lactona		Nuez de coco	15 µg/l
Trans-whiskey lactona		Nuez de coco	150 µg/l
Guaiacol		Tostado	75 µg/l
Siringol		Ahumado	200 µg/l

Tabla 18. Descripción de las principales moléculas del vino aportadas por la crianza en barrica

Los compuestos analizados han sido los siguientes. Compuestos furánicos: 5-metilfurfural y 5-hidroximetilfurfural; Aldehídos fenólicos: vainillina y siringaldehído; Ácidos fenólicos: ácido gálico, ácido elágico, ácido vainillínico, ácido siríngico y ácido ferúlico; Fenoles volátiles: eugenol, siringol y guaiacol; Lactonas: cis y trans  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octolactona (cis y trans

whiskey lactona); Cumarinas: esculetina y escopoletina; Taninos elágicos: roburinas A-E, grandin-ina, vescalagina y castalagina.

Los análisis de los compuestos han sido realizados mediante técnicas de cromatografía líquida de alta precisión (HPLC) y por cromatografía de gases con detector de espectrometría de masas (GC/MS) (5,7).

Se ha realizado la crianza para comprobar si la limpieza por proyección de dióxido de carbono influye sobre la evolución de un vino durante su permanencia en barricas higienizadas y reutilizadas.

Dicha evolución se ha seguido sobre los 5 tipos de barricas indicadas en Tabla 1.

En el transcurso de la crianza se han realizado 2 muestreos: uno tras 4 meses de crianza y otro finalizada la crianza a los 8 meses. En todas las barricas se ha introducido el mismo vino.

Quercus Manufacturas ha controlado las condiciones de temperatura y humedad de la zona de crianza de la bodega y ha efectuado los necesarios trasiegos, higienización mediante aportación de SO<sub>2</sub>, reposición de vino a las barricas, etc. para la correcta crianza del vino objeto de estudio.

### **7.2.3. Análisis de la influencia de la higienización en el envejecido en barrica**

Se han realizado análisis de algunos parámetros físico-químicos del vino y de su composición aromática procedente de la madera de roble.

De forma paralela, se ha creado un panel de cata, formado por prestigiosos enólogos de diversas bodegas de DOQ Rioja, para poder contrastar los datos obtenidos de forma analítica con los datos organolépticos de una cata ciega.

De esta forma, las catas periódicas detectan la posible presencia de los compuestos generados por la levadura *Brettanomyces*: 4-etil fenol (4-EF) y el 4-etil guayacol (4-EG) (17,18).



El aroma característico del 4-EF es a "cuero", "animal" y a "sudor de caballo"; su umbral de percepción es de aproximadamente 0,5-0,6 mg/l, y su olor típico es claramente perceptible a partir de 0,6 mg/l y dominante en el vino a partir de dicho valor.

Por el contrario, el aroma típico que desprende el 4-EG es a "quemado", y su umbral de percepción es de 0,1 mg/l.

Para el protocolo de cata, se ha elaborado un el formulario (ver figura 49). En él se ha recogido a través de una puntuación de 0 (menos valoración) a 5 (máxima valoración) la percepción de cada uno de los catadores profesionales que han participado en el panel.

La cata ha sido ciega, es decir, cada enólogo valora el vino catado sin saber de antemano el vino que está catando.

Nombre	<input type="text"/>				<b>FICHA DE CATA</b>									
Fecha	<input type="text"/>													
Bodega	<input type="text"/>													
<b>Descritores</b>					Nº									
					0 1 2 3 4 5									
Olfativo	Primarios (fruta)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Secundarios (lácteos)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Tostado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Coco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Vainilla	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Espicias	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Coco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Intens vino/madera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Etilfenoles	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Persistencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Observaciones:														
Boca	Primarios (fruta)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Secundarios (lácteos)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Tostado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Coco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Vainilla	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Espicias	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Coco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Intens vino/madera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Etilfenoles	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Persistencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Observaciones:														
Taninos	Taninos verdes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Taninos secos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Taninos duros	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Taninos redondos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Observaciones:														
<b>VALORACIÓN GENERAL</b>					<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Figura 49: Ficha con protocolo de cata

## 7.2.4. Statistical analysis

Los resultados de los análisis microbiológicos se han sometido a un tratamiento estadístico con ayuda del programa Statgraphics para establecer conclusiones extrapolables del estudio.

El nivel de confianza es  $P < 0.05$ . Se ha llevado a cabo un Análisis de Componentes Principales (ACP) para evaluar el efecto de la tecnología de limpieza aplicada a barricas reusadas con diferentes grados de tostado y antigüedad de uso.

El ACP es un proceso estadístico que convierte un conjunto de observaciones con posible correlación en pares de valores en un conjunto de valores de variables sin correlación lineal a las que llamaremos componentes principales.

En nuestro caso, hemos usado esta técnica para representar la predominancia de ciertos parámetros fisicoquímicos, compuestos aromáticos o propiedades organolépticas (representados como vectores) en diferentes situaciones experimentales (representadas por puntos en el plano obtenido a partir del ACP).

La proximidad de un punto a un vector indica que ese parámetro caracteriza ese caso predominante respecto a los demás parámetros, y la distancia de un punto al origen del gráfico nos da idea del peso de dicho parámetro respecto a las demás situaciones experimentales.

Los gráficos obtenidos mediante el ACP nos han permitido comparar los pesos de los compuestos aromáticos de interés enológico según el grado de tostado y la antigüedad de uso de las barricas.

Se han representado por una parte los compuestos furánicos, fenoles volátiles y lactonas y por otra parte, los aldehídos fenólicos, ácidos fenólicos y taninos totales.

Adicionalmente, se ha realizado un PCA de la evolución de los vinos en tres momentos de la crianza (antes del envejecimiento, tras 4 meses de crianza en barrica y tras 8 meses de crianza en barrica) en cinco tipos de barricas diferentes (véase Tabla 17).

La proximidad en los diagramas ACP de los vinos en las diferentes situaciones experimentales indica una caracterización similar en cuanto a propiedades, composición, valoración olfativa o valoración gustativa.

## 7.3 Exposición y análisis de resultados

En primera instancia se ha analizado la presencia de cristales de tartrato en las muestras de madera de las barricas limpiadas con dióxido de carbono así como también la eventual presencia de *Brettanomyces*.

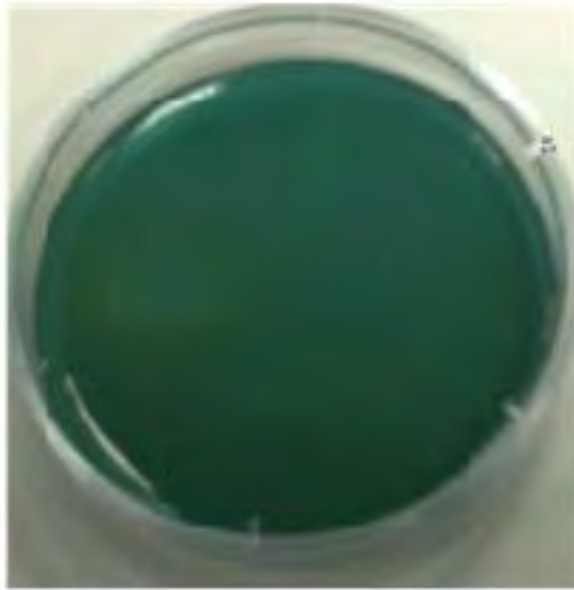
Las Figuras 50 y 51 muestran los resultados de algunas de las pruebas realizadas en la barrica HT2.

En la figura 50(b) se aprecia por inspección visual la ausencia de cristales de tartrato en la barrica tras la aplicación del tratamiento. La presencia de levaduras *Brettanomyces* se ha analizado en un medio de cultivo específico para ella en la misma barrica.



*Figura 50: Eliminación de cristales de tartrato en una barrica tras la proyección de carbono supercrítico (a) antes del tratamiento (b) tras el tratamiento*

La figura 51 muestra color verdoso sin zonas amarillas, indicando la ausencia de *Brettanomyces* tras la limpieza mediante dióxido de carbono. En ninguna de las barricas empleadas para este estudio se han detectado cristales de tartrato ni presencia de la levadura *Brettanomyces*.



*Figura 51: Cultivo de Brettanomyces en una barrica tras la proyección de carbono con resultado negativo*

Se ha realizado también un análisis completo de la composición aromática de la madera de las barricas con el fin de conocer el potencial de la madera tratada para llevar a cabo la crianza del vino.

En la Tabla 19 se muestra que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango esperado y habitual para un uso enológico tras la aplicación del tratamiento de limpieza de dióxido de carbono en barricas contaminadas con diferentes tiempos de uso y grados de tostado.

Aromatic Composition ( $\mu\text{g/g}$ wood)	TL1	TL2	TM1	TM2	TH2
<b>COMPUESTOS FURANICOS</b>					
5-Metilfurfural	6,360	4,456	13,799	16,148	48,246
5-Hidroximetilfurfural	9,455	4,372	39,465	11,790	115,122
<b>ALDEHÍDOS FENOLICOS</b>					
Vainilla	91,342	12,550	110,283	20,996	129,647
Siringaldehido	70,317	62,221	91,137	111,232	241,144
<b>ACIDOS FENOLICOS</b>					
Acido galico	314,318	606,586	244,739	531,260	172,966
Acido elagico	1.442,182	1.010,953	1.090,895	843,111	925,063
Acido vainiliico	50,078	39,481	60,736	56,142	121,679
Acido siringico	62,900	43,501	73,254	37,391	163,646
Acido ferulico	undetected	undetected	undetected	undetected	undetected
<b>FENOLES VOLATILES</b>					
Eugenol	14,080	undetected	20,316	0,798	19,209
Siringol	9,012	0,624	24,017	2,124	55,198
Guaiacol	1,812	undetected	4,119	undetected	6,930
<b>LACTONAS</b>					
Cis-whiskey lactona	86,386	13,026	114,066	21,041	111,545
Trans-whiskey lactona	16,202	1,601	32,401	1,586	23,583
<b>CUMARINAS</b>					
Esculetina	undetected	undetected	undetected	undetected	undetected
Escopoletina	undetected	undetected	11,289	undetected	8,794
<b>TANINOS ELAGICOS</b>					
Roburina A	15,753	undetected	undetected	undetected	undetected
Roburina B	undetected	undetected	undetected	undetected	undetected
Roburina C	undetected	undetected	undetected	undetected	undetected
Grandinina	19,044	undetected	undetected	undetected	undetected
Roburina D	47,935	undetected	18,600	undetected	undetected
Vescalagina	52,490	undetected	18,308	undetected	undetected
Roburina E	46,608	undetected	undetected	undetected	undetected
Castalagina	217,786	9,249	80,772	undetected	undetected
Total	399,617	9,249	117,680	-	-

Tabla 19. Composición aromática de las barricas usadas tras aplicarles un tratamiento de limpieza con carbono supercrítico. (Resultados  $\pm$  DS)

A continuación mostraremos los resultados asociados a la evolución de los vinos criados.

	Before Aging	4 months					8 months				
		TL1	TL2	TM1	TM2	TH2	TL1	TL2	TM1	TM2	TH2
ph	3,94	3,72	3,78	3,70	3,71	3,74	3,70	3,72	3,73	3,67	3,73
Grado	13,86	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40	13,86	12,92	13,40
Acidez volátil (g/l Ac. Acético)	0,66	0,86	0,93	0,80	0,87	0,90	0,86	0,89	0,86	0,87	0,92
(g/l Ac. Tartarico)	4,9	5,1	5,3	5,1	5,0	5,0	5,3	5,0	5,3	5,2	5,3
SO <sub>2</sub> Libre (mg/l)	10	11	17	10	17	11	32	24	18	33	21
SO <sub>2</sub> Combinado (mg/l)	26	36	50	34	34	33	5,1	5,3	5,1	5,0	5,0
SO <sub>2</sub> Total (mg/l)	36	47	67	44	51	44	91	70	66	87	65
IC	7,195	9,546	6,631	9,385	7,833	9,400	5,498	7,828	7,292	5,324	6,834
T	0,786	0,828	0,856	0,821	0,893	0,820	0,923	0,887	0,844	0,929	0,847
IPT	59	62	58	65	63	62	57	61	58	58	64
Antocianos (mg/l)	254	228	245	218	298	228	286	271	234	287	233
Indice de FOLIN	31	30	64	65	66	26	65	70	63	63	63
Furfural (μg/l)	1.090,54	1.008,20	974,87	1.439,45	1.245,35	1.607,88	1.824,80	2.813,61	3.205,76	3.044,54	7.551,65
5-metilfurfural (μg/l)	106,61	196,47	59,17	571,81	317,33	293,40	407,35	357,73	953,40	508,31	2.047,45
Guaiacol (μg/l)	66,934	97,426	50,231	132,564	64,717	243,533	27,358	36,943	53,059	34,512	99,361
Trans-whiskey lactona (μg/l)	36,35	216,13	155,71	231,73	125,77	170,89	183,63	125,54	266,68	155,19	233,95
Cis-whiskey lactona (μg/l)	171,34	2.313,54	1.662,81	1.981,70	1.023,69	1.251,54	1.193,71	941,04	2.148,33	1.224,28	2.149,89
Siringol (μg/l)	295,68	331,57	252,25	406,66	288,95	347,87	250,41	224,40	276,35	275,72	406,62
Eugenol (μg/l)	33,332	109,488	112,915	93,927	104,297	73,437	130,434	91,658	147,748	140,340	146,678
Vainillina (μg/l)	94,70	796,29	1.772,76	983,31	1.420,33	862,48	1.477,75	1.360,78	1.955,15	1.627,08	2.071,73

*Tabla 20. Resultados analíticos de la evolución del vino en barricas usadas con diferentes grados de tostado y limpiadas con el prototipo de proyección de carbono. (Resultados  $\pm$  DS)*

Simultáneamente a la crianza, se creó un panel de cata para la valoración organoléptica de los mismos vinos.

Resulta interesante la comparación de estos valores con los obtenidos en el panel de catas para corroborar los resultados analíticos.

Se han realizado diagramas de araña que recogen las principales características olfativas y gustativas reflejadas en el panel de cata para los vinos criados en las diferentes barricas a los 4 y 8 meses de crianza.

En estos diagramas se recogen las valoraciones realizadas en lo que se refiere a la complejidad olfativa y gustativa, la persistencia olfativa y gustativa, y los aromas a especias, coco, tostado, vainilla y etilfenoles.

En la figura 52 se muestran los diagramas araña correspondientes a la valoración olfativa y gustativa a los 4 meses de crianza del vino.

Se puede apreciar una valoración olfativa y gustativa diferente en función de la barrica.

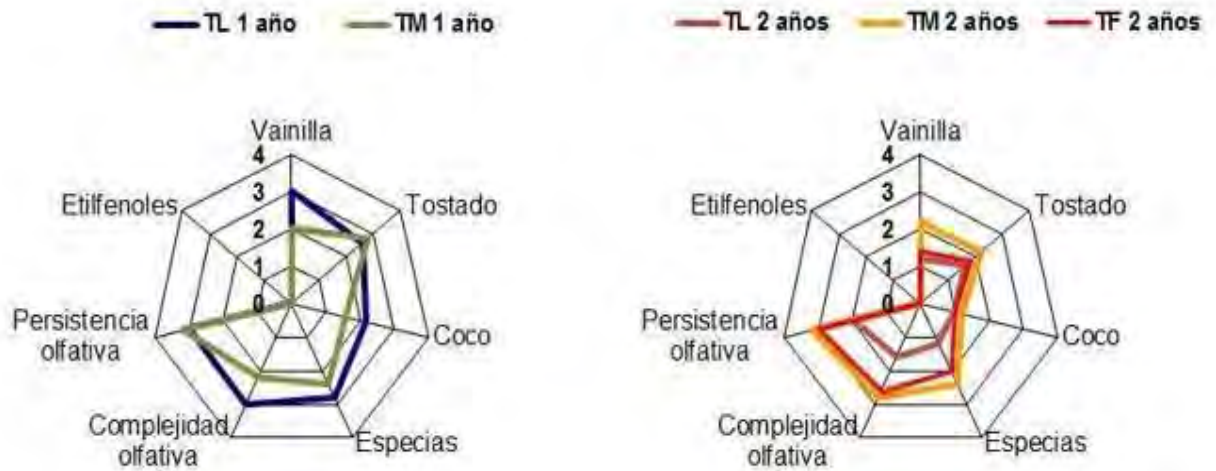
En la gustativa, la barrica HT2 destaca en el descriptor "tostado" y "persistencia" con respecto a las barricas de menor tostado.

En la Figura 53 se muestran los diagramas de araña correspondientes a la valoración olfativa y gustativa a los 8 meses de crianza del vino.

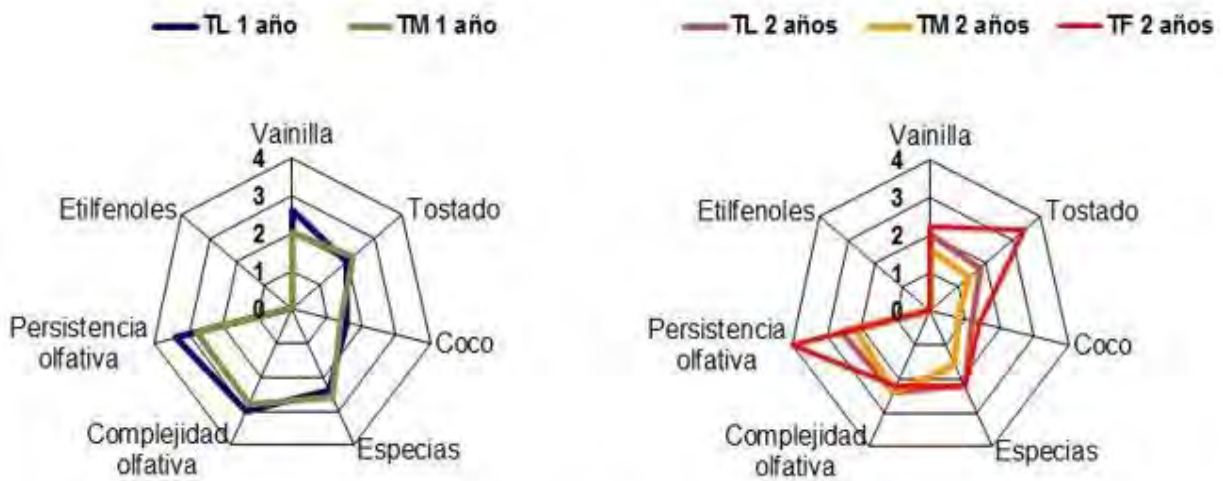
La barrica HT2 destaca en la mayoría de los descriptores considerados con respecto a las barricas de menor tostado en las dos evaluaciones.

Cabe destacar que en ninguna de las barricas se ha detectado tanto olfativamente como gustativamente la presencia de etilfenoles ni a los 4 ni a los 8 meses de crianza.



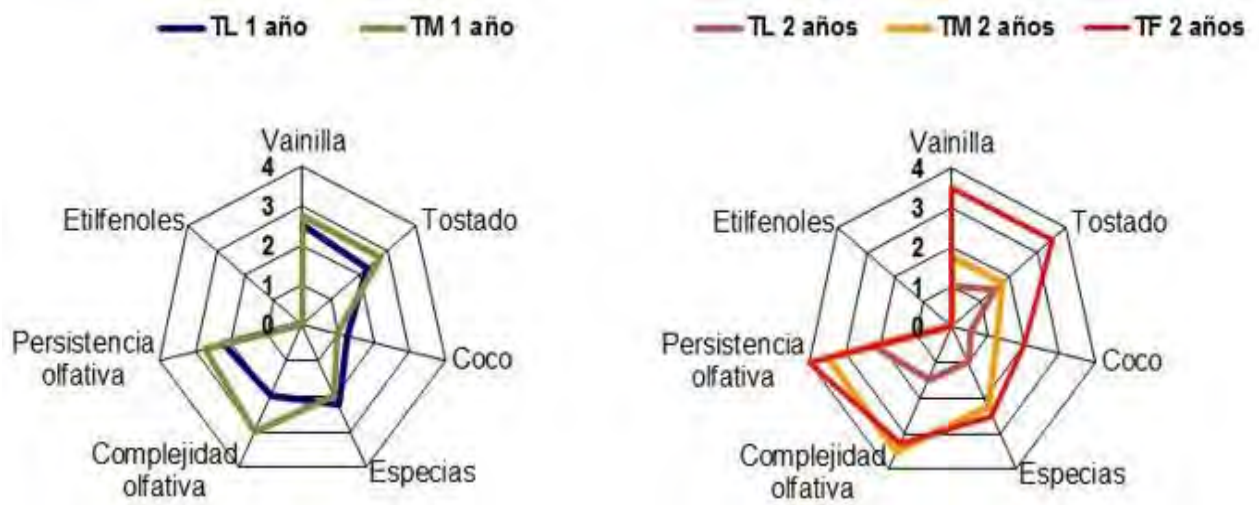


(a) Valoración olfativa

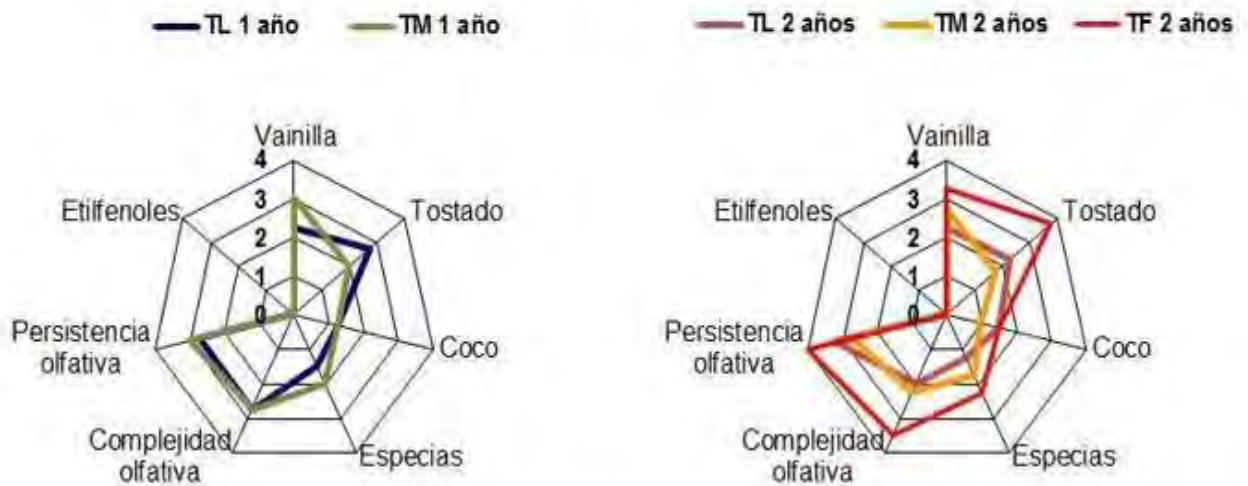


(b) Valoración gustativa

Figura 52: Valoraciones con 4 meses de crianza.



(a) Valoración olfativa



(b) Valoración gustativa

Figura 53: Valoraciones con 8 meses de crianza.

Para analizar el efecto de la tecnología de limpieza aplicada a barricas contaminadas con diferentes años de uso así como grados de tostado se ha realizado un tratamiento estadístico de análisis de componentes principales.

El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica estadística multivariada que se emplea como técnica de análisis exploratoria para descubrir interrelaciones entre los datos. Asimismo, es una técnica que se emplea para reducir la dimensionalidad de la matriz de datos con el fin de evitar redundancias y destacar relaciones.

En nuestro caso, se ha utilizado esta técnica con el fin de estudiar las interrelaciones que pudiesen existir en el contenido de los diferentes compuestos aromáticos analizados en las barricas en función del grado de tostado y años de uso de las barricas.

El gráfico que se obtiene en el análisis ACP nos ayuda a interpretar la similitud en la composición entre las diferentes barricas analizadas. Las barricas que se encuentren próximas en el gráfico significan que presentan una composición similar, mientras que las que se encuentren alejadas presentan una composición diferente.

Para poder visualizar de una manera más clara se ha realizado el análisis ACP por una parte de los los compuestos furánicos, fenoles volátiles y lactonas y por otra parte de los aldehídos fenólicos, ácidos fenólicos y taninos totales.

Se han obtenido unos gráficos en los que se observa un vector para cada compuesto analizado. La madera que se encuentre cercana a este vector y más alejada del centro del origen del mismo indica que presenta una mayor concentración en ese compuesto.

A continuación se muestran los gráficos obtenidos con el análisis estadístico.

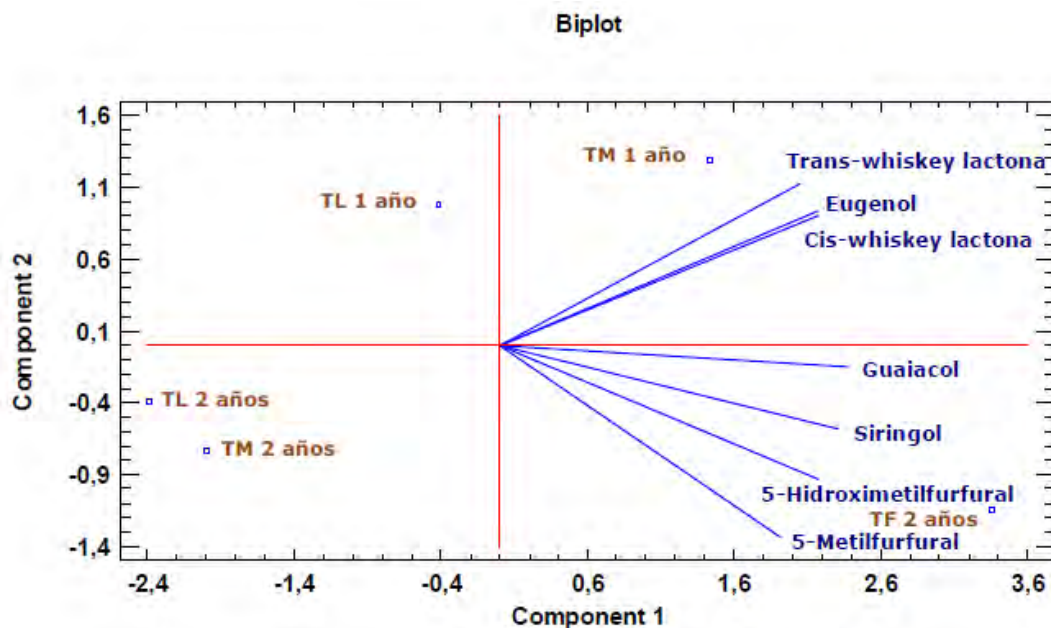


Figura 54. ACP de compuestos furánicos, fenoles volátiles y lactonas de la madera en función de la barrica

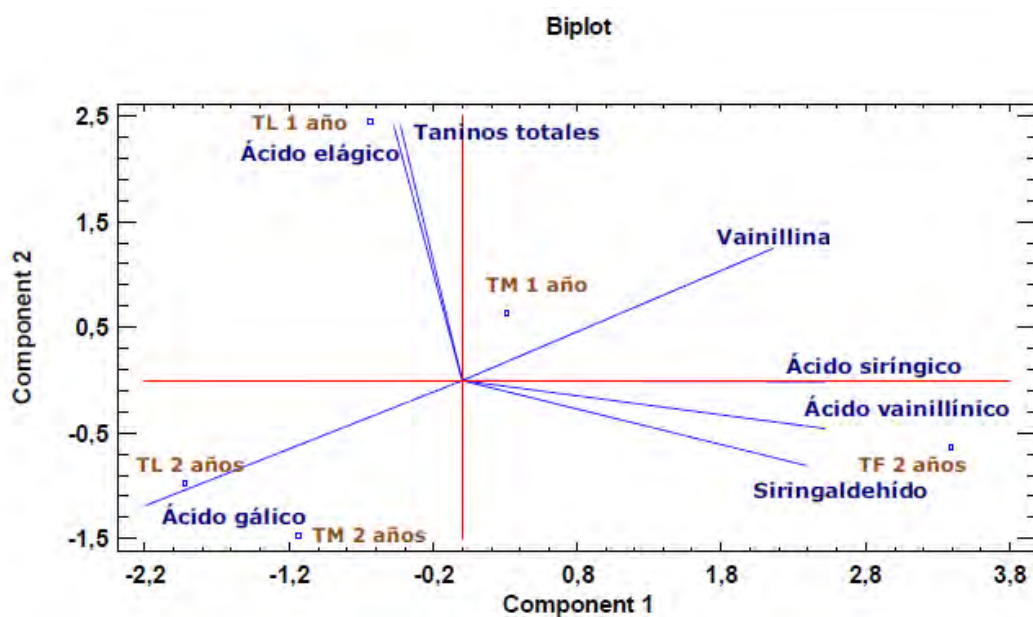


Figura 55. ACP de aldehídos fenólicos, ácidos fenólicos y taninos totales de la madera en función de la barrica

Tal y como se desprende de los gráficos anteriores las barricas contaminadas y limpiadas con el prototipo desarrollado en el proyecto han presentado una composición aromática diferente en función del tiempo de uso y del grado de tostado de las mismas, no perdiéndose la diferenciación entre los diferentes tipos de barricas tras la limpieza aplicada.

Teniendo en consideración el tiempo de uso de la barrica se observa una disminución de la composición de los diferentes compuestos analizados a excepción del ácido gálico en las barricas con 2 años de uso con respecto a las de 1 año. En relación al tostado de la barrica se observa un aumento de los compuestos analizados con el aumento del grado de tostado, siendo más acusado en el caso del tostado fuerte.

La influencia de la tecnología de limpieza aplicada en la barrica usada sobre la evolución de distintos parámetros físico-químicos del vino en crianza.

Para analizar el efecto de la tecnología de limpieza aplicada a los diferentes tipos de barricas ensayadas en la crianza del vino se ha realizado un tratamiento estadístico de ACP.

Para visualizar de una manera más clara el resultado del análisis ACP se ha llevado a cabo el análisis en primer lugar para los parámetros físico-químicos y posteriormente para los compuestos volátiles.

En los gráficos obtenidos se pueden observar los vectores correspondientes a cada parámetro analizado (azul marino), el vino antes de la crianza (color naranja), el vino envejecido en las diferentes barricas a los 4 meses de crianza (color marrón) y a los 8 meses de crianza (color rosa).

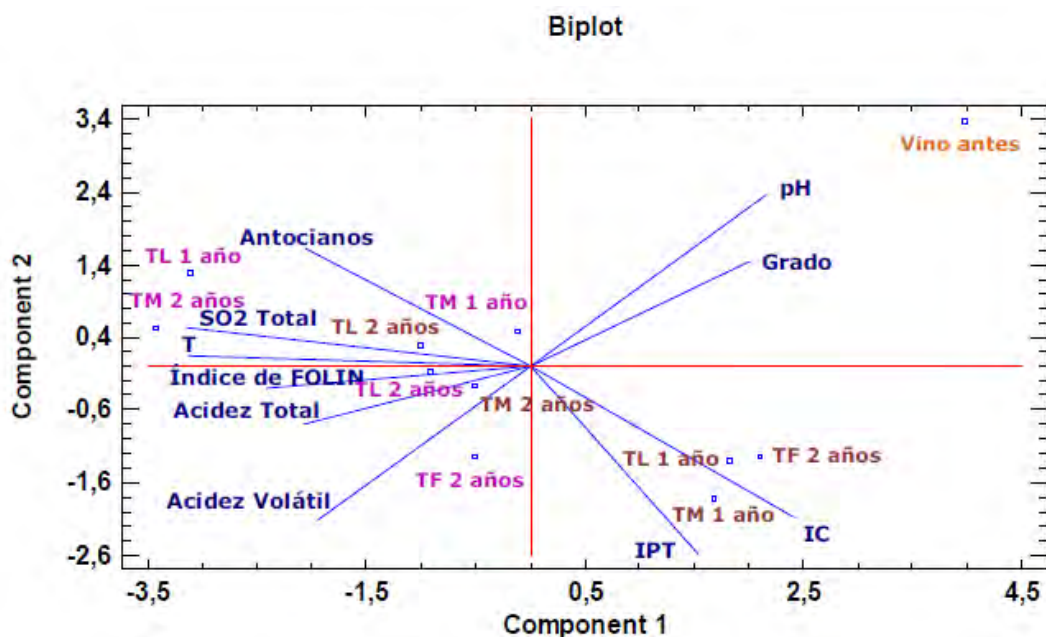


Figura 56. ACP de los parámetros físico-químicos durante la crianza del vino en las diferentes barricas.

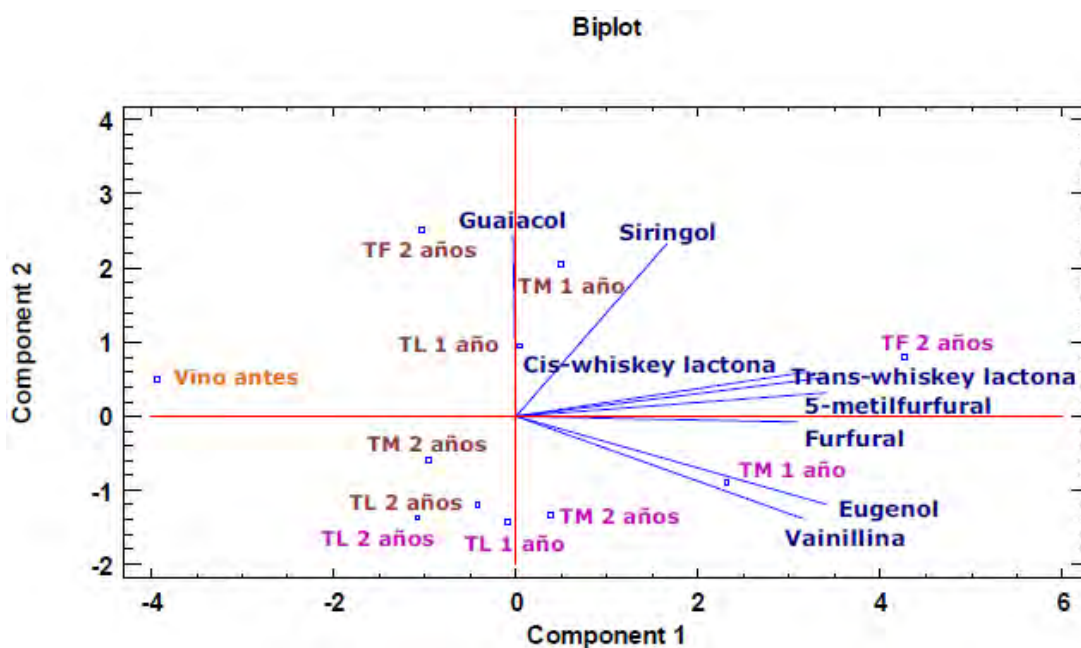


Figura 57. ACP de los compuestos volátiles durante la crianza del vino en las diferentes barricas.

Tal y como se refleja en los gráficos anteriores se observa una clara evolución del vino durante la crianza en las diferentes barricas testadas. En estos gráficos se observa que el vino antes presenta un valor en los diferentes parámetros físico-químicos y compuestos volátiles diferente al vino a los 4 y 8 meses de crianza, ya que no se encuentran próximos en el gráfico. El vino a los 4 meses de crianza presenta en general un mayor valor de IC, IPT, acidez volátil, acidez total y compuestos volátiles con respecto al vino antes. A los 8 meses de crianza el vino evoluciona en general hacia valores menores de IC y valores mayores de los compuestos furánicos, eugenol y vainillina.

Teniendo en consideración el tipo de bodega se observa que la evolución del vino durante la crianza tanto en los parámetros físico-químicos como en los compuestos volátiles es menor en las barricas con tostado ligero y con dos años de uso (TL 2 años) con respecto al resto de barricas. Este hecho se puede ver por la proximidad que presentan en los gráficos la muestra TL 2 años a los 4 y 8 meses de crianza.

Para la comparación de los resultados obtenidos analíticamente como organolépticamente para las diferentes barricas testadas, se ha utilizado un ACP.

En los gráficos obtenidos se pueden observar los vectores correspondientes a cada compuesto volátil analizado (azul marino) y descriptores organolépticos (verde oliva), el vino envejecido en las diferentes barricas a los 4 meses de crianza (color marrón) y a los 8 meses de crianza (color rosa). Se han obtenido dos gráficos considerando por una parte los resultados organolépticos en la valoración olfativa y por otra parte en la valoración gustativa.

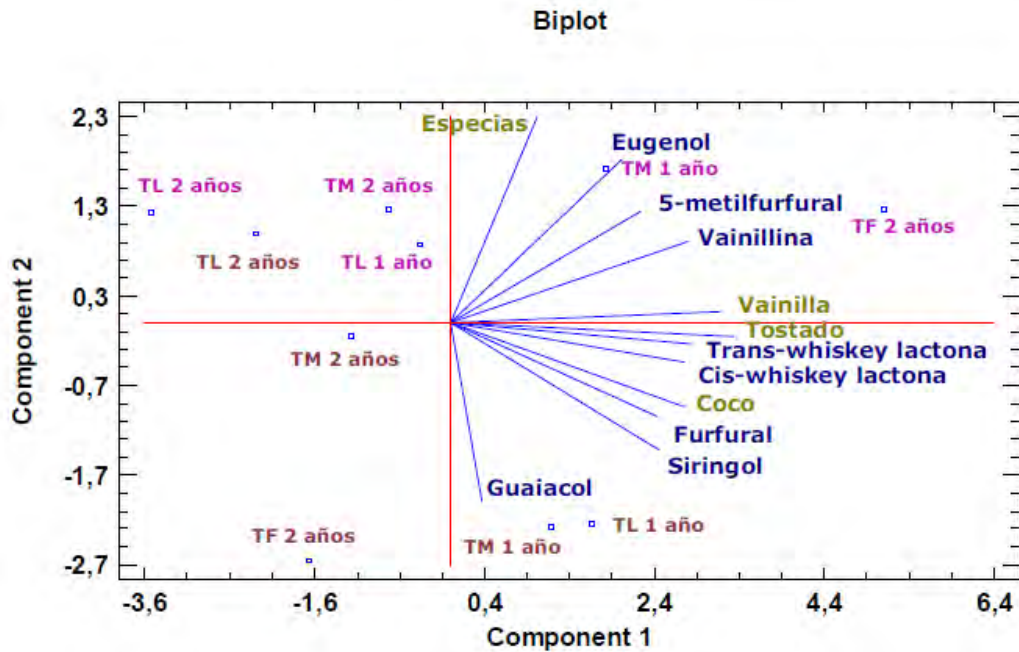


Figura 58. ACP de los compuestos volátiles y valoración olfativa durante la crianza del vino en las diferentes barricas

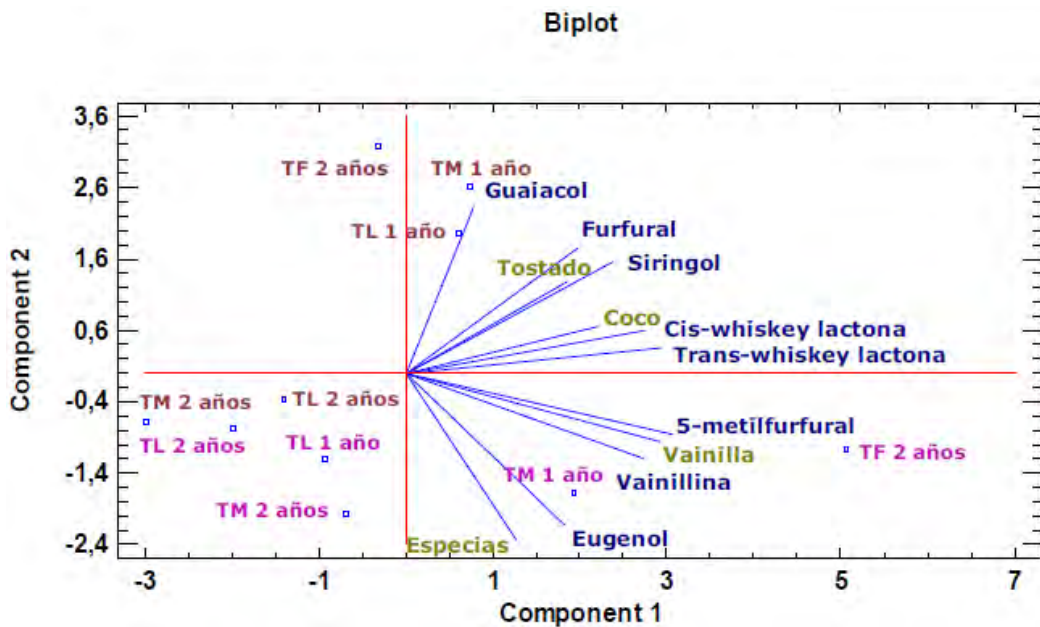


Figura 59. ACP de los compuestos volátiles y valoración gustativa durante la crianza del vino en las diferentes barricas



Con el análisis estadístico llevado a cabo se puede observar si existe una correlación entre los compuestos volátiles analizados analíticamente y sus correspondientes descriptores organolépticos.

En el caso de los descriptores organolépticos de coco, vainilla y especias se encuentran próximos en el espacio a las lactonas (atributo sensorial de nuez de coco), vainillina (atributo sensorial de vainilla) y eugenol (atributo sensorial a clavo de especia) respectivamente, reflejándose una correlación entre los resultados obtenidos analíticamente y organolépticamente.

Por otra parte, el descriptor organoléptico de tostado corresponde analíticamente con los compuestos guaiacol, siringol y 5-metilfurfural. En la valoración gustativa el descriptor organoléptico de tostado se encuentra muy próximo en el espacio al compuesto siringol, mientras que en la valoración olfativa se encuentra entre los compuestos siringol, guaiacol y 5-metilfurfural. El compuesto siringol es el que presenta un umbral de percepción mucho más bajo que el guaiacol y 5-metilfurfural pudiéndose atribuir a este motivo el estar más próximo en el espacio al descriptor tostado en la valoración gustativa.

El análisis estadístico llevado a cabo refleja que existe una correlación entre los resultados obtenidos analíticamente y organolépticamente.

## 7.4 Conclusiones

De los resultados obtenidos con el desarrollo del presente proyecto de investigación se pueden extraer varias conclusiones.

La aplicación de la tecnología de limpieza mediante proyección de dióxido de carbono a través del prototipo desarrollado en el proyecto ha sido capaz de limpiar eficazmente barricas contaminadas con diferentes tiempos de uso y grados de tostado.

La composición aromática ha sido diferente en función del tiempo de uso y del grado de tostado de las barricas, no perdiéndose la diferenciación entre los diferentes tipos de barricas tras la limpieza aplicada.

Se ha llevado a cabo una comparación de la evolución del vino tanto analíticamente como organolépticamente durante la crianza en las barricas contaminadas y limpiadas con el tratamiento de dióxido de carbono.

Esta evolución se refleja principalmente en un marcado aumento de los compuestos aromáticos presentes en la composición de las barricas.

Para finalizar es destacable que en ninguna barrica se ha detectado la presencia de los compuestos relacionados con la presencia de *Brettanomyces* en el vino.

## Referencias

1. EU rules for organic wine production Background, Evaluation and Further Sector Development ; European Commission: Brussels, Belgium, 2012.
2. Flor, F. J.; Perez, M.; Jimenez, E.; Martinez, E.; Blanco, J. J. *Agric. Food Chem.* 2016,
3. Pérez-Prieto, L. J.; López-Roca, J. M.; Martínez-Cutillas, A.; Mínguez, F. P.; Gómez-Plaza, E. J. *Agric. Food Chem.* 2002, 50, 3272–3276.
4. Garde-Cerdan, T.; Lorenzo, C.; Carot, J. M.; Esteve, M. D.; Climent, M. D.; Salinas, M. R. *Food Chemistry* 2010, 122, 1076–1082.
5. Monje, M. C.; Privat, C.; Gastine, V.; Nepveu, F. *Analytica Chimica Acta* 2002, 111–
6. Larcher, R.; Nicolini, G.; Puecher, C.; Bertoldi, D.; Moser, S.; Favaro, G. *Analytica Chimica Acta* 2002, 1, 55–60.
7. Nicolini, G.; Larcher, R.; Bertoldi, D.; Puecher, C.; Magno, F. *Vitis* 2007, 4, 202–206.
8. Pollnitz, A. P.; Pardon, K. H.; Sefton, M. A. *Journal of Chromatography A* 2000, 101–109.
9. Martorell, N.; MartÄś, M.; Mestres, M.; Busto, O.; Guasch, J. *Journal of Chromatography A* 2002, 349–354.



## Tesis doctoral

Doctorado en Innovación en Ingeniería de producto y procesos industriales

“ESTUDIO DE TÉCNICAS DE HIGIENIZACIÓN MEDIANTE PROYECCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO Y RENOVACIÓN AROMÁTICA MEDIANTE INSERCIÓN DE DUELILLAS EN BARRICAS USADAS”

SECCIÓN 4 – SISTEMAS TRADICIONALES Y ALTERNATIVOS DE  
CRIANZA CON MADERA DE ROBLE

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

DIRECTORES DE LA TESIS: Julio Blanco Fernández

Emilio Jiménez Macías

DOCTORANDO: Francisco Javier Flor Montalvo

Logroño, Junio 2017



## 8. Estudio del efecto del tipo de roble y del tipo de tostado en las barricas

---

## 8.1 ANTECEDENTES

En el proceso de crianza en barrica de madera de roble, el vino experimenta una evolución que le confiere nuevas características aromáticas y de sabor. La crianza oxidativa del vino en barricas de roble se convierte en una herramienta capaz de provocar cambios muy diferentes en función de factores como el origen de la madera, el tipo de tostado o el tiempo de permanencia en la misma (Ribéreau-Gayon 1999). Esto se debe a procesos de evaporación, extracción, y oxidación principalmente, favorecidas por las características de la propia madera de roble y la superficie de contacto.

El roble, en contacto directo con el vino, le aporta aromas y compuestos fenólicos con la consiguiente modificación de las características aromáticas y gustativas. La barrica se comporta, por otro lado, como un oxigenador, tanto a través de las juntas existentes en las propias duelas como a través de la porosidad de la madera (Boidron et al. 1988a; Towey & Waterhouse 1996a).

Este aporte de oxígeno es suficiente para permitir las reacciones de polimerización y la combinación de antocianos y procianidinas (Pontallier et al. 1982), lo que produce la consiguiente estabilización del color, incremento de la suavidad y reducción de la astringencia del vino (Ribéreau-Gayon 1999), y la precipitación de materia colorante inestable. Esto último ayudará a reducir la precipitación de dichas partículas durante la crianza en botella (Pérez-Prieto et al. 2003).

La Denominación de Origen Calificada (DOc) Rioja localizada en la Comunidad Autónoma de La Rioja y varios municipios de País Vasco y Navarra tiene un total de 52.076 hectáreas de viñedos protegidos por la DOc y uno de los vinos con mayor prestigio nacional e internacional (QDO 2016). Los vinos de La Rioja están protegidos por la Denominación de Origen más antigua de España, reconocida inicialmente en 1925.

Uno de elementos diferenciadores de los vinos de QDO Rioja su aptitud para el envejecimiento.

En España, a través del Real Decreto 1365/2007, se aplica lo establecido en el Reglamento (CE) Nº 1507/2006 y se actualiza la designación, denominación, presentación y protección de los productos vitivinícolas, de forma que sólo los vinos criados en recipientes de madera de roble pueden recibir las indicaciones “Crianza”, “Reserva” y “Gran Reserva”. Asimismo, no podrán utilizarse para designar vinos elaborados con ayuda de trozos de madera de roble, aun cuando se haya empleado también en dichos procesos barricas de madera de roble.

También se especifica que los reglamentos para vinos de calidad de cada región, así como, los vinos con indicación geográfica de ámbito superior al de una comunidad autónoma, pueden prohibir la utilización de fragmentos de madera de roble en la crianza de vinos. En el caso de la DOC Rioja, esta prohibición está en vigor en la actualidad.

Dada la gran importancia de la crianza en barrica de roble, en esta investigación se incide en uno de los tres pilares del envejecimiento de vinos de la Denominación de Origen Calificada Rioja, esto es, el tostado de duelas empleadas en la construcción de barricas. La importancia del tostado de las duelas se demuestra analizando la presencia de Compuestos Furánicos, Aldehídos Fenólicos, Ácidos Fenólicos, Fenoles Volátiles, Lactonas, Cumarinas y Taninos elágicos. Todo ello, en función de su nivel y tiempo de tostado, especie de roble (Petrea, Alba, Robur, and Pyrenaica) y origen de procedencia de la madera (Spain, France, and USA).

### **8.1.2 Tostado de las duelas**

El tostado de las barricas de roble para envejecimiento del vino supone la modificación de la composición química de unos pocos milímetros en la superficie interior de la madera. La pirolisis provoca transformaciones que afectan a los polisacáridos de celulosa y hemicelulosas, a los alcoholes fenilpropenoicos de la lignina, a los lípidos, a los compuestos nitrogenados, y a los elagitaninos. En la degradación de los polióxidos se originan aldehídos furánicos. Las aldohexosas de la celulosa originan metilfurfural e hidroximetilfurfural, y las pentosas de la hemicelulosa el furfural. La celulosa es más resistente a la degradación que la hemicelulosa, por

su configuración microcristalina; por eso la producción de furfural es inferior a la de los otros compuestos (Reiterer et al. 1999; Le Floch et al. 2015; Minjares-Fuentes et al. 2016).

La degradación térmica de la lignina conduce a la formación de numerosos compuestos volátiles, principalmente fenoles, fenilcetonas y aldehídos fenólicos. El mojado interior de la barrica favorece la formación de estas moléculas. Así mismo, es importante destacar entre los fenoles volátiles el guayacol y el eugenol por su importancia para la vinificación. Entre los aldehídos adquieren gran importancia la vainillina, el siringaldehído, el coniferaldehído y el sinapaldehído (Kollmann & Fengel 1965; Del Alamo et al. 2000; Fernández de Simón et al. 2010; Michel et al. 2013).

Las lactonas provienen de la degradación de los lípidos. Son compuestos de gran importancia sensorial característicos de vinos sometidos a crianza (Chira & Teissedre 2013b; Chira & Teissedre 2014).

El ácido linoleico es el precursor directo del (E)-2-nonenal y de la mayor parte de compuestos carbonílicos que comunican al vino olores desagradables. Durante el tostado estos productos se evaporan y pueden llegar a desaparecer totalmente, sobre todo si se aumenta la intensidad del mismo (Chatonnet & Dubourdieu 1998; Ancín et al. 2004; Swiegers et al. 2005).

Los compuestos nitrogenados existentes en la madera dan reacciones de Maillard con los azúcares en el proceso de calentamiento, originando moléculas con estructura enolónica. Son importantes el cicloteno, el isomaltol y el maltol. Los taninos hidrolizables también se modifican por los procesos de termólisis, originando una disminución de los elagitaninos, pudiendo, con tiempos de tostado elevados, llegar a eliminar su presencia superficial (Cutzach et al. 1997; Cutzach et al. 1999).



## 8.2 MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS EN LAS PRESENTES PRUEBAS

Para la realización de la investigación se seleccionan maderas de roble del género *Quercus* de diferentes procedencias para ser posteriormente tostadas. Por una parte se han considerado maderas cuyo origen es tradicionalmente empleado en tonelería, como son el roble francés y americano, y por otra parte maderas de origen autóctono de diferentes procedencias de la Península Ibérica.

En Europa las principales especies de madera empleadas en tonelería son *Quercus petraea* y *Quercus robur*, siendo en Francia donde mayor volumen de madera se produce para el sector tonelero. En cuanto al roble americano, la especie que se emplea ampliamente en tonelería es *Quercus alba*, debido a que presenta mejores cualidades para uso tonelero en relación a las otras especies de roble presentes en América.

En la Península Ibérica, además de las especies *Quercus petraea*, *alba* y *robur*, se encuentra la especie autóctona *Quercus pyrenaica*.

Las diferentes especies de roble poseen características comunes, aunque hay que tener en consideración que también existe una gran variabilidad entre ellas. La estructura y composición química de la madera de roble viene condicionada por dicha variabilidad, además de los tratamientos silvícolas y las técnicas de procesado de la tonelería.

### 8.2.1. Variables del proceso

Durante el proceso de tostado se han tenido en cuenta tres factores que influyen en las reacciones químicas del mismo:

- Temperatura alcanzada en el proceso. La intensidad del quemado da más o menos energía al desarrollo de las distintas reacciones químicas. El modo de tostado utilizado (gas, resistencias infrarrojas, tipos de combustible, etc.) y el tamaño de la llama definen la

temperatura alcanzada. La investigación desarrollada contempla las siguientes posibilidades (en todos los casos, la velocidad del tostado es inferior a 10°C/min, con el fin de evitar la formación de ampollas debido a la expulsión del vapor de agua de la madera):

- o Madera sin tostar.
  - o Madera con tostado ligero: permite alcanzar una temperatura interna de unos 110°C.
  - o Madera con tostado medio: permite alcanzar una temperatura interna de 200 °C.
  - o Madera con tostado fuerte: lleva la temperatura de superficie a 230°C.
- Tiempo de tostado. Propicia o no el desarrollo de las reacciones.
  - Porcentaje de agua presente en el proceso. Modula las reacciones de hidrólisis; la evaporación de la humedad reduce la temperatura.

### 8.2.2. Medida y cuantificación

En las maderas tostadas se ha estudiado su composición aromática mediante el análisis de aquellos compuestos que proporcionan al vino envejecido su carácter a madera de roble.

- Compuestos furánicos: furfural, 5-metilfurfural y 5-hidroximetilfurfural. Originados por la degradación de los polioxidos se originan aldehídos furánicos. Las aldohexosas de la celulosa originan metilfurfural e hidroximetilfurfural y las pentosas de la hemicelulosa el furfural.

La degradación térmica de la lignina conduce a la formación de numerosos compuestos volátiles, principalmente fenoles, fenilcetonas y aldehídos fenólicos. El mojado interior de la barrica favorece la formación de estas moléculas. De entre ellas son importantes el guayacol,

el eugenol y la vainillina; también se forman cantidades apreciables de siringaldehído, sinapaldehído y coniferaldehído. Se han analizado los siguientes:

- Aldehídos fenólicos: vainillina y siringaldehído.
- Ácidos fenólicos: ácido gálico, ácido elágico, ácido vainillínico, ácido siríngico y ácido ferúlico.
- Fenoles volátiles: eugenol, siringol, guaiacol y 4-metilguaiacol.
- Lactonas: cis y trans  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octolactona (whiskey lactona). Estas provienen de la degradación de los lípidos. Son compuestos de gran importancia sensorial característicos de vinos sometidos a crianza en barrica
- Cumarinas: esculetina y escopoletina.
- Taninos elágicos: roburinas A-E, grandinina, vescalagina y castalagina.

La metodología de análisis de los taninos elágicos en las muestras de madera ha consistido en llevar a cabo una maceración en una disolución hidroalcohólica seguida de una extracción líquido-líquido.

En relación al resto de familias de compuestos analizados (compuestos furánicos, aldehídos fenólicos, ácidos fenólicos, fenoles volátiles, lactonas y cumarinas) se ha llevado a cabo una extracción acelerada ASE (Accelerated Solvent Extraction) con disolventes de extracción adecuados para ello. Este tipo de extracción consiste en una técnica automatizada que emplea temperatura y presiones elevadas para llevar a cabo extracciones de una forma rápida y efectiva.

Una vez llevadas a cabo las extracciones de los compuestos de interés, los extractos obtenidos se han concentrado bajo una corriente de nitrógeno para poder ser detectados posteriormente mediante técnicas cromatográficas.

La caracterización de los compuestos de interés ha sido realizada mediante técnicas de cromatografía líquida de alta precisión (HPLC) con detector de Diode Array (DAD) y por cromatografía de gases (GC) con detector de espectrometría de masas (MS).

## 8.3. RESULTADOS

### 8.3.1. Maderas analizadas y condiciones del proceso.

Las maderas de roble empleadas en el estudio son de diferentes procedencias y especies. A continuación se listan las maderas analizadas en la investigación:

ITEM	ESPECIE	ORIGEN	TIPO DE TOSTADO
Madera A	Quercus Peatrea	Spain	Ligero
Madera B	Quercus Peatrea	Spain	Medio
Madera C	Quercus Peatrea	Spain	Fuerte
Madera D	Quercus Peatrea	France	Ligero
Madera E	Quercus Peatrea	France	Medio
Madera F	Quercus Peatrea	France	Fuerte
Madera G	Quercus Alba	USA	Fuerte
Madera H	Quercus Alba	USA	Medio
Madera I	Quercus Alba	USA	Ligero
Madera J	Quercus Pyrenaica	Spain	Fuerte
Madera K	Quercus Robur	Spain	Fuerte

*Tabla 21. Maderas y tostados utilizados en los ensayos*

### 8.3.2. Análisis de Compuestos furánicos

Estos compuestos tienen su origen en los polisacáridos de la madera y aparecen durante el tostado de la madera, generándose a través de la reacción de Maillard.

Los principales compuestos furánicos son el furfural, el 5-metilfurfural y el 5-hidroximetilfurfural. Estos compuestos son los responsables del aroma característico a almendra tostada (Towey & Waterhouse 1996b; Canas et al. 2013; Chira & Teissedre 2013b)

ITEM	Furfural ( $\mu\text{g/g}$ madera)	5-Metilfurfural ( $\mu\text{g/g}$ madera)	5-Hidroximetilfurfural ( $\mu\text{g/g}$ madera)
------	---------------------------------------	--	---

<b>Madera A</b>	175,983 ± 15,333	27,370 ± 2,125	85,626 ± 3,784
<b>Madera B</b>	274,372 ± 23,905	40,036 ± 3,109	92,773 ± 4,100
<b>Madera C</b>	342,675 ± 29,856	51,930 ± 4,032	55,796 ± 2,466
<b>Madera D</b>	55,694 ± 4,852	4,973 ± 0,386	1,715 ± 0,076
<b>Madera E</b>	94,651 ± 8,247	7,883 ± 0,612	16,839 ± 0,744
<b>Madera F</b>	142,162 ± 12,386	18,391 ± 1,428	8,526 ± 0,377
<b>Madera G</b>	290,276 ± 25,290	70,670 ± 5,487	25,993 ± 1,149
<b>Madera H</b>	253,877 ± 22,119	31,203 ± 2,423	32,879 ± 1,453
<b>Madera I</b>	209,255 ± 18,231	20,323 ± 1,578	23,874 ± 1,055
<b>Madera J</b>	2.281,104 ± 198,742	278,613 ± 21,632	71,261 ± 3,149
<b>Madera K</b>	433,765 ± 37,792	52,012 ± 4,038	77,396 ± 3,420

*Tabla 22. Compuestos furánicos de maderas de roble analizadas*

### 8.3.3. Análisis de Aldehídos fenólicos

Tal y como se desprende de los resultados obtenidos (Tabla 22) la concentración del compuesto furfural en las maderas analizadas se ha situado entre 55,694 y 2.281,104 µg/g madera, mientras que para el 5-metilfurfural entre 4,973 y 278,613 µg/g madera. La madera J ha presentado una concentración significativamente mayor en los compuestos furfural y 5-metilfurfural con respecto al resto de maderas. Por el contrario, las maderas D, E y F han presentado las menores concentraciones de estos compuestos, comprendiéndose entre 55,694 y 142,162 µg/g madera para el compuesto furfural y entre 4,973 y 18,391 µg/g madera para el compuesto 5-hidroximetilfurfural. Por otro lado, las maderas A, B, C, K, I, H y G han presentado una concentración comprendida entre 175,983 y 433,765 µg/g madera para el compuesto furfural y entre 20,323 y 70,670 µg/g madera para el compuesto 5-metilfurfural.

En el caso del compuesto 5-hidroximetilfurfural la concentración obtenida se ha situado entre 1,715 y 109,595 µg/g madera, correspondiendo la mayor concentración obtenida a la madera B. Las maderas D, E y F han presentado la menor concentración en este compuesto,

comprendiéndose entre 1,715 y 16,839  $\mu\text{g/g}$  madera. El resto de las maderas se han situado entre 23,874 y 92,773  $\mu\text{g/g}$  madera de 5-hidroximetilfurfural.

Estos compuestos tienen su origen en la lignina, cuya pirolisis parcial durante el proceso de tostado provoca la formación de diversas sustancias volátiles como son la vainillina o el siringaldehído que contribuyen al aroma a vainilla que presentan los vinos de crianza.

La vainillina se forma por la degradación térmica de la lignina del roble durante el tostado de la barrica, y también se encuentra de forma natural en la madera. Posteriormente, durante el envejecimiento, el vino la extrae de la madera. El aroma de la vainillina se percibe cerca de los 400  $\mu\text{g/L}$  en vino blanco y sobre los 320  $\mu\text{g/L}$  en vino tinto (Spillman et al. 1998; Arapitsas et al. 2004; Del Alamo Sanza & Nevares Domínguez 2006).

ITEM	Vainillina ( $\mu\text{g/g}$ madera)	Siringaldehído ( $\mu\text{g/g}$ madera)
<b>Madera A</b>	258,175 $\pm$ 18,593	839,642 $\pm$ 33,343
<b>Madera B</b>	189,297 $\pm$ 13,633	777,978 $\pm$ 30,894
<b>Madera C</b>	246,507 $\pm$ 17,753	778,671 $\pm$ 30,922
<b>Madera D</b>	103,061 $\pm$ 7,422	615,659 $\pm$ 24,448
<b>Madera E</b>	151,157 $\pm$ 10,886	616,626 $\pm$ 24,487
<b>Madera F</b>	416,107 $\pm$ 29,968	858,015 $\pm$ 34,073
<b>Madera G</b>	460,993 $\pm$ 33,200	1.072,468 $\pm$ 42,589
<b>Madera H</b>	376,144 $\pm$ 27,090	800,528 $\pm$ 31,790
<b>Madera I</b>	386,003 $\pm$ 27,800	897,588 $\pm$ 35,644
<b>Madera J</b>	329,477 $\pm$ 23,729	709,925 $\pm$ 28,192
<b>Madera K</b>	224,402 $\pm$ 16,161	467,649 $\pm$ 18,571

*Tabla 23. Aldehídos fenólicos de maderas de roble*

La concentración de vainillina en las maderas analizadas (Tabla 23) se ha situado entre 103,061 y 460,993  $\mu\text{g/g}$  madera, correspondiendo la mayor concentración obtenida a la madera G. Las maderas D y E son las que han presentado una menor concentración en este compuesto con respecto al resto de maderas analizadas.

En cuanto al siringaldehído su concentración se ha situado entre 467,649 y 1.072,468  $\mu\text{g/g}$  madera en las maderas analizadas. Al igual que para la vainillina, la madera G ha

presentado la mayor concentración. Sin embargo la madera que ha presentado la menor concentración en el compuesto siringaldehído ha sido la madera K.

### 8.3.4. Análisis de Ácidos fenólicos

Dentro de estos compuestos se encuentran el ácido gálico, que confiere al vino cierta sensación ácida, y el ácido elágico (dímero del ácido gálico) se considera bastante neutro. Ambos influyen en la evolución del color de los vinos tintos al formar copigmentos y por su posible efecto protector de la oxidación de los antocianos (Mitić et al. 2014).

ITEM	Ácido gálico ( $\mu\text{g/g}$ madera)	Ácido elágico ( $\mu\text{g/g}$ madera)	Ácido vainillíco ( $\mu\text{g/g}$ madera)	Ácido siríngico ( $\mu\text{g/g}$ madera)	Ácido ferúlico ( $\mu\text{g/g}$ madera)
<b>Madera A</b>	1.029,441 $\pm$ 69,524	3.881,744 $\pm$ 170,500	41,922 $\pm$ 1,465	64,124 $\pm$ 4,575	< 0,321 $\pm$ 0,000
<b>Madera B</b>	708,062 $\pm$ 47,820	3.456,685 $\pm$ 151,829	71,251 $\pm$ 2,490	130,563 $\pm$ 9,314	< 0,318 $\pm$ 0,000
<b>Madera C</b>	411,902 $\pm$ 27,818	3.776,215 $\pm$ 165,864	219,558 $\pm$ 7,674	308,926 $\pm$ 22,039	< 0,321 $\pm$ 0,000
<b>Madera D</b>	315,100 $\pm$ 21,281	2.182,342 $\pm$ 95,856	43,600 $\pm$ 1,524	42,175 $\pm$ 3,009	< 0,323 $\pm$ 0,000
<b>Madera E</b>	416,670 $\pm$ 28,140	2.859,799 $\pm$ 125,612	36,033 $\pm$ 1,259	51,261 $\pm$ 3,657	< 0,325 $\pm$ 0,000
<b>Madera F</b>	274,381 $\pm$ 18,531	3.667,965 $\pm$ 161,110	131,889 $\pm$ 4,610	186,201 $\pm$ 13,284	< 0,365 $\pm$ 0,000
<b>Madera G</b>	224,205 $\pm$ 15,142	3.640,366 $\pm$ 159,897	327,788 $\pm$ 11,456	480,790 $\pm$ 34,299	< 0,356 $\pm$ 0,000
<b>Madera H</b>	303,558 $\pm$ 20,501	2.579,131 $\pm$ 113,284	222,480 $\pm$ 7,776	295,487 $\pm$ 21,080	< 0,318 $\pm$ 0,000
<b>Madera I</b>	215,304 $\pm$ 14,541	3.085,439 $\pm$ 135,523	271,382 $\pm$ 9,485	426,102 $\pm$ 30,398	< 0,317 $\pm$ 0,000
<b>Madera J</b>	510,247 $\pm$ 34,460	4.048,913 $\pm$ 177,842	281,382 $\pm$ 9,834	201,436 $\pm$ 14,370	< 0,317 $\pm$ 0,000
<b>Madera K</b>	655,813 $\pm$ 44,291	5.247,617 $\pm$ 230,493	235,661 $\pm$ 8,236	211,626 $\pm$ 15,097	< 0,319 $\pm$ 0,000

Tabla 24. Ácidos fenólicos de maderas de roble

La concentración de ácido gálico en las maderas analizadas se ha situado entre 215,304 y 1.029,441  $\mu\text{g/g}$  madera. La madera A ha presentado la mayor concentración en este compuesto, en torno a 1.000  $\mu\text{g/g}$  madera. Las maderas F, G y I son las que han presentado la menor concentración en este compuesto, comprendiéndose entre 215,304 y 274,381  $\mu\text{g/g}$  madera.



En relación al compuesto ácido elálgico, su concentración se ha situado entre 2.055,711 y 6.456,735  $\mu\text{g/g}$  madera en las maderas analizadas. Las maderas J y K han presentado significativamente una mayor concentración en ácido elálgico con respecto al resto de maderas analizadas. Las maderas A, B, C, F, H, G e I han presentado una concentración intermedia comprendida entre 3.085,439 y 4.048,913  $\mu\text{g/g}$  madera. Por último, las maderas D, E y H han presentado las concentraciones más bajas, comprendiéndose entre 2.055,711 y 2.859,799  $\mu\text{g/g}$  madera.

En la familia de compuestos de ácidos fenólicos se encuentran asimismo el ácido vainillínico y el ácido siríntrico, que provienen de la oxidación de los ácidos fenólicos vainillina y siringaldehído respectivamente.

La concentración del ácido vainillínico en las muestras de madera analizadas se ha situado entre 36,033 y 327,788  $\mu\text{g/g}$  madera. La madera G es la que ha presentado una mayor concentración en este compuesto. Posteriormente las maderas que han presentado una mayor concentración en ácido vainillínico han sido las maderas D, G, I, J y K (219,558 – 281,382  $\mu\text{g/g}$  madera). Por el contrario, las muestras que han presentado una menor concentración han sido las maderas A, D y E (36,033 – 43,600  $\mu\text{g/g}$  madera).

La concentración del ácido siríntrico en las muestras de madera analizadas se ha situado entre 42,175 y 480,790  $\mu\text{g/g}$  madera. Las maderas G e I han sido las que han presentado las mayores concentraciones en este compuesto, situándose por encima de 400  $\mu\text{g/g}$  madera. Las maderas que han presentado las menores concentraciones han sido la A, B y E (42,175 – 64,124  $\mu\text{g/g}$  madera).

En relación al ácido ferúlico, no ha sido detectado en ninguna de las maderas analizadas.

### **8.3.5. Análisis de Fenoles volátiles**

Este tipo de compuestos provienen de la pirólisis de la lignina provocada durante el tostado de las duelas. Guayacol y 4-metilguayacol tienen un aroma a ahumado y a madera

quemada. Su concentración aumenta conforme aumenta la temperatura de tostado (Boidron et al. 1988b; Chira & Teissedre 2013a; Crump et al. 2014; Fernández de Simón et al. 2014).

ITEM	Eugenol ( $\mu\text{g/g}$ madera)	Siringol ( $\mu\text{g/g}$ madera)	Guayacol ( $\mu\text{g/g}$ madera)	4-Metilguayacol ( $\mu\text{g/g}$ madera)
<b>Madera A</b>	1,329 $\pm$ 0,030	6,046 $\pm$ 0,466	2,574 $\pm$ 0,207	2,496 $\pm$ 0,088
<b>Madera B</b>	1,799 $\pm$ 0,041	9,589 $\pm$ 0,739	3,347 $\pm$ 0,269	4,495 $\pm$ 0,159
<b>Madera C</b>	2,560 $\pm$ 0,059	21,008 $\pm$ 1,618	4,408 $\pm$ 0,355	5,674 $\pm$ 0,200
<b>Madera D</b>	1,600 $\pm$ 0,037	4,963 $\pm$ 0,382	< 0,945 $\pm$ 0,076	< 1,003 $\pm$ 0,035
<b>Madera E</b>	1,713 $\pm$ 0,039	5,069 $\pm$ 0,390	1,011 $\pm$ 0,081	< 1,022 $\pm$ 0,036
<b>Madera F</b>	1,005 $\pm$ 0,023	8,534 $\pm$ 0,657	3,210 $\pm$ 0,258	4,980 $\pm$ 0,176
<b>Madera G</b>	2,871 $\pm$ 0,066	11,954 $\pm$ 0,921	5,941 $\pm$ 0,478	4,924 $\pm$ 0,174
<b>Madera H</b>	1,306 $\pm$ 0,030	10,349 $\pm$ 0,797	2,984 $\pm$ 0,240	4,511 $\pm$ 0,159
<b>Madera I</b>	1,034 $\pm$ 0,024	11,468 $\pm$ 0,883	2,454 $\pm$ 0,197	6,181 $\pm$ 0,218
<b>Madera J</b>	3,960 $\pm$ 0,091	72,761 $\pm$ 5,605	16,999 $\pm$ 1,368	3,150 $\pm$ 0,111
<b>Madera K</b>	2,559 $\pm$ 0,059	20,364 $\pm$ 1,569	6,312 $\pm$ 0,508	8,253 $\pm$ 0,291

*Tabla 25. Fenoles volátiles de maderas de roble*

La composición en eugenol de las maderas analizadas se ha situado entre 1,005 y 3,960  $\mu\text{g/g}$  madera. La madera J ha presentado una mayor concentración en este compuesto con respecto al resto de las maderas. Posteriormente las maderas que han presentado un mayor contenido en eugenol han sido las maderas C, G y K comprendiéndose su valor entre 2,559 y 2,925  $\mu\text{g/g}$  madera. Las maderas que han presentado una menor concentración han sido las maderas F y I, con una concentración de 1,005 y 1,034  $\mu\text{g/g}$  madera respectivamente.

La composición de siringol de las maderas analizadas se ha encontrado entre 4,963 y 72,761  $\mu\text{g/g}$  madera. La madera J ha presentado una concentración significativamente mayor al resto de maderas analizadas. Posteriormente las maderas que han presentado una mayor concentración en este compuesto han sido las maderas C y K (17,993 – 21,008  $\mu\text{g/g}$  madera). Las maderas que han presentado el menor contenido en siringol han sido las maderas A, D, E y F (4,963 - 8,534  $\mu\text{g/g}$  madera).

En relación al compuesto guaiacol su concentración se ha situado entre <0,945 y 16,999  $\mu\text{g/g}$  madera. La madera J es la que ha presentado significativamente la mayor concentración

analizada en este compuesto. Posteriormente las maderas que han presentado una mayor concentración en este compuesto han sido las maderas C, G y K (4,408 - 5,941  $\mu\text{g/g}$  madera). Por el contrario las maderas que han presentado una menor concentración en guaiacol han sido las maderas D y E (<0,945 - 1,011  $\mu\text{g/g}$  madera).

La concentración del compuesto 4-metilguaiacol se ha comprendido entre no detectarse en la madera y 8,253  $\mu\text{g/g}$  madera. La madera K ha presentado una concentración mayor respecto al resto de maderas analizadas, seguida de las maderas C e I con una concentración de 5,674 y 6,181  $\mu\text{g/g}$  madera respectivamente. Sin embargo en las maderas D y E no se ha detectado este compuesto. Entre las maderas en las que se ha detectado la concentración de 4-metilguaiacol, la menor concentración ha correspondido a la madera A (2,496  $\mu\text{g/g}$  madera).

### 8.3.6. Análisis de Lactonas

Dentro de las lactonas, la *cis*- $\beta$ -methyl- $\gamma$ -octalactone (whiskey lactona) es la sustancia de mayor importancia sensorial con un marcado aroma a nuez de coco. De los cuatro estereoisómeros posibles, solamente los compuestos de configuración 3S, 4S (CIS) y el 3S, 4R (TRANS) forman parte de la madera. Al parecer, el isómero CIS contribuye diez veces más al aroma (vainilla y coco) que el isómero TRANS (madera y herbáceos). Es importante señalar que su presencia en elevadas cantidades propicia aromas indesables, mientras que a bajas concentraciones proporciona un aroma que mejora la calidad del vino (Chatonnet et al. 1990; Cousin et al. 2013; Di Toro et al. 2015).

ITEM	Cis-whiskey lactona ( $\mu\text{g/g}$ madera)	Trans-whiskey lactona ( $\mu\text{g/g}$ madera)
<b>Madera A</b>	5,401 $\pm$ 0,446	3,596 $\pm$ 0,336
<b>Madera B</b>	3,747 $\pm$ 0,310	1,820 $\pm$ 0,170
<b>Madera C</b>	8,045 $\pm$ 0,665	5,364 $\pm$ 0,501
<b>Madera D</b>	7,346 $\pm$ 0,607	5,846 $\pm$ 0,546
<b>Madera E</b>	7,469 $\pm$ 0,617	3,922 $\pm$ 0,367
<b>Madera F</b>	6,648 $\pm$ 0,549	2,230 $\pm$ 0,208
<b>Madera G</b>	21,796 $\pm$ 1,801	6,035 $\pm$ 0,564
<b>Madera H</b>	7,617 $\pm$ 0,630	5,144 $\pm$ 0,481
<b>Madera I</b>	4,995 $\pm$ 0,413	3,439 $\pm$ 0,321
<b>Madera J</b>	10,108 $\pm$ 0,835	2,140 $\pm$ 0,200
<b>Madera K</b>	< 0,796 $\pm$ 0,066	< 1,084 $\pm$ 0,101

*Tabla 26. Lactonas de maderas de roble*

La concentración del compuesto cis-whiskey lactona se ha encontrado entre <0,796 y 21,796  $\mu\text{g/g}$  madera. La madera G ha presentado una concentración en este compuesto muy superior al resto de las maderas analizadas. Posteriormente la muestra que ha presentado una mayor concentración en este compuesto ha sido la madera J, con una concentración de 10,108  $\mu\text{g/g}$  madera. Por el contrario, en la muestra K no se ha detectado cis-whiskey lactona. Entre las maderas en las que se ha detectado este compuesto la madera B es la que ha presentado una menor concentración (3,747  $\mu\text{g/g}$  madera).

En relación al compuesto trans-whiskey lactona, su concentración se ha comprendido entre <1,084 y 12,889  $\mu\text{g/g}$  madera. La madera G ha presentado una concentración en este compuesto ligeramente superior al resto de las maderas analizadas. Posteriormente las maderas que han presentado una mayor concentración en este compuesto han sido las maderas C, D, G y H con una concentración comprendida entre 5,144 y 6,035  $\mu\text{g/g}$  madera. Al igual que en el isómero CIS no se ha detectado trans-whiskeylactona en la madera K.

### 8.3.7. Análisis de Cumarinas

Estos fenoles pueden encontrarse en forma de heterósidos (cumarina glicosidada) aportando al vino aromas amargos o en forma de agliconas (escopoletina). En todas las maderas analizadas estos compuestos se han encontrado por debajo del límite de detección.

ITEM	Esculetina ( $\mu\text{g/g}$ madera)	Escopoletina ( $\mu\text{g/g}$ madera)
<b>Madera A</b>	< 0,398 $\pm$ 0,000	< 0,398 $\pm$ 0,000
<b>Madera B</b>	< 0,395 $\pm$ 0,000	< 0,395 $\pm$ 0,000
<b>Madera C</b>	< 0,399 $\pm$ 0,000	< 0,399 $\pm$ 0,000
<b>Madera D</b>	< 0,401 $\pm$ 0,000	< 0,401 $\pm$ 0,000
<b>Madera E</b>	< 0,404 $\pm$ 0,000	< 0,404 $\pm$ 0,000
<b>Madera F</b>	< 0,453 $\pm$ 0,000	< 0,453 $\pm$ 0,000
<b>Madera G</b>	< 0,442 $\pm$ 0,000	< 0,442 $\pm$ 0,000
<b>Madera H</b>	< 0,394 $\pm$ 0,000	< 0,394 $\pm$ 0,000
<b>Madera I</b>	< 0,393 $\pm$ 0,000	< 0,393 $\pm$ 0,000
<b>Madera J</b>	< 0,393 $\pm$ 0,000	< 0,393 $\pm$ 0,000
<b>Madera K</b>	< 0,396 $\pm$ 0,000	< 0,396 $\pm$ 0,000

Tabla 27. Cumarinas de maderas de roble

### 8.3.8 Análisis de Taninos elágicos

Hasta ahora se han identificado hasta ocho elagitaninos de la madera de roble como la vescalagina y la castalagina, que representan el 50% de los elagitaninos, así como la grandinina y las roburinas A-E. Cumplen una función antioxidante, así como la participación en el cuerpo y la estructura del vino.

La influencia del tostado es básica en la variación de los compuestos tánicos en la madera. El aumento de la intensidad de tostado reduce las concentraciones de Taninos elágicos ya que elimina casi por completo los elagitaninos de las capas superficiales de duela (Gallego et al. 2012; Lizama et al. 2014). Algunos taninos s elagitaninos son hidrosolubles y, por tanto, se disuelven rápidamente durante la crianza en barrica del vino. Cuando se alcanzan altas concentraciones dan lugar a vinos con características organolépticas no deseadas (Vivas et al. 2013; Kanakaki et al. 2014; Psarra et al. 2015).

La concentración de taninos elágicos de las muestras analizadas se ha encontrado entre 42,493 y 7.585,283  $\mu\text{g/g}$  madera. Las maderas A, D y E han presentado significativamente la mayor concentración de taninos elágicos (4.696,045 - 7.585,283  $\mu\text{g/g}$  madera) de las maderas analizadas. Posteriormente las maderas que han presentado una mayor concentración han sido las maderas H e I, con una concentración de 692,735 y 449,108  $\mu\text{g/g}$  madera respectivamente. La madera que ha presentado la menor concentración de taninos elágicos ha sido la madera J.

ITEM	Roburina A ( $\mu\text{g}$ /g madera)	Roburina B ( $\mu\text{g}$ /g madera)	Roburina C ( $\mu\text{g}$ /g madera)	Grandinina ( $\mu\text{g}$ /g madera)
<b>Madera A</b>	1.018,681 $\pm$ 31,029	91,507 $\pm$ 3,906	32,891 $\pm$ 1,830	294,090 $\pm$ 15,357
<b>Madera B</b>	77,745 $\pm$ 2,368	9,687 $\pm$ 0,414	<0,200 $\pm$ 0,011	15,171 $\pm$ 0,792
<b>Madera C</b>	32,885 $\pm$ 1,002	7,598 $\pm$ 0,324	<0,190 $\pm$ 0,011	7,967 $\pm$ 0,416
<b>Madera D</b>	2.895,251 $\pm$ 88,189	178,172 $\pm$ 7,605	<6,452 $\pm$ 0,359	585,420 $\pm$ 30,569
<b>Madera E</b>	2.392,091 $\pm$ 72,863	163,700 $\pm$ 6,988	124,808 $\pm$ 6,944	639,887 $\pm$ 33,413
<b>Madera F</b>	61,236 $\pm$ 1,865	8,040 $\pm$ 0,343	<0,128 $\pm$ 0,007	13,515 $\pm$ 0,706
<b>Madera G</b>	17,621 $\pm$ 0,537	2,343 $\pm$ 0,100	<0,044 $\pm$ 0,002	3,158 $\pm$ 0,165
<b>Madera H</b>	132,356 $\pm$ 4,032	18,228 $\pm$ 0,778	21,131 $\pm$ 1,176	55,512 $\pm$ 2,899
<b>Madera I</b>	91,071 $\pm$ 2,774	13,322 $\pm$ 0,569	16,563 $\pm$ 0,922	34,400 $\pm$ 1,796
<b>Madera J</b>	6,943 $\pm$ 0,211	2,402 $\pm$ 0,103	<0,177 $\pm$ 0,010	<0,177 $\pm$ 0,009
<b>Madera K</b>	23,903 $\pm$ 0,728	4,271 $\pm$ 0,182	1,309 $\pm$ 0,073	7,712 $\pm$ 0,403

ITEM	Roburina D ( $\mu\text{g} / \text{g}$ madera)	Vescalagina ( $\mu\text{g} / \text{g}$ madera)	Roburina E ( $\mu\text{g} / \text{g}$ madera)	Castalagina ( $\mu\text{g} / \text{g}$ madera)
<b>Madera A</b>	291,369 $\pm$ 22,861	991,814 $\pm$ 80,213	72,840 $\pm$ 2,997	1.902,852 $\pm$ 177,674
<b>Madera B</b>	20,673 $\pm$ 1,622	< 0,200 $\pm$ 0,016	38,545 $\pm$ 1,586	182,601 $\pm$ 17,050
<b>Madera C</b>	12,907 $\pm$ 1,013	< 0,190 $\pm$ 0,015	7,698 $\pm$ 0,317	81,231 $\pm$ 7,585
<b>Madera D</b>	1.095,167 $\pm$ 85,926	485,001 $\pm$ 39,224	513,694 $\pm$ 21,133	1.826,126 $\pm$ 170,510
<b>Madera E</b>	969,024 $\pm$ 76,029	569,961 $\pm$ 46,095	164,574 $\pm$ 6,771	2.150,262 $\pm$ 200,775
<b>Madera F</b>	14,076 $\pm$ 1,104	< 0,128 $\pm$ 0,010	17,035 $\pm$ 0,701	167,001 $\pm$ 15,593
<b>Madera G</b>	4,154 $\pm$ 0,326	< 0,044 $\pm$ 0,004	4,983 $\pm$ 0,205	37,759 $\pm$ 3,526
<b>Madera H</b>	20,673 $\pm$ 1,622	< 0,506 $\pm$ 0,041	36,341 $\pm$ 1,495	407,988 $\pm$ 38,095
<b>Madera I</b>	19,920 $\pm$ 1,563	< 0,509 $\pm$ 0,041	28,941 $\pm$ 1,191	244,383 $\pm$ 22,819
<b>Madera J</b>	9,832 $\pm$ 0,771	< 0,177 $\pm$ 0,014	< 0,177 $\pm$ 0,007	22,609 $\pm$ 2,111
<b>Madera K</b>	6,914 $\pm$ 0,542	< 0,089 $\pm$ 0,007	9,400 $\pm$ 0,387	45,172 $\pm$ 4,218

ITEM	TOTAL ( $\mu\text{g} / \text{g}$ madera)
<b>Madera A</b>	4.696,045 $\pm$ 41,983
<b>Madera B</b>	344,821 $\pm$ 2,982
<b>Madera C</b>	150,666 $\pm$ 1,335
<b>Madera D</b>	7.585,283 $\pm$ 55,439
<b>Madera E</b>	7.174,308 $\pm$ 56,235
<b>Madera F</b>	281,161 $\pm$ 2,541
<b>Madera G</b>	70,106 $\pm$ 0,608
<b>Madera H</b>	692,735 $\pm$ 6,267
<b>Madera I</b>	449,108 $\pm$ 3,959
<b>Madera J</b>	42,493 $\pm$ 0,405
<b>Madera K</b>	98,769 $\pm$ 0,818

Tabla 28. Taninos elágicos de maderas de roble

## 8.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Analizando los resultados de compuestos furánicos en las muestras de *Quercus Peatrea* (A,B,C,D,E,F) se aprecia que conforme aumenta la intensidad de tostado (y por tanto su temperatura) se incrementan los niveles de compuestos furánicos, llegando incluso a duplicarlos de un tostado ligero a un tostado fuerte. Este comportamiento se observa tanto en robles procedentes de Francia como de España.

Por término general, los robles españoles tienen niveles más elevados de compuestos furánicos que los franceses, siendo este hecho especialmente notable en el caso de 5-metilfurfural y hidroximetilfurfural.

En las muestras de *Quercus Alba* (G,H,I) se aprecian niveles de compuestos furánicos en decrecimiento conforme sube la intensidad de tostado. Los niveles medios de compuestos furánicos son superiores a los de roble en su variedad *Quercus Peatrea* tanto franceses como españoles. Por otra parte, la variedad de *Quercus Pyrenaica* (J) muestra niveles de compuestos furánicos extraordinariamente elevados y muy superiores a los de maderas americanas o francesas y españolas de la especie *Quercus Peatrea*. Por último, la muestra de *Quercus Robur* (L) presenta niveles de compuestos furánicos muy elevados aunque menores que en el caso del *Quercus Pyrenaica*.

Respecto a los Aldehídos fenólicos, las muestras de *Quercus Peatrea* permiten afirmar que la intensidad de tostado no afecta de forma representativa a la cantidad de aldehídos fenólicos hasta no alcanzar tostados fuertes. Los tostados fuertes incrementan de forma notable la presencia de estos compuestos, especialmente en el caso de robles de origen español. En las variedades de *Quercus Alba* se aprecia que con la elevación de los niveles de tostado los niveles de aldehídos fenólicos disminuyen paulatinamente. Los niveles de aldehídos fenólicos son, por término general, muy superiores a los obtenidos con robles tanto franceses como españoles. Su tasa de variación respecto a la intensidad de tostado es inferior a la de robles europeos. La variedad *Quercus Pyrenaica* presenta niveles de aldehídos fenólicos elevados y muy superiores a las muestras francesas y españolas de la especie *Quercus Peatrea*,



si bien no alcanzan los niveles obtenidos con maderas americanas. Por último, en la variedad *Quercus Robur* los niveles de vainillina son similares a los obtenidos con maderas españolas de la especie *Quercus Peatrea*, si bien los niveles de Siringaldehído son considerablemente inferiores. En todo caso, sus niveles de aldehídos fenólicos son muy inferiores a los obtenidos en los ensayos realizados con *Quercus Pyrenaica*.

El análisis de los Ácidos fenólicos en las muestras de *Quercus Peatrea* presenta unos niveles bajos al incrementarse la intensidad del tostado, con la excepción del ácido gálico que sube al incrementarse la temperatura. Los niveles de ácidos fenólicos son muy superiores en las maderas de origen español respecto a las de origen francés, siendo este efecto especialmente notable en el caso del ácido gálico y ácido elágico.

Respecto a la variedad *Quercus Alba* se parecía que conforme van subiendo los niveles de tostado los niveles de ácidos fenólicos disminuyen paulatinamente. No obstante, al alcanzar altas temperaturas de tostado, y por tanto tener tostados fuertes, el nivel de estos compuestos vuelve a incrementarse. Los niveles de ácido gálico y elágico son similares a los de los robles europeos, si bien los niveles de ácido vainílico y siríngico son sustancialmente superiores. En la muestra de *Quercus Pyrenaica* los niveles de ácidos fenólicos son elevados y muy superiores a los de maderas francesas y españolas de la especie *Quercus Peatrea* y de las maderas americanas, especialmente en el caso del ácido gálico. Los niveles de ácido siríngico son similares a los de robles americanos. Finalmente la madera de *Quercus Robur* presenta niveles superiores a los de cualquier otro roble (incluida *Quercus Pyrenaica*), siendo especialmente destacados los niveles de ácido gálico y elágico.

Los niveles de fenoles volátiles presentes en las muestras de *Quercus Peatrea* crecen, por norma general, conforme se incrementa la temperatura de tostado. Los niveles medios son ligeramente superiores en maderas de origen español respecto a maderas de origen francés. Respecto a la variedad *Quercus Alba*, conforme van subiendo los niveles de tostado, los niveles de fenoles volátiles disminuyen. Los niveles son superiores a los de maderas europeas. La muestra de *Quercus Pyrenaica* presenta niveles extraordinariamente altos y muy superiores a

los alcanzados con cualquier otro tipo de madera. La variedad de Quercus Robur mantiene niveles similares a los de Quercus Peatrea de origen español en tostados similares.

Por último, del análisis de las Lactonas se desprende que en las variedades de Quercus Peatrea los niveles de lactonas decrecen al incrementarse la intensidad del tostado. Los niveles medios son superiores en maderas de origen francés respecto a maderas de origen español. Por otra parte, las muestras de Quercus Alba indican que conforme van subiendo los niveles de tostado, los niveles de lactonas disminuyen. Los niveles son muy superiores a los de maderas europeas. La variedad Quercus Pyrenaica muestra niveles de Trans-whiskey lactona normales (incluso bajos comparados con otro tipo de maderas), mientras que los niveles de Cis-whiskey lactona son muy altos y superiores a los alcanzados con cualquier otro tipo de madera en tostados similares. Finalmente la variedad analizada de Quercus Robur presenta niveles muy bajos de lactonas.

## 8.5 CONCLUSIONES

En esta investigación se muestra la importancia del tostado de las duelas empleadas en la construcción de barricas. El estudio analiza las diferencias entre las duelas en función de su nivel y tiempo de tostado, la especie de roble (Petrea, Alba, Robur, and Pyrenaica) y el origen de procedencia de la madera (Spain, France, and USA).

Los datos obtenidos permiten afirmar que, por norma general, a mayor temperatura mayor nivel de compuestos furánicos. Así mismo, los robles españoles tienen, por norma general, y en cada una de sus especies, niveles superiores de compuestos furánicos que sus homólogos franceses o europeos; comparados con las especies americanas, sus niveles son también superiores. La especie autóctona Quercus Pyrenaica tiene niveles muy superiores a los de cualquier otra variedad con aprovechamiento enológico.

Como se puede apreciar en el estudio a mayor temperatura mayor nivel de aldehídos fenólicos. Los robles españoles tienen, por norma general, y en cada una de sus especies, niveles ligeramente superiores que sus homólogos franceses o europeos aunque muy inferiores tanto a los obtenidos con muestras americanas como a los obtenidos con muestras de Quercus Pyrenaica y Quercus Robur de origen español.

La investigación muestra de forma generalizada que a mayor temperatura es menor el nivel de ácido elágico, hasta alcanzar los tostados fuertes, en cuyo caso la presencia de este compuesto vuelve a subir. Los niveles más altos de ácido gálico se encuentran en tostados medios. La presencia de ácido vainílico y siríngico crecen conforme crece la temperatura de tostado.

También aparece claramente en los análisis que a mayor temperatura mayores niveles de fenoles volátiles. La presencia de fenoles volátiles en el Quercus Pyrenaica con tostados fuertes es extraordinariamente alta.



Finalmente, también es importante señalar que a mayor temperatura menores niveles de lactonas. La presencia de lactonas en el Quercus Alba es muy superior a la presente en robles europeos, cualquiera que sea su origen.

## Referencias

1. Ancín, C., Garde, T., Torrea, D. & Jimenez, N. (2004). Extraction of volatile compounds in model wine from different oak woods: Effect of SO<sub>2</sub>. *Food Research International*, **37**, 375-383.
2. Arapitsas, P., Antonopoulos, A., Stefanou, E. & Dourtoglou, V. G. (2004). Artificial aging of wines using oak chips. *Food Chemistry*, **86**, 563-570.
3. Boidron, J. N., Chatonnet, P. & Pons, M. (1988a). Influence du bois sur certaines substances odorantes des vins. *Connaiss. Vigne Vin*, **22**, 275-294.
4. Boidron, J. N., Chatonnet, P. & Pons, M. (1988b). Influence du bois sur certaines substances odorantes des vins. *Connaissance Vigne Vin*, **22**, 275-294.
5. Canas, S., Caldeira, I. & Belchior, A. P. (2013). Extraction/oxidation kinetics of low molecular weight compounds in wine brandy resulting from different ageing technologies. *Food Chemistry*, **138**, 2460-2467.
6. Corral, J. P. (2016). 2015 ANNUAL REPORT CONTROL BOARD OF THE RIOJA DESIGNATION OF ORIGIN. La Rioja. Spain, CONTROL BOARD OF THE RIOJA DESIGNATION OF ORIGIN.
7. Cousin, X., Hotelier, T., Mazzoni, C., Arpagaus, M., Toutant, J.-P. & Chatonnet, A. (2013). A DATABASE OF SEQUENCES RELATED TO ACETYLCHOLINESTERASE/LIPASE/o: 3. *Enzymes of the Cholinesterase Family*, 489.

8. Crump, A. M., Sefton, M. A. & Wilkinson, K. L. (2014). Microwave-assisted deuterium exchange: The convenient preparation of isotopically labelled analogues for stable isotope dilution analysis of volatile wine phenols. *Food Chemistry*, **162**, 261-263.
9. Cutzach, I., Chatonnet, P., Henry, R. & Dubourdieu, D. (1997). Identification of Volatile Compounds with a "Toasty" Aroma in Heated Oak Used in Barrelmaking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **45**, 2217-2224.
10. Cutzach, I., Chatonnet, P., Henry, R. & Dubourdieu, D. (1999). Identifying new volatile compounds in toasted oak. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **47**, 1663-1667.
11. Chatonnet, P., Boidron, J. & Pons, M. (1990). Elevage des vins rouges en futs de chêne, evolution de certains composés volatils et de leur impact aromatique. *Sciences des Aliments*, **10**, 587-656.
12. Chatonnet, P. & Dubourdieu, D. (1998). Identification of substances responsible for the 'sawdust' aroma in oak wood. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **76**, 179-188.
13. Chira, K. & Teissedre, P. L. (2013a). Extraction of oak volatiles and ellagitannins compounds and sensory profile of wine aged with French winewoods subjected to different toasting methods: Behaviour during storage. *Food Chemistry*, **140**, 168-177.
14. Chira, K. & Teissedre, P. L. (2013b). Relation between volatile composition, ellagitannin content and sensory perception of oak wood chips representing different toasting processes. *European Food Research and Technology*, **236**, 735-746.
15. Chira, K. & Teissedre, P. L. (2014). Chemical and sensory evaluation of wine matured in oak barrel: effect of oak species involved and toasting process. *European Food Research and Technology*, **240**, 533-547.

16. Del Alamo Sanza, M. & Nevares Domínguez, I. (2006). Wine aging in bottle from artificial systems (staves and chips) and oak woods: Anthocyanin composition. *Analytica Chimica Acta*, **563**, 255-263.
17. Di Toro, M. R., Capozzi, V., Beneduce, L., Alexandre, H., Tristezza, M., Durante, M., Tufariello, M., Grieco, F. & Spano, G. (2015). Intraspecific biodiversity and ‘spoilage potential’ of *Brettanomyces bruxellensis* in Apulian wines. *LWT-Food Science and Technology*, **60**, 102-108.
18. Fernández de Simón, B., Cadahía, E., del Álamo, M. & Nevares, I. (2010). Effect of size, seasoning and toasting in the volatile compounds in toasted oak wood and in a red wine treated with them. *Analytica Chimica Acta*, **660**, 211-220.
19. Gallego, L., Del Alamo, M., Nevares, I., Fernández, J., de Simón, B. F. & Cadahía, E. (2012). Phenolic compounds and sensorial characterization of wines aged with alternative to barrel products made of Spanish oak wood (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Food Science and Technology International*, 1082013211427782.
20. Garde-Cerdán, T. & Ancín-Azpilicueta, C. (2006). Review of quality factors on wine ageing in oak barrels. *Trends in Food Science & Technology*, **17**, 438-447.
21. Kollmann, F. & Fengel, D. (1965). Changes in the chemical composition of wood by thermal treatment. *Holz als Roh- und Werkstoff*, **23**, 461-468.
22. Minjares-Fuentes, R., Femenia, A., Garau, M. C., Candelas-Cadillo, M. G., Simal, S. & Rosselló, C. (2016). Ultrasound-assisted extraction of hemicelluloses from grape pomace using response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, **138**, 180-191.

23. Mitić, M. N., Kostić, D. A., Paunović, D. D., Stojanović, B. T. & Pavlović, J. L. (2014). A new kinetic spectrophotometric method for total polyphenols determination in white wines. *South African Journal of Chemistry*, **67**, 104-108.
24. Pérez-Prieto, L. J., López-Roca, J. M., Martínez-Cutillas, A., Pardo-Mínguez, F. & Gómez-Plaza, E. (2003). Extraction and formation dynamic of oak-related volatile compounds from different volume barrels to wine and their behavior during bottle storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **51**, 5444-5449.
25. Pontallier, P., Salagoity, M. H. & Ribereau-Gayon, P. (1982). Intervention du bois de chêne dans l'évolution des vins rouges élevés en barriques. *Connaissance Vigne Vin.*, **16**, 45-61.
26. Reiterer, A., Lichtenegger, H., Tschegg, S. & Fratzi, P. (1999). Experimental evidence for a mechanical function of the cellulose microfibril angle in wood cell walls. *Philosophical Magazine A: Physics of Condensed Matter, Structure, Defects and Mechanical Properties*, **79**, 2173-2184.
27. Ribéreau-Gayon, P. (1999). Observations related to the causes and consequences of stuck fermentation in vinification. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, **33**, 39-48.
28. Spillman, P. J., Iland, P. G. & Sefton, M. A. (1998). Accumulation of volatile oak compounds in a model wine stored in American and Limousin oak barrels. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, **4**, 67-73.
29. Suriano, S., Alba, V., Di Gennaro, D., Basile, T., Tamborra, M. & Tarricone, L. (2016). Major phenolic and volatile compounds and their influence on sensorial aspects in stem-



- contact fermentation winemaking of Primitivo red wines. *Journal of Food Science and Technology*, **53**, 3329-3339.
30. Towey, J. P. & Waterhouse, A. L. (1996a). Barrel-to-barrel variation of volatile oak extractives in barrel-fermented Chardonnay. *Am. J. Enol. Vitic.*, **47**, 17-20.
31. Towey, J. P. & Waterhouse, A. L. (1996b). The Extraction of volatile compounds from French and American oak barrels in chardonnay during three successive vintages. *American Journal of Enology and Viticulture*, **47**, 163-172.
32. Turturică, M., Stănciuc, N., Bahrim, G. & Râpeanu, G. (2016). Effect of thermal treatment on phenolic compounds from plum (*prunus domestica*) extracts – A kinetic study. *Journal of Food Engineering*, **171**, 200-207.
33. Vidal, L., Antúnez, L., Giménez, A., Medina, K., Boido, E. & Ares, G. (2016). Dynamic characterization of red wine astringency: Case study with Uruguayan Tannat wines. *Food Research International*, **82**, 128-135.
34. Vidal, L., Giménez, A., Medina, K., Boido, E. & Ares, G. (2015). How do consumers describe wine astringency? *Food Research International*, **78**, 321-326.
35. Vivas, N., Vivas de Gaulejac, N., Vitry, C., Mouche, C., Kahn, N., Nonier-Bourden, M. F. & Absalon, C. (2013). Impact of ethanol content on the scavenging activities of oak wood C-glycosidic ellagitannins. Application to the evaluation of the nutritional status of spirits. *Journal of the Institute of Brewing*, **119**, 116-125.



## 9. Parámetros enológicos y composición aromática asociada al envejecimiento en barricas de roble usadas renovadas mediante inserción de listones de madera

---

## 9.1 ANTECEDENTES

La crianza de los vinos es el proceso de maduración del vino dentro de la barrica, en este proceso de envejecimiento del vino se realiza una simbiosis entre los taninos del vino y los taninos propios de la madera, fundiéndose y enriqueciendo al vino de sus múltiples matices y aromas. La barrica se comporta como un oxigenador, tanto a través de las juntas existentes en las propias duelas como a través de la porosidad de la madera (1, 2).

Así mismo, la tendencia actual del gusto del consumidor de vino se dirige cada vez más hacia el consumo de vinos con mucho color y con un bouquet a madera fina y bien integrada. Siendo la única respuesta posible del productor la obtención de vinos de calidad con estas características, el empleo en la crianza del vino de barricas de roble (1-3).

Sin embargo, esta práctica acarrea un coste económico importante para las bodegas, especialmente debido al elevado coste de la barrica y una vida útil que oscila entre dos y tres crianzas. La renovación de barricas en una bodega supone por ello un coste elevado, lo que en la coyuntura económica actual, supone un gran esfuerzo económico por parte de las bodegas.

Por este motivo en los últimos años ha tenido una gran acogida el empleo de sistemas de envejecimiento que aportan un toque de madera a los vinos sin necesidad de emplear barricas, son más económicos y permiten reducir el coste final del vino.

Para ello se utilizan productos derivados del roble con distintas formas: chips de roble [4-7], cubos de roble[8], polvo de roble, viruta, dominós, esferas,....

Esta práctica es habitual, especialmente en los nuevos países productores de vino (Chile, Argentina, Sudáfrica, Australia o Estados Unidos).

Es importante señalar que estos nuevos sistemas de aporte de madera al vino se emplean con el fin de acortar el tiempo de envejecimiento del vino, lo que redundará en la obtención de vinos de una distinta calidad y destinados a otro tipo de consumidor.

En la Unión Europea no se reguló esta práctica hasta la aparición del REGLAMENTO (CE) Nº 1507/2006 DE LA COMISIÓN de 11 de octubre de 2006 por el que se modifican los Reglamentos (CE) nº 1622/2000, (CE) nº 884/2001 y (CE) nº 753/2002, que establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) nº 1493/1999 del Consejo Europeo. En el reglamento se establece la organización común del mercado vitivinícola, en lo referente a la utilización de trozos de madera de roble en la elaboración de vinos y a la designación y presentación de los vinos sometidos a ese tratamiento. Este Reglamento establece los límites y condiciones para la utilización de fragmento de madera de roble en vinificación, atendiendo a las prescripciones de la OIV.

En España, a través del Real Decreto 1365/2007, que aplica lo establecido en el Reglamento (CE) Nº 1507/2006 y actualiza la designación, denominación, presentación y protección de los productos vitivinícolas, de forma que sólo los vinos criados en recipientes de madera de roble pueden recibir las indicaciones “Noble”, “Añejo” y “Roble”.

Asimismo, se especifica que los reglamentos para vinos de calidad de cada región, así como, los vinos con indicación geográfica de ámbito superior al de una comunidad autónoma, pueden prohibir la utilización de fragmentos de madera de roble en la crianza de vinos. En el caso de la D.O.c. Rioja, esta prohibición está en vigor en la actualidad a través de la Orden APA/3332/2007 de 2 de noviembre por la que se modifica el Reglamento de la Denominación de Origen Calificada y de su Consejo Regulador (BOE nº 275 de 16.11.07).

En esta investigación se presentan los resultados de integrar un sistema que permite aportar los múltiples matices y aromas que añade una barrica, de forma que sea posible utilizar barricas ya usadas y ampliar su vida útil. La investigación muestra como el vino contenido estas barricas siguen el mismo proceso de envejecimiento como si de una barrica nueva se tratara pero a un coste menor que renovando la barrica. Todo ello sin renunciar a la obtención de vinos de gran calidad y a un precio de vino final competitivo.

El sistema ensayado consiste básicamente en un armazón que se coloca y ancla en el interior de la barrica. En dicho armazón se acoplan una serie de duelas de diferentes características que ofrece al enólogo una gran versatilidad en el aporte de compuestos de madera. Esta gran versatilidad en el aporte de compuestos de madera al vino durante su envejecimiento se consigue mediante la selección de listones con diferentes tostados (ligero, medio, medio+).

## 9.2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 9.2.1. Parámetros iniciales

La investigación planteada exige acotar una serie de parámetros iniciales y cuya elección condiciona los resultados obtenidos. Estos parámetros de partida son:

- Variedad de uva y tipo de fermentación.
- Tipo y propiedades de las barricas.
- Propiedades de listones para barricas reutilizadas.

#### 9.2.1.1. Caracterización inicial del vino

Durante el desarrollo de la investigación se ha utilizado un vino monovarietal de la variedad Tempranillo [9, 10]. Para el desarrollo del estudio, se ha decidido realizar una elaboración tradicional con fermentación maloláctica en barrica [11-13].

#### 9.2.1.2 Caracterización de las barricas utilizadas en las pruebas.

Todas las barricas reutilizadas en el proceso fueron previamente higienizadas. En cada uno de los trasiegos se procedió al lavado de las barricas con agua a presión a 80°C y se quemó una pastilla de azufre. De esta forma, y por la acción del SO<sub>2</sub>, se evitaron contaminaciones.

Los datos específicos de las barricas nuevas y reutilizadas se pueden ver a continuación en la Tabla .

---

<b>Barrica nueva</b>	<b>Barrica usada</b>
----------------------	----------------------

---

<b>Modelo:</b>	Bordelesa	Bordelesa
<b>Capacidad:</b>	225 + 3 l.	225 + 3 l.
<b>Madera:</b>	Quercus Alba	Quercus Alba
<b>Espesor duelas y fondos:</b>	25-27 mm	25-27 mm
<b>Fleje:</b>	Galvanizado	Galvanizado
<b>Tapón agujero de boca:</b>	Silicona tipo alimentaria	Silicona de tipo alimentaria
<b>Dimensiones:</b>		
<b>Diámetro de vientre:</b>	70 cm	70 cm
<b>Diámetro de testa:</b>	57 cm	57 cm
<b>Diámetro de boca:</b>	Cónica, de 45 mm	Cónica, de 45 mm
<b>Altura barrica:</b>	95 cm	95 cm
<b>Superficie de contacto:</b>	2,06 m <sup>2</sup>	2,06 m <sup>2</sup>
<b>Peso:</b>	50 + 5 kg.	50 + 5 kg.
<b>Edad:</b>	-	7 años
<b>Nº de vinificaciones:</b>	-	7

*Tabla 29. Datos de las barricas de roble utilizadas*

### 9.1.3 Geometría de las duelas para de envejecimiento en el vino

Las dimensiones de la madera condiciona de manera significativa el aporte que puede ofrecer al vino. Por este motivo, en esta tarea se diseñaron diferentes tamaños y geometrías de listones con el fin de poder llegar a conocer las dimensiones más adecuadas para ser anclados en una barrica agotada y permitir evolucionar el vino como si de una barrica nueva se tratara. En la selección de las dimensiones de los listones se ha tenido en consideración en qué modelo de barrica iban a ser introducidos, ya que existen en el mercado barricas de diferentes dimensiones. En el desarrollo de la investigación se ha utilizado la barrica de modelo bordelés.

En diferentes estudios llevados a cabo en el empleo de sistemas alternativos (polvo, virutas, cubos, etc.) se ha observado que en función de la superficie de contacto madera/vino la cesión de compuestos de la madera al vino es diferente, siendo más rápida la extracción cuanto más pequeño es el tamaño del sistema aplicado [14].

En el interior de las barricas agotadas se han colocado listones de diferentes geometrías y tamaños de forma que han ocupado en su conjunto de un 50% de la superficie útil de la barrica



*Figura 60. Sistema de sujeción de listones diseñado para su uso en barricas agotadas.*

Las características de las duelas empleadas a parecen en la Tabla 30.

<b>Madera:</b>	Quercus petraea
<b>Superficie unitaria:</b>	0,116 m <sup>2</sup>
<b>Número de duelas utilizadas:</b>	9
<b>Superficie total de contacto:</b>	1,045 m <sup>2</sup>
<b>Superficie equivalente de barrica renovada:</b>	50%
<b>Tostado:</b>	Tostado ligero, medio, medio+

*Tabla 30. Características de las duelas añadidas.*

Las pruebas se han realizado sobre 7 clases de barricas diferentes. Sus tipologías se muestran en la Tabla 31:

---

### **BARRELS CHARACTERISTICS**

---



---

<b>B1</b>	Barrica usada. Se utiliza como barrica patrón, sin introducción de duelas para renovación aromática.
<b>B2</b>	Barrica nueva. Tostado medio.
<b>B3</b>	Barrica nueva. Tostado medio +.
<b>B4</b>	Barrica usada. Con introducción de nueve duelas para renovación aromática tostado medio.
<b>B5</b>	Barrica usada. Con introducción de nueve duelas para renovación aromática tostado medio +.
<b>B6</b>	Barrica usada. Con introducción de nueve duelas para renovación aromática tostado ligero.
<b>B7</b>	Barrica usada. Con introducción de seis duelas para renovación aromática con tostado medio y tres con tostado ligero.

---

*Tabla 31. Características de las barricas ensayadas*

### 9.2.2 Seguimiento del proceso de envejecimiento.

El seguimiento del vino se ha llevado a cabo en dos barricas nuevas y 5 barricas agotadas. Las barricas reutilizadas son previamente limpiadas. En su interior se acoplan las duelas con diferentes tostados. En todas las barricas se ha introducido el mismo vino con el fin de poder comparar todos los resultados obtenidos.

La crianza del vino en barrica se ha llevado a cabo controlado las condiciones de temperatura y humedad de la zona de crianza de la bodega y ha efectuado cuantos trasiegos, adiciones de sulfuroso, adición de vino a las barricas como consecuencia de las mermas, etc. que ha estimado oportunos para la correcta crianza del vino objeto de estudio.

En el transcurso de la crianza se ha realizado un muestreo a la mitad de la crianza y otro finalizada la misma de cada una de los 7 tipos de barricas.

### 9.2.3 Análisis de muestras.

Los parámetros físico-químicos analizados, así como la composición aromática del vino como consecuencia del aporte cedido por la madera con la que está en contacto han sido los siguientes:

- Parámetros enológicos: pH, °Brix, grado probable, acidez volátil y total, glicerol y ácido málico. Con el análisis de estos parámetros se ha podido ver el efecto del envejecimiento del vino en barricas con diferentes tipos de listones en su interior sobre los distintos parámetros enológicos.
- Parámetros de color: intensidad colorante, tonalidad, índice de polifenoles totales, antocianos y taninos. Con el análisis de estos parámetros se ha podido ver el efecto del envejecimiento del vino en barricas con diferentes tipos de listones en su interior sobre los distintos parámetros de color.
- Compuestos volátiles procedentes de la madera: furfural, 5-metilfurfural, guaiacol, trans y cis  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octolactona (whiskey lactona), eugenol, siringol y vainillina. El análisis de estos compuestos nos ha permitido conocer la aportación de los distintos compuestos fenólicos al vino por parte de las barricas con diferentes tipos de listones en su interior.

#### 9.2.4. Estudio estadístico

Una vez obtenidos los resultados, se ha realizado un tratamiento estadístico de los mismos mediante el Principal component analysis (PCA). El PCA permitirá interpretar la similitud en la composición entre los listones de madera o vinos analizados. Los listones de madera o vinos que se encuentren próximos en el gráfico presentan una composición similar, mientras que los que se encuentren alejados presentan una composición diferente. Por otra parte, en el gráfico se observará un vector para cada compuesto analizado. El listón de madera o vino que se encuentre cercano a este vector y más alejado del centro del origen del mismo indica que presenta una mayor concentración en ese compuesto

Se ha utilizado esta técnica con el fin de estudiar las interrelaciones que pudiesen existir entre:



- El contenido de los diferentes compuestos aromáticos en el vino envejecido en función del empleo de listones anclados en el interior de las barricas de estudio y el tostado de los mismos.
- La influencia en los diferentes parámetros físico-químicos del vino durante su envejecimiento en función del tipo de listones colocados en el interior de las barricas de estudio.

## 9.3. RESULTADOS

### 9.3.1. Composición aromática de las barricas utilizadas.

Como se ha citado al comienzo del artículo, entre los principales efectos que se buscan con la crianza en barrica de roble, se encuentra la aromatización del propio vino. Mientras que algunas de las sustancias transferidas a los vinos se encuentran en la forma natural del roble, otras sólo aparecen tras los procesos de secado y tostado de dicha madera. Atendiendo a lo anterior, los tratamientos de higienización y limpieza de las barricas usadas deben asegurar no solamente su estabilización microbiológica, sino que también deberán proteger contra oxidación y mantener sus propiedades organolépticas

La Tabla 32 muestra la composición aromática de las barricas utilizadas tras el proceso de limpieza y por lo tanto las condiciones de partida para la posterior crianza en barrica. En este caso no se presenta los resultados de la barrica reutilizada sin aporte de duelas.

	BARRICA 2	BARRICA 3	BARRICA 4	BARRICA 5	BARRICA 6	BARRICA 7
<b>COMPUESTOS FURÁNICOS (µg/g madera)</b>						
Furfural	101,763 ± 8,866	120,388 ± 10,489	55,200 ± 4,809	55,365 ± 4,824	115,885 ± 10,097	196,491 ± 17,119
5-Metilfurfural	5,869 ± 0,456	16,831 ± 1,307	7,170 ± 0,557	8,475 ± 0,658	13,799 ± 1,071	25,941 ± 2,014
5-Hidroximetilfurfural	3,765 ± 0,166	41,998 ± 1,856	4,672 ± 0,206	6,104 ± 0,270	10,644 ± 0,470	71,939 ± 3,179
<b>ALDEHÍDOS FENÓLICOS (µg/g madera)</b>						
Vainillina	144,127 ± 10,380	292,609 ± 21,073	243,622 ± 17,545	341,496 ± 24,594	387,415 ± 27,901	256,308 ± 18,459
Stringaldehído	836,206 ± 33,207	644,510 ± 25,594	742,472 ± 29,484	815,898 ± 32,400	998,149 ± 39,638	713,173 ± 28,321
<b>ÁCIDOS FENÓLICOS (µg/g madera)</b>						
Ácido gálico	843,693 ± 56,980	391,271 ± 26,425	148,879 ± 10,055	166,266 ± 11,229	131,090 ± 8,853	435,613 ± 29,419
Ácido elálgico	3,747,298 ± 164,594	3,070,444 ± 134,864	2,487,237 ± 109,248	2,489,367 ± 109,342	2,742,838 ± 120,475	2,600,524 ± 114,224
Ácido vainílico	47,428 ± 1,658	68,481 ± 2,393	88,155 ± 3,081	102,070 ± 3,567	203,529 ± 7,113	131,788 ± 4,606
Ácido siríngico	52,590 ± 3,752	93,442 ± 6,666	111,438 ± 7,950	151,917 ± 10,838	314,750 ± 22,454	243,415 ± 17,365
Ácido ferúlico	< 0,320 ± 0,000	< 0,353 ± 0,000	< 0,322 ± 0,000	< 0,319 ± 0,000	< 0,319 ± 0,000	< 0,318 ± 0,000
<b>FENOLES VOLÁTILES (µg/g madera)</b>						
Eugenol	2,225 ± 0,051	1,392 ± 0,032	1,380 ± 0,032	< 0,952 ± 0,022	1,253 ± 0,029	3,029 ± 0,069
Stringol	5,797 ± 0,447	6,449 ± 0,497	7,729 ± 0,595	6,485 ± 0,500	12,300 ± 0,947	28,615 ± 2,204
Guaiacol	0,964 ± 0,078	2,331 ± 0,188	1,273 ± 0,102	1,610 ± 0,130	2,868 ± 0,231	5,281 ± 0,425
4-Metilguaiacol	< 1,007 ± 0,035	2,469 ± 0,087	1,275 ± 0,045	3,397 ± 0,120	6,925 ± 0,244	4,204 ± 0,148
<b>LACTONAS (µg/g madera)</b>						
Cis-whiskey lactona	6,998 ± 0,578	8,348 ± 0,690	2,241 ± 0,185	2,012 ± 0,166	3,905 ± 0,323	2,690 ± 0,222
Trans-whiskey lactona	5,008 ± 0,468	5,601 ± 0,524	1,708 ± 0,160	1,346 ± 0,126	2,104 ± 0,197	1,841 ± 0,172
<b>CUMARINAS (µg/g madera)</b>						
Esculetina	< 0,397 ± 0,000	< 0,438 ± 0,000	< 0,400 ± 0,000	< 0,397 ± 0,000	< 0,397 ± 0,000	< 0,395 ± 0,000
Escopoletina	< 0,397 ± 0,000	< 0,438 ± 0,000	< 0,400 ± 0,000	< 0,397 ± 0,000	< 0,397 ± 0,000	< 0,395 ± 0,000
<b>TANINOS (µg/g madera)</b>						
Roburina A	198,307 ± 6,040	7,644 ± 0,233	11,328 ± 0,345	157,434 ± 4,795	25,119 ± 0,765	104,996 ± 3,198
Roburina B	13,894 ± 0,593	1,221 ± 0,052	1,952 ± 0,083	16,042 ± 0,685	4,483 ± 0,191	13,726 ± 0,586
Roburina C	< 0,057 ± 0,003	< 0,025 ± 0,001	< 0,020 ± 0,001	4,635 ± 0,258	< 0,242 ± 0,013	< 0,613 ± 0,034
Grandinina	34,121 ± 1,782	0,744 ± 0,039	0,953 ± 0,050	42,512 ± 2,220	12,185 ± 0,636	34,952 ± 1,825
Roburina D	50,836 ± 3,989	1,535 ± 0,120	2,086 ± 0,164	63,032 ± 4,945	9,439 ± 0,741	18,804 ± 1,475
Vescalagina	19,366 ± 1,566	< 0,025 ± 0,002	< 0,020 ± 0,002	96,114 ± 7,773	< 0,395 ± 0,032	< 0,613 ± 0,050
Roburina E	14,696 ± 0,605	2,995 ± 0,123	3,162 ± 0,130	18,388 ± 0,756	10,411 ± 0,428	32,479 ± 1,336
Castalagina	143,904 ± 13,437	23,446 ± 2,189	24,641 ± 2,301	359,505 ± 33,568	119,669 ± 11,174	225,507 ± 21,056
TOTAL	475,181 ± 3,502	37,634 ± 0,345	44,161 ± 0,384	757,661 ± 6,875	181,942 ± 1,748	431,690 ± 3,695

Tabla 32. Composición aromática de las barricas utilizadas tras el proceso de limpieza

Tal y como se desprende de los resultados obtenidos en el análisis de la composición aromática de las barricas agotadas analizadas, el intervalo de concentración detectada en los compuestos analizados ha sido considerablemente menor respecto al detectado en las maderas analizadas que en la barrica nueva. Este resultado es más marcado en la familia de compuestos furánicos, fenoles volátiles, lactonas y taninos.

### 9.3.2 Aplicación en el envejecimiento del vino

En la Tabla 33 se presentan los resultados del análisis de la composición aromática del vino a mitad de la crianza y tras finalizar la crianza del mismo en las barricas.

	MITAD CRIANZA							FIN CRIANZA						
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
<b>Furfural</b> ( $\mu\text{g/l}$ )	524 $\pm$ 105	484 $\pm$ 97	387 $\pm$ 77	526 $\pm$ 105	407 $\pm$ 81	554 $\pm$ 111	160 $\pm$ 32	3.439 $\pm$ 688	3.202 $\pm$ 640	4.696 $\pm$ 939	1.398 $\pm$ 280	1.094 $\pm$ 219	1.124 $\pm$ 225	1.754 $\pm$ 351
<b>5- Metilfurfural</b> ( $\mu\text{g/l}$ )	216 $\pm$ 24	126 $\pm$ 14	188 $\pm$ 21	121 $\pm$ 13	159 $\pm$ 17	112 $\pm$ 12	75 $\pm$ 8	359 $\pm$ 39	383 $\pm$ 42	659 $\pm$ 72	412 $\pm$ 45	457 $\pm$ 50	646 $\pm$ 71	650 $\pm$ 72
<b>Gaiacol</b> ( $\mu\text{g/l}$ )	21 $\pm$ 0	20 $\pm$ 0	17 $\pm$ 0	15 $\pm$ 0	17 $\pm$ 0	24 $\pm$ 0	10 $\pm$ 0	16 $\pm$ 0	17 $\pm$ 0	17 $\pm$ 0	18 $\pm$ 0	18 $\pm$ 0	24 $\pm$ 0	19 $\pm$ 0
<b>Trans-whiskey lactona</b> ( $\mu\text{g/l}$ )	37 $\pm$ 1	49 $\pm$ 1	43 $\pm$ 1	42 $\pm$ 1	49 $\pm$ 1	38 $\pm$ 1	53 $\pm$ 1	136 $\pm$ 3	127 $\pm$ 3	123 $\pm$ 2	86 $\pm$ 2	57 $\pm$ 1	42 $\pm$ 1	72 $\pm$ 1
<b>Cis-whiskey lactona</b> ( $\mu\text{g/l}$ )	136 $\pm$ 5	149 $\pm$ 6	204 $\pm$ 8	148 $\pm$ 6	121 $\pm$ 5	142 $\pm$ 6	128 $\pm$ 5	238 $\pm$ 10	271 $\pm$ 11	281 $\pm$ 11	541 $\pm$ 22	454 $\pm$ 18	326 $\pm$ 13	439 $\pm$ 18
<b>Eugenol</b> ( $\mu\text{g/l}$ )	17 $\pm$ 0	15 $\pm$ 0	21 $\pm$ 0	17 $\pm$ 0	16 $\pm$ 0	15 $\pm$ 0	15 $\pm$ 0	42 $\pm$ 1	37 $\pm$ 1	36 $\pm$ 1	52 $\pm$ 1	39 $\pm$ 1	30 $\pm$ 1	38 $\pm$ 1
<b>Siringol</b> ( $\mu\text{g/l}$ )	58 $\pm$ 1	68 $\pm$ 1	57 $\pm$ 1	46 $\pm$ 1	53 $\pm$ 1	79 $\pm$ 2	37 $\pm$ 1	48 $\pm$ 1	47 $\pm$ 1	49 $\pm$ 1	45 $\pm$ 1	44 $\pm$ 1	77 $\pm$ 2	48 $\pm$ 1
<b>Vanillina</b> ( $\mu\text{g/l}$ )	331 $\pm$ 26	368 $\pm$ 29	332 $\pm$ 27	301 $\pm$ 24	412 $\pm$ 33	332 $\pm$ 27	400 $\pm$ 32	226 $\pm$ 18	240 $\pm$ 19	257 $\pm$ 21	256 $\pm$ 20	239 $\pm$ 19	242 $\pm$ 19	269 $\pm$ 22

Tabla 33. Resultados analíticos de composición aromática del vino a mitad de la crianza y tras finalizar la crianza del mismo en las barrica(resultado  $\pm$  DS)

Tal y como se desprende de la Tabla anterior, se observa una evolución en el contenido de compuestos volátiles del vino durante su crianza en las diferentes barricas de estudio.

A continuación se presenta el gráfico obtenido con el análisis estadístico llevado a cabo.

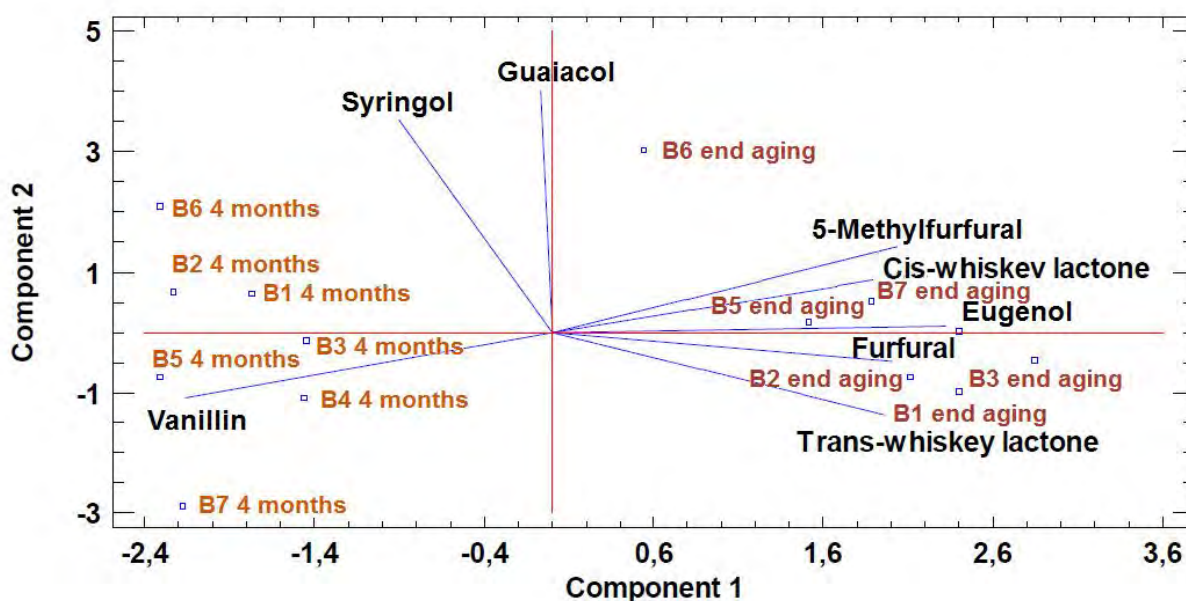


Figura 61. PCA de la composición aromática de los vinos envejecidos en las barricas de estudio

La Figura 61 muestra una clara evolución en la composición aromática del vino con el transcurso del envejecimiento del mismo en barricas con diferentes tipos de listones anclados en su interior. Independientemente del tipo de barrica en el que se haya envejecido el vino, tras finalizar la crianza del mismo ha presentado un contenido mayor en la mayoría de los compuestos aromáticos con respecto al vino a la mitad de la crianza. Sin embargo, en el caso de los compuestos vainillina y siringol se produce una disminución de su contenido en todas las barricas de estudio tras finalizar la crianza del vino con respecto al vino a la mitad de la crianza, probablemente debido a la evaporación o adsorción de estos compuestos.

Si nos centramos en los diferentes tipos de barricas, se observa que se alcanza una diferente composición aromática en el vino en función del tipo de listones anclados en el

interior de cada barrica. Tal y como se observa en la Figura 61 el vino envejecido en la barrica reutilizada con dos variedades de tostado en las duelas (B7), a la mitad de la crianza como al finalizarla, ha presentado un contenido significativamente mayor de los compuestos siringol y guaiacol con respecto al resto de los vinos. Por otra parte, el vino de la barrica patrón (B1) y las barricas nuevas (B2 y B3), ha presentado tras finalizar la crianza, un contenido significativamente mayor en los compuestos furfural y trans-whiskey lactona con respecto al resto de los vinos. Así mismo, el vino de las barricas con adición de duelas de un solo tipo (B4, B5 y B6) presentan un mayor porcentaje en el compuesto cis-whiskey lactona.

Asimismo el vino envejecido en la barrica 4 (B4) ha presentado un contenido significativamente mayor en el compuesto eugenol con respecto al resto de los vinos.

La Tabla 14 muestra los resultados del análisis de los parámetros físico-químicos del vino durante la crianza del mismo en las barricas utilizadas.



	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	
<b>pH</b>	<b>3,77</b> ±0,01	<b>3,76</b> ±0,00	<b>3,77</b> ±0,00	<b>3,71</b> ±0,01	<b>3,73</b> ±0,00	<b>3,77</b> ±0,00	<b>3,73</b> ±0,01	
<b>°Brix</b>	<b>8,00</b> ±0,00	<b>8,00</b> ±0,00	<b>8,00</b> ±0,00	<b>8,00</b> ±0,00	<b>8,00</b> ±0,00	<b>8,00</b> ±0,00	<b>8,00</b> ±0,00	
<b>Grado probable (%vol)</b>	<b>14,60</b> ±0,00	<b>14,60</b> ±0,00	<b>14,34</b> ±0,37	<b>14,60</b> ±0,00	<b>14,34</b> ±0,37	<b>14,60</b> ±0,00	<b>14,60</b> ±0,00	
<b>Acidez volátil (g/l Ac. Acético)</b>	<b>0,76</b> ±0,00	<b>0,82</b> ±0,00	<b>0,79</b> ±0,00	<b>0,73</b> ±0,00	<b>0,73</b> ±0,00	<b>0,73</b> ±0,00	<b>0,67</b> ±0,00	
<b>Acidez Total (g/l Ac. Tartárico)</b>	<b>5,4 ±0,1</b>	<b>5,2 ±0,0</b>	<b>5,3 ±0,1</b>	<b>5,3 ±0,0</b>	<b>5,3 ±0,0</b>	<b>5,3 ±0,0</b>	<b>5,3 ±0,0</b>	
<b>Glicerol (g/l)</b>	<b>10,97</b> ±0,11	<b>10,83</b> ±0,23	<b>10,83</b> ±0,21	<b>10,95</b> ±0,01	<b>10,84</b> ±0,01	<b>10,98</b> ±0,08	<b>10,90</b> ±0,18	
<b>Ácido málico (g/l)</b>	<b>&lt; 0,25</b> ±0,00	<b>&lt; 0,25</b> ±0,00	<b>&lt; 0,25</b> ±0,00	<b>&lt; 0,25</b> ±0,00	<b>&lt; 0,25</b> ±0,00	<b>&lt; 0,25</b> ±0,00	<b>&lt; 0,25</b> ±0,00	
<b>Intensidad colorante</b>	<b>12,067</b> ±0,010	<b>12,310</b> ±0,000	<b>12,732</b> ±0,009	<b>11,773</b> ±0,001	<b>11,745</b> ±0,004	<b>12,610</b> ±0,011	<b>12,387</b> ±0,001	
<b>A420</b>	<b>4,386</b> ±0,000	<b>4,471</b> ±0,001	<b>4,625</b> ±0,002	<b>4,304</b> ±0,001	<b>4,289</b> ±0,000	<b>4,614</b> ±0,002	<b>4,514</b> ±0,001	
<b>A520</b>	<b>6,018</b> ±0,005	<b>6,132</b> ±0,001	<b>6,322</b> ±0,003	<b>5,860</b> ±0,004	<b>5,843</b> ±0,001	<b>6,176</b> ±0,004	<b>6,118</b> ±0,001	
<b>A620</b>	<b>1,663</b> ±0,004	<b>1,708</b> ±0,001	<b>1,785</b> ±0,004	<b>1,609</b> ±0,004	<b>1,613</b> ±0,003	<b>1,821</b> ±0,005	<b>1,755</b> ±0,001	
<b>Tonalidad</b>	<b>0,729</b> ±0,001	<b>0,729</b> ±0,000	<b>0,731</b> ±0,000	<b>0,734</b> ±0,000	<b>0,734</b> ±0,000	<b>0,747</b> ±0,000	<b>0,738</b> ±0,000	
<b>Parámetros CIELab</b>	<b>L*</b>	<b>7,965</b> ±0,103	<b>7,647</b> ±0,014	<b>6,792</b> ±0,076	<b>8,749</b> ±0,118	<b>8,580</b> ±0,076	<b>6,043</b> ±0,070	<b>6,659</b> ±0,037
	<b>a*</b>	<b>37,752</b> ±0,157	<b>37,362</b> ±0,025	<b>35,764</b> ±0,176	<b>38,900</b> ±0,198	<b>38,611</b> ±0,124	<b>33,802</b> ±0,199	<b>35,285</b> ±0,093
	<b>b*</b>	<b>13,700</b> ±0,179	<b>13,158</b> ±0,025	<b>11,692</b> ±0,131	<b>15,042</b> ±0,204	<b>14,750</b> ±0,131	<b>10,398</b> ±0,120	<b>11,457</b> ±0,064
<b>Índice de Polifenoles Totales (IPT)</b>	<b>61 ±1</b>	<b>59 ±1</b>	<b>59 ±1</b>	<b>60 ±1</b>	<b>59 ±0</b>	<b>58 ±0</b>	<b>59 ±0</b>	
<b>Antocianos totales (mg/l)</b>	<b>279 ±7</b>	<b>264 ±1</b>	<b>254 ±2</b>	<b>273 ±5</b>	<b>291 ±4</b>	<b>271 ±6</b>	<b>274 ±1</b>	
<b>Taninos (g/l)</b>	<b>3 ±0</b>	<b>3 ±0</b>	<b>3 ±0</b>	<b>3 ±0</b>	<b>3 ±0</b>	<b>3 ±0</b>	<b>3 ±0</b>	

*Tabla 34. Resultados analíticos de los parámetros físico-químicos del vino durante la crianza. (Resultado ± DS)*

Para poder visualizar de una manera más clara los resultados obtenidos del tratamiento estadístico se ha realizado el análisis ACP de los parámetros pH, grado alcohólico, acidez volátil, acidez total y glicerol, y por otra parte de los parámetros intensidad colorante, A420, A520, A620,

tonalidad, parámetros CIELab ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), IPT y antocianos totales. En el tratamiento estadístico no se ha considerado el ácido málico por no haberse detectado en el vino, así como los parámetros  $^{\circ}$ Brix y taninos por no existir diferencia en su valor en el vino envejecido en las distintas barricas de estudio.

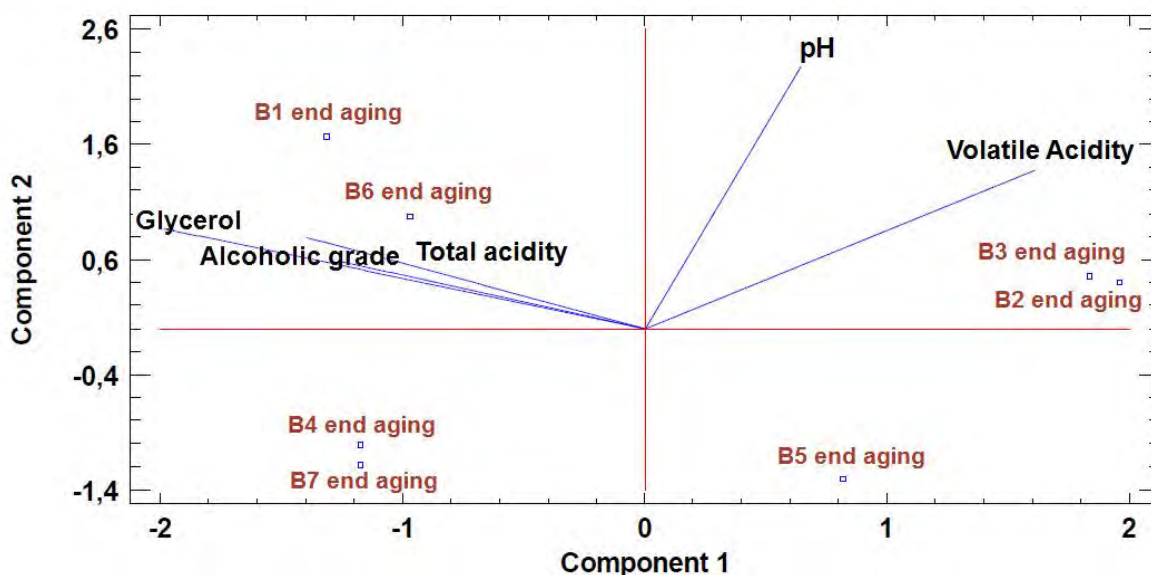


Figura 62. PCA de los parámetros pH, grado alcohólico, acidez volátil, acidez total y glicerol de los vinos envejecidos en las barricas de estudio

En los resultados obtenidos (ver Tabla 34) se observa que no existe una diferencia significativa en los diferentes parámetros físico-químicos analizados entre el vino envejecido en las barricas de estudio.

Sin embargo tal y como se muestra en la Figura 62, se aprecia un diferente efecto en los parámetros representados en función del tipo de listones anclados en el interior de cada barrica. Por una parte, se observa un mayor valor de acidez volátil en el vino envejecido en las barricas nuevas (B2 y B3) con respecto al resto de los vinos. Por otra, destacan las barricas B4, B6 y B7 por el mayor contenido en glicerol con respecto al resto de los vinos. Asimismo el vino



envejecido en las barricas B4 y B7 ha presentado un menor valor de pH con respecto al resto de los vinos.

## 9.4 CONCLUSIONES

La investigación realizada a permitido determinar la influencia de los diferentes tipos de tostado, tipología de maderas, morfología de aplicación así como de la edad de las barricas utilizadas. El contenido de los diferentes compuestos aromáticos cedidos al vino durante su envejecimiento ha variado en función del tostado (sin tostar, tostado medio, tostado medio +, etc.) existiendo cierta correlación entre dicha aportación independientemente de si la barrica estaba usada o no, pero siempre en función del tostado y origen de la madera utilizada.

A lo largo de la crianza de los vinos se ha apreciado una clara evolución en la composición aromática del vino con el transcurso del envejecimiento, tanto con barricas nuevas como con barricas usadas con diferentes tipos de listones anclados en su interior. Este efecto sin embargo ha sido mucho menos apreciable en el caso de la crianza en una barrica usada sin listones en ella.

Independientemente del tipo de barrica en el que se haya envejecido el vino, tras finalizar la crianza del mismo, ha presentado un contenido mayor en la mayoría de los compuestos aromáticos con respecto al vino a la mitad de la crianza. La excepción a esta afirmación se encuentra en el caso de la vainillina y siringol, para los cuales se produce una disminución de su contenido para todos los casos estudiados tras finalizar la crianza del vino con respecto al vino a la mitad de la crianza. Este fenómeno se debe principalmente a la evaporación y/o adsorción de estos compuestos.

La composición aromática tanto en las diferentes fases de la crianza como al finalizar la misma, es muy diferente en función de los diferentes tipos de barricas. Si analizamos las barricas usadas con listones integrados en su interior, podemos ver como en las barricas usadas con duelas de tostado ligero en su interior, tanto a la mitad de la crianza como tras finalizarla se ha detectado un contenido significativamente mayor de los compuestos siringol y guaiacol con

respecto al resto de los vinos. Las barricas usadas con duellillas con tostados medios y medios + presentan índices de trans-whiskey lactona con respecto al resto de los vinos, mientras que el vino de las barricas 4 (B4), 5 (B5) y 7 (B7) en el compuesto cis-whiskey lactona.

Los mayores contenidos de eugenol tras la crianza del vino se han dado para las barricas usadas con duelas con un tostado medio. Sin embargo, las barricas nuevas en sus diferentes tostados, han presentado tras finalizar la crianza un contenido significativamente mayor en los compuestos furfural y trans-whiskey lactona. Asimismo, las barricas nuevas también tienen mayores niveles de acidez volátil y menores concentraciones de glicerol que de los vinos envejecidos en barricas usadas con o sin duellas en el interior.

El análisis del color, permite ver como el mayor valor de ITP se obtiene para las crianzas en barricas usadas y especialmente en aquellas sin duelas añadidas, mientras que las barricas nuevas tienen mayor intensidad colorante para tostados medios.

Por último, es necesario destacar, que la valoración organoléptica del vino envejecido en las barricas de estudio ha reflejado que el empleo de listones de diferentes características anclados en el interior de barricas agotadas ha permitido obtener un vino con un bouquet aromático de calidad.

Los resultados de la investigación reflejan que las duelas con diferentes tostados, incluso dentro de una misma barrica reutilizada, pueden ofrecer al enólogo una gran versatilidad en el aporte de compuestos de madera al vino durante su envejecimiento, mediante la selección de aquellas maderas cuya composición (en función de su origen y tostado) permitan alcanzar en el vino envejecido el bouquet deseado.

Por último, se ha corroborado, que el empleo de listones acoplados a barricas agotadas permite alargar la vida útil de las mismas con toda la garantía de calidad.

## Referencias

1. Chatonnet, P., J.N. Boidron, and M. Pons, Maturation of red wines in oak barrels: Evolution of some volatile compounds and their aromatic impact. *Sci. Aliment.*, 1990. 10: p. 565-587.
2. Garde-Cerdán, T. and C. Ancín-Azpilicueta, Review of quality factors on wine ageing in oak barrels. *Trends in Food Science & Technology*, 2006. 17(8): p. 438-447.
3. Spillman, P.J., M.A. Sefton, and R. Gawel, 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*, 2004. 10(3): p. 216-226.
4. Arapitsas, P., et al., Artificial aging of wines using oak chips. *Food Chemistry*, 2004. 86(4): p. 563-570.
5. Cabrita, M.J., C. Barrocas Dias, and A. Costa Freitas, Phenolic acids, phenolic aldehydes and furanic derivatives in oak chips: American vs. French oaks. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 2011. 32(2): p. 204-210.
6. Delgado de la Torre, M.P., F. Priego-Capote, and M.D. Luque de Castro, Comparative profiling analysis of woody flavouring from vine-shoots and oak chips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014. 94(3): p. 504-514.
7. Fan, W., Y. Xu, and A. Yu, Influence of oak chips geographical origin, toast level, dosage and aging time on volatile compounds of apple cider. *Journal of the Institute of Brewing*, 2006. 112(3): p. 255-263.
8. Wyler, P., et al., Effect of oak wood on the quality of beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 2015. 121(1): p. 62-69.
9. Aleixandre-Tudó, J.L., et al., Modelling phenolic and volatile composition to characterize the effects of pre-fermentative cold soaking in Tempranillo wines. *LWT - Food Science and Technology*, 2016. 66: p. 193-200.
10. Lasanta, C., et al., The influence of ripeness grade on the composition of musts and wines from *Vitis vinifera* cv. Tempranillo grown in a warm climate. *Food Research International*, 2014. 64: p. 432-438.

11. Izquierdo-Cañas, P.M., A. Mena-Morales, and E. García-Romero, Malolactic fermentation before or during wine aging in barrels. *LWT - Food Science and Technology*, 2016. 66: p. 468-474.
12. Sumbly, K.M., P.R. Grbin, and V. Jiranek, Implications of new research and technologies for malolactic fermentation in wine. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2014.
13. Suriano, S., et al., Management of malolactic fermentation and influence on chemical composition of aglianico red wines. *Italian Journal of Food Science*, 2015. 27(3): p. 310-319.
14. Verdier, B., L. Blateyron, and D. Granès, OAK SHAVINGS AND CUBES: HOW TO USE THEM RATIONALLY. *Internet Journal of Viticulture and Enology*, 2006. 2(1).



## Tesis doctoral

Doctorado en Innovación en Ingeniería de producto y procesos industriales

“ESTUDIO DE TÉCNICAS DE HIGIENIZACIÓN MEDIANTE PROYECCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO Y RENOVACIÓN AROMÁTICA MEDIANTE INSERCIÓN DE DUELILLAS EN BARRICAS USADAS”

SECCIÓN 5 – ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE VINIFICACIÓN CON BARRICAS Y CON SISTEMAS ALTERNATIVOS A LA VINIFICACIÓN TRADICIONAL

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

DIRECTORES DE LA TESIS: Julio Blanco Fernández

Emilio Jiménez Macías

DOCTORANDO: Francisco Javier Flor Montalvo

Logroño, Junio 2017





## 10. Análisis del impacto ambiental de la fabricación de una barrica

---

## 10.1 Introducción y antecedentes

El proceso de envejecimiento es uno de los pasos fundamentales y más importantes en la obtención de un vino de calidad (1-3). El objetivo de este proceso es la maduración de los vinos para mejorar sus características sensoriales (4, 5), produciendo vinos con colores más elegantes, un aroma más complejo y un mejor sabor (6-9). La maduración del vino puede llevarse a cabo en diferentes tipos de contenedores, como tanques de acero inoxidable, tanques de plástico, barricas de roble, chips y duelas de roble (10-14). En los países con mayor tradición vitivinícola, el proceso de maduración del vino se lleva a cabo principalmente en barricas de roble por su capacidad para transmitir compuestos que mejoran las propiedades del vino (15). El uso de barricas de roble para la fermentación del vino tiene una influencia importante en la composición aromática del producto (16).

Los vinos almacenados en barricas están constantemente expuestos a pequeñas cantidades de aire que penetran en a través de la porosidad de la madera, a través de la boca del tonel (bunghole) y a través de la junta existente entre duelas colindantes en la barrica (17-19), permitiendo los procesos de oxidación (17, 20, 21) relacionados directamente con el color y otras características organolépticas del vino (1). El contacto con la madera enriquece el vino mediante la aportación de muchas sustancias volátiles que mejoran la intensidad y complejidad del sabor del vino (22, 23). La madera también libera algunas sustancias no volátiles que contribuye a las sensaciones de textura del vino como la astringencia y la sensación en la boca (24). Todo ello mejora notablemente las características sensoriales del vino.

### 10.1.1 Proceso productivo

La fabricación de barricas tiene una gran influencia en las características finales del vino madurado, con los consiguientes efectos en el sabor, textura y aroma del vino. Para la fabricación de barricas de vino se utilizan principalmente tres tipos de madera del género *Quercus* (*Q. Alba*, *Q. Petraea* y *Q. Robur*) (25-29) por la capacidad de aportar una gran riqueza aromática al vino durante el proceso de maduración. La elección de las especies depende de los

rasgos aromáticos y gustativos perseguidos. Dependiendo del tipo de madera a utilizar, proceso de obtención de duelas es diferente.

Conforme los robles crecen en bosque, sus anillos de crecimiento desarrollados en los años anteriores dejan de estar activos, convirtiéndose estas zonas en duramen. De forma paralela, los vasos conductores de savia en periodos anteriores se obstruyen confiriendo a la madera la propiedad de contener líquidos o estanqueidad. Los robles blancos americanos obturan los vasos en muchas dimensiones haciendo estanca a la madera de dichos robles en todas las citadas dimensiones. Esto implica que el tronco puede ser aserrado en cualquier posición consiguiendo en todo caso tablas estancas. Habitualmente se procede al aserrado longitudinal del tronco obteniendo tablas de las que finalmente obtendremos las duelas. Los robles europeos (incluyendo las variedad Q. Peatrea y Q. Robur) no obturan los vasos de savia en todas las dimensiones, originando que la madera sólo será estanca si es cortada en una posición concreta. Es por ello que los robles europeos con aprovechamiento enológico no son serrados sino rajados longitudinalmente respetando el hilo de la propia madera.

Cortadas las duelas, deben ser sometidas a un proceso de secado para asegurar que la madera puede ser adecuadamente trabajada y mecanizada así como mejorar sus características mecánicas y eliminar la aparición de sustancias no deseadas durante el proceso de envejecimiento (30).

Una vez terminada la fase de secado de la madera, las duelas son utilizadas para formar la barrica. Durante el proceso de montaje se lleva a cabo el proceso de tostado de la madera, para mejorar los atributos sensoriales del vino (31). El tipo de tostado depende principalmente de las características sensoriales deseadas en el vino: ligero, medio y pesado (32). Muchos de los componentes volátiles que constituyen la base para el aroma de roble en el vino se crean durante el proceso de tostado (33). Otros aromas como vainillina, coco, humo, nuez, tierra o notas afrutadas entre otros (34-36), son obtenidos durante el proceso de tostado.

El presente estudio analiza el impacto ambiental del proceso de creación de barricas para envejecimiento de vino. Se han realizado numerosos estudios científicos sobre el

envejecimiento del vino en barricas, pero no existe literatura científica sobre las implicaciones ambientales del proceso de producción. Con el presente estudio, buscamos cuantificar el impacto medioambiental de este proceso mediante un análisis del ciclo de vida (ACV). Al identificar y analizar los insumos y resultados de las diversas actividades involucradas en el proceso, hemos podido elaborar un modelo de la cuna a la puerta (cradle-to-gate). Este ACV se basa en los datos obtenidos de una planta de la productiva dentro de la Denominación de Origen Calificada Rioja, España, a lo largo de un año de producción.

El análisis del ciclo de vida (LCA) es una de las técnicas más utilizadas para identificar y cuantificar impactos medioambientales de un producto, servicio o proceso a través de su ciclo de vida (37-41). De acuerdo a la norma ISO 14040 (42), que definen las etapas principales para realizar el análisis, el ACV es una metodología útil para examinar el ciclo de vida del producto, identificando los impactos ambientales de la compilación y análisis de los flujos de entrada y salida (43). Esta metodología no sólo identifica las cargas ambientales durante el ciclo de vida de un producto, sino que también puede representar la base para proponer, simular y validar escenarios alternativos para mitigar los impactos ambientales (44). Proporciona una base cuantitativa para evaluar y elegir alternativas de mejora en el desempeño ambiental de un sistema a lo largo del ciclo de vida (45-47). Sirve de herramienta útil en la toma de decisiones (48, 49) y para la sostenibilidad ambiental (50-53).

## 10.2. Materiales y métodos.

### 10.2.1. Objetivos y alcance.

A lo largo de este estudio se ha realizado un análisis de puerta a puerta (gate-to-gate) estudiando todos los procesos productivos, identificando en cada uno de ellos los materiales utilizados, recursos energéticos y flujos de proceso hasta la creación de la unidad funcional final.

Las fases del ciclo de vida consideradas en el estudio abarcan desde el aporte de materiales hasta el almacenamiento del producto final, con el objetivo de identificar las actividades críticas dentro del proceso de producción.

Para realizar el modelo de ACV se ha optado por el software Simapro 8.3 y la metodología de cálculo CML-IA baseline V3.04 / EU25. Como categorías de impacto se han seleccionado las siguientes: Abiotic Deplation (AD); Abiotic depletion (fossil fuels) (AD-FF); Global Warming-GWP100 (GWP); ozone layer depletion (ODP); human toxicity (HT); fresh water aquatic ecotoxicity (FWAE); marine aquatic ecotoxicity (MAE); terrestrial ecotoxicity (TE); photochemical oxidation (PO); acidification (AC); eutrophication (EU)

### 10.2.2. Unidad funcional.

La unidad funcional se ha definido como una barrica estándar de 225 litros y seis cellos destinada al envejecimiento de vino.

### 10.2.3. Límites del sistema.

Para la realización del estudio se han establecido previamente los límites del sistema a considerar durante el estudio. Dichos límites del sistema abarcan la producción global para la creación de una unidad funcional y el almacenaje de la misma hasta su distribución final (ver Figura 63).

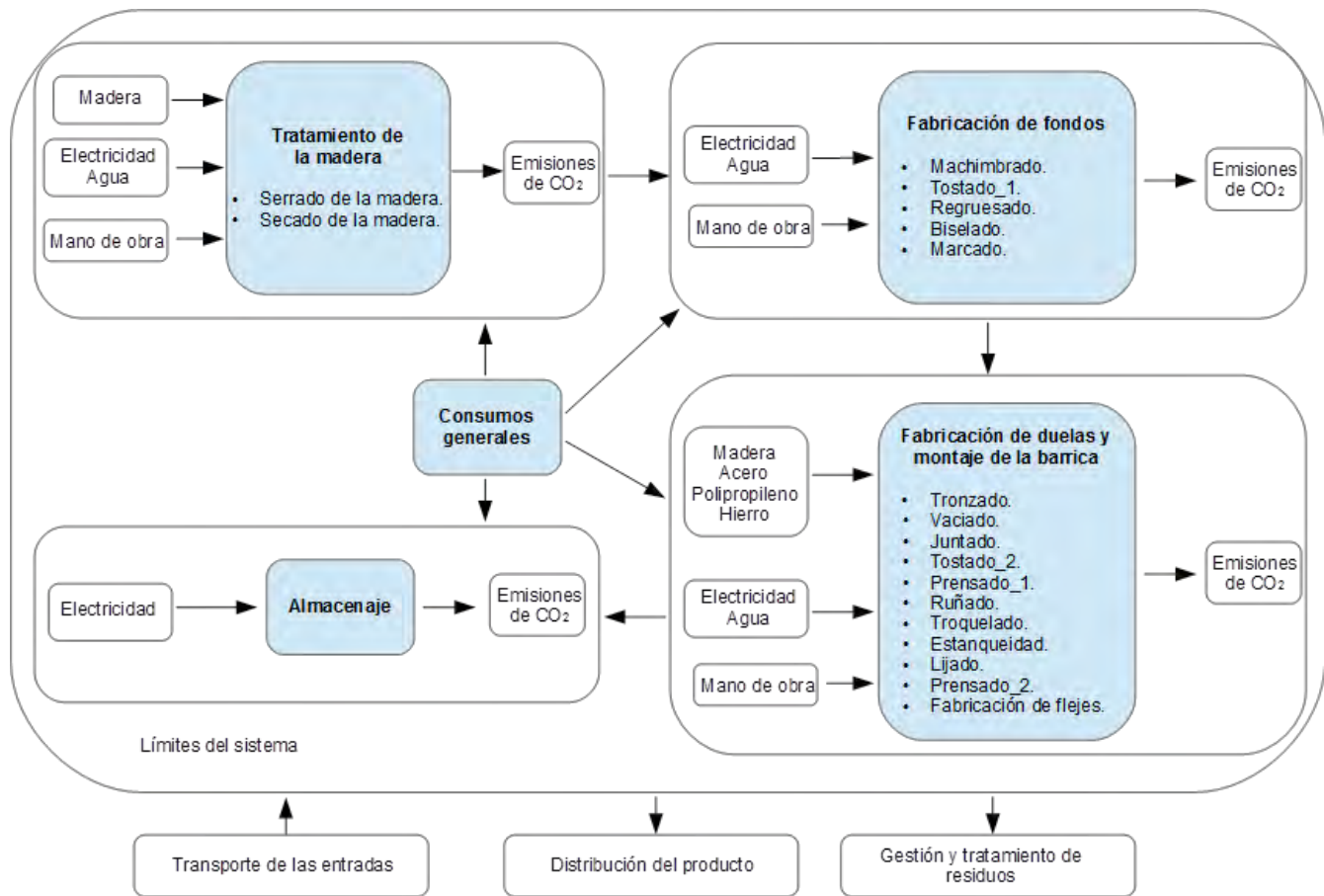


Figura 63: Límites del sistema

Las siguientes actividades se han incluido dentro de los límites del sistema:

- El consumo de electricidad en equipos y maquinaria de la planta.
- Consumos de la planta de producción fuera del proceso productivo
- Transporte de los productos intermedios entre las diferentes fases del proceso productivo.
- Emisiones producidas por la mano de obra.
- Montaje completo de la unidad funcional.

- Consumo de materiales y recursos a lo largo de todo el proceso productivo.

En cuanto a los límites del sistema establecidos para todos los procesos, las siguientes actividades están fuera de estos límites:

- El transporte de materiales desde su lugar de origen.
- La instalación y desmantelamiento de la planta de producción.
- Mantenimiento de la maquinaria e instalaciones del proceso productivo.
- Gestión y tratamiento de residuos producidos en el proceso.
- Transporte del producto final al cliente.

#### **10.2.4. Suposiciones.**

Se considera que las entradas al proceso productivo tienen las mismas características a lo largo de la campaña analizada.

Los materiales utilizados por unidad funcional permanecerán constantes a lo largo del análisis para los diferentes tipos de madera utilizada.

La unidad funcional ha sido definida como una barrica de roble (Q. Alba, Q. Robur y Q. Petraea) con unas dimensiones y características iguales a lo largo de la campaña analizada.

El tostado será el mismo para todas las barricas analizadas (véase Figura 64).

El proceso productivo es el mismo para los tres tipos de madera. Es por ello, que los recursos y entradas consumidas en la fase 2 (producción de fondos), fase 3 (fabricación de

duelas y montaje de la barrica), fase 4 (almacenaje) y consumos generales, permanecerán constantes para los tres tipos de madera analizadas.

Se considera la producción diaria igual en cada jornada laboral, habiendo existencias de producto final suficientes en caso de un crecimiento repentino de la demanda.

Los residuos producidos a lo largo del proceso productivo (restos de madera) serán reutilizados para las labores de tostado de la barrica (véase figura 64).

Los consumos producidos por las instalaciones generales, no incluidas en el proceso productivo (véase Figura 1), serán incluidos en la fase de consumos generales.

### 10.2.5. Inventario

Para el presente estudio se ha realizado un estudio global del análisis del ciclo de vida del proceso de fabricación de barricas para envejecimiento de vino. Se han considerado las materias primas utilizadas y la distancia desde la empresa de origen. Se han considerado también las fuentes energéticas y/o naturales empleadas en el proceso, como el consumo de gasoil, electricidad y agua.

El inventario está realizado conforme a los datos proporcionados y recolectados durante un año de producción.

Para facilitar el proceso de análisis y evaluación, el proceso ha sido dividido en varias fases (véase figura 64):

- Tratamiento de la madera: Cortado y serrado de la madera para la obtención de duelas.
- Fabricación de fondos: Creación de los fondos de la barrica.
- Fabricación de duelas y montaje de la barrica: Montaje de los fondos y duelas para la creación de la barrica y su final distribución.



### 10.2.5.1. Tratamiento de la madera.

La primera fase del proceso es el tratamiento de la madera para la obtención de madera en bruto seca para fabricación de duelas y de los fondos. Estos elementos son utilizados en el montaje de la barrica. Los materiales y recursos utilizados durante esta fase son los siguientes (Tabla 1):

- Madera: Se utilizan troncos de madera de roble de diferentes variedades (Q. Alba, Q. Robur y Q. Petraea) para la obtención de las duelas.
- Consumo eléctrico: Consumo medido en kWh.
- Consumo de agua: Consumo medido en m<sup>3</sup>.
- Mano de obra: Tiempo de trabajo medido en h.

Materia prima	Q. Alba	Q. Robur	Q. Petraea
Madera	3.00E-01 ton	3.38E-01 ton	2.62E-01 ton
Agua	6.82E-02 m <sup>3</sup>	1.39E-01 m <sup>3</sup>	1.54E-01 m <sup>3</sup>
Energía eléctrica	6.84E+01 kWh	6.84E+01 kWh	6.84E+01 kWh
Mano de obra	2.22E+00 h	2.22E+00 h	2.22E+00 h

Tabla 35: Datos de inventario de la fase del tratamiento de la madera

El proceso comienza con el serrado de la madera para la obtención de duelas y fondos (véase Figura 2, actividad de serrado). Una vez obtenido el material cortado, se llevan a una estación de secado natural para eliminar el contenido de agua extra (véase Figure 2, Actividad de secado). Durante la fase de secado es necesario controlar el contenido de humedad de la madera para evitar que se estropee, mediante la adición de agua.

En la etapa de tratamiento de la madera, el tiempo de personal asociado está dedicado a las operaciones de descarga de la madera, clareado (apilar dejando espacio entre piezas de madera), operaciones de desplazamiento y transporte desde el campo de madera hasta la zona de mecanizado interior. Dado que los procesos de mojado y control son automáticos no se incluyen horas adicionales.

La diferencia de agua consumida es debida a la diferencia de tiempo de permanencia en el parque de secado.

Una vez que la madera tiene las características necesarias, será utilizada en los siguientes procesos (véase Figura 2, Fabricación de duelas y fases de montaje de la barrica y Acabado de la barrica).

### 10.2.5.2. Fabricación de los fondos

La siguiente fase del proceso es la fabricación de los fondos. En esta fase se fabrican los fondos que van a ser utilizados en el montaje final de la barrica junto con las duelas. Los materiales y recursos utilizados durante esta fase se listan en la tabla 36.

- Consumo eléctrico: Consumo medido en kWh.
- Mano de obra: Tiempo de trabajo medido en h.

<b>Materia prima</b>	<b>Q. Alba, Q. Robur y Q. Petraea</b>
Energía eléctrica	5.07E+00 kWh
Mano de obra	1.87E-01 h

*Tabla 36: Datos de inventario de la fase de la fabricación de fondos*

En este proceso utilizara parte de la madera cortada en el proceso anterior (véase Figura 2, fase de tratamiento de la madera) para la creación de los fondos.

El primer paso es el machimbrado de la madera (véase Figura 64, Actividad de Machimbrado), para darle forma a los bordes de los fondos para poder crear estanqueidad dentro de la barrica.

A continuación, se realiza el tostado de la madera que dará al vino las características deseadas de olor, sabor y apariencia (véase Figura 64, Actividad de Tostado\_1).

A diferencia del tostado de la barrica, el tostado de los fondos se realizará con una resistencia eléctrica.

Posteriormente, se realiza un regruesado de la madera para darle la anchura necesaria (véase Figura 64, Actividad de Regruesado) y el biselado de los bordes (véase Figura 64, actividad de Biselado) para que encaje perfectamente con las duelas y mantener la estanqueidad necesaria en la barrica. Finalmente, se realiza un marcado de los fondos con las especificaciones requeridas por el cliente (véase Figura 64, actividad de Marcado).

### **10.2.5.3. Fabricación de duelas y montaje de la barrica**

La última fase del proceso es el montaje de la barrica. En esta fase se montan las duelas y los fondos previamente creados para la finalización de la barrica. Los materiales y recursos utilizados durante esta fase se listan en la tabla 37.

- Madera: Se utilizan madera procedente de las fases de tratamiento de la madera, fabricación de los fondos y montaje de la barrica medido en toneladas.
- Consumo eléctrico: Consumo medido en kWh.
- Consumo de agua: Consumo medido en m<sup>3</sup>.
- Polipropileno: Flejes de polipropileno utilizado en el montaje de la barrica (see Figure 64 Prensado\_2 activity) medido en kg.
- Flejes: Acero utilizado para la fabricación de flejes medido en kg.

- Tornillos y remaches: Acero utilizado para la fabricación de tornillos y remaches medido en kg.
- Mano de obra: Tiempo de trabajo medido en h.

<b>Materia prima</b>	<b>Q. Alba, Q. Robur y Q. Petraea</b>
Acero	9.28E+00 kg
Madera reutilizada	1.75E-03 ton
Polipropileno	8.68E-02 kg
Hierro	1.03E+00 kg
Energía eléctrica	8.47E+00 kWh
Mano de obra	1.67E+00 h

*Tabla 37: Datos de inventario de la fase de fabricación de duelas y montaje de la barrica*

En este proceso se utilizarán las duelas obtenidas en la primera fase (véase Figura 2, fase de Tratamiento de la madera).

El primer paso es el tronzado de las duelas (véase Figura 64, actividad de Tronzado), para darle la misma longitud a todas las duelas y conformar una barrica uniforme.

A continuación, se realiza el vaciado de las duelas (véase Figura 64, actividad de Vaciado) creando un surco en el interior de la duela limitando los riesgos de ruptura en el proceso de tostado.

Posteriormente, se realiza el alisado de la superficie de las duelas permitiendo una superficie más uniforme (véase Figura 64, actividad de Juntado) y asegurar la estanqueidad entre duelas.

Tras ello, se realiza el tostado de la madera que dará al vino las características deseadas de olor, sabor y apariencia (véase Figura 64, actividad de Tostado\_2).

El tostado de la madera se realiza mediante combustión de madera reutilizada procedente de otros procesos.

Para que los fondos puedan ser colocados correctamente, es necesario hacer un ruñado con la forma del fondo en las duelas (véase Figura 64, actividad de Ruñado).

Posteriormente, y con los fondos ya colocados, mediante un troquelado (véase Figura 64, actividad de Troquelado) se crea una cavidad para poder llenar las barricas.

Finalmente, se lleva a cabo un lijado exterior de la madera (véase Figura 64, actividad de Lijado) para darle uniformidad y se colocan los flejes metálicos, previamente creados (véase Figura 2, actividad de Fabricación de flejes), que actuarán de sujeción de las duelas (véase Figura 64, actividad de Flejado).

Terminado el montaje de la, se llevará a la última etapa del proceso, el almacenaje.

#### 10.2.5.4. Almacenaje

La última fase del proceso es el almacenaje del producto terminado. Los materiales y recursos utilizados durante esta fase se listan en la tabla 38.

- Consumo eléctrico: Consumo medido en kWh.

<b>Materia prima</b>	<b>Q. Alba, Q. Robur y Q. Petraea</b>
Energía eléctrica	3.47E+00 kWh
Mano de obra	1.50E-01h

*Tabla 38: Datos de inventario de la fase del almacenaje*

Terminada la barrica se llevan a una zona de almacenamiento hasta su final distribución a los clientes.

### 10.2.5.5. Consumos generales

El resto de consumos utilizados por el proceso productivo, no incluidos en las anteriores fases, se agrupan en la fase de consumos generales. Los materiales y recursos utilizados durante esta fase se listan en la tabla 39.

- Consumo eléctrico: Consumo medido en kWh.

<b>Materia prima</b>	<b>Q. Alba, Q. Robur y Q. Petraea</b>
Energía eléctrica	3.02E+01 kWh

*Tabla 39: Datos de inventario de la fase consumos generales.*

Terminada la barrica se llevan a una zona de almacenamiento hasta su final distribución a los clientes.

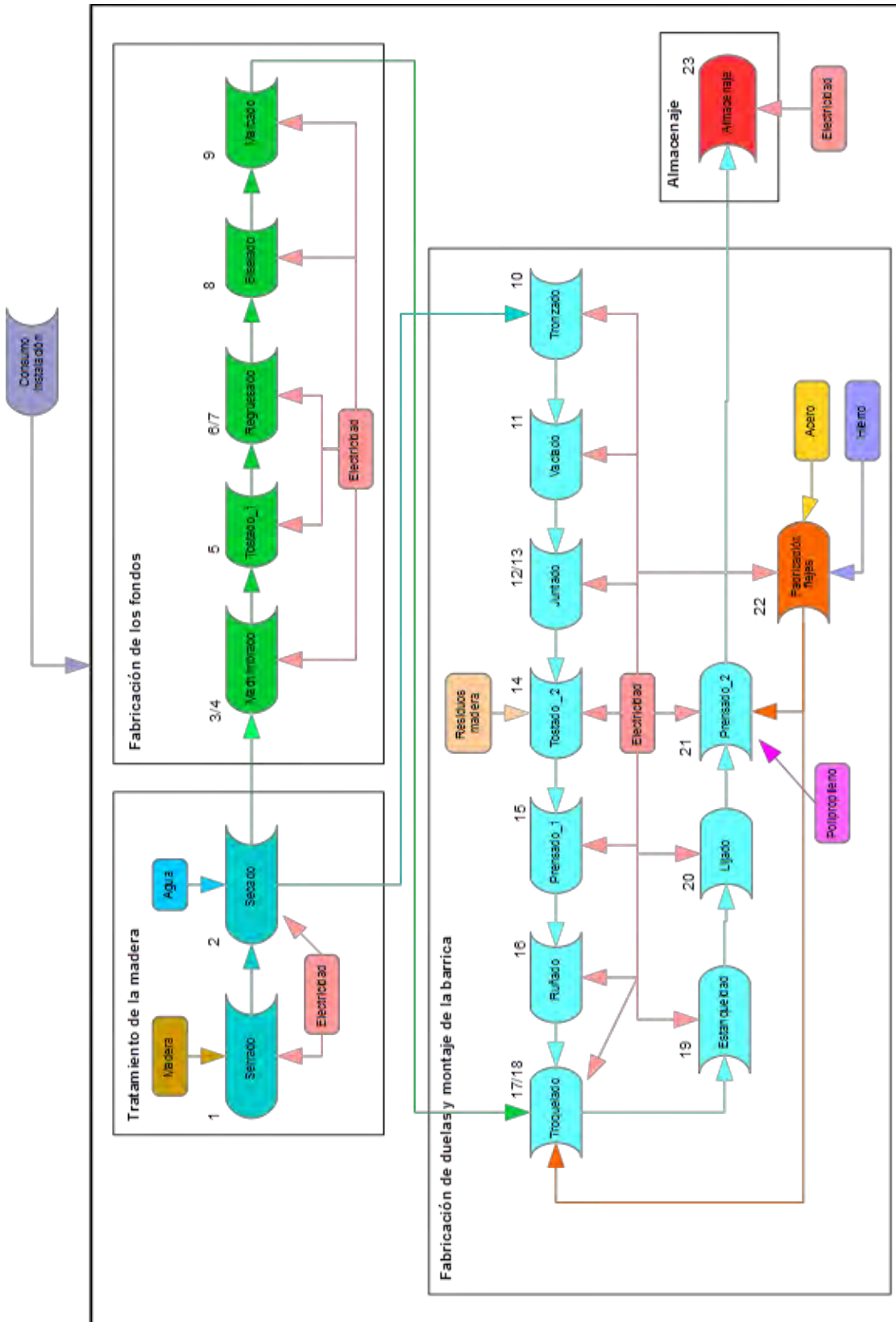


Figura 64: Diagrama de flujo

## 10.3. Resultados

A lo largo de este estudio se ha realizado un ACV con el fin de identificar los principales impactos ambientales durante la producción de barricas para el envejecimiento de vino, basado en enfoque de puerta a puerta (gate-to-gate). Se han analizado los impactos ambientales del proceso productivo con tres tipos de madera diferentes: Q. Robur, Q. Alba y Q. Petraea.

Para la realización del mismo se ha utilizado el software SimaPro 8.3 y se ha aplicado la metodología CML-IA baseline V3.04 / EU25 para el cálculo del impacto ambiental. La unidad funcional establecida para el ACV ha sido una barrica de roble estándar de 225 litros.

La presentación de los resultados del impacto ambiental obtenidos en este ACV, se van organizar de la siguiente forma: En primer lugar, se muestra el impacto ambiental global del producto en todas las categorías de impacto analizadas. Finalmente, se presentan los resultados de cada una de las fases de forma individual.

### 10.3.1. Análisis global del impacto ambiental

En la tabla 40 se presentan los resultados del impacto ambiental total del producto bajo estudio, en cada una de las categorías de impacto para los tres tipos de maderas analizadas. Además, se muestra el peso de cada una de las fases productivas consideradas en este ACV: tratamiento de la madera, fabricación de fondos, fabricación de duelas y montaje de la barrica, almacenaje y consumo general de la instalación.

Analizando las fases principales del proceso productivo de forma global se puede observar que el proceso con mayor impacto en casi todas las categorías analizadas es la fase 1 (tratamiento de la madera). Esto es debido a una mayor demanda y consumo de recursos energéticos de la estación de corte de la madera para la obtención de duelas y fondos.

El impacto ambiental de esta fase varía según la categoría de impacto desde un 58.21 % (Q. Alba), 58.25 % (Q. Robur) y 56.61 % (Q. Petraea) en la categoría de ecotoxicidad acuática



marina hasta un 71.04 % (Q. Alba) y 68.01 % (Q. Petraea) en la categoría de oxidación fotoquímica y 73.84 % (Q. Robur) en la categoría de agotamiento abiótico (ver tabla 40).

La única categoría de impacto en la que la fase 1 (tratamiento de la madera) no es la fase de mayor impacto es la categoría de ecotoxicidad acuática de agua dulce. En esta categoría la fase que tiene mayor impacto es la fase 3 (Fabricación de duelas y montaje de la barrica), con un impacto ambiental que supone el 70.11 % (Q. Alba), 69.14 % (Q. Robur) y 74.16 % (Q. Petraea) del total, debido a que la fabricación de flejes crea contaminantes que afectan a esta categoría.

Por el contrario, la fase que menos impacto tiene en casi todas las categorías de impacto es la fase de almacenaje debido a la menor demanda energética y de materiales durante dicho proceso. Los valores de impacto en esta fase son muy bajos en comparación con el resto de fases. Los valores de impacto varían entre el 0.13 % (Q. Alba), 0.11 % (Q. Robur) y 0.14 % (Q. Petraea) en la categoría de agotamiento abiótico (combustibles fósiles) y el 2.72 % (Q. Alba) y 2.78 % (Q. Petraea) en la categoría de ecotoxicidad terrestre y 2.68% (Q. Robur) en la categoría de acidificación (ver tabla 5). La fase con el valor de impacto más bajo para la categoría de agotamiento abiótico es la fase 2 (fabricación de fondos) con un valor del 0.21 % (Q. Alba, Q. Robur, Q. Petraea) (ver tabla 40).

Categoría impacto	Unidad	Q. Alba			Q. Robur			Q. Petraea			Común a Q. Alba, Q. Robur, Q. Petraea	
		Tratamiento madera	Fabricación fondos	Montaje barrica	Tratamiento madera	Fabricación fondos	Montaje barrica	Tratamiento madera	Fabricación fondos	Montaje barrica	Almacenaje	Consumo general
AD	kg Sb eq	1,33E-05	4,13E-08	5,66E-06	1,62E-05	4,56E-08	5,69E-06	1,00E-05	3,42E-08	5,84E-06	2,72E-10	2,36E-09
AD (FF)	MJ	1,37E+02	2,10E+00	5,74E+01	1,55E+02	2,28E+00	5,88E+01	1,05E+02	1,80E+00	6,47E+01	2,51E-01	2,18E+00
GWP	kg CO2 eq	5,20E+01	3,25E+00	9,62E+00	5,32E+01	3,26E+00	9,75E+00	4,95E+01	3,22E+00	1,03E+01	2,11E+00	1,84E+01
ODP	kg CFC-11 eq	3,58E-06	1,89E-07	6,53E-07	3,80E-06	1,90E-07	6,60E-07	3,30E-06	1,87E-07	6,89E-07	1,24E-07	1,07E-06
HT	kg 1,4-DB eq	1,06E+01	6,10E-01	2,80E+00	1,09E+01	6,15E-01	2,83E+00	9,86E+00	6,03E-01	2,99E+00	3,87E-01	3,37E+00
FWAE	kg 1,4-DB eq	3,35E+00	1,07E-01	9,02E+00	3,54E+00	1,12E-01	9,06E+00	2,72E+00	9,87E-02	9,23E+00	4,03E-02	3,51E-01
MAE	kg 1,4-DB eq	4,95E+04	3,24E+03	1,21E+04	4,98E+04	3,26E+03	1,23E+04	4,74E+04	3,20E+03	1,30E+04	2,08E+03	1,81E+04
TE	kg 1,4-DB eq	7,57E-01	4,88E-02	9,03E-02	7,81E-01	4,88E-02	9,06E-02	7,32E-01	4,87E-02	9,16E-02	3,32E-02	2,89E-01
PO	kg C2H4 eq	2,88E-02	1,11E-03	3,48E-03	3,21E-02	1,11E-03	3,51E-03	2,52E-02	1,10E-03	3,62E-03	7,36E-04	6,41E-03
AC	kg SO2 eq	4,43E-01	2,99E-02	6,95E-02	4,48E-01	2,99E-02	7,02E-02	4,30E-01	2,97E-02	7,30E-02	1,99E-02	1,73E-01
EU	kg PO4--- eq	3,72E-02	1,81E-03	9,78E-03	3,85E-02	1,84E-03	1,00E-02	3,30E-02	1,76E-03	1,11E-02	1,03E-03	8,97E-03

Tabla 40: Impacto Ambiental Global - Metodología CML

### **10.3.2. Análisis del impacto ambiental por fases**

A continuación se analiza cada una de las fases identificando cada una de las actividades consideradas en cada fase y su relevancia en el impacto ambiental de las diferentes categorías.

#### **10.3.2.1. Tratamiento de la madera**

En la fase de tratamiento de la madera se puede observar que la actividad con mayor impacto en todas las categorías es el serrado de la madera para la creación de duelas. Esto es debido a una mayor demanda y consumo de recursos energéticos de la estación de corte.

El impacto ambiental de esta fase varía según la categoría de impacto desde un 95.46 % (Q. Alba), 95.50 % (Q. Robur) y 95.31 % (Q. Petraea) en la categoría de acidificación hasta un 99.44 % (Q. Alba), 99.45 % (Q. Robur) y 99.12 (Q. Petraea) en la categoría de agotamiento abiótico (combustibles fósiles) (ver tabla 41).

Por el contrario, el secado de la madera posee unos impactos muy bajos en las categorías analizadas, debido a que la mayor parte de la demanda energética se produce en el proceso de corte. Los valores de impacto varían desde el 0.56 % (Q. Alba), 0.55 % (Q. Robur) y 0.88 % (Q. Petraea) hasta el 4.54 % (Q. Alba), 4.50 % (Q. Robur) y 4.69 % (Q. Petraea) en la categoría de agotamiento abiótico (combustibles fósiles) y acidificación respectivamente (ver tabla 41).

#### **10.3.2.2. Fabricación de fondos**

En la fase de Fabricación de fondos puede observarse que la actividad con mayor impacto en casi todas las categorías es el tostado de los fondos. Esto se debe a una mayor demanda y consumo de recursos energéticos del sistema durante la fase de tostado de la madera.

El impacto ambiental de esta fase varía según la categoría de impacto desde un 35.82 % (Q. Alba), 35.21 % (Q. Robur) y 36.88 % (Q. Petraea) en la categoría de eutrofización hasta un

42.78 % (Q. Alba), 42.75 % (Q. Robur) y 42.82 % (Q. Petraea) ecotoxicidad terrestre (ver tabla 42).

Las categorías de impacto en la que la fase de tostado de los fondos no tiene un mayor impacto, son las categorías de agotamiento abiótico con un porcentaje del 47.92 % (Q. Alba, Q. Robur y Q. Petraea), la categoría de agotamiento abiótico (combustibles fósiles) con un porcentaje de 41.16% (Q. Alba), 41.69 % (Q. Robur) y 40.04 % (Q. Petraea) y la categoría de ecotoxicidad acuática de agua dulce con un porcentaje de 32.31 % (Q. Alba), 32.46 % (Q. Robur) y 32.02 % (Q. Petraea) respectivamente.

El mayor impacto para las categorías de agotamiento abiótico lo encontramos en la fase de regresado de fondos, y para la categoría de ecotoxicidad acuática de agua dulce lo encontramos en la fase de biselado de fondos (ver tabla 42).

Por el contrario, el machimbrado de los fondos posee unos impactos bajos en casi todas las categorías analizadas, debido a que la mayor parte de la demanda energética y uso de materiales se produce en el tostado de los fondos.

Los valores de impacto varían desde el 6.77 % (Q. Alba), 6.78 % (Q. Robur) y 6.76 % (Q. Petraea) en la categoría de ecotoxicidad terrestre y el 16.38 % (Q. Alba, Q. Robur y Q. Petraea) en la categoría de agotamiento abiótico (ver tabla 6).

Los menores impactos para la categoría de agotamiento abiótico (combustibles fósiles) con valores del 2.01 % (Q. Alba), 1.85 % (Q. Robur) y 2.34 % (Q. Petraea) y la categoría de ecotoxicidad acuática de agua dulce 6.34% (Q. Alba), 6.06 % (Q. Robur) y 6.76 % (Q. Petraea), los encontramos en la fase de marcado de los fondos (ver tabla 42).

### **10.3.2.3. Fabricación de duelas y montaje de la barrica**

En la fase de fabricación de duelas y montaje de la barrica se puede observar que la actividad con mayor impacto en casi todas las categorías, es la fabricación de los flejes de sujeción de la barrica.

Se debe a una mayor demanda y consumo de recursos energéticos y de materiales durante la creación de los flejes de sujeción en comparación con el resto de actividades. El impacto ambiental de esta fase varía según la categoría de impacto desde un 31.12 % (Q. Alba), 30.82 % (Q. Robur) y 29.65 % (Q. Petraea) en la categoría de acidificación hasta un 98.26 % (Q. Alba) y 97.65 % (Q. Robur) en la categoría de agotamiento abiótico y 95.87 % (Q. Petraea) en la categoría de ecotoxicidad acuática de agua dulce (ver tabla 43).

La categoría de impacto en la que la fase de fabricación de flejes no tiene un mayor impacto, es la categoría de ecotoxicidad terrestre con un porcentaje del 27.23 % (Q. Alba), 27.16 % (Q. Robur) y 26.86 % (Q. Petraea) (ver tabla 43). La actividad con mayor impacto en esta categoría de impacto es la comprobación de estanqueidad de la barrica debido al consumo eléctrico asociado al uso de aire comprimido.

Por otro lado, el proceso con un menor impacto en casi todas sus categorías es el troquelado de las bocas, debido al menor consumo energético y de materiales en comparación con el resto de actividades. Los valores de impacto varían desde 9.18E-04 % en la categoría de agotamiento abiótico (combustibles fósiles) y el 0.08 % en la categoría de ecotoxicidad terrestre (Q. Alba). Analizando el Q. Robur y el Q. Petraea, los valores de impacto varían desde 3.94-04 % (Q. Robur) y 3.13-04 % (Q. Petraea) en la categoría de ecotoxicidad acuática de agua dulce y el 0.08 % (Q. Robur y Q. Petraea) en la categoría de ecotoxicidad terrestre (ver tabla 43).

La actividad con un menor impacto en la categoría de agotamiento abiótico es el ruñado de la barrica con un 0.02 % (Q. Alba y Q. Petraea) y 0.03 % (Q. Robur) (ver tabla 43).

### 10.3.2.4. Consumos generales

En la fase de consumos generales se puede observar que la actividad con mayor impacto en todas las categorías es la estación de aire comprimido. Esto es debido a una mayor demanda y consumo de recursos energéticos en esta fase. El impacto ambiental de esta fase supone el 63.27% (Q. Alba, Q. Robur y Q. Petraea) del total en todas las categorías de impacto analizadas (ver tabla 44).

Por el contrario, oficinas e instalaciones posee unos impactos muy bajos en las categorías analizadas, debido a que la mayor parte de la demanda energética se produce en la generación del aire comprimido para la instalación. En esta fase el impacto ambiental supone el 36.73% (Q. Alba, Q. Robur y Q. Petraea) del total en todas las categorías de impacto analizadas (ver tabla 44).

Categoría de impacto	Unidad	Q. Alba		Q. Robur		Q. Petraea	
		Serrado	Secado	Serrado	Secado	Serrado	Secado
AD	kg Sb eq	1,31E-05	2,09E-07	1,60E-05	1,79E-07	9,84E-06	1,99E-07
AD (FF)	MJ	1,37E+02	7,72E-01	1,54E+02	8,58E-01	1,04E+02	9,23E-01
GWP	kg CO <sub>2</sub> eq	4,99E+01	2,16E+00	5,10E+01	2,17E+00	4,73E+01	2,17E+00
ODP	kg CFC-11 eq	3,45E-06	1,28E-07	3,67E-06	1,29E-07	3,17E-06	1,30E-07
HT	kg 1,4-DB eq	1,02E+01	4,40E-01	1,05E+01	4,13E-01	9,45E+00	4,15E-01
FWAE	kg 1,4-DB eq	3,27E+00	7,33E-02	3,47E+00	6,94E-02	2,65E+00	7,25E-02
MAE	kg 1,4-DB eq	4,74E+04	2,14E+03	4,77E+04	2,15E+03	4,53E+04	2,16E+03
TE	kg 1,4-DB eq	7,24E-01	3,36E-02	7,47E-01	3,38E-02	6,98E-01	3,38E-02
PO	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	2,80E-02	7,51E-04	3,13E-02	7,53E-04	2,45E-02	7,55E-04
AC	kg SO <sub>2</sub> eq	4,23E-01	2,01E-02	4,28E-01	2,02E-02	4,10E-01	2,02E-02
EU	kg PO <sub>4</sub> --- eq	3,59E-02	1,34E-03	3,73E-02	1,16E-03	3,18E-02	1,17E-03

Tabla 41: Impacto ambiental fase “Tratamiento de la madera”, Metodología CML.

				Q. Robur							
Categoría impacto	Unidad	Q. Alba							Marcado		
		Machimbrado	Tostado_1	Regresado	Biselado	Marcado	Machimbrado	Tostado_1		Regresado	Biselado
AD	kg Sb eq	6,76E-09	1,71E-10	1,98E-08	1,47E-08	4,56E-11	7,46E-09	1,71E-10	2,18E-08	1,63E-08	4,56E-11
AD (FF)	MJ	3,08E-01	1,58E-01	8,64E-01	7,27E-01	4,21E-02	3,38E-01	1,58E-01	9,50E-01	7,91E-01	4,21E-02
GWP	kg CO2 eq	2,33E-01	1,33E+00	3,59E-01	9,68E-01	3,55E-01	2,36E-01	1,33E+00	3,67E-01	9,74E-01	3,55E-01
ODP	kg CFC-11 eq	1,35E-08	7,77E-08	2,06E-08	5,62E-08	2,08E-08	1,36E-08	7,77E-08	2,10E-08	5,66E-08	2,08E-08
HT	kg 1,4-DB eq	4,53E-02	2,43E-01	7,36E-02	1,83E-01	6,51E-02	4,61E-02	2,43E-01	7,58E-02	1,85E-01	6,51E-02
FWAE	kg 1,4-DB eq	1,18E-02	2,54E-02	2,85E-02	3,46E-02	6,78E-03	1,26E-02	2,54E-02	3,09E-02	3,64E-02	6,78E-03
MAE	kg 1,4-DB eq	2,37E+02	1,31E+03	3,75E+02	9,68E+02	3,49E+02	2,40E+02	1,31E+03	3,85E+02	9,75E+02	3,49E+02
TE	kg 1,4-DB eq	3,30E-03	2,09E-02	4,60E-03	1,44E-02	5,58E-03	3,31E-03	2,09E-02	4,62E-03	1,44E-02	5,58E-03
PO	kg C2H4 eq	7,76E-05	4,63E-04	1,15E-04	3,29E-04	1,24E-04	7,82E-05	4,63E-04	1,16E-04	3,31E-04	1,24E-04
AC	kg SO2 eq	2,08E-03	1,25E-02	3,06E-03	8,87E-03	3,34E-03	2,10E-03	1,25E-02	3,10E-03	8,90E-03	3,34E-03
EU	kg PO4--- eq	1,51E-04	6,48E-04	2,84E-04	5,53E-04	1,73E-04	1,56E-04	6,48E-04	2,99E-04	5,65E-04	1,73E-04

				Q. Petraea							
Categoría impacto	Unidad	Q. Alba							Marcado		
		Machimbrado	Tostado_1	Regresado	Biselado	Marcado	Machimbrado	Tostado_1		Regresado	Biselado
AD	kg Sb eq	5,60E-09	1,71E-10	1,64E-08	1,22E-08	4,56E-11	5,60E-09	1,71E-10	1,64E-08	1,22E-08	4,56E-11
AD (FF)	MJ	2,59E-01	1,58E-01	7,21E-01	6,20E-01	4,21E-02	2,59E-01	1,58E-01	6,20E-01	4,21E-02	4,21E-02
GWP	kg CO2 eq	2,29E-01	1,33E+00	3,46E-01	9,59E-01	3,55E-01	2,29E-01	1,33E+00	3,46E-01	9,59E-01	3,55E-01
ODP	kg CFC-11 eq	1,32E-08	7,77E-08	1,99E-08	5,57E-08	2,08E-08	1,32E-08	7,77E-08	1,99E-08	5,57E-08	2,08E-08
HT	kg 1,4-DB eq	4,40E-02	2,43E-01	6,99E-02	1,80E-01	6,51E-02	4,40E-02	2,43E-01	6,99E-02	1,80E-01	6,51E-02
FWAE	kg 1,4-DB eq	1,05E-02	2,54E-02	2,45E-02	3,16E-02	6,78E-03	1,05E-02	2,54E-02	2,45E-02	3,16E-02	6,78E-03
MAE	kg 1,4-DB eq	2,31E+02	1,31E+03	3,59E+02	9,56E+02	3,49E+02	2,31E+02	1,31E+03	3,59E+02	9,56E+02	3,49E+02
TE	kg 1,4-DB eq	3,29E-03	2,09E-02	4,58E-03	1,44E-02	5,58E-03	3,29E-03	2,09E-02	4,58E-03	1,44E-02	5,58E-03
PO	kg C2H4 eq	7,67E-05	4,63E-04	1,12E-04	3,27E-04	1,24E-04	7,67E-05	4,63E-04	1,12E-04	3,27E-04	1,24E-04
AC	kg SO2 eq	2,06E-03	1,25E-02	2,99E-03	8,82E-03	3,34E-03	2,06E-03	1,25E-02	2,99E-03	8,82E-03	3,34E-03
EU	kg PO4--- eq	1,42E-04	6,48E-04	2,59E-04	5,35E-04	1,73E-04	1,42E-04	6,48E-04	2,59E-04	5,35E-04	1,73E-04

Tabla 42: Impacto Ambiental Fase de Fabricación de fondos.

Metodología CML.

Q. Alba													
Categoría Impacto	Unidad	Tronzado	Vaciado	Juntado	Tostado_1	Prensado_1	Ruñado	Troquelado	Estanqueidad	Lijado	Prensado_2	Fabricación flejes	
AD	kg Sb eq	1,34E-11	3,71E-08	2,19E-08	1,14E-11	1,17E-10	1,40E-09	5,71E-13	2,01E-10	4,54E-09	3,38E-08	5,56E-06	
AD (FF)	MJ	1,24E-02	1,66E+00	9,97E-01	1,05E-02	1,08E-01	9,24E-02	5,27E-04	1,86E-01	2,16E-01	6,29E+00	4,78E+01	
GWP	kg CO2 eq	1,04E-01	9,94E-01	7,35E-01	8,89E-02	9,12E-01	2,90E-01	4,44E-03	1,57E+00	2,30E-01	4,00E-01	4,30E+00	
ODP	kg CFC-11 eq	6,09E-09	5,73E-08	4,25E-08	5,19E-09	5,33E-08	1,69E-08	2,60E-10	9,16E-08	1,34E-08	1,43E-08	3,53E-07	
HT	kg 1,4-DB eq	1,91E-02	1,97E-01	1,43E-01	1,63E-02	1,67E-01	5,36E-02	8,13E-04	2,87E-01	4,40E-02	4,93E-02	1,82E+00	
FWAE	kg 1,4-DB eq	1,99E-03	5,95E-02	3,80E-02	1,70E-03	1,74E-02	7,05E-03	8,48E-05	2,99E-02	9,35E-03	1,13E-02	8,85E+00	
MAE	kg 1,4-DB eq	1,02E+02	1,02E+03	7,47E+02	8,73E+01	8,96E+02	2,86E+02	4,37E+00	1,54E+03	2,32E+02	2,45E+02	6,98E+03	
TE	kg 1,4-DB eq	1,64E-03	1,37E-02	1,04E-02	1,39E-03	1,43E-02	4,47E-03	6,97E-05	2,46E-02	3,38E-03	3,37E-03	1,31E-02	
PO	kg C2H4 eq	5,63E-05	3,27E-04	2,44E-04	3,09E-05	3,18E-04	1,00E-04	1,55E-06	5,46E-04	7,79E-05	1,14E-04	1,69E-03	
AC	kg SO2 eq	9,81E-04	8,75E-03	6,56E-03	8,36E-04	8,58E-03	2,70E-03	4,18E-05	1,47E-02	2,09E-03	2,60E-03	2,16E-02	
EU	kg PO4---eq	5,09E-05	6,89E-04	4,79E-04	4,33E-05	4,45E-04	1,49E-04	2,17E-06	7,65E-04	1,37E-04	1,76E-04	6,84E-03	
Q. Robur													
Categoría Impacto	Unidad	Tronzado	Vaciado	Juntado	Tostado_1	Prensado_1	Ruñado	Troquelado	Estanqueidad	Lijado	Prensado_2	Fabricación flejes	
AD	kg Sb eq	2,79E-08	2,42E-08	4,09E-08	1,14E-11	1,17E-10	1,54E-09	1,12E-11	2,01E-10	5,01E-09	3,38E-08	5,56E-06	
AD (FF)	MJ	1,19E+00	1,09E+00	1,82E+00	1,05E-02	1,08E-01	9,85E-02	1,03E-02	1,86E-01	2,35E-01	6,29E+00	4,78E+01	
GWP	kg CO2 eq	2,10E-01	7,43E-01	1,01E+00	8,89E-02	9,12E-01	2,90E-01	5,33E-03	1,57E+00	2,32E-01	4,00E-01	4,30E+00	
ODP	kg CFC-11 eq	1,17E-08	4,29E-08	5,80E-08	5,19E-09	5,33E-08	1,69E-08	3,06E-10	9,16E-08	1,35E-08	1,43E-08	3,53E-07	
HT	kg 1,4-DB eq	4,95E-02	1,46E-01	2,01E-01	1,63E-02	1,67E-01	5,37E-02	1,07E-03	2,87E-01	4,45E-02	4,93E-02	1,82E+00	
FWAE	kg 1,4-DB eq	3,45E-02	4,06E-02	6,40E-02	1,70E-03	1,74E-02	7,22E-03	3,57E-04	2,99E-02	9,90E-03	1,13E-02	8,85E+00	
MAE	kg 1,4-DB eq	2,38E+02	7,58E+02	1,04E+03	8,73E+01	8,96E+02	2,87E+02	5,50E+00	1,54E+03	2,34E+02	2,45E+02	6,98E+03	
TE	kg 1,4-DB eq	1,84E-03	1,04E-02	1,37E-02	1,39E-03	1,43E-02	4,47E-03	7,14E-05	2,46E-02	3,38E-03	3,37E-03	1,31E-02	
PO	kg C2H4 eq	5,86E-05	2,46E-04	3,30E-04	3,09E-05	3,18E-04	1,00E-04	1,73E-06	5,46E-04	7,83E-05	1,14E-04	1,69E-03	
AC	kg SO2 eq	1,53E-03	6,60E-03	8,82E-03	8,36E-04	8,58E-03	2,70E-03	4,64E-05	1,47E-02	2,10E-03	2,60E-03	2,16E-02	
EU	kg PO4---eq	2,56E-04	4,96E-04	7,17E-04	4,33E-05	4,45E-04	1,50E-04	3,89E-06	7,65E-04	1,41E-04	1,76E-04	6,84E-03	



Q. Petraera

Categoría impacto	Unidad	Tronzado	Vaciado	Juntado	Tostado_1	Prensado_1	Ruñado	Troquelado	Estanqueidad	Lijado	Prensado_2	Fabricación flejes
AD	kg Sb eq	2,10E-08	3,07E-08	1,81E-08	1,14E-11	1,17E-10	1,16E-09	8,53E-12	2,01E-10	1,69E-07	3,38E-08	5,56E-06
AD (FF)	MJ	8,92E-01	1,39E+00	8,39E-01	1,05E-02	1,08E-01	8,23E-02	7,88E-03	1,86E-01	7,13E+00	6,29E+00	4,78E+01
GWP	kg CO2 eq	1,84E-01	9,70E-01	7,20E-01	8,89E-02	9,12E-01	2,89E-01	5,11E+03	1,57E+00	8,56E-01	4,00E-01	4,30E+00
ODP	kg CFC-11 eq	1,03E-08	5,60E-08	4,17E-08	5,19E-09	5,33E-08	1,68E-08	2,95E-10	9,16E-08	4,64E-08	1,43E-08	3,53E-07
HT	kg 1,4-DB eq	4,19E-02	1,90E-01	1,39E-01	1,63E-02	1,67E-01	5,33E-02	1,00E-03	2,87E-01	2,23E-01	4,93E-02	1,82E+00
FWAE	kg 1,4-DB eq	2,64E-02	5,20E-02	3,36E-02	1,70E-03	1,74E-02	6,77E-03	2,89E-04	2,99E-02	2,01E-01	1,13E-02	8,85E+00
MAE	kg 1,4-DB eq	2,04E-02	9,87E-02	7,28E-02	8,73E+01	8,96E+02	2,85E+02	5,22E+00	1,54E+03	1,03E+03	2,45E+02	6,98E+03
TE	kg 1,4-DB eq	1,79E-03	1,36E-02	1,04E-02	1,39E-03	1,43E-02	4,47E-03	7,10E-05	2,46E-02	4,57E-03	3,37E-03	1,31E-02
PO	kg C2H4 eq	5,30E-05	3,22E-04	2,41E-04	3,09E-05	3,18E-04	9,99E-05	1,69E-06	5,46E-04	2,09E-04	1,14E-04	1,69E-03
AC	kg SO2 eq	1,39E-03	8,62E-03	6,48E-03	8,36E-04	8,58E-03	2,70E-03	4,52E-05	1,47E-02	5,32E-03	2,60E-03	2,16E-02
EU	kg PO4--- eq	2,05E-04	6,42E-04	4,51E-04	4,33E-05	4,45E-04	1,47E-04	3,46E-06	7,65E-04	1,35E-03	1,76E-04	6,84E-03

Tabla 43: Impacto Ambiental Fase de Montaje de la barrica.

Metodología CML.

Categoría de impacto	Unidad	Aire comprimido	Oficinas e instalaciones
AD	kg Sb eq	1,49E-09	8,76E-10
AD (FF)	MJ	1,38E+00	8,01E-01
GWP	kg CO2 eq	1,16E+01	6,76E+00
ODP	kg CFC-11 eq	6,80E-07	3,95E-07
HT	kg 1,4-DB eq	2,13E+00	1,24E+00
FWAE	kg 1,4-DB eq	2,22E-01	1,29E-01
MAE	kg 1,4-DB eq	1,14E+04	6,64E+03
TE	kg 1,4-DB eq	1,83E-01	1,06E-01
PO	kg C2H4 eq	4,05E-03	2,35E-03
AC	kg SO2 eq	1,09E-01	6,35E-02
EU	kg PO4--- eq	5,68E-03	3,30E-03

Tabla 44: Impacto ambiental fase “Consumos generales”, Metodología CML.

## 10.4. Conclusiones

A lo largo de este estudio, sea presentado el análisis de ciclo de vida de la puerta a la puerta del proceso completo de la producción de barricas para el envejecimiento de vino.

El ACV se ha desarrollado en base a los datos reales de una planta de producción durante un año. De tal forma que se ha podido obtener una información precisa del impacto ambiental de las diferentes actividades individuales que definen el proceso productivo.

Analizando las fases principales del proceso productivo de forma global se puede observar que el proceso con mayor impacto en casi todas las categorías analizadas es el tratamiento de la madera. Esto es debido a una mayor demanda y consumo de recursos energéticos de la estación de corte de la madera para la obtención de duelas y fondos.

En la fase de tratamiento de la madera se puede observar que la actividad con mayor impacto en todas las categorías es el serrado de la madera para la creación de duelas. Esto es debido a una mayor demanda y consumo de recursos energéticos de la estación de corte.

En la fase de fabricación de fondos se puede observar que la actividad con mayor impacto en casi todas las categorías es el tostado de los fondos. Esto se debe a una mayor

demanda y consumo de recursos energéticos del sistema durante la fase de tostado de la madera. Las categorías de impacto en la que la fase de tostado de los fondos no tiene un mayor impacto, son las categorías de agotamiento abiótico, agotamiento abiótico (combustibles fósiles) y ecotoxicidad acuática de agua. El mayor impacto para las categorías de agotamiento abiótico lo encontramos en la fase de regruesado de fondos, y para la categoría de ecotoxicidad acuática de agua dulce lo encontramos en la fase de biselado de fondos.

En la fase de fabricación de fondos y montaje de la barrica se puede observar que la actividad con mayor impacto en casi todas las categorías, es la fabricación de los flejes de sujeción de la barrica. Se debe a una mayor demanda y consumo de recursos energéticos y de materiales durante la creación de los flejes de sujeción en comparación con el resto de actividades. La categoría de impacto en la que la fase de fabricación de flejes no tiene un mayor impacto, es la categoría de ecotoxicidad terrestre. La actividad con mayor impacto en esta categoría de impacto es la comprobación de estanqueidad de la barrica.

En la fase de consumos generales se puede observar que la actividad con mayor impacto en todas las categorías es la estación de aire comprimido. Esto es debido a una mayor demanda y consumo de recursos energéticos en esta fase.

## 10.5. Referencias

1. Ortega-Heras, M., et al., Changes in wine volatile compounds of varietal wines during ageing in wood barrels. *Analytica Chimica Acta*, 2004. 513(1): p. 341-350.
2. Cernișev, S., Analysis of lignin-derived phenolic compounds and their transformations in aged wine distillates. *Food Control*, 2017. 73: p. 281-290.
3. Gutiérrez Afonso, V.L., Sensory Descriptive Analysis between white wines fermented with oak chips and in barrels. *Journal of Food Science*, 2002. 67(6): p. 2415-2419.
4. Izquierdo-Cañas, P.M., A. Mena-Morales, and E. García-Romero, Malolactic fermentation before or during wine aging in barrels. *LWT - Food Science and Technology*, 2016. 66: p. 468-474.
5. Rodríguez-Solana, R., et al., Optimisation of accelerated ageing of grape marc distillate on a micro-scale process using a Box–Behnken design: influence of oak origin, fragment size and toast level on the composition of the final product. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2017. 23(1): p. 5-14.
6. Fernández De Simón, B., et al., Volatile compounds and sensorial characterisation of red wine aged in cherry, chestnut, false acacia, ash and oak wood barrels. *Food Chemistry*, 2014. 147: p. 346-356.
7. Panakhov, T.M., Prospects of using oak wood integrated processing products in winemaking, dealing with shortcomings on the base of implementing oak wood derivative products. *Indian Journal of Science and Technology*, 2016. 9(22).
8. Prida, A. and P. Chatonnet, Impact of oak-derived compounds on the olfactory perception of barrel-aged wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 2010. 61(3): p. 408-413.

9. Rosso, M.D., et al., Changes in chemical composition of a red wine aged in acacia, cherry, chestnut, mulberry, and oak wood barrels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009. 57(5): p. 1915-1920.
10. Canas, S., et al., Physicochemical and sensory evaluation of wine brandies aged using oak and chestnut wood simultaneously in wooden barrels and in stainless steel tanks with staves. *International Journal of Food Science and Technology*, 2016. 51(12): p. 2537-2545.
11. Gambetta, J.M., et al., Factors influencing the aroma composition of chardonnay wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014. 62(28): p. 6512-6534.
12. González-Marco, A., N. Jiménez-Moreno, and C. Ancín-Azpilicueta, Concentration of volatile compounds in Chardonnay wine fermented in stainless steel tanks and oak barrels. *Food Chemistry*, 2008. 108(1): p. 213-219.
13. Loupassaki, S., et al., Evolution pattern of wood-related volatiles during traditional and artificial ageing of commercial red and white wines: Association with sensory analysis. *International Food Research Journal*, 2016. 23(4): p. 1459-1465.
14. Sánchez-Palomo, E., et al., Improvement of Verdejo white wines by contact with oak chips at different winemaking stages. *LWT - Food Science and Technology*, 2017. 79: p. 111-118.
15. Garde-Cerdán, T. and C. Ancín-Azpilicueta, Review of quality factors on wine ageing in oak barrels. *Trends in Food Science and Technology*, 2006. 17(8): p. 438-447.
16. Cerdán, T.G., D.T. Goñi, and C.A. Azpilicueta, Accumulation of volatile compounds during ageing of two red wines with different composition. *Journal of Food Engineering*, 2004. 65(3): p. 349-356.
17. Del Alamo-Sanza, M. and I. Nevares, Recent advances in the evaluation of the oxygen transfer rate in oak barrels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014. 62(35): p. 8892-8899.

18. Gómez García-Carpintero, E., et al., Impact of alternative technique to ageing using oak chips in alcoholic or in malolactic fermentation on volatile and sensory composition of red wines. *Food Chemistry*, 2012. 134(2): p. 851-863.
19. Nevares, I. and M. Del Alamo-Sanza, Oak stave oxygen permeation: A new tool to make barrels with different wine oxygenation potentials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015. 63(4): p. 1268-1275.
20. Del Alamo-Sanza, M., L.M. Cárcel, and I. Nevares, Characterization of the oxygen transmission rate of oak wood species used in cooperage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017. 65(3): p. 648-655.
21. Oberholster, A., et al., Barrel maturation, oak alternatives and micro-oxygenation: Influence on red wine aging and quality. *Food Chemistry*, 2015. 173: p. 1250-1258.
22. Pérez-Juan, P.M. and M.D. Luque de Castro, Use of Oak Wood to Enrich Wine with Volatile Compounds, in *Processing and Impact on Active Components in Food*. 2014. p. 471-481.
23. Rodríguez-Rodríguez, P., A.B. Bautista-Ortín, and E. Gómez-Plaza, Increasing wine quality through the use of oak barrels: Factors that will influence aged wine color and aroma, in *Wine: Types, Production and Health*. 2012. p. 301-317.
24. Petit, E., et al., About the impact of oak ellagitannins on wine odoriferous thiols under acidic and oxidation conditions. *Tetrahedron*, 2015. 71(20): p. 2991-2998.
25. Baro, J.A., et al. Biofilm monitoring of dissolved oxygen in wine aging barrel wood with optical chemical sensors. in *Conference Record - IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*. 2016.
26. Guchu, E., et al., Volatile composition and sensory characteristics of Chardonnay wines treated with American and Hungarian oak chips. *Food Chemistry*, 2006. 99(2): p. 350-359.

27. Jarauta, I., J. Cacho, and V. Ferreira, Concurrent phenomena contributing to the formation of the aroma of wine during aging in oak wood: An analytical study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005. 53(10): p. 4166-4177.
28. Kozlovic, G., et al., Use of acacia barrique barrels - Influence on the quality of Malvazija from Istria wines. *Food Chemistry*, 2010. 120(3): p. 698-702.
29. Rodríguez-Bencomo, J.J., et al., Volatile compounds of red wines macerated with Spanish, American, and French Oak chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009. 57(14): p. 6383-6391.
30. Masson, E., et al., The effect of kiln-drying on the levels of ellagitannins and volatile compounds of European oak (*Quercus petraea* Liebl.) stave wood. *American Journal of Enology and Viticulture*, 2000. 51(3): p. 201-214.
31. Glabasnia, A. and T. Hofmann, Identification and sensory evaluation of dehydro- and deoxy-ellagitannins formed upon toasting of oak wood (*Quercus alba* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007. 55(10): p. 4109-4118.
32. Rodríguez-Rodríguez, P. and E. Gómez-Plaza, Effect of volume and toast level of french oak barrels (*Quercus petraea* L.) on cabernet sauvignon wine characteristics. *American Journal of Enology and Viticulture*, 2011. 62(3): p. 359-365.
33. Collins, T.S., et al., Targeted volatile composition of oak wood samples taken during toasting at a commercial cooperage. *Tetrahedron*, 2015. 71(20): p. 2971-2982.
34. Hale, M.D., et al., The influence of oak seasoning and toasting parameters on the composition and quality of wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 1999. 50(4): p. 495-502.
35. Koussissi, E., et al., Influence of toasting of oak chips on red wine maturation from sensory and gas chromatographic headspace analysis. *Food Chemistry*, 2009. 114(4): p. 1503-1509.

36. Pérez-Prieto, L.J., et al., Extraction and formation dynamic of oak-related volatile compounds from different volume barrels to wine and their behavior during bottle storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003. 51(18): p. 5444-5449.
37. Carneiro, M.L.N.M., et al., Potential of biofuels from algae: Comparison with fossil fuels, ethanol and biodiesel in Europe and Brazil through life cycle assessment (LCA). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. 73: p. 632-653.
38. Leiva, F.J., et al., Environmental impact of *Agaricus bisporus* cultivation process. *European Journal of Agronomy*, 2015. 71: p. 141-148.
39. Lorenz, E., Life-cycle assessment in U.S. codes and standards. *PCI Journal*, 2014. 59(1): p. 49-54.
40. Moore, A.D., et al., Life cycle assessment of domestic hot water systems in Australia. *Renewable Energy*, 2017. 103: p. 187-196.
41. Morris, D.M., et al., Nutrient retention and leaching potential of coarse wood bolts collected from logged and burned upland boreal sites: A greenhouse misting experiment. *Boreal Environment Research*, 2015. 20(1): p. 45-61.
42. Martínez, E., et al., Life-cycle assessment of a 2-MW rated power wind turbine: CML method. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2009. 14(1): p. 52-63.
43. Rebitzer, G., et al., Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, 2004. 30(5): p. 701-720.
44. Garofalo, P., et al., Environmental sustainability of agri-food supply chains in Italy: The case of the whole-peeled tomato production under life cycle assessment methodology. *Journal of Food Engineering*, 2017. 200: p. 1-12.



45. Azzouz, A., et al., Life cycle assessment of energy conservation measures during early stage office building design: A case study in London, UK. *Energy and Buildings*, 2017. 139: p. 547-568.
46. Leiva, F., et al., Environmental impact of mushroom compost production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016. 96(12): p. 3983-3990.
47. Wang, J., et al., Life cycle assessment (LCA) optimization of solar-assisted hybrid CCHP system. *Applied Energy*, 2015. 146: p. 38-52.
48. Notarnicola, B., et al., Progress in working towards a more sustainable agri-food industry. *Journal of Cleaner Production*, 2012. 28: p. 1-8.
49. Yang, Y. and J.E. Campbell, Improving attributional life cycle assessment for decision support: The case of local food in sustainable design. *Journal of Cleaner Production*, 2017. 145: p. 361-366.
50. Cespi, D., et al., Life cycle inventory improvement in the pharmaceutical sector: Assessment of the sustainability combining PMI and LCA tools. *Green Chemistry*, 2015. 17(6): p. 3390-3400.
51. Falcone, G., et al., Integrated sustainability appraisal of wine-growing management systems through LCA and LCC Methodologies, in *Chemical Engineering Transactions* 2015. p. 223-228.
52. Wang, X., et al., Efficiency and sustainability analysis of biogas and electricity production from a large-scale biogas project in China: An emergy evaluation based on LCA. *Journal of Cleaner Production*, 2014. 65: p. 234-245.
53. Angelo, A.C.M., et al., Life Cycle Assessment and Multi-criteria Decision Analysis: Selection of a strategy for domestic food waste management in Rio de Janeiro. *Journal of Cleaner Production*, 2017. 143: p. 744-756.

## 11. Análisis del impacto ambiental de la vinificación con barrica de roble

---

## 11.1 Introducción y antecedentes

En el apartado anterior hemos analizado el impacto ambiental de la fabricación de una barrica de roble estándar de 225 l. en roble americano (Q. Alba), roble francés (Q. Peatrea) y roble europeo (Q. Robur).

En este apartado estudiaremos como la utilización de estas barricas influye en el impacto ambiental de los vinos elaborados con dichas barricas.

Para ello utilizaremos como estándar la barrica de Roble Americano (Q. Alba). Hemos escogido esta barrica por ser la que menor impacto ambiental tiene en el apartado anterior, así como un menor precio de venta tiene en el mercado.

De esta forma, con el objetivo de analizar comparativamente el impacto de diferentes barricas, hemos considerado diferentes volúmenes de barrica habitualmente utilizados en vinificaciones; barrica de 228 l., barrica de 300 l. y barrica de 500 l.

La barrica de 225 l. será analizada en el capítulo 12, en la cual se estudiará el impacto ambiental relativo de la vinificación con esta barrica y con una barrica análoga en la cual hemos aplicado una renovación mediante inserción de duelillas tostadas.

Para el presente capítulo, entendemos que resultará mucho más representativo el volumen de proceso en cada barrica que el propio impacto de fabricación dado que el volumen de materias primas empleado por litro contenido no siguen una progresión paralela.

Es por ello que, en caso de que al técnico o enólogo le resultase interesante por motivos ambientales o económicos utilizar barricas de Q. Alba renovadas, también le resultaría interesante atendiendo a los mismos criterios renovar sus barricas de Q. Robur y Q. Peatrea.

Asimismo, al trabajar sobre diferentes volúmenes de barricas, resultará sencillo tomar decisiones respecto del impacto ambiental de estos volúmenes de barricas.

La metodología utilizada será análoga a la del apartado del presente capítulo.

## 11.2 Materiales y métodos

### 11.2.1 Objetivos y alcance

Se ha realizado un análisis de puerta a puerta (gate-to-gate) estudiando todos los procesos productivos, identificando en cada uno de ellos los materiales utilizados, recursos energéticos y flujos de proceso hasta la creación de la unidad funcional final.

Las fases del ciclo de vida consideradas en el estudio abarcan desde el aporte de materiales hasta el almacenamiento del producto final, con el objetivo de identificar las actividades críticas dentro del proceso de producción.

Para realizar el modelo de ACV se ha optado por el software Simapro y la metodología de cálculo CML 2000 Leiden. Como categorías de impacto se han seleccionado las siguientes: Abiotic Depletion (AD); Global Warming-GWP100 (GW); ozone layer depletion (OLD); human toxicity (HT); fresh water aquatic ecotoxicity (FWAE); marine aquatic ecotoxicity (MAE); terrestrial ecotoxicity (TE); photochemical oxidation (PO); acidification (AC); eutrophication (EU).

### 11.2.2. Unidad funcional

La unidad funcional se ha definido como el envejecimiento de un litro de vino envejecido durante cuatro meses en barrica de roble de la variedad Quercus Alba.

Se ha decidido esta unidad dado que por término medio los vinos permanecen 4 meses en una barrica antes de que el vino sea extraído para limpieza de barricas, homogeneización del vino, potenciales “coupages” y nuevo llenado de la barrica.

### 11.2.3. Límites del sistema

Se han establecido unos los límites de actuación para el estudio. Dichos límites del modelo de ACV analizado abarcan la producción de barricas de la variedad Quercus Alba y el envejecimiento de vino durante cuatro meses (ver Figura 65).

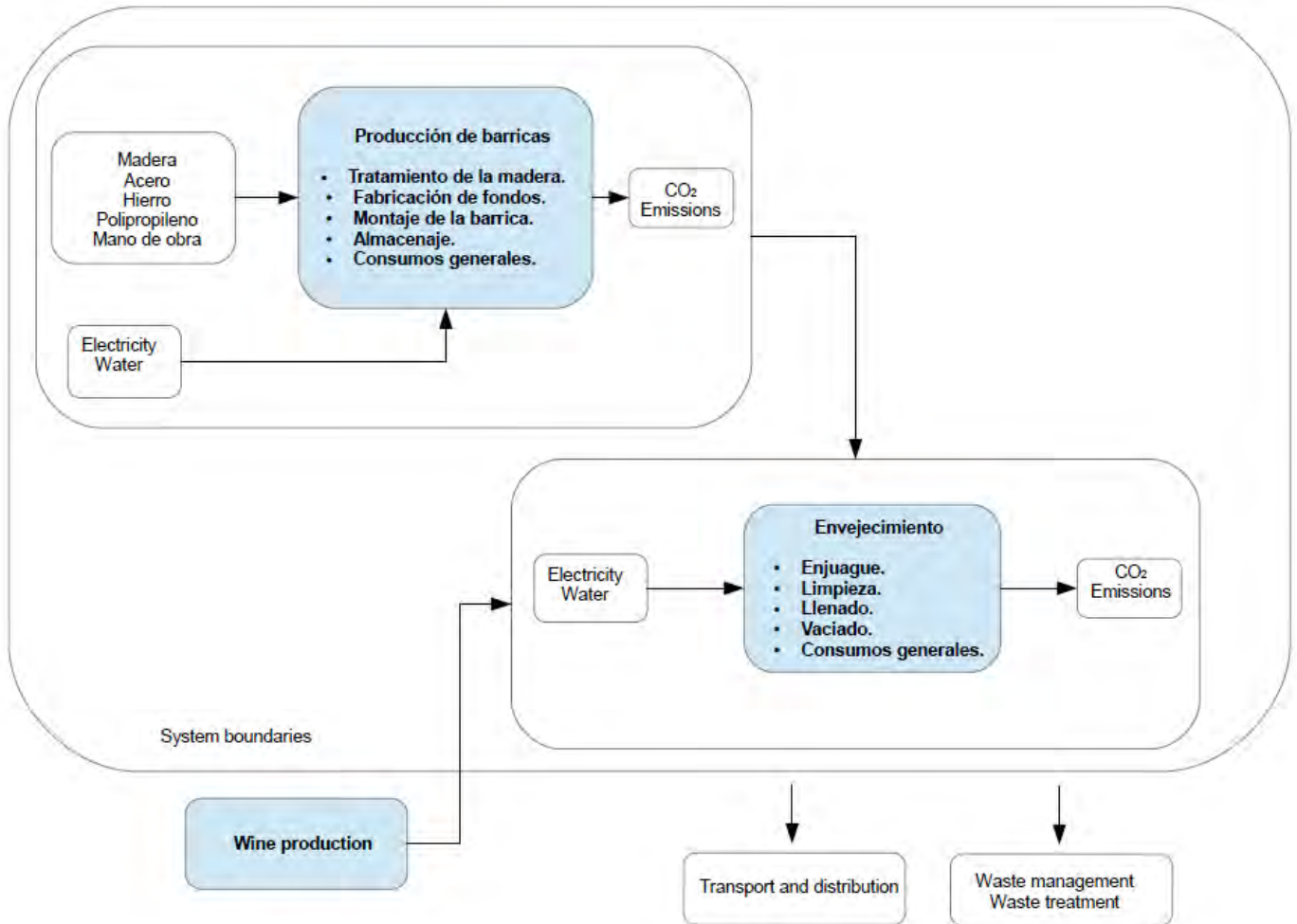


Figura 65: Límites del sistema

Las siguientes actividades se han incluido dentro de los límites del sistema:

- El consumo de electricidad de los equipos y de la maquinaria utilizada en la planta para la producción de barricas.
- Consumos de la planta para tareas ubicadas fuera del proceso productivo.

- Los transportes intermedios existentes entre las diferentes fases del proceso productivo de barricas y de envejecimiento.
- Emisiones producidas por la mano de obra en la línea de producción.
- Montaje completo de la unidad funcional.
- Los recursos utilizados a lo largo de todo el proceso productivo.
- Labores de llenado, limpieza y vaciado de las barricas en la fase de envejecimiento.

Por el contrario, las siguientes actividades están fuera de estos límites:

- El transporte de las entradas a las plantas objeto de estudio.
- El transporte de las barricas desde la planta de producción hasta la fase de envejecimiento.
- La instalación y desmantelamiento de las plantas de producción y envejecimiento.
- Labores de mantenimiento de la maquinaria e instalaciones objeto de estudio.
- Gestión y tratamiento de residuos producidos en la fase de producción de barricas y en la fase de envejecimiento.
- Distribución final.
- Transporte de la barrica a la fase de envejecimiento.
- Elaboración del vino a envejecer.

#### 11.2.4. Suposiciones

Todas las entradas al proceso productivo de la barrica consideradas en el estudio tienen las mismas características permaneciendo constantes a lo largo del estudio realizado.

Se considera que el tiempo de limpieza en la fase de envejecimiento es el mismo para los tipos de barrica analizados.

Los residuos de madera producidos a lo largo del proceso productivo de las barricas serán reutilizados para las labores de tostado.

Para las tareas de enjuague y limpieza se utilizará un sistema de limpieza alimentado únicamente con agua.

La duración del proceso de limpieza es constante para las barricas analizadas.

### **11.2.5. Inventario**

Para el presente estudio se ha realizado un estudio del análisis del ciclo de vida del proceso de envejecimiento de vino en una barrica de roble de la variedad *Quercus Alba* con una duración de 4 meses.

El inventario está realizado conforme a los datos proporcionados y recolectados durante la fase de envejecimiento para tres tipos de barricas (228, 300 y 500 litros).

El proceso ha sido dividido en dos fases principales (ver figura 66):

- Proceso de fabricación de la barrica: Incluye las fases de tratamiento de la madera (cortado y serrado de la madera para la obtención de duelas), fabricación de los fondos de la barrica y montaje final de la barrica (montaje de los fondos y de las duelas).
- Proceso de envejecimiento del vino: Incluye las fases de llenado y vaciado de la barrica con el vino a envejecer y las labores de limpieza (enjuague y limpieza) para la reutilización de las barricas.

#### **11.2.5.1. Proceso de fabricación de barricas**

La primera fase del proceso es el proceso de fabricación de barricas. Este proceso incluye el tratamiento de la madera para la obtención de las duelas y de los fondos que serán utilizadas en el montaje de la barrica, la fabricación de los fondos donde se crean los fondos que van a ser utilizados en el montaje final de la barrica junto con las duelas y el montaje de la barrica en la cual se montan las duelas y los fondos previamente creados para la finalización de la barrica. Los materiales y recursos utilizados durante esta fase se listan en la tabla 45.

- Madera: Se utilizan troncos de madera de roble de la variedad Q. Alba para la obtención de las duelas y fondos medido en toneladas.
- Consumo eléctrico: Consumo medido en kWh.
- Consumo de agua: Consumo medido en m<sup>3</sup>.
- Mano de obra: Tiempo de trabajo medido en h.
- Polipropileno: Flejes de polipropileno utilizado en el montaje de la barrica medido en kg.
- Tornillos: Acero utilizado para la fabricación de flejes medido en kg.
- Remaches: Acero utilizado para la fabricación de flejes medido en kg.

Materia prima	228 litros	300 litros	500 litros
Madera (ton)	7,54E-05	4,34E-05	2,63E-05
Energía eléctrica (kWh)	2,91E-02	1,97E-02	1,46E-02
Agua (m <sup>3</sup> )	1,71E-05	1,27E-05	1,01E-05
Mano de obra (h)	1,06E-03	8,05E-04	8,13E-04
Polipropileno (kg)	2,18E-05	1,26E-05	7,61E-06
Hierro (kg)	6,88E-05	3,96E-05	2,40E-05
Acero (kg)	2,22E-03	1,39E-03	9,29E-04

Tabla 45: Datos de inventario de la fase fabricación de la barrica

### 11.2.5.2. Proceso de envejecimiento



La segunda fase del proceso es el envejecimiento del vino en barricas. Este proceso tiene una duración de cuatro meses hasta el que vino es movido a otra barrica para continuar el proceso de envejecimiento. Esta fase incluye las labores de limpieza, el llenado y vaciado de las barricas hasta completar el proceso de envejecimiento o hasta el fin de vida de la barrica según el criterio de cada productor. Los materiales y recursos utilizados durante esta fase se listan en la tabla 46.

- Consumo eléctrico: Consumo medido en kWh.
- Consumo de agua: Consumo medido en m<sup>3</sup>.

<b>Materia prima</b>	<b>228 litros</b>	<b>300 litros</b>	<b>500 litros</b>
Energía eléctrica (kWh)	6,41E-03	4,91E-03	3,11E-03
Agua (m <sup>3</sup> )	5,48E-04	5,48E-04	5,48E-04

*Tabla 46: Datos de inventario de la fase de envejecimiento*

A continuación mostraremos el diagrama de flujo que en este caso segregaremos en fabricación de la barrica y envejecimiento.

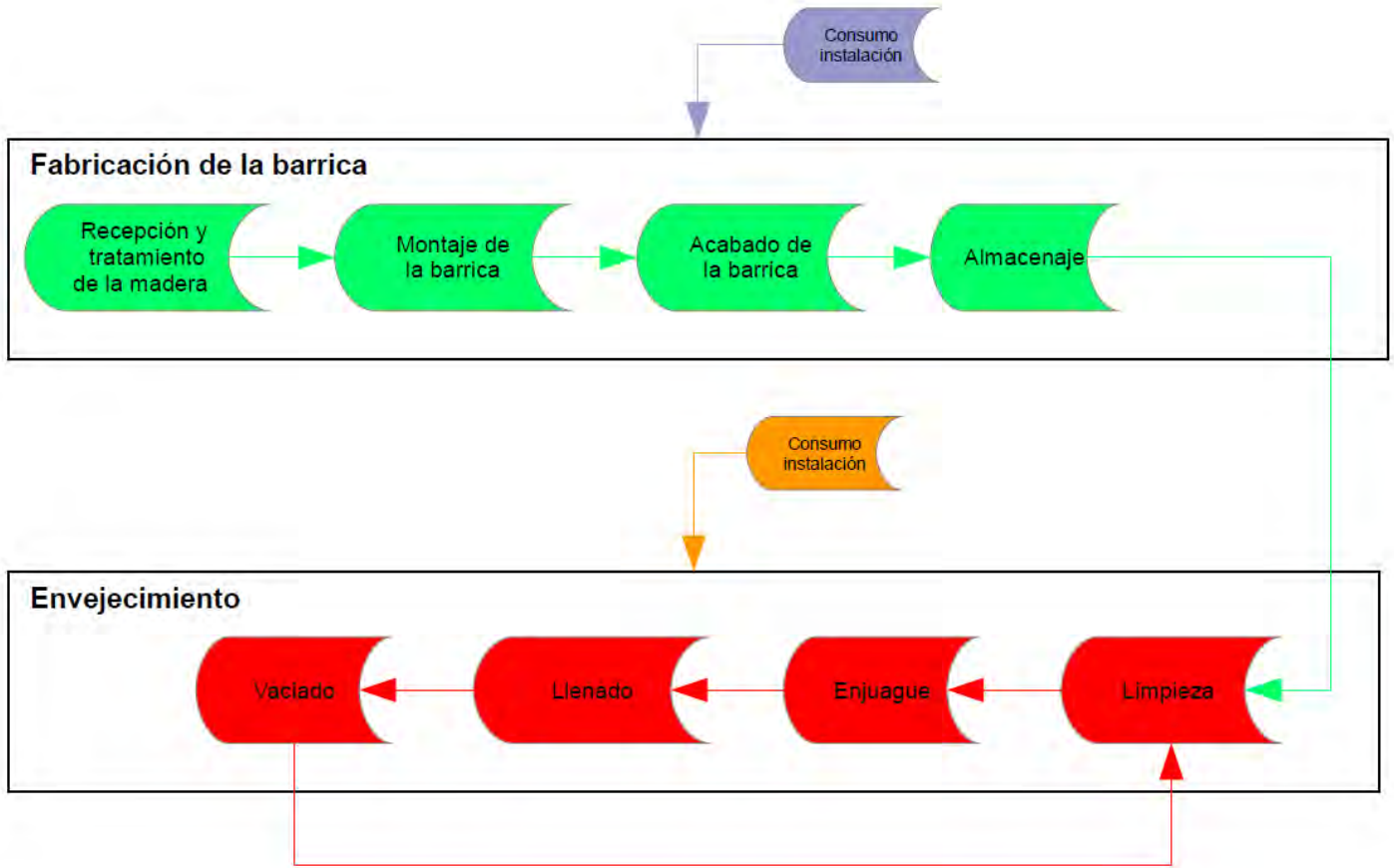


Figura 66. Diagrama de flujo

## 11.3. Resultados

En el presente capítulo se ha llevado a cabo un análisis del ciclo de vida para la identificación de los impactos ambientales de la unidad funcional analizada utilizando barricas de diferentes capacidades (228, 300 y 500 litros). Para el análisis se ha utilizado el enfoque puerta a puerta.

Para llevar a cabo el análisis se ha utilizado el software SimaPro 7.1 aplicando la metodología CML Leiden 2000 para el cálculo del impacto ambiental de la unidad funcional establecida para el ACV.

### 11.3.1. Análisis global del impacto ambiental

El proceso se divide en dos fases principales: fabricación de barricas y envejecimiento. A su vez, la fabricación de barricas posee cinco procesos principales: tratamiento de la madera, montaje de la barrica, acabado de la barrica, almacenaje y consumos generales de la instalación, que van a ser analizados de forma independiente con el fin de identificar los puntos calientes del proceso global.

Los resultados obtenidos en el proceso se recogen en la tabla 47 mostrando el peso de cada uno de los procesos considerados en el estudio para los tres tipos de barricas analizadas (228, 300 y 500 litros).

El análisis global de los procesos analizados muestra que el proceso con mayor impacto en todas las categorías de impacto analizadas es el tratamiento de la madera debido a que la demanda energética en esta fase es muy superior al resto, consumiendo el 48.45 % (barrica de 228 litros), el 51.21 % (barrica de 300 litros) y el 56.00 % (barrica de 500 litros) de la energía del proceso global.

Los impactos ambientales de esta fase varían desde 35.82 % (228 litros) y 37.41 % (300 litros) en la categoría de ecotoxicidad cuática de agua dulce, hasta 65.32 % (228 litros) y 64.33 % (300 litros) en la categoría de oxidación fotoquímica (ver tabla 47).

Por otro lado, en la barrica de 500 litros los impactos ambientales varían desde 36.10 % en la categoría de eutrofización hasta 64.68 % en la categoría de oxidación fotoquímica (ver tabla 47).

228 litros									
Categoría impacto	Unidad	Fabricación de barricas					Proceso de envejecimiento		Total
		Tratamiento madera	Fabricación fondos	Montaje barrica	Almacenamiento	Consumos generales_1	Envejecimiento	Consumos generales_2	
AD	kg Sb eq	1,57E-08	9,28E-10	3,07E-09	6,28E-10	5,93E-09	6,38E-09	2,44E-10	3,29E-08
AD (FF)	MJ	1,35E-01	7,99E-03	2,71E-02	5,17E-03	4,88E-02	4,17E-02	2,01E-03	2,68E-01
GWP	kg CO2 eq	1,08E-02	6,46E-04	2,16E-03	4,15E-04	3,92E-03	3,42E-03	1,62E-04	2,15E-02
ODP	kg CFC-11 eq	1,41E-09	8,54E-11	2,31E-10	5,71E-11	5,39E-10	4,40E-10	2,22E-11	2,79E-09
HT	kg 1,4-DB eq	3,35E-03	2,04E-04	8,10E-04	1,32E-04	1,24E-03	1,46E-03	5,13E-05	7,25E-03
FWAE	kg 1,4-DB eq	2,74E-03	1,68E-04	2,51E-03	1,07E-04	1,01E-03	1,07E-03	4,15E-05	7,65E-03
MAE	kg 1,4-DB eq	1,27E+01	8,30E-01	3,11E+00	5,34E-01	5,04E+00	4,43E+00	2,08E-01	2,68E+01
TE	kg 1,4-DB eq	8,86E-05	4,72E-06	1,04E-05	3,18E-06	3,00E-05	3,02E-05	1,24E-06	1,68E-04
PO	kg C2H4 eq	5,86E-06	1,77E-07	7,14E-07	1,15E-07	1,09E-06	9,71E-07	4,49E-08	8,97E-06
AC	kg SO2 eq	6,97E-05	4,42E-06	1,24E-05	2,89E-06	2,72E-05	2,38E-05	1,12E-06	1,42E-04
EU	kg PO4--- eq	1,54E-05	9,03E-07	3,51E-06	5,66E-07	5,35E-06	1,19E-05	2,20E-07	3,78E-05

300 litros									
Categoría impacto	Unidad	Fabricación de barricas					Proceso de envejecimiento		Total
		Tratamiento madera	Fabricación fondos	Montaje barrica	Almacenamiento	Consumos generales_1	Envejecimiento	Consumos generales_2	
AD	kg Sb eq	1,10E-08	5,93E-10	1,94E-09	3,62E-10	3,42E-09	5,42E-09	1,41E-10	2,29E-08
AD (FF)	MJ	9,40E-02	5,12E-03	1,70E-02	2,98E-03	2,81E-02	3,37E-02	1,16E-03	1,82E-01
GWP	kg CO2 eq	7,51E-03	4,15E-04	1,36E-03	2,39E-04	2,26E-03	2,78E-03	9,31E-05	1,47E-02
ODP	kg CFC-11 eq	9,91E-10	5,46E-11	1,47E-10	3,29E-11	3,10E-10	3,52E-10	1,28E-11	1,90E-09
HT	kg 1,4-DB eq	2,34E-03	1,31E-04	5,05E-04	7,59E-05	7,17E-04	1,27E-03	2,95E-05	5,06E-03
FWAE	kg 1,4-DB eq	1,91E-03	1,08E-04	1,51E-03	6,14E-05	5,80E-04	9,12E-04	2,39E-05	5,11E-03
MAE	kg 1,4-DB eq	8,96E+00	5,33E-01	1,94E+00	3,08E-01	2,90E+00	3,61E+00	1,20E-01	1,84E+01
TE	kg 1,4-DB eq	6,10E-05	3,02E-06	6,76E-06	1,83E-06	1,73E-05	2,54E-05	7,12E-07	1,16E-04
PO	kg C2H4 eq	3,74E-06	1,13E-07	4,45E-07	6,65E-08	6,27E-07	7,93E-07	2,58E-08	5,81E-06
AC	kg SO2 eq	4,91E-05	2,83E-06	7,91E-06	1,66E-06	1,57E-05	1,94E-05	6,47E-07	9,72E-05
EU	kg PO4--- eq	1,06E-05	5,81E-07	2,18E-06	3,26E-07	3,08E-06	1,11E-05	1,27E-07	2,80E-05

		500 litros								
		Fabricación de barricas					Proceso de envejecimiento			
Categoría impacto	Unidad	Tratamiento madera	Fabricación fondos	Montaje barrica	Almacenamiento	Consumos generales_1	Envejecimiento	Consumos generales_2	Total	
AD	kg Sb eq	8,33E-09	4,33E-10	1,43E-09	2,19E-10	2,07E-09	4,14E-09	8,54E-11	1,67E-08	
AD (FF)	MJ	7,05E-02	3,68E-03	1,24E-02	1,81E-03	1,71E-02	2,33E-02	7,03E-04	1,29E-01	
GWP	kg CO2 eq	5,64E-03	2,97E-04	9,96E-04	1,45E-04	1,37E-03	1,95E-03	5,64E-05	1,05E-02	
ODP	kg CFC-11 eq	7,50E-10	3,97E-11	1,11E-10	1,99E-11	1,88E-10	2,37E-10	7,75E-12	1,35E-09	
HT	kg 1,4-DB eq	1,77E-03	9,40E-05	3,66E-04	4,60E-05	4,35E-04	1,00E-03	1,79E-05	3,72E-03	
FWAE	kg 1,4-DB eq	1,44E-03	7,70E-05	1,04E-03	3,72E-05	3,51E-04	6,96E-04	1,45E-05	3,65E-03	
MAE	kg 1,4-DB eq	6,83E+00	3,82E-01	1,42E+00	1,87E-01	1,76E+00	2,53E+00	7,25E-02	1,32E+01	
TE	kg 1,4-DB eq	4,53E-05	2,20E-06	5,20E-06	1,11E-06	1,05E-05	1,90E-05	4,32E-07	8,37E-05	
PO	kg C2H4 eq	2,57E-06	8,17E-08	3,22E-07	4,03E-08	3,80E-07	5,61E-07	1,57E-08	3,97E-06	
AC	kg SO2 eq	3,73E-05	2,04E-06	5,91E-06	1,01E-06	9,51E-06	1,36E-05	3,92E-07	6,98E-05	
EU	kg PO4--- eq	7,95E-06	4,13E-07	1,57E-06	1,98E-07	1,87E-06	9,94E-06	7,69E-08	2,20E-05	

Tabla 47: Impacto Ambiental Global - Metodología CML

### 11.3.2. Análisis del impacto ambiental por fases

Tras realizar un análisis de impacto global de las principales fases del proceso, se analiza cada una de las fases de forma independiente identificando cada una de las actividades consideradas en cada fase y su relevancia en el impacto ambiental de las diferentes categorías de impacto consideradas.

Para el presente análisis, se analizarán las actividades de las dos fases principales (Fabricación de barricas y envejecimiento) de forma individual.

#### 11.3.2.1. Fabricación de barricas

La fabricación de barricas está compuesta por cuatro fases principales: tratamiento de la madera, fabricación de fondos, montaje de la barrica y almacenamiento, que junto con los consumos eléctricos no incluidos en el proceso de fabricación (consumos generales), serán analizados de forma individual.

#### **11.3.2.1.1. Tratamiento de la madera**

En el análisis global se ha mostrado el tratamiento de la madera, como la fase con mayor impacto en todas las categorías analizadas del proceso global. Dentro de esta fase, existen dos actividades principales que van a ser analizadas de forma individual. Analizando esta fase, la actividad con mayor impacto en todas las categorías de impacto analizadas es el serrado de la madera para la creación de duelas que conformarán el cuerpo de la barrica. La razón por la que el serrado posee un impacto muy superior al secado de la madera, es por la gran demanda energética por parte de la estación de serrado para la obtención de las duelas.

El impacto ambiental de esta fase varía según la categoría de impacto desde 95.65 % en la categoría de ecotoxicidad acuática de agua dulce (228 litros), 96.33 % (300 litros) y 96.33 % (500 litros) en la categoría de toxicidad humana, hasta 97.97 % (228 litros), 98.15 % (300 litros) y 98.15 % (500 litros) en la categoría de oxidación fotoquímica (ver tabla 48).

#### **11.3.2.1.2. Fabricación de fondos**

La fase de fabricación de fondos es la segunda fase con menor impacto en el proceso global. Esta fase posee cinco actividades principales: Machimbrado, tostado, regruesado, biselado y marcado de los fondos que serán analizados de forma individual.

Analizando las cinco actividades de esta fase, la actividad con mayor impacto en todas las categorías analizadas es el tostado de los fondos. Dicha actividad posee una mayor demanda energética en comparación con el resto de actividades estudiadas. Los impactos varían según la barrica analizada desde un 39.40 % (228 litros), 39.65 % (300 litros) y 41.73 % (500 litros) en la categoría de eutrofización hasta 42.56 % (228 litros), 43.06 % (300 litros) y 44.11 % (500 litros) en la categoría de agotamiento abiótico (ver tabla 49).

#### **11.3.2.1.3. Montaje de la barrica**

La fase de montaje de la barrica posee once actividades: tronzado, vaciado, juntado, tostado, prensado, ruñado, troquelado, estanqueidad, lijado, prensado y fabricación de flejes, que analizadas individualmente se puede observar que la actividad con mayor impacto en casi todas las categorías analizadas es la fabricación de flejes. Esta actividad posee unos impactos mayores que el resto de actividades por el mayor consumo de recursos y materiales para la fabricación de los flejes de sujeción de la barrica en comparación con el resto de actividades de esta fase.

Los impactos ambientales en esta actividad varían desde un 39.75 % (228 litros), 36.90 % (300 litros) y 32.62 % (500 litros) en la categoría de agotamiento de la capa de ozono hasta un 88.83 % (228 litros) y 87.69 % (300 litros) y 85.77 % (500 litros) en la categoría de ecotoxicidad acuática de agua dulce (ver tabla 6). Sin embargo, para la categoría de ecotoxicidad terrestre el mayor impacto se encuentra en la actividad de estanqueidad para las tres barricas analizadas suponiendo el 25.46 % (228 litros), 29.30 % (300 litros) y 37.15 % (500 litros) del impacto global (ver tabla 50).

#### **11.3.2.1.4. Consumos generales**

Los consumos generales de la planta no incluidos en el proceso de fabricación de las barricas, son incluidos en esta fase. Los consumos serán repartidos entre oficinas e instalaciones generales y la estación de aire comprimido.

Debido a una gran demanda energética de la estación de aire comprimido, muy superior al consumo producido en las instalaciones generales y oficinas, los impactos ambientales en todas las categorías analizadas son los mayores. Este impacto supone un 66.16 % del global para todas las categorías y barricas analizadas (ver tabla 51).

### 11.3.2.2. Envejecimiento

La fase de envejecimiento está compuesta por cinco actividades principales: limpieza, enjuague, llenado y vaciado de las barricas, que junto con los consumos eléctricos no incluidos en el proceso de envejecimiento (consumos generales), serán analizados de forma individual.

Analizando las actividades, la limpieza es la actividad con un mayor impacto en todas las categorías analizadas. La mayor demanda de recursos (electricidad y agua), en comparación con el resto de actividades es la razón principal.

Los impactos varían desde 73.84 % (228 litros), 71.63 % (300 litros), 68.58 % (500 litros) en la categoría de eutrofización, hasta 90.73 % (228 litros), 88.24 % (300 litros) y 82.98 % (500 litros) en la categoría de agotamiento de la capa de ozono (ver tabla 52).

Categoría de impacto	Unidad	228 litros		300 litros		500 litros	
		Serrado	Secado	Serrado	Secado	Serrado	Secado
AD	kg Sb eq	1,50E-08	6,81E-10	1,06E-08	4,01E-10	8,08E-09	2,50E-10
AD (FF)	MJ	1,30E-01	5,30E-03	9,09E-02	3,08E-03	6,86E-02	1,88E-03
GWP	kg CO2 eq	1,04E-02	4,28E-04	7,26E-03	2,49E-04	5,49E-03	1,52E-04
ODP	kg CFC-11 eq	1,35E-09	5,82E-11	9,58E-10	3,37E-11	7,30E-10	2,06E-11
HT	kg 1,4-DB eq	3,20E-03	1,45E-04	2,25E-03	8,58E-05	1,71E-03	5,39E-05
FWAE	kg 1,4-DB eq	2,63E-03	1,15E-04	1,84E-03	6,75E-05	1,40E-03	4,21E-05
MAE	kg 1,4-DB eq	1,21E+01	5,51E-01	8,64E+00	3,20E-01	6,64E+00	1,96E-01
TE	kg 1,4-DB eq	8,53E-05	3,29E-06	5,90E-05	1,91E-06	4,41E-05	1,17E-06
PO	kg C2H4 eq	5,74E-06	1,19E-07	3,67E-06	6,91E-08	2,52E-06	4,24E-08
AC	kg SO2 eq	6,67E-05	2,94E-06	4,74E-05	1,71E-06	3,63E-05	1,04E-06
EU	kg PO4--- eq	1,48E-05	6,44E-07	1,03E-05	3,84E-07	7,70E-06	2,43E-07

Tabla 48: Impacto ambiental fase “Tratamiento de la madera”, Metodología CML.



228 litros

Categoría impacto	Unidad	Machimbrado	Tostado_1	Regruessado	Biselado	Marcado
AD	kg Sb eq	6,33E-11	3,95E-10	8,95E-11	2,75E-10	1,06E-10
AD (FF)	MJ	5,78E-04	3,25E-03	9,04E-04	2,39E-03	8,69E-04
GWP	kg CO2 eq	4,72E-05	2,61E-04	7,47E-05	1,93E-04	6,98E-05
ODP	kg CFC-11 eq	5,94E-12	3,59E-11	8,67E-12	2,54E-11	9,59E-12
HT	kg 1,4-DB eq	1,48E-05	8,29E-05	2,31E-05	6,09E-05	2,22E-05
FWAE	kg 1,4-DB eq	1,24E-05	6,70E-05	2,01E-05	5,03E-05	1,79E-05
MAE	kg 1,4-DB eq	6,06E-02	3,36E-01	9,60E-02	2,48E-01	8,98E-02
TE	kg 1,4-DB eq	3,24E-07	2,00E-06	4,63E-07	1,40E-06	5,34E-07
PO	kg C2H4 eq	1,27E-08	7,25E-08	1,95E-08	5,27E-08	1,94E-08
AC	kg SO2 eq	3,16E-07	1,81E-06	4,85E-07	1,32E-06	4,85E-07
EU	kg PO4--- eq	6,80E-08	3,56E-07	1,13E-07	2,72E-07	9,52E-08

300 litros

Categoría impacto	Unidad	Machimbrado	Tostado_1	Regruessado	Biselado	Marcado
AD	kg Sb eq	4,08E-11	2,55E-10	5,82E-11	1,78E-10	6,08E-11
AD (FF)	MJ	3,69E-04	2,10E-03	5,99E-04	1,55E-03	5,01E-04
GWP	kg CO2 eq	3,01E-05	1,69E-04	4,96E-05	1,26E-04	4,02E-05
ODP	kg CFC-11 eq	3,81E-12	2,32E-11	5,67E-12	1,64E-11	5,52E-12
HT	kg 1,4-DB eq	9,42E-06	5,36E-05	1,53E-05	3,96E-05	1,28E-05
FWAE	kg 1,4-DB eq	7,90E-06	4,33E-05	1,34E-05	3,28E-05	1,03E-05
MAE	kg 1,4-DB eq	3,86E-02	2,17E-01	6,37E-02	1,62E-01	5,17E-02
TE	kg 1,4-DB eq	2,09E-07	1,29E-06	3,02E-07	9,06E-07	3,08E-07
PO	kg C2H4 eq	8,10E-09	4,69E-08	1,29E-08	3,43E-08	1,12E-08
AC	kg SO2 eq	2,02E-07	1,17E-06	3,20E-07	8,56E-07	2,79E-07
EU	kg PO4--- eq	4,31E-08	2,30E-07	7,53E-08	1,77E-07	5,48E-08

		500 litros				
Categoría impacto	Unidad	Machimbrado	Tostado_1	Regruesado	Biselado	Marcado
AD	kg Sb eq	3,04E-11	1,91E-10	4,26E-11	1,32E-10	3,69E-11
AD (FF)	MJ	2,70E-04	1,57E-03	4,08E-04	1,13E-03	3,04E-04
GWP	kg CO2 eq	2,20E-05	1,26E-04	3,35E-05	9,11E-05	2,44E-05
ODP	kg CFC-11 eq	2,83E-12	1,74E-11	4,06E-12	1,21E-11	3,35E-12
HT	kg 1,4-DB eq	6,90E-06	4,01E-05	1,04E-05	2,88E-05	7,74E-06
FWAE	kg 1,4-DB eq	5,75E-06	3,24E-05	8,92E-06	2,36E-05	6,26E-06
MAE	kg 1,4-DB eq	2,82E-02	1,62E-01	4,30E-02	1,17E-01	3,13E-02
TE	kg 1,4-DB eq	1,55E-07	9,67E-07	2,19E-07	6,72E-07	1,87E-07
PO	kg C2H4 eq	5,95E-09	3,51E-08	8,87E-09	2,50E-08	6,77E-09
AC	kg SO2 eq	1,49E-07	8,78E-07	2,21E-07	6,25E-07	1,69E-07
EU	kg PO4--- eq	3,12E-08	1,72E-07	4,94E-08	1,27E-07	3,32E-08

Tabla 49: Impacto ambiental fase “Fabricación de fondos”, Metodología CML.

228 litros												
Categoría impacto	Unidad	Tronzado	Vaciado	Juntado	Tostado_1	Prensado_1	Ruñado	Troquelado	Estanqueidad	Lijado	Prensado_2	Fabricación flejes
AD	kg Sb eq	3,10E-11	2,63E-10	1,99E-10	2,64E-11	2,71E-10	8,48E-11	7,50E-13	5,86E-10	6,45E-11	7,19E-11	1,47E-09
AD (FF)	MJ	2,55E-04	2,48E-03	1,82E-03	2,17E-04	2,23E-03	7,10E-04	6,18E-06	4,07E-03	5,69E-04	2,10E-03	1,26E-02
GWP	kg CO2 eq	2,05E-05	2,03E-04	1,49E-04	1,75E-05	1,79E-04	5,72E-05	4,96E-07	3,33E-04	4,62E-05	8,88E-05	1,06E-03
ODP	kg CFC-11 eq	2,81E-12	2,49E-11	1,87E-11	2,40E-12	2,46E-11	7,74E-12	6,81E-14	4,58E-11	5,98E-12	6,22E-12	9,18E-11
HT	kg 1,4-DB eq	6,50E-06	6,33E-05	4,66E-05	5,54E-06	5,69E-05	1,81E-05	1,57E-07	1,21E-04	1,45E-05	1,59E-05	4,61E-04
FVAE	kg 1,4-DB eq	5,26E-06	5,39E-05	3,93E-05	4,48E-06	4,60E-05	1,47E-05	1,27E-07	9,26E-05	1,21E-05	1,26E-05	2,23E-03
MAE	kg 1,4-DB eq	2,63E-02	2,61E-01	1,91E-01	2,24E-02	2,30E-01	7,35E-02	6,38E-04	4,25E-01	5,94E-02	6,27E-02	1,76E+00
TE	kg 1,4-DB eq	1,57E-07	1,35E-06	1,02E-06	1,34E-07	1,37E-06	4,30E-07	3,80E-09	2,65E-06	3,29E-07	3,27E-07	2,64E-06
PO	kg C2H4 eq	5,69E-09	5,40E-08	4,00E-08	4,85E-09	4,98E-08	1,58E-08	1,38E-10	9,37E-08	1,25E-08	2,17E-08	4,15E-07
AC	kg SO2 eq	1,42E-07	1,35E-06	9,97E-07	1,21E-07	1,25E-06	3,95E-07	3,45E-09	2,25E-06	3,13E-07	4,41E-07	5,17E-06
EU	kg PO4--- eq	2,79E-08	2,97E-07	2,15E-07	2,38E-08	2,44E-07	7,87E-08	6,76E-10	7,24E-07	6,55E-08	7,51E-08	1,76E-06

300 litros												
Categoría impacto	Unidad	Tronzado	Vaciado	Juntado	Tostado_1	Prensado_1	Ruñado	Troquelado	Estanqueidad	Lijado	Prensado_2	Fabricación flejes
AD	kg Sb eq	1,78E-11	1,59E-10	1,21E-10	1,60E-11	1,75E-10	4,89E-11	7,60E-12	4,27E-10	4,78E-11	4,14E-11	8,74E-10
AD (FF)	MJ	1,47E-04	1,50E-03	1,11E-03	1,32E-04	1,44E-03	4,09E-04	6,26E-05	3,08E-03	4,18E-04	1,21E-03	7,49E-03
GWP	kg CO2 eq	1,18E-05	1,23E-04	9,06E-05	1,06E-05	1,16E-04	3,30E-05	5,03E-06	2,51E-04	3,39E-05	5,12E-05	6,32E-04
ODP	kg CFC-11 eq	1,62E-12	1,51E-11	1,13E-11	1,45E-12	1,59E-11	4,46E-12	6,90E-13	3,45E-11	4,42E-12	3,58E-12	5,44E-11
HT	kg 1,4-DB eq	3,74E-06	3,85E-05	2,84E-05	3,36E-06	3,68E-05	1,04E-05	1,60E-06	8,87E-05	1,07E-05	9,14E-06	2,74E-04
FVAE	kg 1,4-DB eq	3,03E-06	3,27E-05	2,39E-05	2,72E-06	2,97E-05	8,50E-06	1,29E-06	6,85E-05	8,83E-06	7,24E-06	1,33E-03
MAE	kg 1,4-DB eq	1,52E-02	1,58E-01	1,16E-01	1,36E-02	1,49E-01	4,24E-02	6,46E-03	3,21E-01	4,35E-02	3,61E-02	1,04E+00
TE	kg 1,4-DB eq	9,03E-08	8,19E-07	6,19E-07	8,10E-08	8,87E-07	2,48E-07	3,85E-08	1,98E-06	2,43E-07	1,88E-07	1,56E-06
PO	kg C2H4 eq	3,28E-09	3,28E-08	2,43E-08	2,94E-09	3,22E-08	9,10E-09	1,40E-09	7,04E-08	9,22E-09	1,25E-08	2,47E-07
AC	kg SO2 eq	8,20E-08	8,18E-07	6,06E-07	7,35E-08	8,05E-07	2,28E-07	3,49E-08	1,71E-06	2,30E-07	2,54E-07	3,07E-06
EU	kg PO4--- eq	1,61E-08	1,81E-07	1,31E-07	1,44E-08	1,58E-07	4,54E-08	6,85E-09	4,98E-07	4,77E-08	4,33E-08	1,04E-06

500 litros

Categoría impacto	Unidad	Tronzado	Vaciado	Juntado	Tostado_1	Prensado_1	Ruñido	Troquelado	Estanqueidad	Lijado	Prensado_2	Fabricación flejes
AD	kg 5b eq	1,08E-11	1,10E-10	8,45E-11	1,12E-11	1,31E-10	2,97E-11	4,61E-13	4,03E-10	3,81E-11	2,51E-11	5,82E-10
AD (FF)	Mj	8,90E-05	1,01E-03	7,86E-04	9,19E-05	1,08E-03	2,50E-04	3,79E-06	3,06E-03	3,37E-04	7,32E-04	5,00E-03
GWP	kg CO2 eq	7,15E-06	8,28E-05	6,43E-05	7,38E-06	8,67E-05	2,01E-05	3,05E-07	2,48E-04	2,74E-05	3,10E-05	4,22E-04
ODP	kg CFC-11 eq	9,82E-13	1,04E-11	7,97E-12	1,01E-12	1,19E-11	2,71E-12	4,19E-14	3,40E-11	3,53E-12	2,17E-12	3,62E-11
HT	kg 1,4-DB eq	2,27E-06	2,59E-05	2,01E-05	2,34E-06	2,75E-05	6,37E-06	9,67E-08	8,41E-05	8,60E-06	5,54E-06	1,83E-04
FWAE	kg 1,4-DB eq	1,84E-06	2,19E-05	1,70E-05	1,89E-06	2,23E-05	5,20E-06	7,82E-08	6,61E-05	7,16E-06	4,39E-06	8,90E-04
MAE	kg 1,4-DB eq	9,19E-03	1,06E-01	8,26E-02	9,49E-03	1,12E-01	2,59E-02	3,92E-04	3,17E-01	3,52E-02	2,19E-02	6,97E-01
TE	kg 1,4-DB eq	5,47E-08	5,65E-07	4,33E-07	5,65E-08	6,64E-07	1,50E-07	2,33E-09	1,93E-06	1,94E-07	1,14E-07	1,03E-06
PO	kg C2H4 eq	1,99E-09	2,22E-08	1,72E-08	2,05E-09	2,41E-08	5,55E-09	8,47E-11	6,92E-08	7,42E-09	7,58E-09	1,65E-07
AC	kg SO2 eq	4,97E-08	5,54E-07	4,28E-07	5,13E-08	6,03E-07	1,39E-07	2,12E-09	1,70E-06	1,85E-07	1,54E-07	2,04E-06
EU	kg PO4---eq	9,75E-09	1,20E-07	9,34E-08	1,01E-08	1,18E-07	2,78E-08	4,15E-10	4,32E-07	3,88E-08	2,62E-08	6,96E-07

Tabla 50: Impacto Ambiental Fase de Montaje de la barrica.

Metodología CML.

228 litros

Categoría de impacto	Unidad	Aire comprimido	Oficinas e instalaciones
AD	kg Sb eq	3,92E-09	2,01E-09
AD (FF)	MJ	3,23E-02	1,65E-02
GWP	kg CO2 eq	2,59E-03	1,33E-03
ODP	kg CFC-11 eq	3,56E-10	1,82E-10
HT	kg 1,4-DB eq	8,23E-04	4,21E-04
FWAE	kg 1,4-DB eq	6,66E-04	3,41E-04
MAE	kg 1,4-DB eq	3,34E+00	1,71E+00
TE	kg 1,4-DB eq	1,99E-05	1,02E-05
PO	kg C2H4 eq	7,21E-07	3,69E-07
AC	kg SO2 eq	1,80E-05	9,22E-06
EU	kg PO4--- eq	3,54E-06	1,81E-06

300 litros

Categoría de impacto	Unidad	Aire comprimido	Oficinas e instalaciones
AD	kg Sb eq	2,26E-09	1,16E-09
AD (FF)	MJ	1,86E-02	9,52E-03
GWP	kg CO2 eq	1,49E-03	7,64E-04
ODP	kg CFC-11 eq	2,05E-10	1,05E-10
HT	kg 1,4-DB eq	4,74E-04	2,43E-04
FWAE	kg 1,4-DB eq	3,83E-04	1,96E-04
MAE	kg 1,4-DB eq	1,92E+00	9,83E-01
TE	kg 1,4-DB eq	1,14E-05	5,85E-06
PO	kg C2H4 eq	4,15E-07	2,12E-07
AC	kg SO2 eq	1,04E-05	5,31E-06
EU	kg PO4--- eq	2,04E-06	1,04E-06

500 litros			
Categoría de impacto	Unidad	Aire comprimido	Oficinas e instalaciones
AD	kg Sb eq	1,37E-09	7,01E-10
AD (FF)	MJ	1,13E-02	5,77E-03
GWP	kg CO2 eq	9,06E-04	4,63E-04
ODP	kg CFC-11 eq	1,24E-10	6,37E-11
HT	kg 1,4-DB eq	2,87E-04	1,47E-04
FWAE	kg 1,4-DB eq	2,32E-04	1,19E-04
MAE	kg 1,4-DB eq	1,16E+00	5,96E-01
TE	kg 1,4-DB eq	6,93E-06	3,55E-06
PO	kg C2H4 eq	2,52E-07	1,29E-07
AC	kg SO2 eq	6,29E-06	3,22E-06
EU	kg PO4--- eq	1,24E-06	6,32E-07

Tabla 51: Impacto ambiental fase “Consumos generales”, Metodología CML.

228 litros					
Categoría impacto	Unidad	Limpieza	Enjuague	Llenado	Vaciado
AD	kg Sb eq	6,38E-09	7,16E-10	5,38E-09	1,42E-10
AD (FF)	MJ	4,17E-02	1,99E-03	3,73E-02	1,17E-03
GWP	kg CO2 eq	3,42E-03	1,88E-04	3,05E-03	9,39E-05
ODP	kg CFC-11 eq	4,40E-10	1,50E-11	3,99E-10	1,29E-11
HT	kg 1,4-DB eq	1,46E-03	1,96E-04	1,21E-03	2,98E-05
FWAE	kg 1,4-DB eq	1,07E-03	1,19E-04	9,07E-04	2,41E-05
MAE	kg 1,4-DB eq	4,43E+00	2,52E-01	3,94E+00	1,21E-01
TE	kg 1,4-DB eq	3,02E-05	2,89E-06	2,59E-05	7,19E-07
PO	kg C2H4 eq	9,71E-07	5,96E-08	8,60E-07	2,61E-08
AC	kg SO2 eq	2,38E-05	1,32E-06	2,12E-05	6,53E-07
EU	kg PO4--- eq	1,19E-05	2,85E-06	8,76E-06	1,28E-07

300 litros					
Categoría impacto	Unidad	Limpieza	Enjuague	Llenado	Vaciado
AD	kg Sb eq	4,41E-09	7,25E-10	1,44E-10	1,44E-10
AD (FF)	MJ	2,93E-02	2,02E-03	1,19E-03	1,19E-03
GWP	kg CO2 eq	2,40E-03	1,90E-04	9,52E-05	9,52E-05
ODP	kg CFC-11 eq	3,10E-10	1,52E-11	1,31E-11	1,31E-11
HT	kg 1,4-DB eq	1,01E-03	1,98E-04	3,02E-05	3,02E-05
FWAE	kg 1,4-DB eq	7,43E-04	1,20E-04	2,44E-05	2,44E-05
MAE	kg 1,4-DB eq	3,11E+00	2,55E-01	1,22E-01	1,22E-01
TE	kg 1,4-DB eq	2,10E-05	2,93E-06	7,29E-07	7,29E-07
PO	kg C2H4 eq	6,80E-07	6,03E-08	2,64E-08	2,64E-08
AC	kg SO2 eq	1,67E-05	1,34E-06	6,61E-07	6,61E-07
EU	kg PO4--- eq	7,94E-06	2,89E-06	1,30E-07	1,30E-07

500 litros					
Categoría impacto	Unidad	Limpieza	Enjuague	Llenado	Vaciado
AD	kg Sb eq	3,16E-09	6,95E-10	1,44E-10	1,44E-10
AD (FF)	MJ	1,90E-02	1,92E-03	1,19E-03	1,19E-03
GWP	kg CO2 eq	1,58E-03	1,82E-04	9,52E-05	9,52E-05
ODP	kg CFC-11 eq	1,97E-10	1,43E-11	1,31E-11	1,31E-11
HT	kg 1,4-DB eq	7,45E-04	1,94E-04	3,02E-05	3,02E-05
FWAE	kg 1,4-DB eq	5,31E-04	1,15E-04	2,44E-05	2,44E-05
MAE	kg 1,4-DB eq	2,05E+00	2,43E-01	1,22E-01	1,22E-01
TE	kg 1,4-DB eq	1,47E-05	2,83E-06	7,29E-07	7,29E-07
PO	kg C2H4 eq	4,51E-07	5,76E-08	2,64E-08	2,64E-08
AC	kg SO2 eq	1,10E-05	1,29E-06	6,61E-07	6,61E-07
EU	kg PO4--- eq	6,82E-06	2,86E-06	1,30E-07	1,30E-07

Tabla 52: Impacto ambiental fase “Envejecimiento”, Metodología CML.

## 11.4 CONCLUSIONES

A lo largo de este estudio, hemos presentado el análisis de ciclo de vida de la puerta a la puerta del proceso de la crianza del vino en barricas de roble de diferentes volúmenes.

El ACV se ha desarrollado teniendo en cuenta todas las fases de la fabricación de la barrica así como los procesos asociados al envejecimiento con barrica de roble.

De esta forma obtenemos una información precisa del impacto ambiental de las diferentes actividades individuales que definen el proceso productivo.

La unidad funcional se ha definido como el envejecimiento de un litro de vino envejecido durante cuatro meses en barrica de roble de la variedad Quercus Alba. La selección de dicha unidad se fundamenta en que, si bien el periodo varía en función de cada bodega y cada enólogo oscilando entre los 3 y 5 meses, usualmente cada 4 meses el vino se extrae de una barrica mezclándose con el resto del vino destinado al mismo destino productivo, momento en el cual la barrica es higienizada y preparada para albergar el mismo u otro vino diferente.

La primera conclusión observada es que conforme incrementamos el volumen de la barrica, disminuimos en todas las categorías el impacto ambiental de utilizar dicha barrica.

Para entender este dato debemos analizar los procesos globales derivados de la construcción y la utilización de las barricas.

El análisis global de los procesos analizados muestra que el proceso con mayor impacto en todas las categorías de impacto analizadas es el tratamiento y mecanizado de la madera debido a que la demanda energética en esta fase es muy superior al resto, consumiendo el 48.45 % (barrica de 228 litros), el 51.21 % (barrica de 300 litros) y el 56.00 % (barrica de 500 litros) de la energía del proceso global.

El procesado de madera para barricas de mayor tamaño es menos eficiente por m<sup>3</sup> de madera producido, debido principalmente a la necesidad de obtener tablas sin defecto de



mayor tamaño y por lo tanto ocasionar un menor aprovechamiento de los troncos en términos de madera aprovechable para esa tipología de barricas.

Sin embargo, las barricas de mayor volumen son capaces de procesar mayores cantidades de vino por m<sup>3</sup> de madera y kg de acero utilizados en el proceso, lo que en segunda instancia implica una reducción de consumos eléctricos, de agua,... por cada litro de vino procesado y por lo tanto una reducción considerable del impacto ambiental.

En cualquier caso, es importante reseñar que la vinificación en barricas con diferentes volúmenes no da resultados similares dado que la superficie de contacto de la madera con el vino así como el volumen de micro-oxigenación por unidad de volumen en ambos casos, decrecen al incrementarse el citado volumen de la barrica.

Esto implica, para una barrica de mayor volumen, una menor cesión de compuestos aromáticos por la madera así como una menor micro-oxigenación por unidad de volumen de vino, dando lugar a crianzas diferentes a las obtenidas con una barrica de menor tamaño.



## 12. Análisis comparativo del impacto ambiental de la vinificación en barrica de roble de 225 litros y barrica usada de 225 litros renovada mediante inserción de duelillas

---

## 12.1 Introducción y antecedentes

En el apartado anterior hemos analizado el impacto ambiental de la fabricación de barricas de diferentes volúmenes usados en vinificación, más concretamente 228 l., 300 l. y 500 l. fabricadas en roble americano (Q. Alba).

En este apartado estudiaremos como la vinificación usando barricas no renovadas y usando barricas renovadas mediante inserción de duelillas, influye en el impacto ambiental de los vinos elaborados con dichas barricas.

Para ello utilizaremos la barrica de Roble Americano (Q. Alba) con un volumen de 225 l. por tratarse de la más ampliamente utilizada en vinificación y tratarse del estándar en la DOC Rioja.

Adicionalmente, hemos escogido esta barrica por ser la que mayor impacto ambiental tiene en el apartado anterior y la más utilizada, lo que la hace especialmente proclive a ser renovada mediante la inserción de duelillas.

Para que la comparación resulte mucho más representativa y dado que, en apartados anteriores, hemos visto como el vino obtenido mediante crianza en barrica usada con inserción de duelillas arrojaba unos resultados de cesión aromática y fijación tánica similares a los de una barrica nueva, en lugar de comparar el impacto de la vinificación de una barrica nueva (con una duración media de 15 ciclos de crianza de 4 meses cada uno) con una barrica nueva y posteriormente renovada (con una duración media de 15 ciclos de crianza de 4 meses cada uno y otros 12 ciclos adicionales asociados a la renovación) compararemos el impacto de la crianza en dicha barrica (con una duración media de 15 ciclos de crianza de 4 meses cada uno) con el impacto de la crianza de un volumen equivalente en una barrica una vez agotada y renovada de nuevo (con tan solo 12 ciclos de crianza de 4 meses cada uno).

La barrica renovada lo hará mediante la inserción de 9 duelillas con una superficie equivalente del 50% de la superficie de una barrica de 225 l. y una mezcla de tostados.

En la tabla 53 podemos ver las características de las duelillas utilizadas en la renovación de las barricas.

<b>Madera:</b>	Quercus petraea
<b>Superficie unitaria:</b>	0,116 m <sup>2</sup>
<b>Número de duelas utilizadas:</b>	9
<b>Superficie total de contacto:</b>	1,045 m <sup>2</sup>
<b>Superficie equivalente de barrica renovada:</b>	50%
<b>Tostado:</b>	Tostado ligero, medio, medio+

*Tabla 53. Características de las duelillas utilizadas en la renovación de las barricas*

## 12.2 Materiales y métodos

### 12.2.1 Objetivos y alcance

La mecánica de trabajo y estudio ha sido idéntica a la utilizada en el capítulo 11 del presente documento.

Procedemos en todo caso a exponerla nuevamente con objeto de remarcar las existencias que pudiesen surgir.

Se ha realizado un análisis de puerta a puerta (gate-to-gate) estudiando todos los procesos productivos, identificando en cada uno de ellos los materiales utilizados, recursos energéticos y flujos de proceso hasta la creación de la unidad funcional final.

Las fases del ciclo de vida consideradas en el estudio abarcan desde el aporte de materiales hasta el almacenamiento del producto final, con el objetivo de identificar las actividades críticas dentro del proceso de producción.

Para realizar el modelo de ACV se ha optado por el software Simapro y la metodología de cálculo CML 2000 Leiden. Como categorías de impacto se han seleccionado las siguientes: Abiotic Depletion (AD); Global Warming-GWP100 (GW); ozone layer depletion (OLD); human toxicity (HT); fresh water aquatic ecotoxicity (FWAE); marine aquatic ecotoxicity (MAE); terrestrial ecotoxicity (TE); photochemical oxidation (PO); acidification (AC); eutrophication (EU).

### 12.2.2. Unidad funcional

La unidad funcional se ha definido como el envejecimiento de un litro de vino envejecido durante cuatro meses en barrica de roble de la variedad Quercus Alba bien sea nueva o bien sea renovada.

Se ha decidido esta unidad dado que por término medio los vinos permanecen 4 meses en una bodega antes de que el vino sea extraído para limpieza de barricas, homogeneización del vino, potenciales “coupages” y nuevo llenado de la bodega.

Esta unidad temporal no cambia en el caso de las barricas agotadas y posteriormente renovadas mediante la inserción de duelas tostadas.

### 12.2.3. Límites del sistema

Se han establecido unos límites de actuación para el estudio segregando los casos de la bodega nueva y los de la bodega renovada.

En el caso de la bodega nueva de Quercus Alba de 225 l. los límites del modelo de ACV analizado abarcan la producción de las barricas y el envejecimiento de vino durante cuatro meses (ver Figura 67).

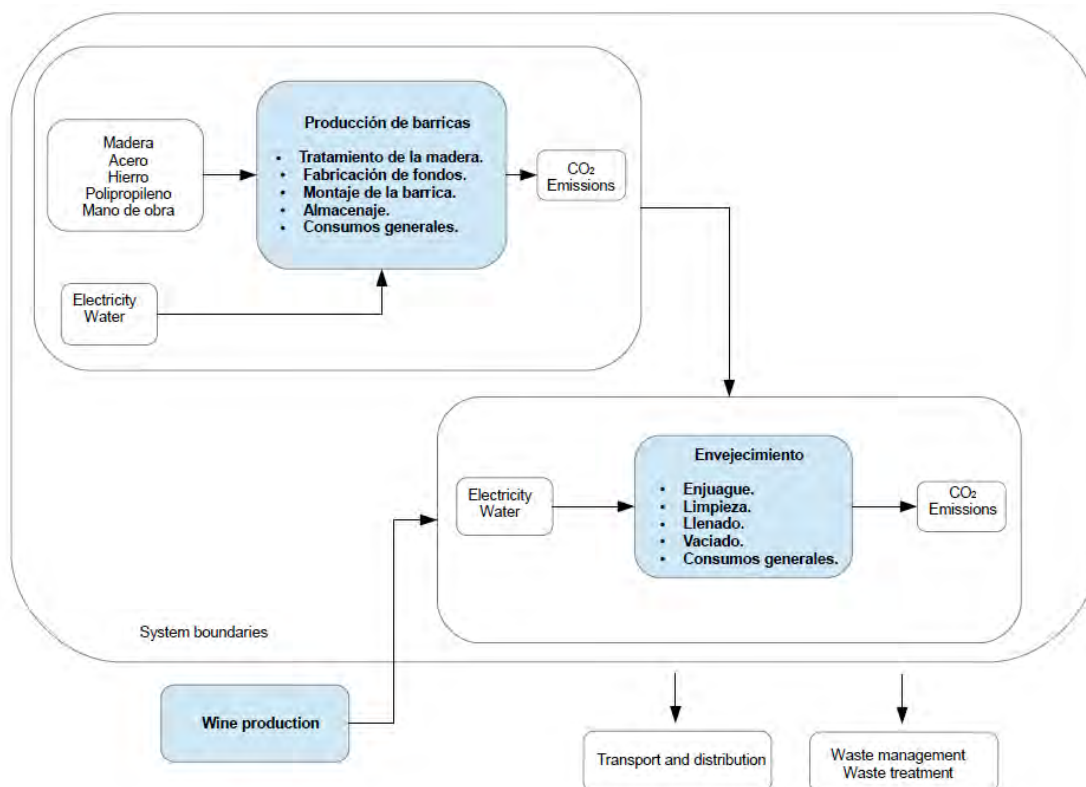


Figura 67: Límites del sistema bodega de 225 l.

En el caso de la bodega de Quercus Alba de 225 l. renovada mediante la inserción de duelas de roble tostado, los límites del modelo de ACV analizado abarcan la producción de las bodegas y el envejecimiento de vino durante cuatro meses (ver Figura 67)

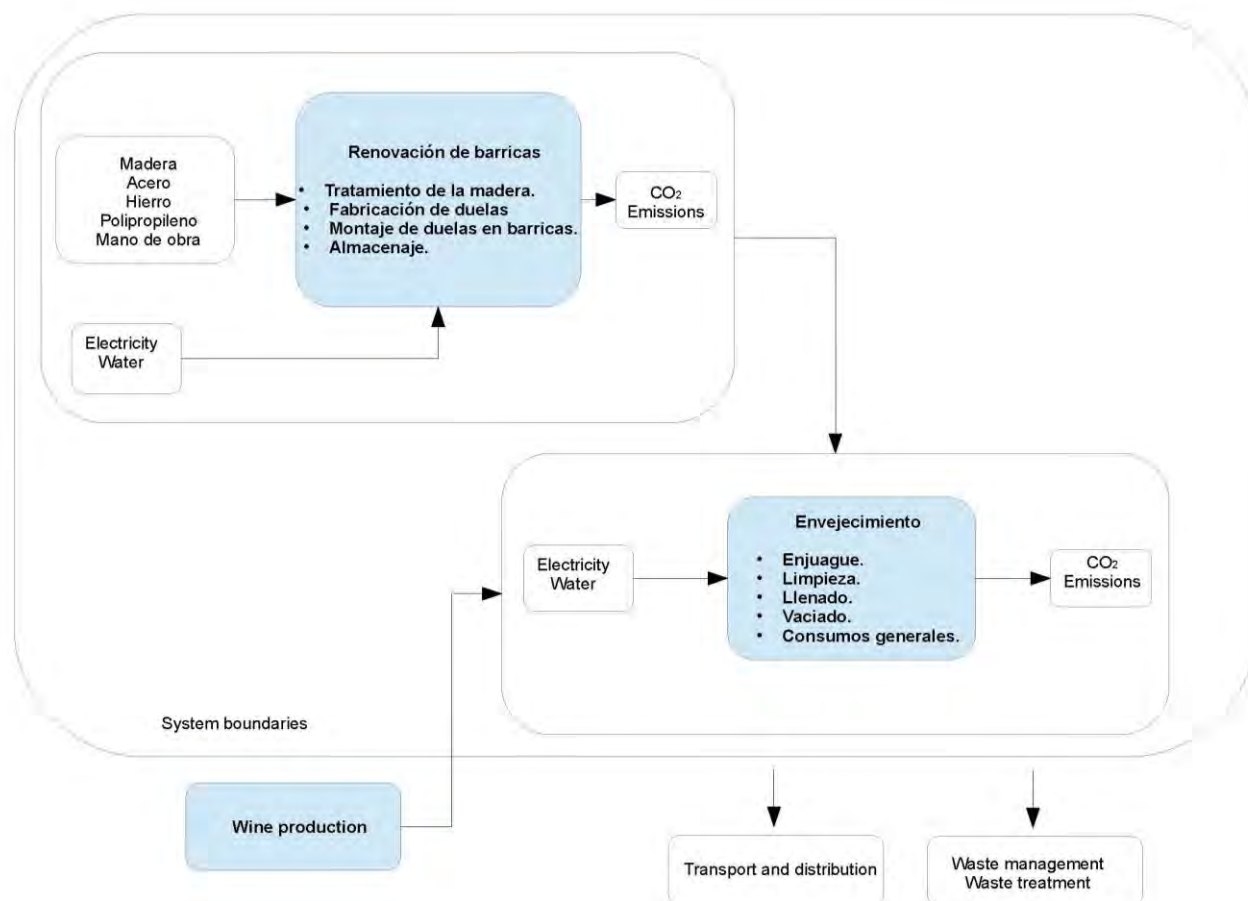


Figura 68: Límites del sistema bodega de 225 l. renovada mediante la inserción de duelas

Las siguientes actividades se han incluido dentro de los límites del sistema:

- El consumo de electricidad de los equipos y de la maquinaria utilizada en la planta para la producción de barricas.
- Consumos de la planta para tareas ubicadas fuera del proceso productivo.

- Los transportes intermedios existentes entre las diferentes fases del proceso productivo de barricas y de envejecimiento.
- Emisiones producidas por la mano de obra en la línea de producción.
- Montaje completo de la unidad funcional.
- Los recursos utilizados a lo largo de todo el proceso productivo.
- Labores de llenado, limpieza y vaciado de las barricas en la fase de envejecimiento.

Por el contrario, las siguientes actividades están fuera de estos límites:

- El transporte de las entradas a las plantas objeto de estudio.
- El transporte de las barricas desde la planta de producción hasta la fase de envejecimiento.
- La instalación y desmantelamiento de las plantas de producción y envejecimiento.
- Labores de mantenimiento de la maquinaria e instalaciones objeto de estudio.
- Gestión y tratamiento de residuos producidos en la fase de producción de barricas y en la fase de envejecimiento.
- Distribución final.
- Transporte de la barrica a la fase de envejecimiento.
- Elaboración del vino a envejecer.

#### **12.2.4. Suposiciones**



Todas las entradas al proceso productivo tanto de la barrica como de la renovación de barricas consideradas en el presente estudio tienen las mismas características permaneciendo constantes a lo largo del estudio realizado.

Se considera que el tiempo de limpieza en la fase de envejecimiento es el mismo para los tipos de barrica analizados, con o sin renovación.

Los residuos de madera producidos a lo largo del proceso productivo de las barricas serán reutilizados para las labores de tostado.

Para las tareas de enjuague y limpieza se utilizará un sistema de limpieza alimentado únicamente con agua.

La duración del proceso de limpieza es constante para las barricas analizadas.

### **12.2.5. Inventario**

Para el presente estudio se ha realizado un estudio del análisis del ciclo de vida del proceso de envejecimiento de vino en una barrica de roble de la variedad *Quercus Alba* con una duración de 4 meses.

El inventario está realizado conforme a los datos proporcionados y recolectados durante la fase de envejecimiento para una barrica nueva de 225 l. y para una barrica renovada de 225 l. con la inserción de 9 duelillas tostadas.

Para el caso de la barrica nueva, el proceso ha sido dividido en dos fases principales (ver figura 69):

- Proceso de fabricación de la barrica: Incluye las fases de tratamiento de la madera (cortado y serrado de la madera para la obtención de duelas), fabricación de los fondos de la barrica y montaje final de la barrica (montaje de los fondos y de las duelas).

- Proceso de envejecimiento del vino: Incluye las fases de llenado y vaciado de la barrica con el vino a envejecer y las labores de limpieza (enjuague y limpieza) para la reutilización de las barricas.

Para el caso de la barrica renovada, el proceso ha sido también dividido en dos fases principales (ver figura 70):

- Proceso de fabricación de las duelas y renovación de la barrica: Incluye las fases de tratamiento de la madera (cortado y serrado de la madera para la obtención del taco base para la obtención de duelillas), canteado, tronzado anterior y posterior, obtención de duelillas en sierra múltiple, perforado inferior y superior y tostado de las duelas.
- Proceso de envejecimiento del vino: Incluye las fases de llenado y vaciado de la barrica con el vino a envejecer y las labores de limpieza (enjuague y limpieza) para la reutilización de las barricas.

### **12.2.5.1. Proceso de fabricación de barricas y barricas renovadas**

#### **12.2.5.1.1 Barrica 225 l.**

La primera fase del proceso es el proceso de fabricación de barricas. Este proceso incluye el tratamiento de la madera para la obtención de las duelas y de los fondos que serán utilizadas en el montaje de la barrica, la fabricación de los fondos donde se crean los fondos que van a ser utilizados en el montaje final de la barrica junto con las duelas y el montaje de la barrica en la cual se montan las duelas y los fondos previamente creados para la finalización de la barrica.

#### **12.2.5.1.2 Barrica 225 l. renovada mediante inserción de 9 duelillas**

La primera fase del proceso en este caso será el proceso de fabricación de las duelillas y su inserción y anclaje en la barrica a renovar.

Este proceso incluye el tratamiento de la madera para la fabricación y tostado de las duelillas que serán utilizadas su montaje en el interior de la barrica, la apertura de la barrica agotada para su renovación, la inserción de las duelillas en el interior mediante dos listones poliméricos atornillados, el cerrado de la barrica y las operaciones de comprobación.

#### **12.2.5.2. Proceso de envejecimiento**

La segunda fase del proceso es el envejecimiento del vino en barricas será común a la barrica nueva de 225 l. y a la barrica de 225 l. renovada mediante la inserción de duelillas tostadas.

Este proceso tiene una duración de cuatro meses hasta el que vino es movido a otra barrica para continuar el proceso de envejecimiento.

Esta fase incluye las labores de limpieza, el llenado y vaciado de las barricas hasta completar el proceso de envejecimiento o hasta el fin de vida de la barrica según el criterio de cada productor.

A continuación mostraremos el diagrama de flujo que en este caso segregaremos en fabricación de la barrica y envejecimiento.

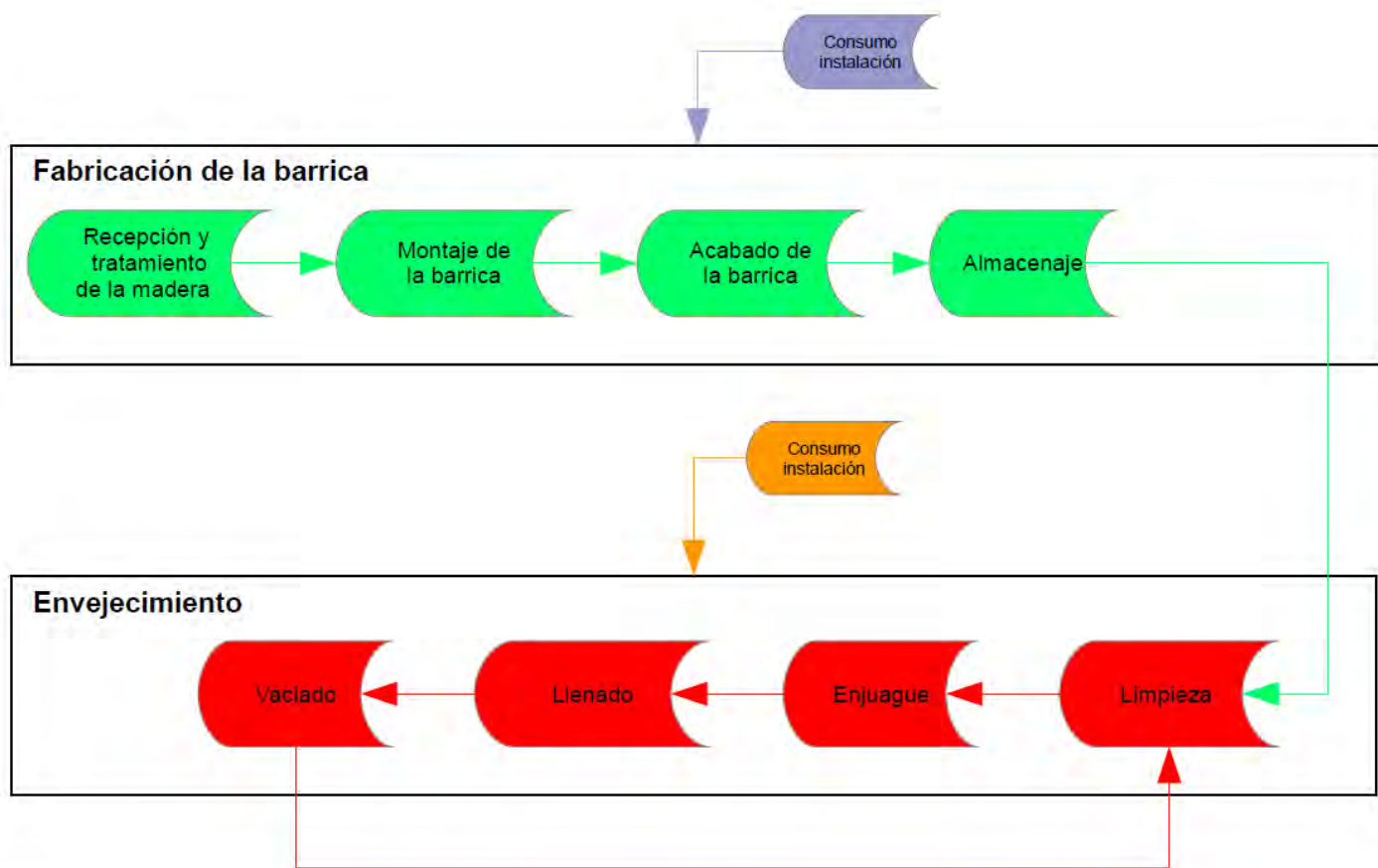


Figura 69. Diagrama de flujo barrica 225 l.

Por último mostraremos el diagrama de flujo para el caso de la barrica renovada, en el cual segregaremos en fabricación de duelas y renovación de la barrica y envejecimiento.

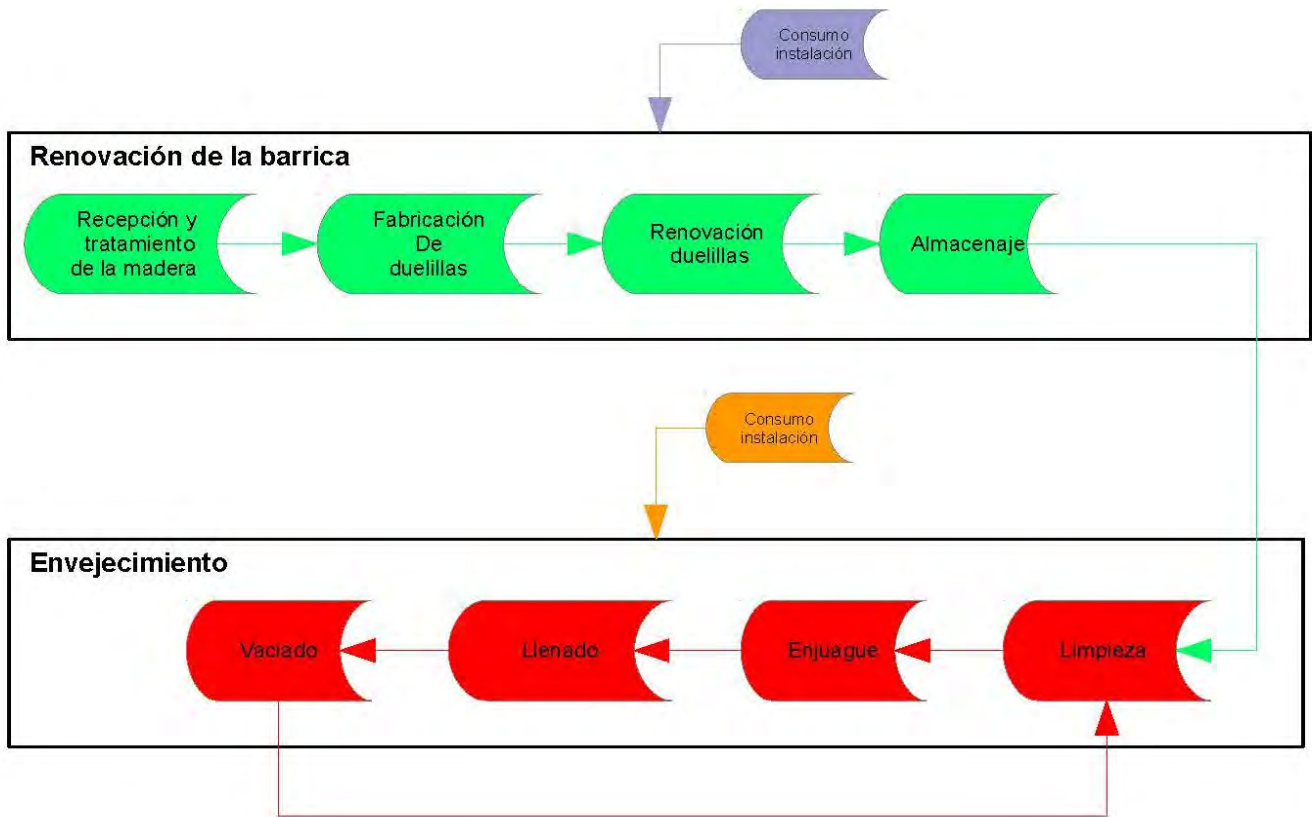


Figura 70. Diagrama de flujo barrica 225 l. renovada mediante inserción de duelillas tostadas

## 12.3. Resultados

En el presente capítulo se ha llevado a cabo un análisis del ciclo de vida para la identificación de los impactos ambientales de la unidad funcional analizada utilizando barricas de 225 l. sin renovar y renovada mediante inserción de 9 duelillas de roble tostadas.

Para el análisis se ha utilizado el enfoque puerta a puerta.

Para llevar a cabo el análisis se ha utilizado el software SimaPro 7.1 aplicando la metodología CML Leiden 2000 para el cálculo del impacto ambiental de la unidad funcional establecida para el ACV.

### 12.3.1 Análisis de impacto ambiental para una barrica de 225 l. de Quercus Alba

#### 12.3.1.1 Análisis global del impacto ambiental para barrica de 225 litros

El proceso se divide en dos fases principales bien diferenciadas correspondiendo la primera a la fabricación de barricas mientras que la segunda corresponderá al envejecimiento.

En el caso de la barrica nueva, la fabricación de barricas posee cinco procesos principales: tratamiento de la madera, montaje de la barrica, acabado de la barrica, almacenaje y consumos generales de la instalación, que van a ser analizados de forma independiente con el fin de identificar los puntos calientes del proceso global.

A continuación, en la Tabla 54, podremos ver el Impacto Ambiental Global para la barrica nueva de 225 litros.



		225 litros								
		Fabricación de barricas					Proceso de envejecimiento			
Categoría impacto	Unidad	Tratamiento madera	Fabricación fondos	Montaje barrica	Almacenamiento	Consumos generales_1	Envejecimiento	Consumos generales_2	Total	
AD	kg Sb eq	1,55E-08	9,16E-10	3,03E-09	6,20E-10	5,85E-09	6,30E-09	2,41E-10	3,25E-08	
AD (FF)	MJ	1,33E-01	7,88E-03	2,67E-02	5,10E-03	4,82E-02	4,12E-02	1,98E-03	2,64E-01	
GWP	kg CO2 eq	1,07E-02	6,38E-04	2,13E-03	4,10E-04	3,87E-03	3,38E-03	1,60E-04	2,12E-02	
ODP	kg CFC-11 eq	1,39E-09	8,43E-11	2,28E-10	5,63E-11	5,32E-10	4,34E-10	2,19E-11	2,75E-09	
HT	kg 1,4-DB eq	3,31E-03	2,01E-04	7,99E-04	1,30E-04	1,22E-03	1,44E-03	5,06E-05	7,15E-03	
FWAE	kg 1,4-DB eq	2,70E-03	1,66E-04	2,48E-03	1,06E-04	9,97E-04	1,06E-03	4,10E-05	7,55E-03	
MAE	kg 1,4-DB eq	1,25E+01	8,19E-01	3,07E+00	5,27E-01	4,97E+00	4,37E+00	2,05E-01	2,64E+01	
TE	kg 1,4-DB eq	8,74E-05	4,66E-06	1,03E-05	3,14E-06	2,96E-05	2,98E-05	1,22E-06	1,66E-04	
PO	kg C2H4 eq	5,78E-06	1,75E-07	7,05E-07	1,13E-07	1,08E-06	9,58E-07	4,43E-08	8,85E-06	
AC	kg SO2 eq	6,88E-05	4,36E-06	1,22E-05	2,85E-06	2,68E-05	2,35E-05	1,11E-06	1,40E-04	
EU	kg PO4--- eq	1,52E-05	8,91E-07	3,46E-06	5,59E-07	5,28E-06	1,17E-05	2,17E-07	3,73E-05	

Tabla 54: Impacto Ambiental Global - Metodología CML

### 12.3.1.2. Análisis del impacto ambiental por fases para barrica nueva de 225 l.

Tras realizar un análisis de impacto global de las principales fases del proceso, se analiza cada una de las fases de forma independiente identificando cada una de las actividades consideradas en cada fase y su relevancia en el impacto ambiental de las diferentes categorías de impacto consideradas.

Para el presente análisis, se analizarán las actividades de las dos fases principales (Fabricación de barricas y envejecimiento) de forma individual.

#### 12.3.1.2.1. Fabricación de barricas

La fabricación de barricas está compuesta por cuatro fases principales: tratamiento de la madera, fabricación de fondos, montaje de la barrica y almacenamiento, que junto con los consumos eléctricos no incluidos en el proceso de fabricación (consumos generales), serán analizados de forma individual.

### **Tratamiento de la madera**

Al igual que ocurre con las barricas de 228, 300 y 500 l., en el análisis global se ha mostrado el tratamiento de la madera, como la fase con mayor impacto en todas las categorías analizadas del proceso global.

Dentro de esta fase, existen dos actividades principales que van a ser analizadas de forma individual.

Analizando esta fase, la actividad con mayor impacto en todas las categorías de impacto analizadas es el serrado de la madera para la creación de duelas que conformarán el cuerpo de la barrica.

De forma análoga a lo deducido en el capítulo 11, la razón por la que el serrado posee un impacto muy superior al secado de la madera, es por la gran demanda energética por parte de la estación de serrado para la obtención de las duelas.

### **Fabricación de fondos**

Al igual que en los casos analizados en el capítulo 11, la fase de fabricación de fondos es la segunda fase con menor impacto en el proceso global.

Esta fase posee cinco actividades principales: Machimbrado, tostado, regresado, biselado y marcado de los fondos que serán analizados de forma individual.

### **Montaje de la barrica**

La fase de montaje de la barrica posee once actividades: tronzado, vaciado, juntado, tostado, prensado, ruñado, troquelado, estanqueidad, lijado, prensado y fabricación de flejes, que analizadas individualmente se puede observar que la actividad con mayor impacto en casi todas las categorías analizadas es la fabricación de flejes.



Esta actividad posee unos impactos mayores que el resto de actividades por el mayor consumo de recursos y materiales para la fabricación de los flejes de sujeción de la barrica en comparación con el resto de actividades de esta fase.

### **Consumos generales**

Los consumos generales de la planta no incluidos en el proceso de fabricación de las barricas, son incluidos en esta fase. Los consumos serán repartidos entre oficinas e instalaciones generales y la estación de aire comprimido.

Al igual que ocurre en los desarrollos del capítulo 11, debido a una gran demanda energética de la estación de aire comprimido, muy superior al consumo producido en las instalaciones generales y oficinas, los impactos ambientales en todas las categorías analizadas son los mayores.

#### **12.3.1.2.2. Envejecimiento**

La fase de envejecimiento está compuesta por cinco actividades principales: limpieza, enjuague, llenado y vaciado de las barricas, que junto con los consumos eléctricos no incluidos en el proceso de envejecimiento (consumos generales).

Si analizamos las actividades de forma individual, la limpieza es la actividad con un mayor impacto en todas las categorías analizadas. La mayor demanda de recursos (electricidad y agua), en comparación con el resto de actividades es la razón principal.

Categoría de impacto	Unidad	225 litros	
		Serrado	Secado
AD	kg Sb eq	1,48E-08	6,72E-10
AD (FF)	MJ	1,28E-01	5,23E-03
GWP	kg CO2 eq	1,03E-02	4,22E-04
ODP	kg CFC-11 eq	1,33E-09	5,74E-11
HT	kg 1,4-DB eq	3,16E-03	1,43E-04
FWAE	kg 1,4-DB eq	2,60E-03	1,13E-04
MAE	kg 1,4-DB eq	1,19E+01	5,44E-01
TE	kg 1,4-DB eq	8,42E-05	3,25E-06
PO	kg C2H4 eq	5,66E-06	1,17E-07
AC	kg SO2 eq	6,58E-05	2,90E-06
EU	kg PO4--- eq	1,46E-05	6,36E-07

Tabla 55: Impacto ambiental fase “Tratamiento de la madera”, Metodología CML.

Categoría impacto	Unidad	225 litros				
		Machimbrado	Tostado_1	Regruessado	Biselado	Marcado
AD	kg Sb eq	6,25E-11	3,90E-10	8,83E-11	2,71E-10	1,05E-10
AD (FF)	MJ	5,70E-04	3,21E-03	8,92E-04	2,36E-03	8,58E-04
GWP	kg CO2 eq	4,66E-05	2,58E-04	7,37E-05	1,90E-04	6,89E-05
ODP	kg CFC-11 eq	5,86E-12	3,54E-11	8,56E-12	2,51E-11	9,46E-12
HT	kg 1,4-DB eq	1,46E-05	8,18E-05	2,28E-05	6,01E-05	2,19E-05
FWAE	kg 1,4-DB eq	1,22E-05	6,61E-05	1,98E-05	4,96E-05	1,77E-05
MAE	kg 1,4-DB eq	5,98E-02	3,32E-01	9,47E-02	2,45E-01	8,86E-02
TE	kg 1,4-DB eq	3,20E-07	1,97E-06	4,57E-07	1,38E-06	5,27E-07
PO	kg C2H4 eq	1,25E-08	7,15E-08	1,92E-08	5,20E-08	1,91E-08
AC	kg SO2 eq	3,12E-07	1,79E-06	4,79E-07	1,30E-06	4,79E-07
EU	kg PO4--- eq	6,71E-08	3,51E-07	1,12E-07	2,68E-07	9,39E-08

Tabla 56: Impacto ambiental fase “Fabricación de fondos”, Metodología CML.

		225 litros												Fabricación flejes
Categoría impacto	Unidad	Tronzado	Vaciado	Juntado	Tostado_1	Prensado_1	Ruñado	Troquelado	Estanqueidad	Lijado	Prensado_2			
AD	kg Sb eq	3,06E-11	2,60E-10	1,96E-10	2,61E-11	2,67E-10	8,37E-11	7,40E-13	5,78E-10	6,37E-11	7,10E-11		1,45E-09	
AD (FF)	MJ	2,52E-04	2,45E-03	1,80E-03	2,14E-04	2,20E-03	7,01E-04	6,10E-06	4,02E-03	5,62E-04	2,07E-03		1,24E-02	
GWP	kg CO2 eq	2,02E-05	2,00E-04	1,47E-04	1,73E-05	1,77E-04	5,64E-05	4,89E-07	3,29E-04	4,56E-05	8,76E-05		1,05E-03	
ODP	kg CFC-11 eq	2,77E-12	2,46E-11	1,85E-11	2,37E-12	2,43E-11	7,64E-12	6,72E-14	4,52E-11	5,90E-12	6,14E-12		9,06E-11	
HT	kg 1,4-DB eq	6,41E-06	6,25E-05	4,60E-05	5,47E-06	5,62E-05	1,79E-05	1,55E-07	1,19E-04	1,43E-05	1,57E-05		4,55E-04	
FWAE	kg 1,4-DB eq	5,19E-06	5,32E-05	3,88E-05	4,42E-06	4,54E-05	1,45E-05	1,25E-07	9,14E-05	1,19E-05	1,24E-05		2,20E-03	
MAE	kg 1,4-DB eq	2,60E-02	2,58E-01	1,88E-01	2,21E-02	2,27E-01	7,25E-02	6,30E-04	4,19E-01	5,86E-02	6,19E-02		1,74E+00	
TE	kg 1,4-DB eq	1,55E-07	1,33E-06	1,01E-06	1,32E-07	1,35E-06	4,24E-07	3,75E-09	2,62E-06	3,25E-07	3,23E-07		2,61E-06	
PO	kg C2H4 eq	5,62E-09	5,33E-08	3,95E-08	4,79E-09	4,91E-08	1,56E-08	1,36E-10	9,25E-08	1,23E-08	2,14E-08		4,10E-07	
AC	kg SO2 eq	1,40E-07	1,33E-06	9,84E-07	1,19E-07	1,23E-06	3,90E-07	3,40E-09	2,22E-06	3,09E-07	4,35E-07		5,10E-06	
EU	kg PO4--- eq	2,75E-08	2,93E-07	2,12E-07	2,35E-08	2,41E-07	7,77E-08	6,67E-10	7,14E-07	6,46E-08	7,41E-08		1,74E-06	

Tabla 57: Impacto Ambiental Fase de Montaje de la barrica.

Metodología CML.

Categoría de impacto	Unidad	225 litros	
		Aire comprimido	Oficinas e instalaciones
AD	kg Sb eq	3,87E-09	1,98E-09
AD (FF)	MJ	3,19E-02	1,63E-02
GWP	kg CO2 eq	2,56E-03	1,31E-03
ODP	kg CFC-11 eq	3,51E-10	1,80E-10
HT	kg 1,4-DB eq	8,12E-04	4,15E-04
FWAE	kg 1,4-DB eq	6,57E-04	3,37E-04
MAE	kg 1,4-DB eq	3,30E+00	1,69E+00
TE	kg 1,4-DB eq	1,96E-05	1,01E-05
PO	kg C2H4 eq	7,12E-07	3,64E-07
AC	kg SO2 eq	1,78E-05	9,10E-06
EU	kg PO4--- eq	3,49E-06	1,79E-06

Tabla 58: Impacto ambiental fase “Consumos generales”, Metodología CML.

Categoría impacto	Unidad	225 litros			
		Limpieza	Enjuague	Llenado	Vaciado
AD	kg Sb eq	6,30E-09	7,07E-10	5,31E-09	1,40E-10
AD (FF)	MJ	4,12E-02	1,96E-03	3,68E-02	1,15E-03
GWP	kg CO2 eq	3,38E-03	1,86E-04	3,01E-03	9,27E-05
ODP	kg CFC-11 eq	4,34E-10	1,48E-11	3,94E-10	1,27E-11
HT	kg 1,4-DB eq	1,44E-03	1,93E-04	1,19E-03	2,94E-05
FWAE	kg 1,4-DB eq	1,06E-03	1,17E-04	8,95E-04	2,38E-05
MAE	kg 1,4-DB eq	4,37E+00	2,49E-01	3,89E+00	1,19E-01
TE	kg 1,4-DB eq	2,98E-05	2,85E-06	2,56E-05	7,10E-07
PO	kg C2H4 eq	9,58E-07	5,88E-08	8,49E-07	2,58E-08
AC	kg SO2 eq	2,35E-05	1,30E-06	2,09E-05	6,44E-07
EU	kg PO4--- eq	1,17E-05	2,81E-06	8,64E-06	1,26E-07

Tabla 59: Impacto ambiental fase “Envejecimiento”, Metodología CML.

### 12.3.2. Análisis global del impacto ambiental para barrica de 225 litros renovada con 9 duelillas de roble tostadas

El proceso se divide también en este caso en dos fases principales correspondiendo la primera a la fabricación de duelas y renovación de la barrica mientras que la segunda corresponderá al envejecimiento.

En el caso de la renovación de la barrica los procesos principales serán cuatro, correspondiendo al tratamiento de la madera, fabricación de las duelillas, inserción de las duelillas en la barrica agotada (renovación) y consumos generales de la instalación.

Barrica de 225 l. agotada y renovada mediante inserción de duelillas tostadas									
		Fabricación de barricas					Proceso de envejecimiento		
Categoría impacto	Unidad	Tratamiento madera	Fabricación de duelillas	Tostado de duelas	Renovación en barricas	Consumos generales_1	Envejecimiento	Consumos generales_2	Total
AD	kg Sb eq	9,23E-09	1,35E-09	4,13E-09	9,53E-11	8,29E-10	6,31E-09	2,41E-10	2,22E-08
AD (FF)	MJ	7,87E-02	1,17E-02	2,49E-02	7,84E-04	6,82E-03	4,12E-02	1,99E-03	1,66E-01
GWP	kg CO2 eq	6,29E-03	9,45E-04	1,43E-03	6,30E-05	5,48E-04	3,38E-03	1,60E-04	1,28E-02
ODP	kg CFC-11 eq	8,27E-10	1,24E-10	2,05E-10	8,65E-12	7,53E-11	4,35E-10	2,20E-11	1,70E-09
HT	kg 1,4-DB eq	1,96E-03	2,98E-04	4,64E-04	2,00E-05	1,74E-04	1,44E-03	5,07E-05	4,41E-03
FWAE	kg 1,4-DB eq	1,60E-03	2,46E-04	2,59E-04	1,62E-05	1,41E-04	1,06E-03	4,10E-05	3,37E-03
MAE	kg 1,4-DB eq	7,46E+00	1,21E+00	9,53E-01	8,10E-02	7,04E-01	4,38E+00	2,06E-01	1,50E+01
TE	kg 1,4-DB eq	5,13E-05	6,87E-06	3,03E-06	4,82E-07	4,19E-06	2,99E-05	1,23E-06	9,70E-05
PO	kg C2H4 eq	3,25E-06	2,58E-07	5,13E-07	1,75E-08	1,52E-07	9,60E-07	4,44E-08	5,19E-06
AC	kg SO2 eq	4,09E-05	6,45E-06	6,64E-06	4,38E-07	3,81E-06	2,35E-05	1,11E-06	8,29E-05
EU	kg PO4--- eq	9,00E-06	1,32E-06	1,67E-06	8,59E-08	7,47E-07	1,18E-05	2,18E-07	2,48E-05

Tabla 60: Impacto Ambiental Global - Metodología CML

#### 12.3.2.1 Análisis del impacto ambiental por fases para barrica de 225 l. agotada y renovada

Tras realizar un análisis de impacto global de las principales fases del proceso, se analiza cada una de las fases de forma independiente identificando cada una de las actividades consideradas en cada fase y su relevancia en el impacto ambiental de las diferentes categorías de impacto consideradas.

Para el presente análisis, se analizarán las actividades de las dos fases principales (Fabricación de duelillas y renovación y envejecimiento) de forma individual.

#### **12.3.2.1.1 Fabricación de duelillas y renovación**

La fabricación de duelillas y renovación está formada por cuatro fases principales: tratamiento de la madera, fabricación y tostado de las duelillas, renovación de la barrica y almacenamiento de barricas renovadas, que junto con los consumos eléctricos no incluidos en el proceso de fabricación (consumos generales), serán analizados de forma individual.

##### **Tratamiento de la madera**

Al igual que ocurre con las barricas estudiadas anteriormente, en el análisis global se ha mostrado el tratamiento de la madera, como una fase con gran impacto en todas las categorías analizadas del proceso global.

Analizando esta fase, la actividad con mayor impacto en todas las categorías de impacto analizadas es el serrado de la madera para la creación de los tacos de madera que, tras un proceso de secado y lixiviado, serán utilizados para conformar las duelillas.

De forma análoga a lo deducido en los casos anteriores, la razón por la que el serrado posee un impacto muy superior al secado de la madera, es por la gran demanda energética por parte de la estación de serrado para la obtención de las duelas.

##### **Fabricación de duelillas**

La fase de fabricación de duelillas es la otra fase con mayor impacto en el proceso global.

Esta fase posee varias actividades principales incluyendo el canteado en 4 caras, el tronzo anterior y posterior de los tacos, el aserrado en sierra múltiple para la obtención de las duelillas y el perforado inferior y superior de las duelillas.

Por último se tostarán en un horno de convección las duelillas mecanizadas en los procesos anteriores.

### **Almacenaje**

Costes derivados de las actuaciones de almacenamiento y conservación de las barricas hasta su utilización.

### **Montaje y renovación de las barricas**

Consiste en introducir y fijar las duelillas dentro de la barrica agotada que va a ser renovada.

Esta fase posee varias actividades principales incluyendo el desmontaje del fondo superior, la colocación de las duelillas en 2 piezas poliméricas, el atornillado y fijado del conjunto dentro de la barrica, el cerrado de la barrica y enjuagado y prueba de estanqueidad

### **Consumos generales**

Los consumos generales de la planta no incluidos en el proceso de fabricación de las barricas, son incluidos en esta fase. Los consumos serán repartidos entre oficinas e instalaciones generales y la estación de aire comprimido.

Al igual que ocurre en los desarrollos del capítulo 11, debido a una gran demanda energética de la estación de aire comprimido, muy superior al consumo producido en las instalaciones generales y oficinas, los impactos ambientales en todas las categorías analizadas son los mayores.

#### **12.3.2.1.2. Envejecimiento**

Al igual que en el caso anterior, la fase de envejecimiento está compuesta por cinco actividades principales: limpieza, enjuague, llenado y vaciado de las barricas, que junto con los consumos eléctricos no incluidos en el proceso de envejecimiento (consumos generales).

Si analizamos las actividades de forma individual, la limpieza es la actividad con un mayor impacto en todas las categorías analizadas. La mayor demanda de recursos (electricidad y agua), en comparación con el resto de actividades es la razón principal.

Categoría de impacto	Unidad	228 litros	
		Serrado	Secado
AD	kg Sb eq	8,78E-09	4,48E-10
AD (FF)	MJ	7,55E-02	3,28E-03
GWP	kg CO2 eq	6,02E-03	2,66E-04
ODP	kg CFC-11 eq	7,91E-10	3,57E-11
HT	kg 1,4-DB eq	1,87E-03	9,71E-05
FWAE	kg 1,4-DB eq	1,53E-03	7,52E-05
MAE	kg 1,4-DB eq	7,12E+00	3,43E-01
TE	kg 1,4-DB eq	4,93E-05	2,05E-06
PO	kg C2H4 eq	3,17E-06	7,41E-08
AC	kg SO2 eq	3,91E-05	1,81E-06
EU	kg PO4--- eq	8,55E-06	4,44E-07

Tabla 61: Impacto ambiental fase 1 “Tratamiento de la madera”, Metodología CML.

Barrica de 225 l. agotada y renovada mediante inserción de duelillas tostadas

Categoría impacto	Unidad	Serrado	Tronzado	Tostado	Total
AD	kg Sb eq	3,04E-11	1,91E-10	4,26E-11	1,32E-10
AD (FF)	MJ	2,70E-04	1,57E-03	4,08E-04	1,13E-03
GWP	kg CO2 eq	2,20E-05	1,26E-04	3,35E-05	9,11E-05
ODP	kg CFC-11 eq	2,83E-12	1,74E-11	4,06E-12	1,21E-11
HT	kg 1,4-DB eq	6,90E-06	4,01E-05	1,04E-05	2,88E-05
FWAE	kg 1,4-DB eq	5,75E-06	3,24E-05	8,92E-06	2,36E-05
MAE	kg 1,4-DB eq	2,82E-02	1,62E-01	4,30E-02	1,17E-01
TE	kg 1,4-DB eq	1,55E-07	9,67E-07	2,19E-07	6,72E-07
PO	kg C2H4 eq	5,95E-09	3,51E-08	8,87E-09	2,50E-08
AC	kg SO2 eq	1,49E-07	8,78E-07	2,21E-07	6,25E-07
EU	kg PO4--- eq	3,12E-08	1,72E-07	4,94E-08	1,27E-07

Tabla 62: Impacto ambiental fase 2 “Fabricación y tostado de duelillas”, Metodología CML.



Barrica de 225 l. agotada y renovada mediante inserción de duelillas tostadas				
Categoría impacto	Unidad	Machimbrado	Tostado_1	Regruessado
AD	kg Sb eq	4,03E-11	3,85E-09	2,42E-10
AD (FF)	MJ	6,90E-03	1,61E-02	1,87E-03
GWP	kg CO2 eq	2,17E-04	1,06E-03	1,51E-04
ODP	kg CFC-11 eq	1,41E-12	1,82E-10	2,08E-11
HT	kg 1,4-DB eq	1,37E-05	3,99E-04	5,06E-05
FWAE	kg 1,4-DB eq	6,02E-06	2,13E-04	4,00E-05
MAE	kg 1,4-DB eq	2,79E-02	7,31E-01	1,94E-01
TE	kg 1,4-DB eq	2,91E-08	1,83E-06	1,18E-06
PO	kg C2H4 eq	4,23E-08	4,28E-07	4,22E-08
AC	kg SO2 eq	8,11E-07	4,79E-06	1,04E-06
EU	kg PO4--- eq	7,28E-08	1,34E-06	2,50E-07

Tabla 63: Impacto Ambiental Fase 3 “Renovación de la barrica”. Metodología CML.

Barrica de 225 l. agotada y renovada mediante inserción de duelillas tostadas		
Categoría impacto	Unidad	Almacenamiento
AD	kg Sb eq	9,53E-11
AD (FF)	MJ	7,84E-04
GWP	kg CO2 eq	6,30E-05
ODP	kg CFC-11 eq	8,65E-12
HT	kg 1,4-DB eq	2,00E-05
FWAE	kg 1,4-DB eq	1,62E-05
MAE	kg 1,4-DB eq	8,10E-02
TE	kg 1,4-DB eq	4,82E-07
PO	kg C2H4 eq	1,75E-08
AC	kg SO2 eq	4,38E-07
EU	kg PO4--- eq	8,59E-08

Tabla 64: Impacto ambiental fase 4 “Almacenamiento”, Metodología CML.

Barrica de 225 l. agotada y renovada mediante inserción de duelillas tostadas			
Categoría impacto	Unidad	Aire comprimido	Oficinas e instalaciones
AD	kg Sb eq	5,24E-10	3,04E-10
AD (FF)	MJ	4,32E-03	2,51E-03
GWP	kg CO2 eq	3,47E-04	2,01E-04
ODP	kg CFC-11 eq	4,76E-11	2,76E-11
HT	kg 1,4-DB eq	1,10E-04	6,39E-05
FWAE	kg 1,4-DB eq	8,90E-05	5,16E-05
MAE	kg 1,4-DB eq	4,46E-01	2,59E-01
TE	kg 1,4-DB eq	2,65E-06	1,54E-06
PO	kg C2H4 eq	9,63E-08	5,59E-08
AC	kg SO2 eq	2,41E-06	1,40E-06
EU	kg PO4--- eq	4,73E-07	2,74E-07

*Tabla 65: Impacto ambiental fase “Consumos generales”, Metodología CML.*

## 12.4 CONCLUSIONES

A lo largo de este estudio, hemos analizado el diferente impacto de la vinificación con crianza en bodega, utilizando bodegas nuevas y bodegas renovadas mediante introducción de duelas tostadas en la bodega.

El ACV se ha desarrollado teniendo en cuenta todas las fases de la fabricación de la bodega así como los procesos asociados al envejecimiento con cada una de las tipologías propuestas, obteniendo así una información precisa del impacto ambiental de las diferentes actividades individuales que definen el proceso productivo.

La unidad funcional se ha definido como el envejecimiento de un litro de vino envejecido durante cuatro meses en bodega de roble de la variedad Quercus Alba.

Al igual que en el caso anterior, la selección de dicha unidad se fundamenta en que cada 4 meses, por término medio, el vino se extrae de una bodega mezclándose con el resto del vino destinado al mismo destino productivo, momento en el cual la bodega es higienizada y preparada para albergar el mismo u otro vino diferente.

Un análisis pormenorizado de los resultados indica que el impacto de la vinificación utilizando bodegas renovadas con la inserción de duelas es muy inferior a la vinificación con bodegas nuevas.

Estos resultados pueden ser observados a partir de la evolución de cualquiera de las categorías de impacto analizadas, para las que invariablemente el impacto será menor en el caso de las bodegas renovadas.

Si estudiamos los orígenes de estas diferencias, resulta interesante apreciar cómo están principalmente fundamentadas en las diferentes cantidades de madera necesarias para fabricar una bodega y para renovarla.

Esto ocasiona que, a su vez, los consumos asociados al procesado de la madera sean muy inferiores reduciendo de esta forma el impacto.

Sin embargo, es destacable apreciar como el tostado de las duelillas, al tratarse de un tostado eléctrico, implica un impacto sustancial que no es originado en el caso de la fabricación de una barrica, dado que el tostado se hace aprovechando los restos de madera del mecanizado de las duelas y fondos.

En cualquier caso, el impacto de la barrica renovada es sustancialmente inferior al de la vinificación y crianza con barricas nuevas.



## Tesis doctoral

Doctorado en Innovación en Ingeniería de producto y procesos industriales

“ESTUDIO DE TÉCNICAS DE HIGIENIZACIÓN MEDIANTE PROYECCIÓN DE  
DIÓXIDO DE CARBONO Y RENOVACIÓN AROMÁTICA MEDIANTE  
INSERCIÓN DE DUELILLAS EN BARRICAS USADAS”

## CONCLUSIONES

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

DIRECTORES DE LA TESIS: Julio Blanco Fernández

Emilio Jiménez Macías

DOCTORANDO: Francisco Javier Flor Montalvo

Logroño, Junio 2017



## 13. Conclusiones

---

## 13.1 Resultados y discusión

A lo largo del presente trabajo hemos realizado, partiendo de un análisis de la situación del sector vitivinícola en la actualidad, un recorrido por las diferentes formas de crianza de vinos utilizando madera de roble.

En las circunstancias actuales, donde el mercado parece apuntar hacia vinos de mayor calidad y complejidad, con mayor valor añadido y carácter diferencial, la aportación de la madera de roble resulta muy atractiva.

Dentro de los sistemas de vinificación con madera de roble, la vinificación en ha sido tradicionalmente el sistema de crianza por excelencia.

No obstante, el alto coste de dicho sistema así como su elevado impacto ambiental ha favorecido el desarrollo de sistemas alternativos de vinificación.

De forma paralela, los sistemas de higienización de barricas han avanzado de forma considerable en los últimos años, motivados por la necesidad de asegurar unas adecuadas características higiénicas y organolépticas del vino producido así como para alargar la vida de las barricas.

Atendiendo a lo anterior, hemos fundamentado la presente tesis en tres pilares principales:

- Limpieza e higienización de barricas, alargando la vida útil de las barricas y minimizando los riesgos de degradación de vinos principalmente fundamentados por contaminación biológica.
- Análisis comparativo de sistemas de crianza con madera de roble tradicionales y alternativos mediante inserción de duelillas de roble en el interior de la barrica.

- Impacto ambiental de la vinificación con diferentes formatos de barricas y diferentes tipologías de roble.

Si atendemos al primer punto, hemos estudiado una tecnología alternativa a las tecnologías tradicionales, consistente en la proyección de dióxido de carbono a alta velocidad y presión y baja temperatura, de forma que además de una potente capacidad biocida, actúe como sistema de limpieza física.

Un análisis comparativo, ha revelado como este sistema resulta extremadamente eficiente en la eliminación de contaminación biológica logrando eficiencias muy superiores a las obtenidas con agua a presión fría y caliente, vapor e incluso ozono en disolución acuosa.

Sin embargo, los sistemas de higienización de barricas implican habitualmente una reducción de la capacidad de cesión aromática de las barricas sobre las que se aplican, principalmente derivada del “arrastre” de los compuestos superficiales de la madera junto con los tratamientos aplicados.

En el caso del dióxido de carbono, esta eliminación es similar a la de tratamientos convencionales como la aplicación de vapor de agua.

En el siguiente apartado, analizamos la capacidad de un sistema alternativo, consistente en la introducción de duelillas de roble tostadas, en una barrica agotada aromáticamente y adecuadamente higienizada, con el fin de alargar su vida útil.

Se han analizado las diferentes maderas utilizadas con diferentes tipos de tostado y se han elaborado varios vinos, utilizando para ello barricas agotadas, barricas nuevas y barricas renovadas con el sistema propuesto.



Los resultados obtenidos, indican que la renovación aromática de barricas mediante la inserción de duelillas arroja resultados muy similares a los que podríamos obtener mediante el uso de barricas.

Para finalizar, hemos analizado los impactos ambientales de barricas con diferentes geometrías y tipos de madera, y se ha comparado el impacto de la vinificación con una barrica tradicional (225 litros fabricada con madera de Quercus Alba) y una barrica agotada y renovada (50% de superficie equivalente de barrica).

Las conclusiones obtenidas reflejan que las barricas de roble americano (Q. Alba) tienen, a igual geometría, menores impactos ambientales que las fabricadas en robles europeos (Q. Robur) y éstas a su vez un menor impacto que las fabricadas en roble francés (Q. Peatrea).

Por otro lado, al incrementar el volumen de la barrica utilizada, menor será el impacto ambiental de la misma en la crianza del vino.

Por último, la renovación aromática de barricas reduce de forma drástica el impacto ambiental respecto de las crianzas utilizando barricas sin renovar.

Atendiendo a todo lo anterior, consideramos que una adecuada utilización combinada de sistemas de limpieza y barricas renovadas, puede dar lugar a vinos de gran calidad con un coste inferior y un impacto ambiental considerablemente más reducido que con los sistemas de vinificación tradicionales.

A pesar de que los criterios de selección de las técnicas de crianza por parte de los enólogos son muy personales, consideramos que a partir de los resultados obtenido, un técnico dispone de datos y de herramientas suficientes para poder escoger entre diferentes sistemas de higienización, así como decidir el sistema de vinificación con madera de roble, tanto en barricas tradicionales.

## 13.2 Líneas de investigación futuras

Existen muchas metodologías de vinificación, tanto con utilización de barricas como sin su uso.

En la presente tesis hemos estudiado tanto materiales como geometrías y sistemas de tratamiento tradicionales, con la excepción de la renovación aromática de barricas mediante inserción de duelillas y la limpieza de barricas mediante la utilización de dióxido de carbono.

Dado que la variedad en el formato y tipología de la aportación de roble tiene una gran influencia en el resultado de la vinificación, la experimentación con diferentes geometrías y con materiales novedosos se antoja claramente interesantes.

Si bien, las bodegas utilizan fragmentos con diferentes geometrías, incluyendo polvo, “arroz”, chips, segmentos e incluso bolas y cubos, no hay una herramienta que defina la aportación en función de la geometría, más allá de la propia superficie de contacto.

El uso de la micro-oxigenación como sistema para favorecer la evolución de los vinos, y muy especialmente en aquellos con crianzas asociadas al roble, tiene gran difusión. Sin embargo, a pesar de la amplia profusión de estos métodos, su uso se limita tradicionalmente a crianzas tradicionales y crianza con duelillas en depósito de acero inoxidable y en recipientes metálicos o poliéricos con aportación de chips o segmentos.

Un claro ejemplo de fusión de los conceptos anteriores corresponde al relativamente reciente desarrollo de depósitos de sección ovoidal, fabricados en hormigón a los que habitualmente se dota de sistemas de micro-oxigenación y en ocasiones se combina con sistemas de aportación de madera de roble.



UNIVERSIDAD  
DE LA RIOJA

TESIS DOCTORAL

“ESTUDIO DE TÉCNICAS DE HIGIENIZACIÓN MEDIANTE PROYECCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO Y  
RENOVACIÓN AROMÁTICA MEDIANTE INSERCIÓN DE DUELILLAS EN BARRICAS USADAS”

---

De manera análoga, el estudio de nuevas geometrías, tecnologías y materiales ayudarán al desarrollo de vinos diferenciales.



UNIVERSIDAD  
DE LA RIOJA

TESIS DOCTORAL

“ESTUDIO DE TÉCNICAS DE HIGIENIZACIÓN MEDIANTE PROYECCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO Y  
RENOVACIÓN AROMÁTICA MEDIANTE INSERCIÓN DE DUELILLAS EN BARRICAS USADAS”

---