



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE POSTGRADO

**“EFECTOS QUÍMICOS, FÍSICOS Y ORGANOLÉPTICOS DE LA
CRIANZA DE CERVEZA CON MADERA”**

Tesis para optar al optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y al
Grado de Magíster en Enología y Vitivinicultura.

Amaro Salvador Benavente Marin

Director de Tesis
Álvaro Iván Peña Neira

Codirector de Tesis
Carla Ingrid Jara Campos

SANTIAGO - CHILE

2022

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**“EFECTOS QUÍMICOS, FÍSICOS Y ORGANOLÉPTICOS DE LA CRIANZA DE
CERVEZA CON MADERA”**

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al Título Profesional de Ingeniero
Agrónomo y al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias

AMARO SALVADOR BENAVENTE MARÍN

	Calificaciones	Calificaciones
	(Memoria de Título)	(Tesis de Grado)
DIRECTOR DE TESIS		
Álvaro Peña N. Ingeniero Agrónomo, Enólogo, Dr.	6.7	6.7
CODIRECTOR DE TESIS		
Carla Jara C. Ingeniero Agrónomo, Enóloga, Dr.	6.5	6.5
PROFESORES CONSEJEROS		
Mariona Gil C. Licenciada Química, M. Sc., Dr.	6.7	6.7
Andrés Muñoz S. Ingeniero Agrónomo, Agroecólogo, Dr.	6.8	6.8

Santiago, Chile

2021

AGRADECIMIENTOS

Doy las gracias a mis padres, por la paciencia y el apoyo a mis labores académicas, facilitando constantemente su tiempo y voluntad, para llegar de la mejor forma al final del ciclo académico.

En segundo lugar, agradezco a la Universidad, la Facultad de Ciencias Agronómicas y el Departamento de Agroindustria y Enología, por haberme formado de manera integral para ser un profesional capaz de representar el Alma Mater, dando un énfasis en los profesores Álvaro Peña, Carla Jara, Eduardo Loyola, Juan Salvador y Elías Obreque. También debo mencionar a Lili y Manuel, quiénes me dieron su ayuda.

En Tercer lugar, agradezco a todos los compañeros de Universidad y amigos que me ayudaron tanto en lo académico, como en lo personal, entregando de manera desinteresada su mano de soporte. Agradezco por el gran material bibliográfico compartido con mi persona a Camilo Toro, Abner Mardones y Benjamín Martínez.

Por último, me gustaría agradecer a Tonelería Nacional, quienes compartieron los chips de madera con los cuales se llevó a cabo el anexo 4, como también, a todos los investigadores citados en esta tesis y su arduo trabajo en el tema cervecero.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las almas centradas en la constante, ardua y permanente investigación de la naturaleza, a los que buscan la verdad, y objetividad de las cosas y el ser.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE CUADROS	7
INDICE FIGURAS	9
INDICE ANEXOS	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
HIPÓTESIS	16
OBJETIVOS	16
Objetivo general	16
Objetivos específicos	16
MATERIALES Y MÉTODOS	17
Lugar de estudio	17
Materiales	17
Método	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
1. Cerveza: Aspectos generales.	19
1.1.1. Historia de la cerveza y su evolución en el tiempo	19
1.1.2. Historia de la cerveza en Chile	22
1.1.3. Historia de la cerveza “Barleywine”, “Pilsener” y “Storng Belgian Ale”	23
1.2. Ingredientes tradicionales y adjuntos	25
1.2.1. Lúpulo	25
1.2.2. Levadura	27
1.2.3. Malta	27
1.2.4. Agua	29
1.2.5. Adjuntos	30
1.3. Proceso de elaboración de cervezas	30
1.4. Características físicas, químicas y organolépticas de la cereza	31
1.4.1. Características físicas	31
1.4.2. Características químicas	33
1.4.3. Características organolépticas	35
1.4.3.1. Componente visual	35
1.4.3.2. Aromático	36
1.4.3.3. Gustativo y sensación en boca	37
1.5. Tipos y estilos de cervezas	39
1.6. Consumo y mercado de cervezas	41
2. Maderas en la crianza de cerveza	42
2.1. Historia de maderas en la crianza de cervezas	42
2.2. Maderas de roble	44
2.2.1. Estructura de la madera de roble	44
2.2.2. Propiedades físicas de la madera de roble	46

2.2.3. Composición química de la madera de roble	47
2.2.3.1. Compuestos fenólicos	47
2.2.3.1.1. Polifenoles de bajo peso molecular	47
2.2.3.1.2. Taninos	49
2.2.3.2. Compuestos aromáticos	51
2.2.3.3. Fracción mineral	53
2.2.4. Madera de roble francés y americano	53
2.2.5. Procesado de la madera para tonelería	56
2.2.5.1. Selección de árboles y extracción de duelas	56
2.2.5.2. Secado	57
2.2.5.3. Tostado	58
2.3. Formatos de la madera	59
2.3.1. Barricas	59
2.3.2. Alternativos a la barrica	60
2.3.2.1. Alternativos utilizados en grandes depósitos	60
2.3.2.2. Alternativos utilizados en barricas	61
2.4. Otras maderas con potencial de guarda	62
3. Efectos físicos, químicos y organolépticos de la guarda sin madera en cerveza	63
3.1. Efectos físicos de la guarda en las cervezas	63
3.2. Efectos químicos de la guarda en las cervezas	64
3.2.1. Contenido de alcohol	64
3.2.2. pH	65
3.2.3. IBU	65
3.2.4. Fenoles totales	66
3.2.5. Compuestos volátiles	66
3.3. Efectos organolépticos de la guarda en las cervezas	77
4. Efectos físicos, químicos y organolépticos de las maderas de roble francés y americano en la crianza de las cervezas tipo “Ale” y “Lager”	79
4.1. Efectos físicos en las cervezas tipo “Ale” y “Lager”	79
4.1.1. Efectos físicos en las cervezas tipo “Ale”	79
4.1.2. Efectos físicos en las cervezas tipo “Lager”	80
4.2. Efectos químicos en las cervezas tipo “Ale” y “Lager”	80
4.2.1. Efectos químicos en las cervezas tipo “Ale”	80
4.2.1.1. Análisis de pH, contenido de alcohol, acidez total, azúcares reductores y IBU	81
4.2.1.2. Compuestos fenólicos	83
4.2.1.3. Otros compuestos aromáticos	86
4.2.2. Efectos químicos en las cervezas tipo “Lager”	86
4.2.2.1. Análisis de pH, contenido de alcohol, acidez total y IBU	86
4.2.2.2. Compuestos fenólicos	88
4.2.2.3. Otros compuestos aromáticos	90
4.3. Efectos sensoriales en las cervezas tipo “Ale” y “Lager”	91
4.3.1. Efectos sensoriales en las cervezas tipo “Ale”	91
4.3.2. Efectos sensoriales en las cervezas tipo “Lager”	92
5. Comunidades microbianas en la crianza de cervezas en madera	93
5.1. Generalidades	93

5.2. Comunidades microbianas en la crianza de cervezas acidas en madera	95
CONCLUSIONES	97
BIBLIOGRAFÍA	98
ANEXOS	109

ÍNDICE DE CUADROS Y TABLAS

Cuadro 1. Algunas variedades de lúpulo y sus niveles típicos de <i>alfa</i> ácidos.	26
Cuadro 2. Rango de Gravedad Original y Gravedad Final para distintas cervezas.	32
Cuadro 3. Rango de Color (SRM) para distintas cervezas.	32
Cuadro 4. Rango de alcohol °GL para distintas cervezas.	34
Cuadro 5. Rango de atenuación Aparente Limite para distintas cervezas.	35
Cuadro 6. Rango de Amargor (IBU) para distintas cervezas	38
Cuadro 7. Comparación cervezas tipo “Ale” y “Lager”.	40
Cuadro 8. Características de la madera de roble americano y roble francés.	55
Cuadro 9. Descriptores aromáticos y umbral de percepción de algunos compuestos producidos en el tostado de la madera.	58
Tabla 10. Estabilidad de la espuma en cerveza fresca y con guarda para distintas muestras.	64
Tabla 11. Contenido de alcohol para cervezas con guarda de 1, 2 y 3 meses.	64
Tabla 12. Variación del pH.	65
Tabla 13. Concentración de iso- α -ácidos (mg/L) en cerveza fresca y con guarda para distintas muestras de cervezas (A-F).	65
Tabla 14. Concentración de fenoles totales (mg/L) en cerveza fresca y con guarda para distintas muestras de cervezas (A-F).	66
Tabla 15. Efecto del tiempo en la concentración de <i>trans</i> -2-nonenal para diferentes condiciones de guarda de cerveza.	73
Tabla 16. Puntajes sensoriales generales para la guarda de cerveza.	78
Tabla 17. Compuestos encontrados en la guarda de cervezas, sus descriptores sensoriales y umbral de percepción.	78
Tabla 18. Valores obtenidos para análisis de pH, azúcares residuales, acidez total y grado alcohólico para distintos tratamientos de crianza en madera para cerveza “Barleywine (Ale)”.	82
Tabla 19. Valores obtenidos en IBU para distintos tratamientos de crianza en madera para cerveza “Barleywine (Ale)”.	83
Tabla 20. Valores obtenidos de taninos totales para distintos tratamientos de crianza en madera para cerveza “Barleywine (Ale)”.	84
Tabla 21. Concentración de compuestos fenólicos de bajo peso molecular en cervezas con maduración con madera de roble francés, roble americano y control con guarda sin madera.	86
Tabla 22. Valores de parámetros en cerveza “Lager” con diferentes crianzas en roble francés.	88
Tabla 23. Valores de fenoles totales en cerveza “Lager” con diferentes crianzas en roble francés.	89
Tabla 24. Resultados del análisis de la varianza (<i>PerMANOVA</i>) ^a comparando la composición de las comunidades fúngicas y bacterianas durante la maduración de la <i>cerveza</i> ^b en barrica.	96

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Territorio y asentamientos del pueblo Netufiano en oriente Próximo.	20
Figura 2. Morfología de los conos del lúpulo y la glándula lúpulina.	26
Figura 3. Tipos de malta base más usadas	28
Figura 4. Tipos de malta especial más usadas.	29
Figura 5. Compuestos químicos y propiedades físicas que afectan la estabilidad de la espuma.	33
Figura 6. Ánforas de cerámica	43
Figura 7. Tablilla italiana datada en el siglo V D.C. “Buey trasportando una barrica”.	43
Figura 8. Corte transversal de un tronco de roble.	45
Figura 9. Anillos de crecimiento, corte transversal de la madera.	45
Figura 10. Estructura química de los ácidos gálico y elágico.	48
Figura 11. Estructura química de los aldehídos fenólicos mencionados.	48
Figura 12. Estructura química de algunos fenoles volátiles.	49
Figura 13 .Estructura química de los ocho elagitaninos identificados en la madera de roble.	50
Figura 14. Estructura química de los galotaninos.	50
Figura 15. Estructura química de los furanos presentes en la madera de roble.	51
Figura 16. Estructura química del malton y las dimetilpirazinas, presentes en la madera de roble.	52
Figura 17. Estructura química de β -ionona y β -damascenona.	52
Figura 18. Estructuras químicas de β -metil- γ -octolactona.	53
Figura 19. Mapa de Francia: Principales zonas de cultivo y extracción de <i>Quercus petraea</i> .	54
Figura 20. Corte por el método de hendido en robles europeos.	54
Figura 21. Mapa de Estados Unidos: Principales zonas de cultivo y extracción de <i>Quercus alba</i> .	55
Figura 22. Corte por el método de hendido en robles europeos.	55
Figura 23. Gráfico “Efecto del tiempo de guarda, temperatura y presencia de aire en el color de la cerveza”.	63
Figura 24. Gráfico “Efecto del tiempo en la concentración de acetato de isoamilo para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”.	67
Figura 25. Gráfico “Efecto del tiempo de en la concentración relativa de algunos ésteres etílicos en cerveza”.	68
Figura 26. Gráfico “Efecto del tiempo de en la concentración de etil-3-metil-butirato para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”.	69
Figura 27. Gráfico “Efecto del tiempo de en la concentración de etil-3-metil-butirato para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”.	70
Figura 28. Gráfico “Efecto del tiempo de en la concentración de diacetilo para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”.	71

Figura 29. Gráfico “Efecto del tiempo de en la concentración de 4-metilpentan-2-ona para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”.	72
Figura 30. Gráfico “Efecto del tiempo en la concentración relativa de β -damascenona para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”.	73
Figura 31. Gráfico “Efecto del tiempo en la concentración de 2-furfural para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”.	74
Figura 32. Gráfico “Efecto del tiempo en la concentración de 2-furanmetanol (Alcohol furfurílico) para diferentes condiciones de guarda de la cerveza.”	75
Figura 33. Gráfico “Efecto del tiempo en la concentración relativa de 2,4,5-trimetil-1,3-dioxolano para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”.	76
Figura 34. Gráfico “Efecto del tiempo en la concentración relativa de 2,4,5-trimetil-1,3-dioxolano para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”.	77
Figura 35. Gráfico “Fenoles totales para cervezas de estilo “Pale” y “Stout” con crianza en madera de roble francés, roble americano y guarda sin madera”.	84
Figura 36. Gráfico “Concentración de ácido gálico en cerveza “Lager” con crianza en madera de roble francés en diversos formatos”.	90
Figura 37. Gráfico “Concentración de furfural en cerveza “Lager” con crianza en madera de roble francés en diversos formatos”.	91
Figura 38. Microbiota de la maltería y la elaboración de cerveza.	94

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	109
Anexo 2.	110
Anexo 3.	112
Anexo 4.	113
Anexo 5.	120
Anexo 6.	121
Anexo 7.	122

RESUMEN

La cerveza es una bebida alcohólica común a nivel mundial, la cual ha experimentado un aumento de su consumo en la última década. Si bien, el mercado global está dominado por grandes conglomerados internacionales, éste sigue siendo un sector altamente competitivo con importantes y constantes cambios en las preferencias de los consumidores. Es en este contexto que, el uso de técnicas poco usuales, la utilización de insumos no convencionales y los procesos innovadores, son esenciales para destacar dentro de la vasta industria cervecera. Por lo anterior, este trabajo plantea el análisis bibliográfico de los efectos en el uso de roble francés y roble americano en la guarda de cervezas “Ale” y “Lager”.

Los efectos observados, fueron el aumento de los fenoles totales, taninos, polifenoles de bajo peso molecular y lactonas. En el caso del color, como característica física analizada, no es modificado en las cervezas expuestas a maderas. Sensorialmente, el perfil fue modificado en cervezas “Ale” en contacto con maderas.

Debido a lo anterior, la hipótesis es aceptada de forma parcial, ya que si bien se observaron aumentos en la concentración de compuestos de interés, el perfil sensorial en “Lagers”, no mostro cambios. Esto último es controversial, debido a los diferentes resultados de los autores y la poca cantidad de bibliografía.

Palabras Claves: Fenoles Totales, Guarda de cervezas, Lactonas, Maderas de crianza.

ABSTRACT

Beer is a common worldwide alcoholic beverage, which has experienced an increase in its consumption in the last decade. Although the global market is dominated by large international conglomerates, it continues to be a highly competitive sector with significant and constant changes in consumer preferences. It is in this context, the use of unusual techniques, unconventional inputs and innovative processes are essential to stand out within the vast brewing industry. Due to the above, this work proposes the bibliographical analysis of the effects of the use of French oak and American oak in the aging of "Ale" and "Lager" beers.

The observed effects were the increase of total phenols, tannins, low molecular weight polyphenols and lactones. In the case of color, as a physical characteristic analyzed, it is not modified in beers exposed to wood. Sensorially, the profile was modified in "Ale" beers in contact with wood.

Due to the above, the hypothesis is partially accepted, since although increases in the concentration of compounds of interest were observed, the sensory profile in "Lagers" did not show changes. The latter is controversial, due to the different results of the authors and the small amount of bibliography.

Keywords: Total Phenols, Aging of beers, Lactones, Aging wood.

INTRODUCCION

La cerveza es una bebida alcohólica obtenida por la fermentación alcohólica de cereales malteados, cuya presencia ha estado desde los albores de la sociedad humana. Se han encontrado diferentes vestigios de su producción, tales como tres morteros con data de 13.000 años de antigüedad, en las cuevas de Raqefet, (Haifa, Israel). En estas piezas arqueológicas se aprecia la elaboración de fermentados de granos, presumiblemente para ceremonias en medio de la era neolítica (Liu *et al.*, 2018).

A través del tiempo, la elaboración de cerveza y su concepto ha mutado. Es en el año 1516, en Alemania, donde se crea la primera regulación de alimentos, la llamada ley de la pureza o “Reinheitsgebot”. Esta ley, reglamentó los ingredientes a utilizar en la elaboración de cerveza, básicamente el uso del agua, cebada y lúpulo. Este precedente en la concepción de la cerveza, no contempla la levadura como un insumo en su elaboración, ya que solo se concebía como un subproducto del proceso productivo. No es hasta fines del siglo XIX, que Luis Pasteur divulga sus investigaciones referentes a microorganismos en procesos fermentativos (Eßlinger, 2009; Van Tongeren, 2009).

La cerveza en América, fue introducida por los españoles, al inicio del periodo colonial, pero no tuvo un importante crecimiento, debido a la preferencia por los vinos, chichas y aguardientes. Posteriormente, en los años de la Independencia, el consumo de cerveza fue retomado, por la apertura de los puertos manteniendo un estilo “Porter” pensado para el consumo de extranjeros. (Couyoumdjian, 2004).

Actualmente, en Chile rige la ley 18.455, la cual fija las normas sobre producción, elaboración y comercialización de alcoholes etílicos, bebidas alcohólicas y vinagres. Dentro de ésta, se define la cerveza como “una bebida fermentada obtenida a partir de cebada malteada, lúpulo, levadura y agua”. Según esta regulación, los insumos no pueden ser distintos a los ya mencionados. No obstante, se permite la adición de extractos fermentables, tales como arroz, maíz y azúcar, debiendo contener como mínimo un 65% de cebada malteada. En el caso de utilizarse azúcar, como extracto fermentable, ésta no debe exceder un 20% del extracto total (Ley 18.455, 1985).

El consumo de la cerveza, a nivel mundial, aumenta constantemente, siendo superada por bebidas no alcohólicas como el agua y el té (Kirin, 2018). En Chile, el consumo de cerveza alcanza a 65,6 L/per cápita anual, con un incremento en los últimos 17 años de 38,6 L/per cápita anual (Arney, 2021).

El mercado internacional de la industria cervecera es altamente competitivo y dinámico, con constantes cambios en las preferencias de los consumidores. Además, el mercado está altamente concentrado en grandes conglomerados cerveceros, con solo 5 holding que para el año 2017 poseían el 51,6% de la cuota del mercado mundial (Capitello y Maehle, 2020).

El mercado nacional, no es muy distinto del mercado internacional, especialmente en la concentración de la producción por grandes conglomerados. En este sentido, la Compañía de Cervecerías Unidas (CCU) representa un 90% de la cuota de mercado nacional, Cervecerías

Chile S.A representa el 7% de la cuota nacional. Mientras, que las microcervecías representan el 3% de la cuota mercado (Toro, 2017). A pesar de lo anterior, el segmento de cervezas artesanales posee una buena recepción por los consumidores y presenta un continuo crecimiento (Bascur, 2013). En este contexto, surgen nuevos nichos receptivos a la innovación cervecera, buscando estilos contemporáneos, insumos no convencionales y procesos de elaboración poco usuales.

El uso de maderas en bebidas fermentadas es generalmente una práctica utilizada en la elaboración de vinos. Con la incorporación de la crianza de bebidas alcohólica en madera, se obtienen una mayor complejidad en los procesos físicos, químicos y bioquímicos que afectan las propiedades organolépticas del producto final (Wyler *et al.*, 2015). La crianza en roble francés (*Quercus petraeae*) no es nueva en las cervecías. Recientemente, ha habido un interés creciente en este proceso, debido a las características de sabor que esta práctica puede brindar a la cerveza (Wyler *et al.*, 2015). Las características sensoriales entregadas por la madera a la cerveza, son moduladas en función del origen botánico del roble, nivel de tostado y formato que se utiliza en la crianza (Sterckx *et al.*, 2012).

Los compuestos fenólicos que se extraen de la madera durante el proceso de crianza de los fermentos, son los responsables de las notas aromáticas, el sabor, el color y la mejora de las cualidades del producto final. La degradación de la hemicelulosa y la celulosa produce furfural y 5-hidroximetilfurfural (5-HMF), y la de lignina proporciona vainillina, siringaldehído, guayacol, eugenol, coniferaldehído y sinapaldehído. Por tanto, la crianza con madera puede modificar el aroma, el sabor y agregar algo de color a la cerveza. Sin embargo, la aplicación de esta técnica debe ser equilibrada y los efectos nunca deben superar las cualidades intrínsecas de la cerveza (Petros, 2008; Wyler *et al.*, 2015).

No obstante, existen abundantes antecedentes científicos referente a estudios de crianza con madera de roble y de otras especies en vinos. En cambio, la utilización de madera en la crianza de cerveza, es aún escasos en cuanto al roble. Por este motivo, se ha propuesto la presente investigación bibliográfica.

HIPÓTESIS

El uso de maderas de Roble americano (*Quercus alba*) y Roble francés (*Quercus petraea*) en la crianza de cervezas tipo “Lager” y “Ale” mejoran sus características físicas, químicas y organolépticas.

OBJETIVOS

Objetivos General

Analizar el efecto del uso de la madera en la maduración de la cerveza sobre las características físicas, químicas y sensoriales de la cerveza.

Objetivos Específicos

- Analizar los efectos físicos, de la crianza en madera de las cervezas tipo “Lager” y “Ale”.
- Analizar los efectos químicos, de la crianza en madera de las cervezas tipo “Lager” y “Ale”.
- Evaluar la influencia del uso de maderas en las características aromáticas en la crianza de cerveza tipo “Lager” y “Ale”.
- Describir las comunidades microbianas que intervienen en la crianza de las cervezas en madera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de Estudio

La presente tesis se realizó en las dependencias de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Materiales

Para cumplir con los objetivos de este trabajo, se consultaron fuentes de información, bibliotecas digitales y bases de datos como “Web of Science”, “Wiley, ScienceDirect”, etc. La extracción de referencias bibliográfica se obtuvo desde las siguientes fuentes:

- Revistas especializadas tales como “Journal of the Institute of Brewing”, “Journal of the Food Science”, “Journal of the Science of Food and Agriculture”, entre otras.
- Libros relacionados tales como “The Chemistry of Beer”, Guía de Estilos 2015, Tecnología de la Cerveza, entre otros.
- Tesis de postgrado y Memorias de título Nacionales e Internacionales.
- Documentos académicos de divulgación de instituciones nacionales o internacionales de investigación.

Metodología

Las principales acciones desarrolladas en este trabajo fueron:

- Obtener información bibliográfica sobre los efectos físicos, químicos y organolépticos de la crianza con maderas.
- Indagar de manera bibliográfica los factores que inciden en la concentración compuestos químicos de interés enológico encontrados al finalizar la crianza con maderas de roble francés y roble americano, siendo estos el origen botánico, nivel de tostado, formato de aplicación, tiempo de contacto, pH, oxígeno y graduación alcohólica.
- Revisar de manera bibliográfica los efectos de maderas de roble francés y roble americano en la crianza de cervezas tipo “Lager” y “Ale”.

La metodología de búsqueda realizada fue por medio de las siguientes palabras claves o *Keywords*: “Wood and beer”, “beer and american oak”, “beer and french oak”, “wood phenols in beer”, “wood ageing”, etc., para luego efectuar una búsqueda manual dentro de los artículos seleccionados y así obtener referencias secundarias preferentemente posteriores al año 2011. La información obtenida en las fuentes mencionadas, fueron analizadas y comparadas con distintos autores en pos de obtener un enfoque amplio del estado del arte. Posteriormente, la información fue seleccionada y clasificada para completar satisfactoriamente los estándares de este estudio. El orden lógico de la información está presentado desde conceptos generales a particulares, finalizando con las conclusiones.

El desarrollo de esta tesis presenta los siguientes tópicos generales:

- La cerveza: Historia universal de la cerveza, historia de la cerveza en Chile, marcas locales, elaboración de la cerveza, ingredientes tradicionales, características (físicas, químicas y organolépticas), tipos de cervezas, mercado y consumo de cervezas.
- Maderas en la crianza de cerveza: Historia del uso de madera en la cervecería, maderas de roble (genero *Quercus*) utilizadas en la cervecería, estructura de la madera de roble, propiedades de la madera de roble (física y química), procesado de la madera de roble, barricas y alternativos, otras maderas con potencial de guarda en cervezas.
- Efectos de la crianza de cervezas en madera de roble: Efectos físicos, químicos y organolépticos de la guarda en cervezas. Efectos físicos, químicos y organolépticos de la madera de roble en las cervezas tipo “Lager” y “Ale”. Comunidades microbianas en la crianza de cervezas en madera.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. La Cerveza: Aspectos generales

Para comprender los efectos del uso de la madera en la maduración de la cerveza, es necesario entender la procedencia de sus técnicas de producción y procesos productivos, ya que estos inciden en diversas características de interés enológico del fermentado.

1.1.1. Historia de la cerveza y su evolución

El consumo de alcohol es una antigua conducta humana, su data y origen cultural todavía no ha sido esclarecida completamente. A pesar de lo anterior, la evidencia arqueológica sugiere que la producción de las bebidas alcohólicas está ligada a la domesticación de cereales en sociedades agrícolas como las presentes en el antiguo Egipto, Mesopotamia y China (Wang *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2018).

Reportes científicos, atribuyen el mérito de la domesticación de cereales a los Netufianos de oriente próximo (Figura 1), un pueblo cazador-recolector sedentario que vivió entre 15,000–11,500 años antes del presente (BP o antes de 1950 D.C.) que no manejaba la alfarería o la ganadería, pero sí el cultivo de cereales y estructuras sociales que pavimentaron el camino a las sociedades sedentarias como la Mesopotámica (Katz y Voigt, 1986; Habu y Fitzhugh, 2002; Hayden, 2013). Nace así, la teoría de “*Natufian beer hypothesis*” o hipótesis de la cerveza Netufiana, adjudicando a este antiguo pueblo la producción de fermentados de granos en medio de la era neolítica. Esta hipótesis tomó más peso el año 2018, debido a la excavación de vestigios arqueológicos en una cueva funeraria situada en Raquef, Israel, donde se encontraron tres morteros que evidenciaron por medio de análisis de almidones, la utilización de cebada/trigo salvaje, tubérculos, legumbres silvestres, liliun y otros almidones no identificados, para producir fermentados o cervezas, datadas entre 13,700 y 11,700 años antes del presente (Liu *et al.*, 2018; Habu y Fitzhugh, 2002).

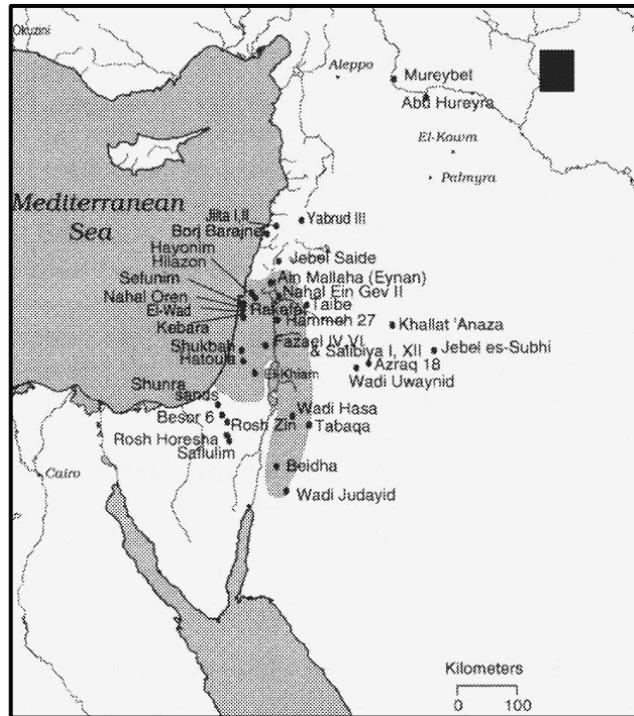


Figura 1. Territorio y asentamientos del pueblo Netufiano en Oriente Próximo.
Fuente: Habu y Fitzhugh, 2002.

La cultura mesopotámica descendientes de los Netufianos, para el año 5000 A.C. Crearon un fermentado de granos similar a la cerveza actual, llamado “sikaru”, almacenado en vasijas de cuello largo. El consumo de esta bebida, se realizaba con largas cañas huecas con las cuales se evitaría la ingesta de trozos de grano que permanecían sobre el líquido (Jackson, 1994; Sáez, 2012).

Posteriormente, la producción de fermentados de granos, fue tomada por los antiguos egipcios, con vestigios que datan de la era Predinástica hace 3100 A.C. Los egipcios consideraban esta bebida como parte esencial de su vida, siendo consumida desde los faraones hasta las clases más bajas de la sociedad egipcia. Este fermentado, además, era común como regalo mortuario y ofrendas a sus dioses. Siendo encontrado vestigios de esta bebida, en variados textos funerarios y jeroglifos de paredes dentro de pirámides (Hornsey, 2003).

La expansión de la cerveza fuera de Egipto, comenzó cerca del año 1200 A.C., en la llamada Anatolia. Esta tierra era dominada por el Imperio Hatti, los cuales tomaron el pan y la cerveza como alimentos imprescindibles. Otros pueblos situados en la antigua Tracia, actualmente parte de Bulgaria, Turquía y Grecia, también tomaron la costumbre de tomar “Zythos” (cerveza) del griego antiguo espuma (Hornsey, 2003).

A medida que la agricultura y la domesticación de granos comenzó a expandirse alrededor del mundo, la producción de fermentados de granos también avanzó. En Asia, el cultivo de arroz, llevó a la fermentación alcohólica de este cereal y la elaboración del “Sake”. En Europa del Este y parte de Asia, la cultura Eslava, utilizó el centeno como grano principal en los fermentados, naciendo los “Kvas”. Y en las culturas de Europa e Islas Británicas, como los

pueblos celtas o germanos, la cebada y el trigo, fueron utilizadas como base de sus cervezas (Jackson, 1994).

Para finales del siglo II D.C, los pueblos de Europa y las Islas Británicas, eran gobernados por los romanos, expandiéndose la cerveza por gran parte del Imperio. La cerveza llegó a ser considerada un “commodity” comercial, siendo nombrada en un edicto de precios, promulgado por el emperador Diocleciano el año 301, en plena época de la Tetrarquía y división del imperio en Este y Oeste (Hornsey, 2003).

Posterior a la caída del Imperio romano, Carlomagno fue nombrado rey de los Francos en el 768 D.C., expandiendo su reinado por todo Europa Occidental, pasando a ser el Sacro Imperio Romano. En los territorios conquistados por Carlomagno, se difunde el cristianismo; comenzando la construcción de grandes monasterios en los territorios de los actuales países, Francia, Alemania, Italia, Países Bajos y norte de España. En la gran mayoría de los casos, estos monasterios se convirtieron en centros productores de cervezas, generando así los primeros atisbos de una producción a mayor escala (Hornsey, 2003).

En la Edad Media, la cerveza era elaborada por los monjes y siervos de la gleba, los cuales utilizaban múltiples hierbas para dar gustos específicos y atributos característicos a la cerveza. Siendo estas mixturas de yerbas, llamadas “gruit”. La utilización del lúpulo comenzó como una más de las hierbas utilizadas en las fórmulas de los “gruit”. Los monjes productores de grandes volúmenes de cerveza, se dieron cuenta que el lúpulo entregaba un mayor tiempo de conservación a la cerveza, comparado con lotes producidos con “gruit” de otras hierbas, adoptando así, el lupulado de manera común en sus recetas (Hornsey, 2003).

Para el año 1516 D.C. se promulga la primera ley de alimentos por el Rey Guillermo IV de Baviera, la llamada “Reinheitsgebot”, estableciendo el uso de agua, malta y lúpulo para la producción de cervezas en su territorio. Este hito entregó un precedente para la producción de la cerveza en Europa (Van Tongeren, 2009).

En el siglo XVII, las cervecerías, fueron sometidas a la escasez de la principal fuente de energía, la madera. Por este motivo, la industria comenzó a utilizar el carbón como combustible para el proceso cervecero. Sin embargo, esta práctica llenaba ciudades como Londres de un humo nocivo que llevo a la promulgación de variadas leyes para evitar su uso dentro de las urbes. Debido a lo anterior y a la falta de madera como combustible, se crearon los llamados “Coaks”, que eliminaban los humos nocivos del carbón común (Hornsey, 2003).

A comienzo del siglo XVIII, la producción de cerveza en los hogares estaba muy reducida. Esto se debió, principalmente a la creación de grandes empresas cerveceras que suministraban este fermentado a millones de empleados en las nuevas y pujantes fábricas urbanas. Para este siglo, la creación de grandes carreteras y ferrocarriles perfeccionó en gran medida el sistema de distribución de la industria cervecera (Bamforth, 2004).

En el año 1857, Luis Pasteur, reportó sus avances científicos sobre procesos fermentativos, específicamente la transformación de leche dulce a ácida, comenzando de esta manera su recorrido en la investigación microbiológica. Para el año 1860, desarrolló una extensión para abarcar los microorganismos relacionados en la elaboración de los vinos y las cervezas. Estos resultados, fueron rápidamente aplicadas en la industria cervecera, para mejorar los procesos de producción y los controles de calidad de la cerveza. Otros avances tecnológicos, tales como las máquinas a vapor, la mecanización y la refrigeración mejoraron enormemente las

operaciones unitarias y tecnología aplicada en la elaboración de la cerveza (Lewis, 2015; Robbins, 2001).

El siglo XX, se inicia un fuerte y acelerado crecimiento en la producción cervecera, particularmente antes de la Primera Guerra Mundial. El precio de los granos estaba en declive. Siendo, Estados Unidos, Inglaterra y Alemania los mayores mercados de cerveza, con una producción de 5 a 7 billones de litros anuales cada uno. Este crecimiento es interrumpido abruptamente por la Primera Guerra Mundial, disminuyendo su producción hasta en un 70%. Las principales causas de esta recesión, fueron la escases de mano de obra por el reclutamiento forzoso, y el poco acceso a materiales de producción, como granos y metales los cuales estaban dirigidos a menesteres bélicos (Swinnen, 2011).

La Segunda Guerra Mundial, nuevamente golpeó la producción cervecera, los insumos para la producción de cerveza eran escasos y racionados. En general, las cervecerías intentaron suplir la demanda de materias primas, utilizando otros granos, otras hierbas o disminuyendo el grado alcohólico, como sucedió en el caso estadounidense (“light Lagers”). Posterior a la guerra, en el periodo de 1950 a 1980, la producción logró un continuo crecimiento, con mejoramiento en las tecnologías, disminución de los costos y aumentó en la demanda de cerveza (Swinnen, 2011).

A finales del Siglo XX e inicios del siglo XXI, las cervecerías comenzaron a expandirse a nivel global, tranzando sus licencias de producción por diferentes países emergentes. Para el inicio de los años 2000 las antiguas cervezas “light Lager” (producida en la segunda guerra mundial) aumentaron su demanda, principalmente por el efecto favorable de los consumidores a productos bajo en calorías (Tremblay y Tremblay, 2005; Stack, 2003).

Con el gran crecimiento de las cervezas “Lager” y “light Lager” de producción más estandarizada y poca variedad en el mercado, nace una contracorriente de producción de estilos antiguos y diferentes. Esta corriente se inició en Estados Unidos cerca de los años 80 del siglo XX, avanzando en diferentes mercados hasta la actualidad, trayendo micro cervecerías con estilos innovadores (Swinnen, 2011).

1.1.2. Historia de la cerveza en Chile

La cerveza, como concepto europeo, se introdujo en Chile en la época de la Colonia con la llegada de los españoles, los cuales conocían la bebida, pero culturalmente existía una preferencia por el vino y sus destilados. La población nativa y mestiza en esta época, prefería sus propias bebidas alcohólicas. Reportes de Jiménez y Manzano, (2019), exponen que las cervezas elaboradas en Chile, eran similares a las cervezas de los pueblos del norte y este de Europa. Estas bebidas nativas, eran principalmente producidas con piñones autóctonos, frutas nativas y cereales importados como el trigo, siendo estos ingredientes primeramente sancochados y posteriormente introducidos en vasijas para su fermentación (Jiménez y Manzano, 2019).

Según Pereira (1977), a principios del siglo XIX, la cerveza comenzó a ser un brebaje popular. En la Chimba de Santiago, se inició la primera cervecería bien montada del país. Posteriormente, comenzaron a abrirse otras cervecerías en el territorio nacional, como la cervecería montada por el médico británico Andrés Blest en la plaza del Orden de Valparaíso en el año 1825. La cervecería Plagemann, fundada en 1849, situada en la calle Chacabuco en Valparaíso, y la cervecería Valentín Koch y Andrés Ebner en la ribera norte del río Mapocho en 1850.

En Limache, año 1883 se fundó la cervecería Hoffmann. En el año 1891 pasaría a formar una Sociedad Anónima llamada Hoffmann y Ribbeck. En ese mismo año, Plagemann y Cía., Valparaíso, fue fusionada con Hoffmann y Ribbeck, creando la Fábrica Nacional de Cerveza S.A. con sede en el puerto de Valparaíso, con un capital inicial de 600 mil pesos. Luego, Fábrica Nacional de Cerveza S.A. pasa a tomar posesión de la cervecería de Carlos Cousiño, ocupando un preponderante papel en la industria cervecera de la zona central, cambiando su nombre de Fábrica Nacional de Cerveza S.A. a Compañía de Cervecerías Unidas (CCU). A los años después, CCU absorbió una gran cantidad de fábricas cerveceras de Chile, tomando el control de casi todo el mercado de bebidas y cervezas del país. Ya en el año 1930, CCU poseía una menor variedad de productos en contraste a su gran cuota en el mercado nacional (Couyoumdjian, 2004).

En el año 1992, surge la Sociedad Cervecera Valdivia Ltda. creada por Armin Kunstmann, trayendo de regreso recetas tradicionales inspiradas en la antigua cervecería Andwandter de la ciudad de Valdivia. Para mayo del 2002, CCU, se asoció con la Sociedad Cervecera Valdivia Ltda., creando la icónica planta cervecera Kunstmann en el sector de Toro Bayo, Valdivia. Ese mismo año, fue creada la Asociación de Productores de Cerveza de Chile, la cual reúne las principales cervecerías del rubro nacional (ACECHI, 2019).

Al inicio de los 2000, gran cantidad de emprendedores siguieron la senda de la contracorriente al estándar industrial, naciendo importantes íconos de la cervecería artesanal en la actualidad, como son la cerveceria Kross y Szot en el año 2003. En la actualidad, existen más de 500 cervecerías artesanales en el territorio nacional (Swinnen, 2011; ACECHI, 2019).

1.1.3. Historia de las cervezas “Barleywine”, “Pilsener” y “Strong Belgian Ale”

Los siguientes estilos, poseen una gran relevancia dentro de los tipos de cervezas “Ale” y “Lager”, entregados por su gran masividad o por sus excelentes aptitudes para la guarda con madera.

a) “Barleywine”

Proviene de una base de cervezas antiguas con alto contenido de alcohol, enfocado principalmente en la preservación de la cerveza por meses o años. El posterior uso del lúpulo, en los siglos XVI y XVII, fue una herramienta de equilibrio para el fuerte contenido de alcohol de estas cervezas, como también los fuertes aromas y sabores maltosos. Además, el lúpulo entrega una mejora en la preservación de la cerveza. A mediados del Siglo XVIII a este tipo de cervezas con alto contenido de alcohol, se les comenzó a llamar “malt wines” o “malt liquors”, en términos de comparar sus características con el vino. Pero, el adjetivo “Barleywine” no era utilizado para estilos en concreto dentro de las “malt wines”, ya que, las denominaciones más comunes para éstos eran las cervezas “Old”, “Strong” y “Stock” (Allen y Catwell, 1998).

Geográficamente, el nacimiento del estilo “Barleywine” proviene de la ciudad de Burton, Inglaterra, donde era usual encontrar cervezas fuertes. Estos tipos de cerveza con el tiempo comenzaron a ser llamadas “Barleywine”. La primera cerveza en ser llamada “Barleywine” de manera oficial, fue la cerveza N°1 de la cervecería Bass en el año 1872, producida en la ciudad de Burton (Allen y Catwell, 1998; BJCP, 2015).

El estilo “Barleywine” se fue expandiendo a través de Inglaterra, como también en otros países como Bélgica y Estados Unidos, generando nuevas variantes de esta bebida (BJCP, 2015).

c) “Pilsener”

La ciudad checa de Plzeň o Pilsen en español, fue fundada en el año 1295 por Wenceslao II, Rey de Bohemia. En ese mismo año, el rey concedió a sus ciudadanos el derecho a elaborar y vender cervezas. Para el siglo XVIII, las cervezas, sus ingredientes y sus derivados, eran de gran importancia económica y social en Bohemia. Sus maltas llegaron a ser una de las más apreciadas en Europa y sus lúpulos eran de excelente calidad. Sin embargo, sobre éstos últimos cayó la prohibición de exportarlos fuera de Bohemia (Carpenter, 2017).

František Ondřej Poupe, fue un maestro cervecero bohemio, que a finales del siglo XVIII e inicios del siglo XIX, introdujo estándares y técnicas modernas en Plzeň para la elaboración de este tipo de cerveza. Además, fue el primero en incorporar avances tecnológicos tales como la utilización del termómetro en la elaboración de las cervezas (Miller, 1998; Carpenter, 2017).

Las cervezas en Pilsen, para el año 1840, poseían los mejores ingredientes disponibles para la elaboración de cerveza para la época. Sin embargo, la continua utilización de cultivos mixtos de levaduras de alta fermentación, no resaltaban las características organolépticas como éstos. En el año 1842, un monje bávaro ingresó a Bohemia de contrabando un frasco con las levaduras de fermentación baja. Estas levaduras bávaras brindaron la oportunidad de utilizar la estrategia de fermentación baja. Este hito, fue el último elemento para la creación del estilo “Pilsener” (Miller, 1998; Carpenter, 2017).

Las cervezas “Pilsener” fueron expandiéndose por Europa, tomando gran importancia en países tales como Alemania, Países Bajos y Escandinavia. Producto de la inmigración de

bohemos al nuevo mundo, este brebaje llegó a Estados Unidos y Canadá. El estilo “Pilsener” evolucionó permanentemente al paso por cada uno de estos países. No obstante, mantuvo sus características visuales (color pálido), características táctiles (alta carbonatación) y un buen balance entre el sabor, aroma de maltas y lúpulos (Carpenter, 2017).

b) “Strong Belgian Ale”

Desde la Edad Media, las cervezas belgas eran mayoritariamente producidas en los monasterios trapenses. En el año 1796, la revolución francesa, anexa el territorio de la Bélgica actual comprendida entre los Países Bajos del sur y el principado de Lieja, incorporándolos a Francia. El gobierno revolucionario francés, suprimió la religión, y con ello, la existencia de los monasterios productores de cervezas. Además, fue llevado cabo el exterminio de monjes y de los líderes religiosos, por medio del extendido método de la guillotina. De esta manera, muchos clérigos se dedicaron a una vida alejada del claustro o en el exilio en los países cercanos (Hieronymus, 2005).

En el año 1830, Bélgica nace como una nación soberana y los monasterios vuelven a ser ocupados como centros religiosos y elaboradores de cerveza (Rajotte, 1992).

Para el año 1919, se dictó en el territorio belga, una ley que prohibía la venta de espirituosos y aumentaba los impuestos a las cervezas. Esto incentivó la creación de cervezas más alcohólicas (Rajotte, 1992; Hieronymus, 2005).

1.2. Ingredientes tradicionales y adjuntos

1.2.1. Lúpulo.

Es una especie vegetal (*Humulus lupulus*) de la familia *Cannabácea*, originaria del hemisferio norte. Fue introducida, con fines productivos, a otros países tales como Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda. Se caracteriza por ser una planta perenne, trepadora y dioica, con una gran diversidad de morfologías (Marceddu *et al.*, 2020). El lúpulo ha sido desde la Edad Media, un ingrediente esencial en la producción de cerveza, contribuyendo principalmente al amargor, sabor, aroma, preservación y estabilidad de la espuma (Suarez, 2013).

En la industria cervecera, se utiliza principalmente el cono de las plantas femeninas (inflorescencias). En esta estructura, se encuentran la gran mayoría de las resinas producidas por las glándulas lupulinas. Estas resinas son principalmente *alfa* ácidos, *beta* ácidos y aceites esenciales (Figura 2). La concentración *alfa* ácidos varía desde 2% a 16% (Cuadro 1). Estos componentes, otorgan el componente de amargor de la cerveza, dado por la isomerización de éstos en la etapa de cocción de la elaboración del mosto cervecero. Los *beta* ácidos, en

general, no contribuyen con el amargor de la cerveza, a excepción cuando éstos son oxidados. Los aceites esenciales del lúpulo proporcionan el aroma y sabor de la cerveza (Hass, 2016).

Cuadro 1. Algunas variedades de lúpulo y sus niveles típicos de *alfa* ácidos. Fuente: Haas, 2016. Elaboración propia.

Cultivar	<i>Alfa</i> ácidos (%)
Cascade	4-7
Chinook	12-14
Columbus	14-16
Fuggle	3,5-5,5
Galena	12-14
Nugget	12-14
Saez Checo	3-4,5
Super Styrian	8-10
Willamette	3-6
Wye target ingles	10-13

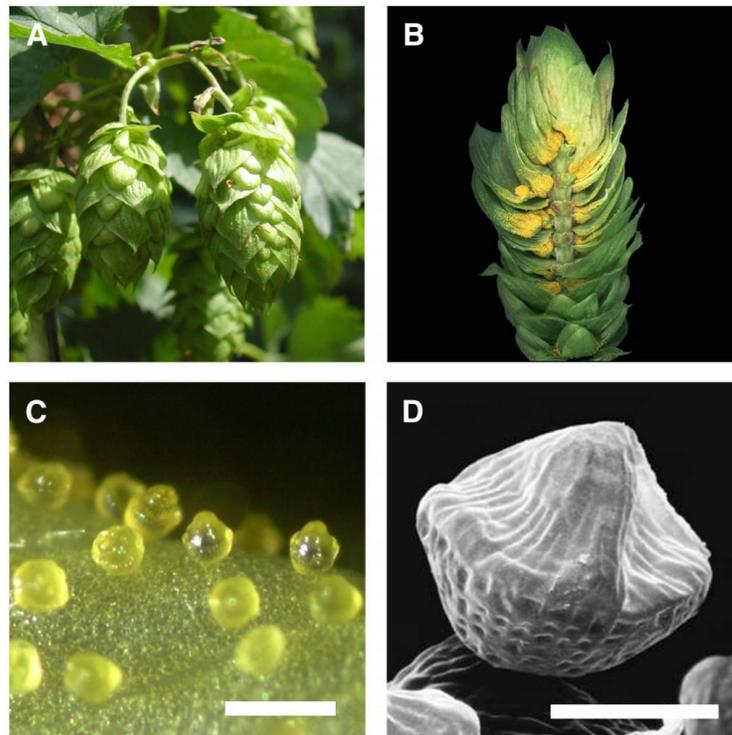


Figura 2. Morfología de los conos del lúpulo y la glándula lúpulina.

A. Conos de lúpulo B. Sección transversal de un cono de lúpulo y exposición de las glándulas lupulinos C. Imagen de microscopio óptico de las glándulas lupulinas maduras

(500µm) D. Imagen de microscopio electrónico de las glándulas lupulinas maduras (100 µm).

Fuente: Nagel, 2008.

Todas las variedades de lúpulos aportan amargor y aroma. Sin embargo, éstas son clasificadas en tres tipos según su concentración de *alfa* ácidos y potencial de los aceites esenciales. Los primeros, son los lúpulos de amargor, éstos poseen un mayor contenido de *alfa ácidos*, los cuales son aplicados al inicio de la etapa de cocción del mosto cervecero. La aplicación temprana de estos lúpulos, se debe, a que los *alfa* ácidos deben ser isomerizados en la etapa de cocción. Siendo la reacción de isomerización de estos compuestos amargos, más eficiente, con un mayor tiempo de exposición a las temperaturas de ebullición. El segundo tipo son los lúpulos tipificados como aromáticos, son aquellos que poseen una baja concentración de *alfa ácidos* y alto contenido de aceites esenciales, los cuales están asociados con el aporte aromático por parte de estos lúpulos. Finalmente, el tercer tipo son los lúpulos de doble propósito, los cuales poseen concentraciones similares de *alfa ácidos* y aceites esenciales, otorgando a la cerveza amargor y aromas (Hass, 2016).

1.2.2. Levadura

Las levaduras son microorganismos unicelulares. Morfológicamente posee forma esférica u ovalada, y se hallan ampliamente distribuidas en la naturaleza (Santamaria, 1997). Éstas son capaces de cubrir su demanda energética, en presencia de oxígeno (aeróbio), por medio de la respiración, y en ausencia de oxígeno (anaeróbio) por medio de la fermentación alcohólica. En la clasificación taxonómica de estos microorganismos, existe el género *Saccharomyces*, el cual es extensamente utilizado con fines industriales. Este grupo de levaduras son los principales agentes bióticos de la transformación del mosto a cerveza (Mosher, 2015).

Las levaduras más utilizadas en la elaboración de cerveza son la *Saccharomyces cerevisiae* conocida por ser una levadura de fermentación alta, muy usada en cervezas provenientes de las Escuelas inglesas y belgas de producción de cerveza. La levadura *Saccharomyces pastorianus*, es conocida por ser una levadura de fermentación baja. Esta levadura es utilizada para la elaboración de cerveza de las escuelas alemanas y checas. Finalmente, el género de levaduras *Brettanomyces*, utilizadas mayormente en la elaboración de las cervezas de la escuela belgas como las cervezas tipo “Lambic” (Barth, 2013).

1.2.3. Malta

La malta son cereales o pseudocereales que pasan por el proceso de malteado, dejando disponibles gran cantidad enzimas tales como amilasas, proteasas, lipasas, entre otras. Los granos malteados, poseen distintas características que los hacen más idóneos para la elaboración de cervezas. El proceso de malteado en el maíz (*Zea mays*) genera enranciamiento de sus grasas, generando defectos organolépticos. El trigo (*Triticum aestivum*) es malteado para diferentes industrias, pero el fácil desarrollo de microbiota en su superficie complica su transformación a malta. El sorgo (*Sorghum spp.*) siendo una gramínea de origen tropical, es malteado y utilizado comúnmente en cervezas nativas africanas (Suarez, 2013). El grano de cebada (*Hordeum vulgare*) a nivel mundial, se ha posicionado como el aroma típico de las cervezas siendo éste el más utilizado en la industria cervecera, siendo considerado como un insumo indispensable en la gran mayoría de los países. Las cepas utilizadas para la producción de maltas de cebada, son cebada cervecera o de dos hileras (*Hordeum distichum L.*) y la cebada de seis hileras (*Hordeum hexastichum L.*). La cebada de dos hileras, se considera de mejor aptitud para la elaboración de cerveza, debido a la mayor concentración de azúcares y menor concentración de proteínas, mientras que la de seis hileras posee una mayor concentración de proteínas que pueden dificultar la filtración y clarificación en la elaboración de cervezas (Suarez, 2013).

La malta de cebada, se puede clasificar en dos grandes grupos, los cuales dependen de la temperatura de secado.

a) Maltas base. Son el principal componente de las cervezas. Estas maltas son utilizadas por su poder diastático, es decir, la actividad total de las enzimas degradantes del almidón de malta que hidrolizan el almidón a azúcares fermentables. Además, estas maltas otorgan un gran aporte de amino nitrógeno libre (FAN) y una alta disponibilidad de almidón en la etapa de maceración del proceso de generación del mosto cervecero .

Las principales maltas de este grupo son “Pilsen”, “Pale Ale”, “Trigo”, “Vienna”, “Munich” (Figura 3), siendo ésta última secada a mayor temperatura (100°C a 105°C). Por ende, poseen mayor contenido de componentes colorantes y poder diastático ligeramente menor a la Pilsen (Castle Malting, 2020).



Figura 3. Tipos de malta base más usadas.

A. Malta “Pilsen” (2,5 a 3,5 EBC) B. Malta “Pale Ale” (7 a 10 EBC) C. Malta de trigo (3,5 a 5,5 EBC) D. Malta “Vienna” (4 a 7 EBC) E. Malta “Munich” (15 EBC).

Fuente: Castle Malting, 2020.

b) Maltas Especiales. Las maltas son sometidas a un proceso de malteado, a temperaturas mayores (sobre 105°C) que las maltas bases. Esta acción provoca la transformación del contenido de almidón en azúcares no fermentables, debido a las reacciones de Maillard, que producen caramelización y pardeamiento de estas maltas. Por lo anterior, estas maltas poseen un nulo o bajo poder diastático. Por lo tanto, estas maltas son mayormente utilizadas para entregar sabor, aroma y color a las cervezas producidas. Algunas de estas maltas son sometidas por una operación extra, en hornos de tostado a una temperatura sobre 160°C, con el fin de propiciar el pardeamiento de las maltas (cambio de color). Los principales tipos de maltas especiales (Figura 4) son “Caramel” o “Crystal”, “Biscuit”, Café, Chocolate, Negra o “Black patent” (Casttle Malting, 2020).



Figura 4. Tipos de malta especial más usadas.

A. Malta “Caramel” (250 EBC) B. Malta “Biscuit” (50 EBC) C. Malta Café (500 EBC) D. Malta Chocolate (1000 EBC) E. Malta Negra (1300 EBC).

Fuente: Casttle Malting, 2020.

1.2.4. Agua

Una cerveza promedio posee casi un 90% de agua en su contenido, siendo el ingrediente más importante de ésta. Las cualidades propias como el calor específico y polaridad ayudan a mantener la temperatura para diferentes procesos y reacciones de interés tecnológico. Además, es la base para la disolución de distintos compuestos que entregan color, amargor, cuerpo, entre otros. El agua, en sí misma, es una matriz que proporciona al mosto distintos minerales de gran importancia, tales como el ion calcio (Ca^{2+}), cobre (Cu^{2+}) y el ion zinc (Zn^{2+}). Estos minerales participan en la transformación de los azúcares fermentables de la malta en alcohol (Barth, 2013; Mosher, 2015).

Con la tecnología actual, se puede modificar la matriz del agua, extrayendo compuestos contaminantes o indeseados y/o agregar compuestos faltantes según la necesidad de la cerveza producida. En este sentido, las aguas ricas en carbonatos son ideales para cervezas oscuras del tipo “Porter” o “Stout”. Las aguas ricas en sulfato de calcio, favorecen las cervezas más claras y resaltan las propiedades del lúpulo. Por otro lado, las aguas con una matriz baja de minerales suavizan la cerveza (Pilla y Vinci, 2013).

1.2.5. Adjuntos

Los adjuntos, son ingredientes que suplementan a las maltas, suministrando de almidón o azúcares, pero no la batería enzimática, que tienen como función transformar el almidón en azúcares fermentables. Por tanto, materias primas como el arroz, maíz y sorgo, son utilizados principalmente como fuentes de almidón. Éstos últimos, también son utilizados por sus características organolépticas neutras, proporcionando un bajo nivel de color potencial (1-2 en índice *Standard Research Method* o SMR) y amortiguación a sabores fuertes de la cebada (Hojong *et al.*, 2016).

Los azúcares extraídos de la caña de azúcar, remolacha y maíz tienen un potencial de color de cero SMR. Por lo tanto, estos adjuntos son utilizados comúnmente para ajustar fácilmente la fermentabilidad (Barth, 2013; Bogdan y Kordialik-Bogacka, 2017).

Existen adjuntos, con la capacidad de entregar características organolépticas distintivas, como la miel, melazas, sirope de arce y “candy sugar”. Éste último, alcanzado un nivel de color potencial de hasta 275 SMR (Barth, 2013; Farber y Barth, 2019).

1.3. Proceso de Elaboración de Cerveza

El proceso inicial para su producción comienza con el malteado del grano de cebada (*Hordeum distichon L / Hordeum hexastichon L.*). En el proceso de malteado los granos son germinados, de manera controlada, hasta alcanzar un crecimiento límite en relación con la materia orgánica total y la materia orgánica perdida en la semilla por metabolismo del embrión, con el fin de que las enzimas queden disponibles para ser utilizadas en la degradación de sustratos (proteínas, almidón y otros azúcares) en la elaboración de cervezas. Al terminar el malteado, el grano germinado pasa a ser secado. La temperatura juega un rol importante en el proceso de secado, debido a que se puede obtener distintos tipos de cebada malteada base o especial (Hough, 1990).

El siguiente paso, es la molienda del grano malteado. Según distintos criterios técnicos, esta etapa puede ser realizada por una molturación seca o una molturación húmeda. El grado de ruptura del cereal, puede ir desde ligeramente quebrados, hasta una harina fina. Por tanto, la molienda dependerá de los sistemas de filtrado del mosto. Luego, el triturado de la malta en seco, se utiliza para comenzar la etapa de maceración. El objetivo de la maceración tiene relación con las enzimas presentes en la malta, las cuales actúan para degradar los distintos sustratos de la cebada. Cabe destacar, que el almidón se metaboliza generando azúcares

fermentables, las cuales las utiliza la levadura durante el proceso de . Este proceso puede llevarse a cabo en infusión simple o decocción escalonada, dependiendo del estilo al cual se apunta y la optimización de los recursos. La extracción del mosto se realiza por medio de filtrado, siendo las superficies filtrantes elaboradas con las propias cáscaras del grano hasta filtros especializados en el caso de harinas de malta (Gisbert, 2016).

Terminada la fermentación primaria, el producto obtenido se denomina “cerveza verde o sin afinación”. Este producto requiere pasar a la etapa de maduración, en la cual se eliminan aromas indeseados dependiendo de los rangos aceptados por los estilos, como también se llevan a cabo afinamientos y estabilizaciones. La cerveza terminada, es filtrada dependiendo del producto final que se quiere obtener y la vida útil proyectada. Finalmente, se toma la decisión de aplicar crianza en la cerveza o comercializar directamente en sus respectivos envases de plástico, vidrio, aluminio, etc. (Mosher, 2015).

1.4. Características físicas, químicas y organolépticas de la cerveza

La industria cervecera en todos sus niveles productivos posee parámetros que pueden ser medidos de manera precisa para describir las características del mosto y la cerveza, algunos de estos son:

1.4.1. Características Físicas

a) Gravedad Específica. Término empleado para designar la densidad del mosto cervecero antes y después del proceso de fermentación. La medición de este parámetro se obtiene dividiendo la masa de una muestra de mosto por la masa de agua al mismo volumen que la muestra. Los instrumentos utilizados para obtener la medición son hidrómetros, picnómetros, densímetros osciladores, etc. El valor de la gravedad específica medido antes de la fermentación alcohólica es llamado Gravedad Original (OG) y el valor medido posterior a la fermentación alcohólica es llamado Gravedad Final (FG) (Mosher, 2015; Faber *et al.*, 2019). El rango de OG y FG en cervezas, es dependiente de las maltas utilizadas, los procesos de producción y el estilo que se esté elaborando, la variabilidad entre cervezas de esta característica puede ser observada en el Cuadro 2 (BJCP, 2015).

Cuadro 2. Rango de Gravedad Original y Gravedad Final para distintas cervezas. Fuente: BJCP, 2015.

Estilo	Gravedad Original	Gravedad Final
“Pale Lager” Checa (“Pilsener”)	1.028-1.044	1.008-1.014
“Porter Inglesa”	1.040-1.052	1.008-1.014
“Pale Ale” Americana	1.045-1.060	1.010-1.015
“Belgian Blond Ale”	1.062-1.075	1.008-1.018
“Pale Doppelbock”	1.072-1.112	1.016-1.024
“Barleywine” Inglesa	1.080-1.120	1.018-1.030

b) Color. Esta característica, depende mayormente de la materia prima y el enfoque del proceso productivo, teniendo una gran variabilidad entre cervezas, como se puede observar en el cuadro 3. Los tonos más oscuros provienen principalmente de la reacción de Maillard y la caramelización de azúcares (Barth, 2013). La forma principal en que se mide el color es por medio de espectrofotometría a 430nm (Ecuación 1 y Ecuación 2) utilizando un coeficiente de dilución por 25 se puede obtener el índice EBC (*European Brewery Convention*) usado por productores europeos, y con un coeficiente de dilución de 12,5 se obtiene el índice SRM mayormente empleado por productores americanos. Adicionalmente, se ocupa la espectrofotometría a 700nm para asegurar que la cerveza esté lo suficientemente limpia de restos orgánicos para asegurar una turbidez aceptable para el test de color (Johnson *et al.*, 2016).

$$SRM = D \times 12,7 \times A_{430}$$

Ecuación 1. D (Coeficiente de dilución), A_{430} (absorbancia a 430nm). Fuente: ASBC, 1992.

$$EBC = D \times 25 \times A_{430}$$

Ecuación 2. D (Coeficiente de dilución), A_{430} (absorbancia a 430nm). Fuente: EBC, 1966.

Cuadro 3. Rango de Color (SRM) para distintas cervezas. Fuente: BJCP, 2015.

Estilo	Color SRM
“Pale Lager” Checa (“Pilsener”)	3-6
“Porter” Inglesa	20-30
“Pale Ale” Americana	5-10
“Belgian Blond Ale”	4-7
“Pale Doppelbock”	6-25
“Barleywine” Inglesa	8-22

c) Espuma. Es el efecto físico de coloides comprimiendo gas disperso en un líquido, siendo la densidad de este sistema, más similar al gas disuelto que a la matriz líquida. La superficie del líquido aumenta considerablemente al formarse la burbuja dentro, aumentando la tensión superficial que tiende a un valor mínimo, reventando (Bamforth, 1985).

Reportes de Kimizuka y Sasaki, (1951); Yokoi *et al.*, (1988); Maeda, (1990), han intentado dilucidar los compuestos químicos implicados en la espuma. De éstos se han obtenido importantes efectos positivos de compuestos como las proteínas, los *iso-alfa* ácidos, los metales, los polisacáridos y las melanoidinas en las propiedades físicas que inciden en la estabilidad de la espuma (Figura 5)

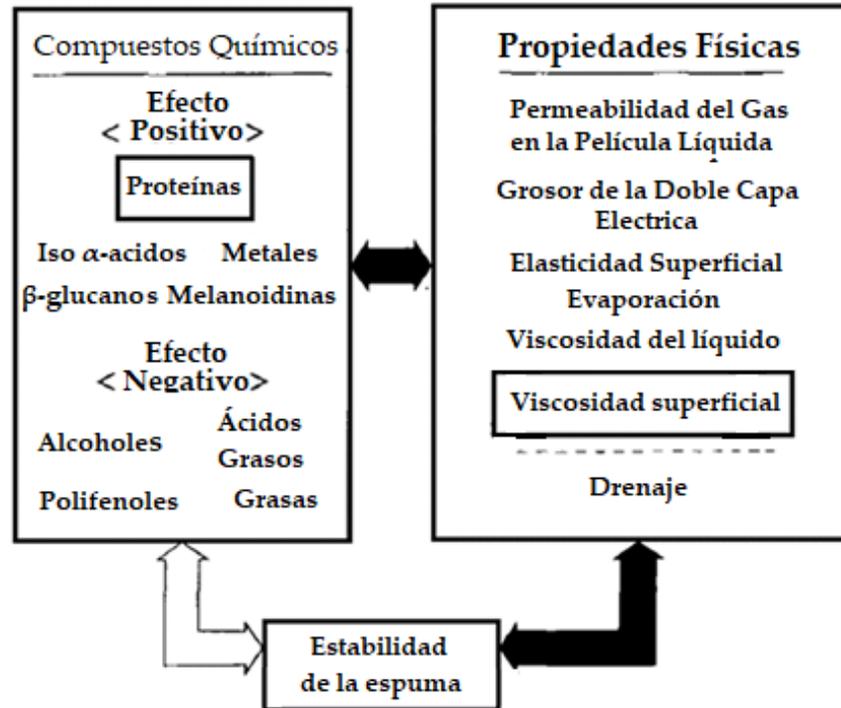


Figura 5. Compuestos químicos y propiedades físicas que afectan la estabilidad de la espuma. Fuente: Maeda, 1990.

Las propiedades de la espuma se pueden dividir en cuatro. La primera es la espumabilidad, la cual está definida como la tendencia cuantitativa de una cerveza a producir espuma al ser servida. La segunda es la estabilidad de la espuma, siendo ésta la capacidad que tiene la cerveza de mantener la espuma durante un período de tiempo. La tercera es la calidad de la espuma, referente a la estructura y apariencia de ésta (tamaño de burbuja, cremosidad, uniformidad). Por último, queda la adherencia de la espuma al recipiente (Constant, 1992; Bamforth, 1995).

Si bien, la espuma es una característica física de la cerveza, esta, posee un importante papel organoléptico, incidiendo en la respuesta del consumidor frente a este fermentado (González *et al.*, 2020).

1.4.2. Características Químicas

a) Contenido de alcohol. Es un parámetro importante pedido por la legislación en todos los países productores. Se refiere a la concentración porcentual de volumen de alcohol etílico o etanol en un volumen determinado de cerveza (Kunze, 2006).

La síntesis de este compuesto es el resultado de la fermentación alcohólica, producida por las levaduras *Saccharomyces* en el proceso de glicolisis anaeróbica de los azúcares fermentables del mosto cervecero (Kunze, 2006). El contenido de alcohol en las cervezas es variable, siendo los azúcares fermentables del mosto cervecero y las cepas de levaduras a utilizar, los factores preponderantes en la concentración final de alcohol (Barth, 2013; Mosher, 2015). Los estilos cerveceros, establecidos por Beer Judge Certification Program (BJCP) (2015), presentan rangos aceptables de contenido de alcohol para definir una cerveza dentro de las clasificaciones cerveceras, como puede ser observado en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Rango de alcohol °GL para distintas cervezas. Fuente: BJCP, 2015.

Estilo	Alcohol °GL
“Pale Lager” Checa (“Pilsener”)	3.0-4.1
“Porter” Inglesa	4.0-5.4
“Pale Ale” Americana	4.5-6.2
“Belgian Blond Ale”	6.0-7.5
“Pale Doppelbock”	7.0-10.0
“Barleywine” Inglesa	8.0-12.0

b) Fermentabilidad o atenuación aparente límite. Es la manera de medir la eficiencia del proceso de fermentación, en forma de porcentaje. Describe la eficiencia de la levadura, en la conversión de los azúcares fermentables en alcohol (Ecuación 3). Por ende, a un mayor porcentaje, la atenuación es mayor, entendiéndose como la obtención de mayor contenido de alcohol, comparado con una atenuación menor en el mismo mosto (Evans *et al.*, 2005). Esta característica, depende de la capacidad de oxigenación del mosto, cantidad de inóculo y cepa de levaduras utilizada, siendo para esta última, la capacidad de suspensión en el mosto y la tolerancia al alcohol, factores determinantes (Mosher, 2015). Según la clasificación entregada por BJCP (2015), los estilos cerveceros presentan rangos típicos de fermentabilidad como se puede observar en el Cuadro 5, para algunos estilos.

$$AAL = \frac{OG - FG}{OG - 1}$$

Ecuación 3. AAl (Atenuación Aparente Límite), OG (Gravedad Original), FG (Gravedad Final). Fuente: Mosher, 2015.

Cuadro 5. Rango de atenuación Aparente Límite para distintas cervezas. Fuente: BJCP, 2015.

Estilo	AAL
“Pale Lager” Checa (“Pilsener”)	0.714-0.682
“Porter” Inglesa	0.800-0.731
“Pale Ale” Americana	0.778-0.750
“Belgian Blond Ale”	0.871-0.760
“Pale Doppelbock”	0.786-0.778
“Barleywine” Inglesa	0.775-0.750

c) **pH.** Es una medida de acidez o alcalinidad de una solución acuosa, basada en la concentración de iones de hidrogeno. El control de este parámetro en la cerveza es de suma importancia, debido al papel que ejerce en la estabilidad microbiológica, la velocidad de fermentación y la producción de alcohol (Mosher, 2015; Suarez, 2013).

Sus rangos comunes en cervezas estándar terminadas van desde los 3,9 a 4,3. Para estilos ácidos el rango va desde los 3,3 en cervezas de estilo “New Sour Lambic”, hasta los 3,6 para cervezas de estilo “Berliner Weisse” (Farber y Barth, 2019).

1.4.3. Características Organolépticas.

Las características organolépticas son componentes básicos al momento de analizar sensorialmente un estilo, los cuales definen al estilo como tal. En caso de competencias cerveceras en estilos específicos, éstas son las referencias que se utilizan para comparar la cerveza juzgada (BJCP, 2015).

1.4.3.1. Componente Visual

Se refiere a las características iniciales que dan la primera impresión al consumidor, siendo la apariencia de la cerveza, una parte importante de la calidad del brebaje (Farber y Barth, 2019).

a) Espuma. La espuma es una característica de importancia en la calidad de la cerveza, afectando descriptores sensoriales tales como, aroma, color y sensación en boca. Para muchos consumidores una buena corona de espuma es sinónimo de una bebida refrescante, fresca e interesante (Lusk *et al.*, 1995; Gonzalez *et al.*, 2020). A pesar de lo anterior, la aceptabilidad de la espuma no es universal y depende del lugar geográfico, como también de las preferencias de cada individuo. Por ejemplo, al analizar el área de Gran Bretaña, existen diferencias regionales entre los consumidores nortños, los cuales prefieren espumas profundas, densas y adhesivas, en contraposición de los nativos de Londres que prefieren una capa que insinúe la presencia de espuma (Lusk *et al.*, 1995).

b) Color. El color es un importante atributo de la cerveza, siendo uno de los primeros en ser observado por los consumidores. Los productores de cerveza toman especial cuidado con este parámetro. Cada estilo tiene un rango aceptable de color y pequeñas variaciones de éste, pueden ser fácilmente perceptibles (Mosher, 2009). Los consumidores tienden a asociar el color de la cerveza con los atributos aromáticos y gustativos de la cerveza, determinando si los estilos corresponden a tipos “Lager”, “Ale” o “Stout” (Mosher, 2009; Lukinac *et al.*, 2019).

c) Claridad. La claridad se considera una importante característica de calidad de la cerveza, estando estrechamente conectada a la estabilidad de proteínas y fenoles. A pesar de lo anterior, existen cervezas que por estilo poseen turbidez en su forma terminada, aunque estas en comparación a las claras, son menos comunes (Farber y Barth, 2019).

1.4.3.2. Componente Aromático

a) Aromas derivados de la malta. Los aromas entregados por la malta son principalmente producidos en el proceso de horneado de la malta, donde la concentración de azúcar y de aminoácidos en presencia de calor producen las bases de Schiff. Por tanto, este compuesto, al ser inestable, pasa por una cadena de reacciones que en grupo se llaman reacciones de Maillard. Los productos de esta reacción son las melanoidinas y otras moléculas pequeñas.

Éstas últimas entregan los aromas característicos de las maltas tales como, cacao, tostado, miel, almendras, variedades de caramelo, etc. (Barth, 2013 ; Farber y Barth, 2019).

b) Aromas derivados de las levaduras. Los aromas afrutados principalmente provienen de los ésteres presentes en las cervezas, siendo producidos por la levadura al condensar un alcohol con un grupo carboxilo. La concentración en la cerveza de estos compuestos aumenta al incrementar la aireación del mosto, aumentar la temperatura de fermentación, elaborar cervezas con alta densidad, mayor porcentaje de glucosa que maltosa, mayor presión hidrostática en fermentación, etc. Algunos de los aromas que entregan estos ésteres son descriptores aromáticos relacionados con manzana, plátano y solvente (Kucharczyk y Tuszyński, 2017; Farber y Barth, 2019).

b) Aromas derivados del lúpulo. Los lúpulos (*Humulus lupulus*) además de otorgar amargor a la cerveza y actividad antiséptica, entregan aromas que pueden influenciar fuertemente su perfil sensorial. Estos caracteres organolépticos vienen principalmente de terpenos y de compuestos de la oxidación de éstos. En el proceso de hervido del mosto, muchos de los compuestos aromáticos se pierden al ser altamente volátiles. Por ello, existen diferentes tiempos de adición de lúpulo en la etapa de cocción. o bien, durante fermentación en busca de mayores expresiones aromáticas. Algunos aromas que entrega el lúpulo están relacionados con descriptores aromáticos tales como cítrico, floral, herbal y especiado (Haas, 2016; Farber y Barth, 2019).

1.4.3.3. Gustativo y sensación en boca

a) Amargor. Está dado principalmente por la concentración de *iso-alfa* ácidos presentes en la cerveza, generado por la isomerización en etapa de cocción. El contenido de sustancias amargas es expresado en IBU (*International Bitter Units*), siendo 1mg de estas sustancias diluidas en 1litro de cerveza el equivalente a 1 IBU (Buckee, 1990). Como ejemplos de este parámetro se agrega un cuadro con rangos de IBU (Cuadro 6) para diferentes cervezas.

Cuadro 6. Rango de Amargor (IBU) para distintas cervezas. Fuente: BJCP, 2015.

Estilo	IBU
“Pale Lager” Checa (“Pilsener”)	20-35
“Porter” Inglesa	18-35
“Pale Ale” Americana	30-50
“Belgian Blond Ale”	15-30
“Pale Doppelbock”	16-26
“Barleywine” Inglesa	35-75

b) Acidez. Las sustancias que aportan acidez a la cerveza, son principalmente compuestos que liberan un hidrogeno al medio (ácidos). Muchos consumidores no consideran a las cervezas como bebidas acidas, aun así, su rango de pH común es de 3,9 a 4,3. Los estilos ácidos propiamente tal, como son las cervezas “Lambic” y “Berliner Weisse”, obtienen este distintivo gusto en boca por el efecto del ácido láctico, proveniente de manera tradicional de la fermentación bacteriana (Farber y Barth, 2019).

c) Dulzor. El dulzor en la cerveza evoca a los hidratos de carbono, siendo la maltatrosa y maltotriosa, mayormente presente en las cervezas terminadas. La concentración típica de estos azúcares es de 5 g/L (ppm) en cervezas “Lager” y 10 g/L en “Ale” (Farber y Barth, 2019).

d) Salado. La sensación en la boca del gusto salado es estimulada principalmente por el ion sodio. Las fuentes de sodio en la cerveza, son principalmente el agua y los granos. El umbral de percepción del sodio en humanos comienza cerca de los 250 ppm. Los niveles cercanos a este umbral, proporcionan mineralidad. Niveles sobre el umbral entregan directamente una sensación salada en boca. Otros metales alcalinos pueden entregar el gusto a sal, pero el aporte que pueden hacer en el gusto de la cerveza, depende principalmente de cuan cerca al sodio estén en la tabla periódica (Preedy, 2008; Farber y Barth, 2019).

e) Umami. En la cerveza es provocado por el glutamato y aspartato libres, los descriptores de este gusto se definen como carne y caldo. En cervezas, este gusto es raramente importante (Vinther, 2021; Farber y Barth, 2019).

f) Astringencia. Es una propiedad sensorial compleja, caracterizada por la sensación de sequedad, rugosidad y punción en la mucosa y piel de la boca. La percepción de la astringencia generalmente no es instantánea, ya que esta evoluciona en boca a medida que el tiempo avanza. Los compuestos a los cuales se les atribuyen el efecto astringente en cerveza, se pueden dividir en 4 grupos: sales de cationes metálicos multivalentes, agentes deshidratantes, ácidos orgánicos y minerales, taninos (François, 2006).

1.5. Tipos y estilos de cerveza.

Las categorías son grandes grupos arbitrarios de estilos de cerveza, que clasifican esta bebida por características similares que pueden o no tener una historia o geografía conjunta, teniendo un enfoque práctico en el ejercicio de juzgar cervezas similares. Respecto a los estilos, estos son definidos y clasificados según su origen, ingredientes utilizados y condición de operación del proceso cervecero (BJCP, 2015). Por lo anterior, se describirán las clasificaciones cerveceras según el proceso fermentativo y microorganismo utilizado para su producción.

a) Cervezas “Ale”. Están asociadas a una parte de la dinámica fermentativa. Específicamente a la etapa tumultuosa o exponencial, en la cual las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* producto de la gran cantidad de CO₂, emergen a la parte superior del fermentado, separándose del mosto en fermentación. El rango de temperaturas en el proceso fermentativo de las cervezas “Ale”, varía entre 18°C y 22°C. Este escenario, favorece a la síntesis de alcoholes superiores y de ésteres, aumentando los aromas y el cuerpo de estas cervezas (Briggs *et al.*, 2004).

A modo de ejemplo de esta categoría, la cerveza “Barleywine” inglesa, es de sabores intensos y de alta complejidad. Su aroma es fuertemente maltoso, con fuerte presencia de caramelo y frutos secos, el aporte del lúpulo en el aroma es de leve a asertivo. Sus descriptores aromáticos, más comunes están relacionados con el pan tostado, caramelo y/o melaza. Su apariencia varía desde tonos dorados hasta marrón oscuro. Posee una espuma blanquecina baja a moderada, que en algunos casos tiene poca retención (BJCP, 2015).

Por otro lado, el estilo “Belgian blond Ale”, posee una moderada intensidad y presenta una complejidad frutal entregada por la levadura. Su aroma es de un carácter maltoso-dulce, con una ligera expresión de fenoles especiados, alcohol perfumado, levadura y ésteres frutales. Su apariencia es de un ligero a profundo color dorado. La espuma es alta, densa y cremosa

de color blanco, con buena retención y adherencia a la superficie de las paredes del vaso (BJCP, 2015).

Otros estilos de esta categoría son “Pale Ale”, “Golden Ale”, “Red Ale”, “Indian Pale Ale”, “Brown Ale”, “Porter”, “Stout”, entre otros (BJCP, 2015).

b) Cervezas “Lager”. El proceso fermentativo de estas cervezas, se produce en un rango menor de temperaturas entre 8°C a 15°C. Se utiliza la especie de levadura *Saccharomyces pastorianus*, produciendo una dinámica fermentativa más lenta, con respecto a las cervezas “Ale”, manteniendo la población de levaduras en el fondo del tanque de fermentación, a diferencia de las cervezas “Ale” (Cuadro 7). En esta categoría, las levaduras tienen una acción neutra, a nivel aromático. Por tanto, el efecto aromático primordial está otorgado por las materias primas (maltas, adjuntos, agua y/o lúpulos) y procesos productivos. (Briggs *et al.*, 2004).

Cuadro 7. Comparación cervezas tipo “Ale” y “Lager”. Fuente: (Hough, 1990; Briggs *et al.*, 2004). Modificado.

Estilo	“Ale”	“Lager”
Tipo de fermentación	Alta	Baja
Microorganismo utilizado	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Saccharomyces pastorianus</i>
Temperatura de fermentación	18°C a 22°C	8°C a 15°C
Tiempo de fermentación	1 semana	2 semanas
Tiempo de maduración	1 semana	6 semanas

La cerveza tipo “Pilsener” es el exponente más conocido de esta categoría de cervezas. Sus características organolépticas están relacionadas con un cuerpo ligero, refrescante, lupulado y amargo. Su aroma es un equilibrio ligero a moderado, entre maltosidad y lúpulo especiado/herbal. Su apariencia muestra un rango de color pajizo pálido a dorado, con espuma blanca de baja retención (BJCP, 2015).

La “Pale Doppelbock” o “Doppelbock” pálida es una cerveza alemana fuerte, maltosa y seca. Su aroma es principalmente a malta, con ligeras notas a productos de la reacción de Maillard. Virtualmente sin aromas a lúpulo. La apariencia es de un dorado profundo muy claro, de espuma blanquecina abundante, cremosa y persistente (BJCP, 2015).

Otros estilos de esta categoría son “Pale Lager”, “Amber Lager”, “Dark Lager”, “Munich”, “Munich Dunkel”, “Eisbock”, “American Lager”, “American Light Lager”, entre otros (BJCP, 2015)

c) Cervezas híbridas. Corresponden a cervezas que poseen características tanto, de “Lager” como de “Ales”, principalmente provenientes del norte de Alemania, donde la utilización de bajas temperaturas de fermentación en cervezas tipo “Ale”, entrega características más similares a cervezas típicamente “Lagers” (Mosher, 2015).

El estilo “Kölsch” es un fiel exponente de estas cervezas, siendo tradicionalmente elaborada con levaduras de fermentación alta acondicionadas al frío. Sus precedentes de fabricación se remontan a la edad media, en Köln, Alemania, pero es a finales del siglo XVII, cuando se desarrolla el estilo actual. En la actualidad esta cerveza, esta circunscrita a una denominación de origen protegida por la “Kölsch Konvention” desde 1986, por la cual su producción se limita a cervecerías en los alrededores de la ciudad de Köln (BJCP, 2015). Esta cerveza es considerada fresca, balanceada y limpia, con caracteres sutiles de fruta y lúpulos. Su aroma se caracteriza por presentar bajo a muy bajo aromas a malta, sutil aroma a manzana, cereza y pera, y notas de lúpulos florales, especiado y herbal. Su apariencia es de dorado muy pálido a dorado claro, y una espuma delicada no persistente (BJCP, 2015).

Otros estilos de esta categoría son “Hefeweizen”, “Düsseldorfer Alt”, “Altbier”, etc (BJCP, 2015).

1.6. Consumo y mercado de cervezas

El consumo de esta bebida es superior a otros fermentados, siendo 188.788 millones de litros consumidos mundialmente en el año 2018, solo superado por bebidas no alcohólicas como el agua y el té (Kirin, 2018). En Chile, el consumo alcanza a 65,6 L/per cápita anual, y sitúa al país en el séptimo puesto de los países consumidores de cerveza en América (Arney, 2021). Además, se observa un incremento en la última década con 27 litros en el año 2004, a los 65,6 litros el 2021 (Arney, 2021).

El mercado internacional, es altamente competitivo y dinámico en casi todos los países del globo, con constantes cambios en las preferencias de los consumidores. La estructura de productores a nivel mundial, se centra en grandes industrias, como Anheuser-Busch InBev, Heineken, Molson Coors Brewing Company, y Carlsberg que juntas poseían el 51.6% del mercado mundial en 2017 (Capitello y Maehle, 2020).

En el mercado nacional, se pueden distinguir dos grupos de cervecerías: las cervecerías industriales con una producción sobre los 18.000 hectolitros al año, y las microcervecerías (cervecerías artesanales) con una producción menor a 18.000 hectolitros al año.

Dentro del primer grupo está la Compañía de Cervecerías Unidas (CCU) que representa un 90% de la cuota de mercado, y a continuación Cervecerías Chile S.A con un 7%. La representación de las microcervecerías, es solo un 3% del mercado (Toro, 2017). A pesar de

lo anterior, el segmento de cervezas artesanales posee una buena recepción por los consumidores y presenta un continuo crecimiento (Bascur, 2013).

En este contexto, surgen nuevos nichos receptivos a la innovación, buscando estilos contemporáneos, insumos no convencionales y procesos de elaboración poco usuales.

2. Maderas en la crianza de cerveza

El uso de maderas en bebidas fermentadas es generalmente una práctica de elaboración de vinos. Esta práctica, proporciona una mayor complejidad generada de los procesos físicos, químicos y bioquímicos, que se producen en la elaboración de éste (Wyler *et al.*, 2015).

En el caso de la industria cervecera, este insumo es mayormente utilizado de manera tradicional en estilos especiales belgas como cervezas tipo “Lambics” y ácidas. Históricamente, en otros estilos cerveceros, los aromas aportados por la madera eran considerados un defecto, recurriendo a recubrimientos y sellantes en tiempos que solo existían los contenedores de madera para la producción y transporte de mercancías, así evitan el contacto de la cerveza con la madera (Sterckx *et al.*, 2012).

En la actualidad, existe un interés creciente en el uso de este insumo en el proceso de crianza, debido a las características de sabor que esta práctica puede brindar a la cerveza y la capacidad de obtener un producto diferenciado (Sterckx *et al.*, 2012; Wyler *et al.*, 2015).

2.1. Historia de maderas en la crianza de cervezas

En la antigüedad, la cerveza era producida y consumida en el mismo recipiente, siendo principalmente un producto de consumo local. En el año 3000 A.C., existen antiguas dataciones en que los mesopotámicos comerciaban cerveza y vino, con los pueblos situados en la actual Siria y Armenia, esto era por medio de ánforas de cerámica con capacidad de 25 a 32 litros, que se caracterizaban por tener dos asas y cuello largo y estrecho (Figura 6). En los años 2000 A.C., los fenicios ya estaban dedicados al comercio de alimentos y bebidas por todo el mediterráneo, que, por la fragilidad de las ánforas de cerámica, utilizaban también grandes bolsones hechos de cuero de vaca y caballo. Uno de los primeros vestigios del uso de madera en el transporte de cerveza y vino, fue realizado por Heródoto de Halicarnaso en siglo IV A.C., donde los pueblos armenios exportaban sus bebidas a Babilonia por medio de toneles hechos con madera de palmera (López, 2019).



Figura 6. Ánforas cerámicas.
Fuente: López, 2019.

Con gran cantidad de bosques disponibles en la Europa céltica, estos pueblos comenzaron a construir grandes troncos ahuecados, a los cuales se le colocaba una tapa de madera (el antecesor de las barricas). El Imperio Romano, en el año 51 A.C se topa con estos pueblos, en la conquista de Galia. Así el uso de las maderas, se empieza a expandir por todos los territorios ocupados, reemplazando a las antiguas ánforas. En el siglo V D.C ya era un utensilio común para el transporte de todo tipo de mercancías, dentro de éstas la cerveza y el vino (Figura 7). La superioridad de la madera, como material de transporte, era dada por su flexibilidad, resistencia, maleabilidad al calor y densidad menor, esta última comparada a la antigua cerámica (Tonelería Murua, 2012).



Figura 7. Tablilla italiana datada en el siglo V D.C. “Buey transportando una barrica”.
Fuente: Tonelería Murua, 2012.

La madera que más se utilizó en los años posteriores, fue el roble, ya que los líquidos no se filtraban y eran abundantes en los bosques de Europa. En la Edad Media, los contenedores de madera eran algo común en la producción de cerveza, y en el año 1444 Carlos VII de Francia, confirmó los estatutos de los toneleros. Si bien, la madera era un buen método de

transporte y almacenaje, se sabe que ésta aportaba matices característicos durante su estancia en las barricas. Para algunos productores esto podía ser un importante defecto sensorial, por ello, se comenzó a impermeabilizar la barrica por dentro, con el fin de evitar el contacto entre la madera y la cerveza (López, 2019). Desde el año 1960, el uso de barricas de madera comienza a decaer, y a ser reemplazados por barriles de distintos metales inertes. En el caso de las cervezas especiales belgas tipo “Lambics” y ácidas, éstos fueron unos de los pocos estilos que siguieron usando maderas en su elaboración y maduración (Sterckx, 2012).

A principios de los años 80 del siglo XX, en Estados Unidos, comienza un boom y proliferación de cervecerías artesanales, que traen consigo recetas antiguas, innovaciones y el uso de maderas en los procesos de maduración (Wyler et al., 2015; Thompson, 2018).

2.2. Maderas de roble

Las maderas utilizadas para fermentación, maduración y/o afinamiento en la industria cervecera, son variadas, dentro de las más comunes podemos encontrar el roble (*Quercus spp.*), que de sus más de 600 especies alrededor del mundo, solo unas pocas son ampliamente utilizadas en la industria enológica y cervecera debido a su notable aporte de aromas y taninos. En Europa, el género *Quercus* está representado por 29 especies y 4 subgéneros. Dentro de los subgéneros, *Quercus Oersted* contiene a los robles *Quercus petraea* y *Quercus robur*. Siendo estas especies, las maderas europeas más utilizadas en la tonelería. En América, se cultivan alrededor de 24 especies distintas, siendo género *Quercus Oersted* y en específico el roble blanco americano (*Quercus alba*) es empleado para la fabricación de barricas (Catania y Avagnina, 2007; Ojeda, 2012; Rasheed et al, 2017).

2.2.1. Estructura de la madera de roble

Al observar un corte transversal de un tronco (Figura 8), se puede apreciar desde el interior al exterior, las siguientes estructuras diferenciadas según Ojeda (2012) y Rubio (2014):

- Médula: se sitúa en el centro del tronco, y está formado por un tejido blando alrededor del cual, se produce el primer crecimiento en espesor del tallo recién formado.
- Duramen: de color más oscuro y de mayor grosor que la albura, formado por células muertas y cuya función es ser el soporte mecánico del árbol. Esta zona es la que se utiliza para la fabricación de barricas.
- Albura: zona exterior de la madera que contiene células vivas encargadas de la función de conducción de la savia, así como del almacenamiento de las sustancias de reserva.

- Cambium: ocasiona el crecimiento en espesor de la madera, en regiones templadas en primavera y en verano, que es cuando está activa.
- Corteza interior: realiza funciones conductoras de la savia elaborada desde las hojas hacia el resto de la planta.
- Corteza exterior: protege a la madera de las inclemencias del clima, así como de las agresiones mecánicas.

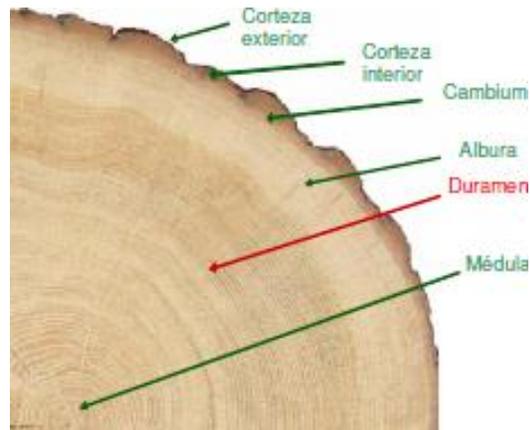


Figura 8. Corte transversal de un tronco de roble.

Fuente: Ojeda, 2012.

Otros elementos observables en la sección transversal de un tronco de roble, son los anillos de crecimiento (Figura 9). Éstos están situados de forma concéntrica y ordenados de forma radial en la sección transversal del tronco, y nudos formados por ramas nacientes del tronco. Los anillos se forman en el cambium del tronco, formando nueva madera hacia el interior del tronco y corteza hacia el exterior. Cada anillo corresponde a un año de vida del árbol, dentro de los anillos se pueden diferenciar dos zonas. La madera de primavera, con pared celular más delgada, vasos más grandes y color más claro. Y la madera de verano, con menor cantidad de vasos, vasos de menor tamaño, pero con mayor densidad (Rubio, 2014).

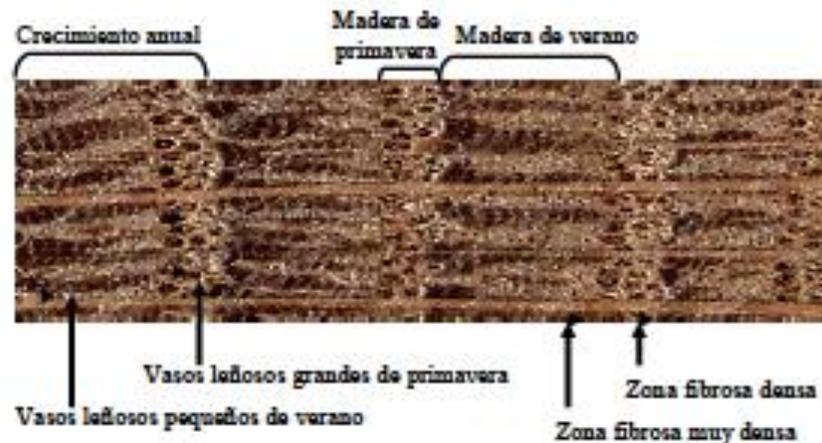


Figura 9. Anillos de crecimiento, corte trasversal de la madera.

Fuente: Rubio, 2014.

2.2.2. Propiedades físicas de la madera de roble

a) Color. El color de la madera, se debe principalmente a las paredes de sus células y del contenido intercelular. Además, esta característica de la madera, depende de la especie botánica, edad y condiciones de crecimiento. Los colores en el mismo tronco, presentan diferencias según su estructura, siendo el duramen más oscuro que la albura (Ojeda, 2012).

b) Textura y grano. La textura, se define como la relación entre la anchura de la madera de verano y la anchura del anillo total del año. El grano está determinado por la anchura del anillo de crecimiento, y esta depende de la velocidad de crecimiento. Así una madera de grano fino presenta un crecimiento de anillo lento, y un anillo anual pequeño (Mirabel *et al.*, 2011).

c) Densidad. Es la masa de madera por una unidad de volumen a un cierto nivel de humedad. Los factores determinantes de esta propiedad física son, la porosidad de la madera y la permeabilidad (Shmulsky y Jones, 2019).

d) Porosidad. Se define como los huecos o espacios vacíos, en un volumen aparente unitario de madera. La madera de roble posee un valor aproximado de 0,5. Clasificando esta madera como una madera porosa (Ojeda, 2012).

e) Permeabilidad. Se refiere a la facilidad que tiene un fluido de atravesar un material. En el caso de la madera de roble, la permeabilidad longitudinal, es entre 20 y 500 veces mayor que la permeabilidad transversal. La utilización de la madera de roble en la producción tonelera toma en consideración la permeabilidad transversal, ya que, el corte siempre es en sentido radial (Ojeda, 2012).

f) Propiedad conductora. La madera de roble es un material con baja capacidad conductora, obteniendo su capacidad de aislante térmico, por su gran porosidad y escasez de electrones libre. Estas características de su propiedad conductora, son de interés enológico, debido que

afectan el secado de la madera y la producción de barricas en el doblado de las duelas (Ojeda, 2012).

g) Propiedad mecánica. La madera de roble, posee una gran resistencia mecánica comparada con otras maderas. El crecimiento lento en comparación con otros géneros y especies, le otorga a la madera una mayor densidad, módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE). Desde el punto de vista enológico y tonelero, la madera de roble ofrece una gran resistencia a la manipulación, como también, una excelente elasticidad que, en el proceso de doblado de la duela, no genera roturas y/o micro fisuras (Zhang, 1995; Ojeda, 2012).

2.2.3. Composición química de la madera de roble

Aproximadamente, el 90% de la madera de roble está en el duramen. Este está formado por un 40% de celulosa, 15% de hemicelulosa, 20% de lignina, 10% de elagitaninos, y 5% componentes de naturaleza química diversa. El otro 10% de la madera seca, es llamada la fracción extraíble, los cuales están mezclados con polímeros en la pared celular o en formaciones en los lúmenes celulares (Fernández de Simón y Cadahía, 2007).

La fracción extraíble de la madera presenta diferentes compuestos de interés enológico, estos son:

2.2.3.1. Compuestos fenólicos

2.2.3.1.1. Polifenoles de bajo peso molecular

Estos compuestos se caracterizan por poseer uno o varios anillos aromáticos en su composición, con uno o más grupos hidroxilos como sustituyentes. Los polifenoles de bajo peso molecular, se pueden clasificar en (Ojeda, 2012):

a) Ácidos fenólicos. Dentro de este grupo, encontramos a los ácidos benzoicos y cinámicos, relacionados estrechamente con la formación de lignina, taninos y cumarinas. La madera de roble aporta de manera considerable dos ácidos fenólicos de importancia, estos son el ácido gálico y su dimero, el ácido elágico (Figura 10). Sus efectos organolépticos en bebidas como el vino son, el aporte de acidez principalmente por efecto del ácido gálico, y la estabilidad del color por medio de la copigmentación (Ojeda, 2012).

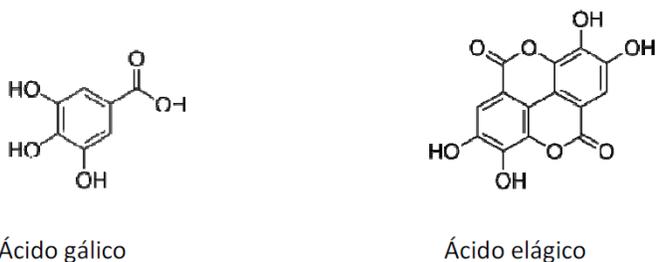


Figura 10. Estructura química de los ácidos gálico y elágico.

Fuente: Gallego, 2013.

b) Aldehídos fenólicos. La madera de roble, presenta aldehídos pertenecientes a la serie benzoica y cinámica, siendo alguno de estos, el coniferaldehído, vainillina, siringaldehído y sinapaldehído (Figura 11). La concentración de estos compuestos en la madera, depende principalmente de la especie de roble, como también de procesos de termodegradación y descarboxilación (Ojeda, 2012; Cadahía, 2001a).

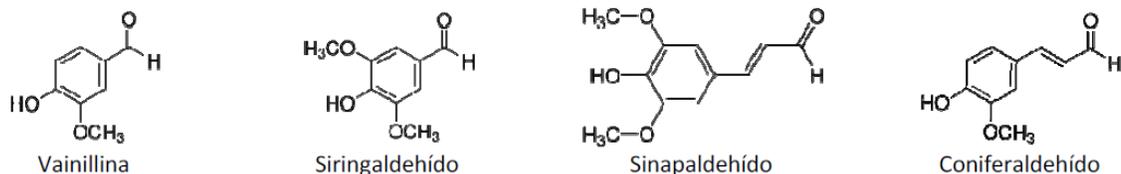


Figura 11. Estructura química de los aldehídos fenólicos mencionados.

Fuente: Gallego, 2013.

c) Fenoles Volátiles. Son moléculas fuertemente aromáticas, que proceden principalmente de la degradación de la lignina, siendo el eugenol, el único fenol volátil que está presente en madera sin tostar. La concentración de estas moléculas, depende en gran medida de la especie de roble y la zona donde fue extraída la madera (Ojeda, 2012). Algunos de los fenoles volátiles provenientes de la degradación de la lignina, son el guayacol, metil-4-guayacol, etil-4fenol, etc., observando su estructura química en la Figura 12.

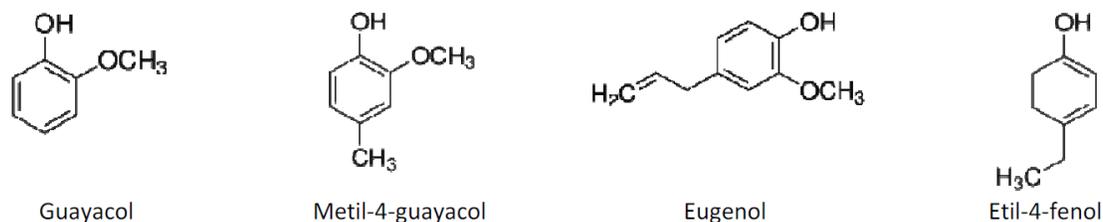


Figura 12. Estructura química de algunos fenoles volátiles.

Fuente: Gallego, 2013.

2.2.3.1.2. Taninos

Los taninos son polifenoles de la madera de roble solubles en agua, caracterizados por unirse a las proteínas. Esta habilidad de unirse a las proteínas, es responsable de muchas de las actividades biológicas, y parte de sus propiedades organolépticas, como la astringencia. La mayor concentración de taninos en la madera de roble, se encuentra en tejidos leñosos con alta cantidad de células parenquimáticas, principalmente madera temprana y radio leñoso. Los taninos también afectan las propiedades de la madera, como son el color, sabor y la resistencia a la descomposición (Puech *et al.*, 1999).

a) Taninos Hidrolizables. Los taninos hidrolizables, poseen como unidad estructural básica un alcohol polihídrico (típicamente D-glucosa), con sus grupos hidroxilos esterificados por ácido gálico o ácido hexahidroxidifenólico (HHDP). Se denominan hidrolizables, porque en medio ácido liberan ácido gálico (galotaninos) o ácido elágico (elagitaninos), de esta reacción también procede su clasificación (Navarro, 2017; Puech *et al.*, 1999).

Los elagitaninos, son los principales polifenoles de la madera de roble. Están presentes, tanto en la albura como en el duramen, en este último representa el 10% de su peso seco. La composición de los elagitaninos, presenta una gran variabilidad estructural, producida por las diferentes uniones entre el HHDP y la glucosa. Monómeros como vescalagina y castalagina, representan entre un 40 y 60% de los elagitaninos presentes en las maderas de roble utilizadas en tonelería. Otros seis elagitaninos han sido identificados en la madera de roble, estos son grandinina, roburina A, roburina B, roburina C, roburina D y roburina E. Las estructuras de estos elagitaninos pueden ser observadas en la Figura 13 (Navarro, 2017; Puech *et al.*, 1999; Zhang *et al.*, 2015).

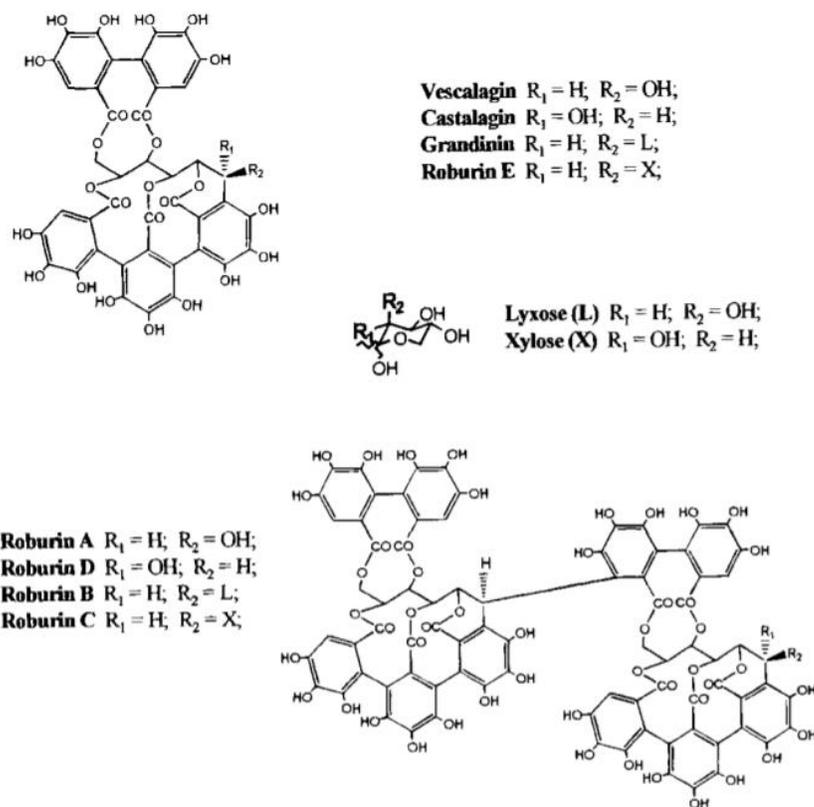


Figura 13 .Estructura química de los ocho elagitaninos identificados en la madera de roble.

Fuente: Puech *et al.*, 1999.

Los galotaninos, son taninos simples formados por unidades de galoil o di-aloil esterificados a un núcleo de glucosa o un alcohol polivalente, como muestra la Figura 14. La concentración de galotaninos en la madera es igual al 5% de la concentración de elagitaninos. Sus características organolépticas presentan sabor ácido, astringencia ligera y alto amargor (Navarro, 2017; Puech *et al.*, 1999; Ojeda, 2012).

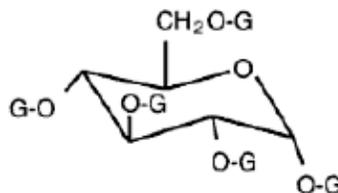


Figura 14. Estructura química de los galotaninos.

Fuente: Gallego, 2013.

a) Taninos Condensados. Los taninos condensados son oligómeros y polímeros compuestos por monómeros C6-C3-C6 flavonoles, unidos por enlaces carbono-carbono que les entrega una mayor resistencia a la hidrólisis. Se les suele denominar proantocianídicos o catéquico, y son escasos en la madera de roble (Navarro, 2017; Puech *et al.*, 1999; Ojeda, 2012).

2.2.3.2. Compuestos aromáticos.

a) Compuestos furánicos. Son compuestos producidos por la termodegradación de la hemicelulosa y celulosa. Los compuestos presentes en la madera tostada, son el furfural, 5-metilfurfural, 5-hidroximetilfurfural y alcohol furfurílico (Figura 15), siendo el furfural el más abundante. La presencia de estos compuestos en la madera sin tostar es mínima, encontrándose en estado de trazas. Los aportes organolépticos de estos compuestos son el aroma a almendras, almendras tostadas y caramelo (Spillman *et al.*, 2004; Gallego, 2013).

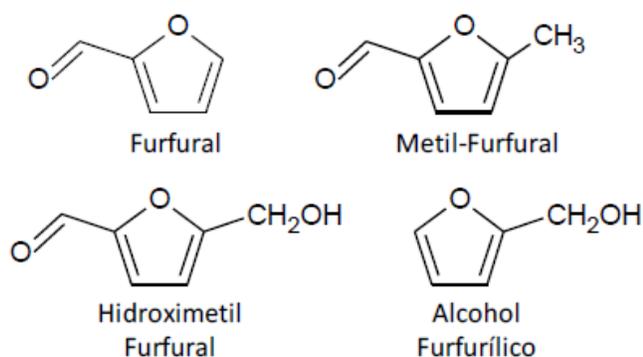


Figura 15. Estructura química de los furanos presentes en la madera de roble.
Fuente: Navarro, 2017.

Otros compuestos furánicos presentes en la madera de roble, son los heterociclos oxigenados como el maltol, que da aromas tostados y caramelo. Los heterociclos nitrogenados, específicamente las dimetilpirazinas, son responsables de las notas a cacao, avellana, pan tostado y café en los vinos de crianza. Las estructuras químicas de estos compuestos pueden ser apreciada en la Figura 16 (Navarro, 2017).

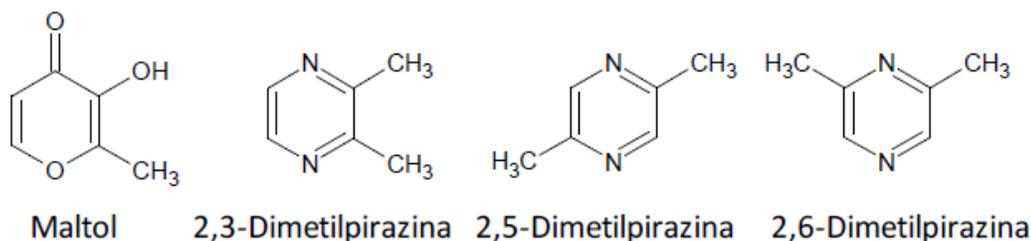


Figura 16. Estructura química del maltol y las dimetilpirazinas, presentes en la madera de roble.

Fuente: Navarro, 2017.

b) Compuestos norisoprenoídes y terpenicos. En la madera de roble, se han encontrado más de 31 tipos de norisoprenoídes. La β -ionona (aroma a violetas) y β -damascenona (aroma manzana asada), mostrados en la Figura 17. Son los más comunes en la madera, especialmente la β -ionona, encontrada en el corazón del tronco del roble blanco americano (*Quercus alba*) (Navarro, 2017; Ojeda, 2012).

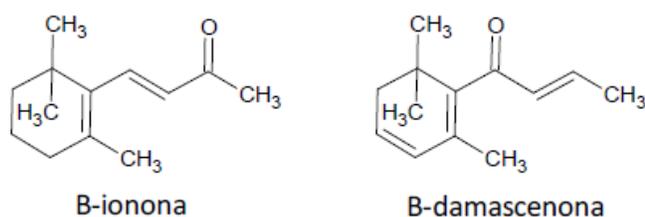


Figura 17. Estructura química de β -ionona y β -damascenona.

Fuente: Navarro, 2017.

Los terpenos de la madera de roble, han sido identificados en distintas especies, en el caso del *Quercus robur* se ha encontrado dos sesquiterpenos, y en el caso de la madera de *Quercus alba* se han encontrado gran número de estos compuestos (Ojeda, 2012).

c) Ácido Acético. La madera tostada de roble, puede presentar ácido acético libre, especialmente en maderas nuevas sin contacto previo con líquidos. La razón de la existencia de este compuesto, está en la hemicelulosa, ya que algunas unidades de xilosa presentan grupos acetilo en posición 2 y/o 3, que por efecto de la hidrólisis en el proceso de tostado, pueden dar lugar a la formación de ácido acético libre (Navarro, 2017; Gallego 2013).

d) Lactonas. Son compuestos provenientes de la degradación de lípidos, generados por la exposición a altas temperatura durante el proceso de tostado. Las lactonas encontradas en la madera de roble, son la β -nonalactona, β -decalactona y la γ -octolactona, aunque la más importante es la β -metil- γ -octolactona o más comúnmente conocida como whiskey-lactona, al ser identificadas en este destilado. Los isómeros *cis*, son 10 veces más odorantes que los *trans*, debido a que presentan un umbral menor de percepción. Las estructuras químicas de ambos isómeros, se pueden observar en la Figura 18 (Ojeda, 2012; Navarro, 2017).

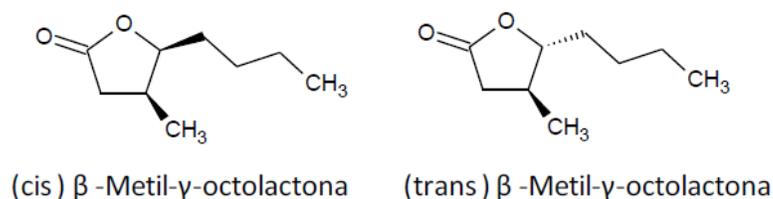


Figura 18. Estructuras químicas de β -metil- γ -octolactona.

Fuente: Navarro, 2017.

Existe una gran variabilidad en la concentración de las whiskey-lactona, dependiendo de la especie, bosque y árboles. El roble americano, presenta mayor cantidad de estas lactonas comparado al roble francés y el roble húngaro. La relación entre monómeros *cis* y *trans* también es mayor en roble americano, alcanzando valores superiores a 5 en comparación a la madera de roble francés y roble húngaro (*Quercus robur*) que están comúnmente bajo 2 (Cadahía, 2003; Navarro 2017; Ojeda, 2012).

2.2.3.3. Fracción Mineral

En la madera de roble se puede encontrar calcio, potasio, magnesio, sílice, etc. Alguno de estos minerales puede ser cedidos al líquido que, en el caso del vino, pueden catalizar procesos de oxidación (Navarro 2017).

2.2.4. Madera de roble francés y roble americano

El roble francés (*Quercus petraea*) se puede hallar en toda Francia, las Islas Británicas y otros lugares de Europa. La geografía, suelo y clima, cambian de manera notoria la composición y densidad de la madera, siendo los fríos inviernos, el principal factor para que esta madera posea una buena proporción de granos finos, que puedan llevar correctamente la maduración de los distintos fermentados. Su extracción, es realizada principalmente en el centro del país Galo (Fig. 19) donde las temperaturas son menores. Existen otros países europeos que

explotan la madera de *Quercus petraea*, siendo Rumania un gran productor, debido a la calidad de su madera en los bosques transilvanos. El corte de la madera bruta, es hecho por el método de hendido (Figura 20) dejando los haces vasculares más importantes en posición vertical, así evitando la filtración de las bebidas en el interior de la barrica (Catania y Avagnina, 2007; Tonnellerie Vlad, 2020).

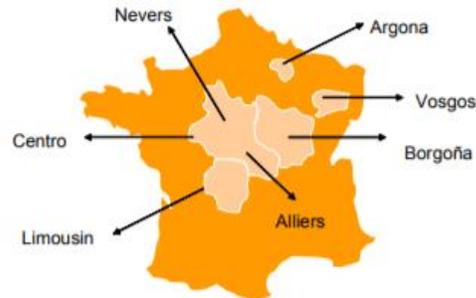


Figura 19. Mapa de Francia: Principales zonas de cultivo y extracción de *Quercus petraea*. Fuente: Catania y Avagnina, 2007.



Figura 20. Corte por el método de hendido en robles europeos. Modificado. Fuente: Catania y Avagnina, 2007.

El roble americano (*Quercus alba*) o roble blanco americano, es la especie más importante utilizada en la tonelería en Estados Unidos. Su cultivo se lleva a cabo en la zona este del territorio americano (Figura 21), siendo los más importantes los estados de Missouri, Ohio, Illinois, Tennessee y Oregón (Navarro, 2012). El roble blanco americano, posee una importante característica fisiológica, llamada tilosis, por la cual los haces vasculares son taponeados después de ser utilizados por el organismo vegetal, por ello el corte aserrado (Figura 22) de los troncos brutos, no causa problemas de filtraciones de los líquidos dentro de la barrica (Catania y Avagnina, 2007; Tonnellerie Vlad, 2020).



Figura 21. Mapa de Estados Unidos: Principales zonas de cultivo y extracción de *Quercus alba*.

Fuente: Catania y Avagnina, 2007.

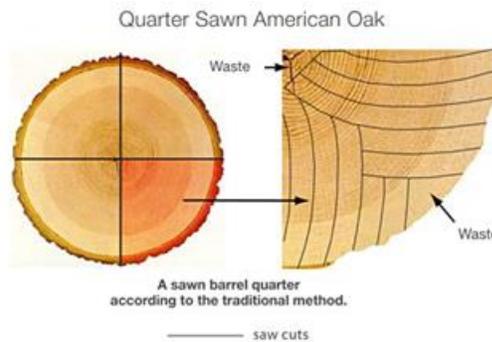


Figura 22. Corte por el método de hendido en robles europeos. Modificado.

Fuente: Catania y Avagnina, 2007.

Aunque estas dos especies puedan tener aptitudes comunes al género *Quercus*, hay que tener en cuenta que existen importantes diferencias enológicas entre especies, orígenes e incluso entre árboles del mismo bosque. Además, la estructura y composición química de la madera está sujeta a variaciones, por los tratamientos silvícolas y técnicas de procesado en las tonelerías (Navarro, 2017; Fernández de Simón, 2007).

En la Tabla 8, podemos observar de manera resumida las diferencias estructurales, físicas y químicas entre estas dos especies, como también la diferencia de sus procesos toneleros.

Tabla 8. Características de la madera de roble americano y roble francés. Fuente: Navarro, 2017. Modificado.

Propiedades	Roble Americano (<i>Q. alba</i>)	Roble Francés (<i>Q. petraea</i>)
Densidad	Mayor	Menor
Resistencia	Mayor	Menor
Porosidad	Baja	Media
Permeabilidad	Baja	Media
Secado	Lento	Más rápido
Técnica de corte	Aserrado	Hendido
Grano	Medio-Grueso (2-5 cm.)	Fino-Muy fino (1-2 cm.)

Continuación de tabla 8		
Taninos mayoritarios	Gálicos	Elágicos
Polifenoles totales	Bajo	Medio
Elagitaninos	Bajo	Medio
<i>Cis</i> -whiskylactona	Alto	Medio
Eugenol	Alto	Medio
Vainillina	Alto	Medio-Alto

En general, la madera de roble americano, presenta mayores valores en sus propiedades físicas, afectando sus propiedades mecánicas. Las diferencias en la composición química, se ven reflejadas en una mayor expresión aromática en el roble americano, dado por su alto nivel de lactonas y derivados furánicos. A pesar de lo anterior, esta madera es pobre en elagitaninos comparada con el roble francés (Navarro 2017; Fernández de Simón, 2007).

Según Fernández de Simón (2007), las maderas de roble americano y francés pueden aumentar su concentración de whisky-lactonas durante el proceso de tostado (tostado medio – 35min a 160-170°C), llegando de manera experimental un 65% y 35% de aumento respectivamente.

2.2.5. Procesado de la madera para tonelería

La madera de roble, antes de conformar una barrica o estar dispuesta en formatos de aplicación alternativos, debe pasar por una serie de procesos. Estos son necesarios para acondicionar la madera a los requerimientos enológicos (Fernández de Simón, 2007). Estos procesos son:

2.2.5.1. Selección de árboles y extracción de duelas

La selección de los árboles se divide en dos etapas. La primera es el marcado de los árboles a abatir, el cual se lleva a cabo en el periodo de septiembre a noviembre de manera visual. La segunda etapa, se lleva a cabo desde noviembre a febrero, donde comienza la tala de los robles mientras se produce la parada de la savia (Fernández de Simón, 2007).

Una vez abatido el árbol, se clasifica la madera según su calidad dependiendo de la altura y la ausencia de defectos visibles, como nudos, heridas y pudriciones. El uso de la madera para fines enológico, se hace en el tronco inferior, suponiendo en el mejor de los casos un 40% de la madera total del árbol (Fernández de Simón, 2007).

Las trozas de tamaño adecuado obtenidas del tronco inferior, son desprendidas de la corteza y la albura, ya que solo es utilizado el duramen. A continuación, las trozas son divididas en cuarterones, los cuales son transformados en duelas por los dos distintos métodos de corte, estos explicados en el ítem 2.2.4. (Fernández de Simón, 2007; Catwell y Bouckaert, 2016).

2.2.5.2. Secado

La madera de roble, suele ser sometida a un proceso de secado antes de ser utilizada para la construcción de barricas o alternativos, donde su humedad es reducida desde 35-60% hasta 12-18%. El tipo de secado más idóneo en el caso de la enología, es el modo natural, por el cual, se dejan pilas de duelas a la intemperie por dos o tres años, dependiendo del grosor de la duela. Durante este periodo, la madera experimenta deshidratación, rehidratación y humedad constante, por lo cual, se generan contracciones en las fibras de la madera y una disminución de las fisuras en las duelas (Ojeda, 2012).

El secado natural, además de deshidratar la madera, es considerado una etapa de curado tanto como la madures en las uvas, donde madera húmeda y agresiva, se vuelve seca y aromática. Durante el secado, sustancias fenólicas como los elagitaninos, disminuyen su concentración en la madera, perdiendo amargor y astringencia, como también compuestos aromáticos relacionados a caracteres vegetales (Cadaña *et al.*, 2001b).

Desde el punto de vista microbiológico, existe una importante actividad fúngica en la superficie de la madera, generando azúcares al descomponer estructuras fenólicas como las cumarinas y taninos hidrolizables, disminuyendo la astringencia y el amargor (Fernández de Simón, 2007).

El comportamiento de los compuestos a través del proceso de secado, es variable, dependiendo de mecanismos físicos, como lixiviación y de degradación hidrolítica oxidativa, asociados a pluviosidad, radiación ultravioleta y las variaciones de temperatura (amplitudes térmicas). Se considera que, terminado el proceso de secado, los compuestos químicos presentes en la madera, en general tienden a disminuir (Navarro, 2017).

El método de secado natural, es considerado el más apto para la producción de duelas, pero conlleva un gran coste mantener la madera inmóvil por años. Por lo anterior, existen dos métodos de secado alternativos, que disminuyen el tiempo de la madera en este proceso. Uno de estos métodos alternativos es el secado mixto, el cual posee una etapa de secado natural, que va de 12 a 15 meses, para posteriormente terminar el secado en hornos a temperatura y humedad adecuada. El segundo método es el secado artificial, el cual es realizado en hornos durante un tiempo reducido, donde la madera recibe corrientes de aire caliente entre 30-60°C durante 3 o 4 semanas (Ojeda, 2012; Navarro 2017).

Según Fernández de Simón (2007), la disminución de elagitaninos en roble americano y roble francés, es insuficiente en los métodos alternativos. Además, la evolución de compuestos aromáticos, es diferente al secado natural, disminuyendo en roble francés el isómero *cis* de la β -metil- γ -octalactona.

2.2.5.3. Tostado

El tostado tiene una gran influencia en la composición química de la madera, aumentando distintos compuestos de interés enológico, hasta ciertos niveles de tostado. Los niveles de tostado son catalogados normalmente en ligero (20 minutos a 120-140°C), medio (30 minutos a 200-220°C) y fuerte (40 minutos a 250-280°C). Cada tonelería tiene distintos protocolos y criterios para este proceso (Fernández de Simón, 2007; Navarro, 2017).

Durante el proceso de tostado, se generan distintas reacciones de pirolisis y hidrotermólisis, provocando la degradación de la lignina, polisacáridos, polifenoles y lípidos. La degradación de la lignina, produce principalmente fenoles volátiles y aldehídos fenólicos. En el caso de los polímeros glucosídicos, son transformados en derivados del furfural. Para los lípidos degradados, se obtienen lactonas. Algunos de estos compuestos específicos y sus descriptores, son presentados en la Tabla 9 (Fernández de Simón, 2007; Toro, 2020).

Tabla 9. Descriptores aromáticos y umbral de percepción de algunos compuestos producidos en el tostado de la madera. Fuente: Ojeda, 2012. Modificado.

Familia	Compuesto	Descriptor Aromático	Umbral de percepción
Furanos	Furfural	Almendra	20mg/l
	5-metilfurfural	Almendra Tostada	45mg/l
	5-hidroximetilfurfural	Almendra Tostada	45mg/l
	Alcohol furfurílico	Heno	45mg/l
Aldehídos	Vainillina	Vainilla	320µg/l
Fenólicos	Siringaldehído	-	-
Lactonas	β -metil-y-octolactona <i>cis</i>	Nuez de coco	74µg/l
	β -metil-y-octolactona <i>trans</i>	Nuez de coco	320µg/l
Fenoles Volátiles	Guayacol	Tostado, humo	75µg/l
	4-metilguayacol	Madera quemada	66µg/l
	4-etilguayacol	Tostado, humo, especias	150µg/l
	Eugenol	Clavos de olor	500µg/l
	4-vinilguayaco	Clavel, pimienta	380µg/l
	4-vinilfeno	Farmacia	1,5mg/l
	4-etilfenol	Cuero, animal	605µg/l
	Fenol	Tinta	25µg/l
	Siringol	Humo	200µg/l

Los elagitaninos según Puech *et al.* (1999), son afectados por el tostado ligero, observando una disminución del nivel de vescalagina en un 73% y de castalagina un 46%, en la capa superficial de la madera. Los tostados medios y altos, eliminan casi por completo los elagitaninos de las capas más superficiales de la madera, pero su efecto al interior de ella,

solo abarca unos pocos milímetros de profundidad, explicando en el caso de los vinos, el poco aporte de elagitaninos de estos tostados.

2.3. Formatos de la madera

2.3.1. Barricas

a) Elaboración de barricas. Terminado el secado de las duelas, se comienza con la elaboración de las barricas. El primer proceso se llama curvado, éste comienza con el bojado de las duelas brutas, donde se les entrega una forma más adecuada para el ensamblaje de las maderas. Para la fabricación de una barrica bordelosa, se utilizan entre 29 y 36 duelas con un desarrollo lineal total de 2,2 metros. Las duelas seleccionadas que cumplen con el desarrollo lineal, se colocan en forma de campana, sujetadas en la zona superior por dos anillos metálicos, llamándose a este proceso levantado (Ojeda, 2012).

A continuación, se lleva a cabo el trabajo de domar las duelas y adaptarlas a la normal característica de una barrica. Para ello, se hace aplicación constante de humedad y calor, que le confiere elasticidad a los componentes de la madera. El calor infiere a la lignina mayor elasticidad. Mientras, que la humedad hace factible la deformación de la celulosa y hemicelulosa. Los diferentes sistemas utilizados para aplicar temperatura a las duelas, son braseros, gas, vapor de agua o agua caliente, resistencias eléctricas, generador de ondas infrarrojas, etc (Ojeda, 2012; Rubio-Breton *et al.*, 2017).

A la vez que se aplica calor y humedad en la madera, un cable llamado cintrado, afirma las duelas para que estas formen la barrica. Una vez terminado el domado de la barrica, se colocan otros dos aros de trabajo para mantener la forma dada. Posteriormente, la barrica es llevado a una segunda aplicación de calor (tostado de afinamiento), donde la gran mayoría de las reacciones producidas por el calor, modifican los compuestos extraíbles de la madera (Ojeda, 2012; Palencia, 2013).

Una vez terminado el tostado final, la barrica es llevada al proceso de prensado, donde toma su forma definitiva. La siguiente etapa es el fondeado, donde se procede a acoplar a la barrica el fondo superior e inferior, constituidos a partir de maderas rectas sin tostar llamadas azuelas. Terminado el fondeado, se procede a la colocación de los flejes que sostendrán la madera, y al taladrado de un orificio de llenado, en medio de la barriga de la barrica. La barrica terminada, pasa por una prueba de estanqueidad, utilizando agua caliente y aire a presión. Finalmente, la barrica es pulida, limpiada, azufrada, marcada y embalada (Ojeda, 2012).

b) Tipos de Barricas. En el mercado se pueden encontrar amplias ofertas de barricas diferentes, su clasificación puede ser muy variada y en algunos casos influye el criterio de los oferentes. Algunas de los criterios de clasificación más comunes, son el origen botánico y geográfico de la madera, nivel de tostado, capacidad y uso (Zamora, 2019).

En el caso de la capacidad volumétrica, estos son generalmente clasificados en: Barrica bordelesa (225L), barrica burdeos (300L), pipa de jerez (500L), pipa de oporto (650L), y para volúmenes mayores, fudres o cubas (Zamora, 2019).

c) La permeabilidad al oxígeno en la barrica de roble. La barrica de roble, es permeable al oxígeno, siendo los poros y juntas entre duelas, las principales vías de ingreso de este gas. La absorción de líquidos por la madera, y el intercambio de gases, genera vacío dentro de la barrica, beneficiando el ingreso del oxígeno. La tasa de transferencia de oxígeno en la madera de roble, posee un rango entre 2 a 60mg/L por año, reportados en variados estudios. La tasa de transferencia de oxígeno en barricas, esta mayormente determinada por la humedad de la madera, siendo esta mayor en madera seca (Nevares *et al.*, 2014; del Alamo-Sanza *et al.*, 2017; Zamora, 2019).

2.3.2 Alternativos a la barrica

Según Fernández de Simón (2007), los alternativos pueden ser clasificados en dos grandes grupos dependiendo del contenedor utilizado. Los primeros serian generalmente utilizados en grandes cubas de acero inoxidable, y los segundos utilizados principalmente en el interior de barricas.

2.3.2.1. Alternativos utilizados en grandes depósitos

a) Granulados de roble. Producto a base de pequeños gránulos de madera de roble, los cuales son agregados a los depósitos por medio de bolsas tipo infusión (Fernández de Simón, 2007; Muñoz, 2007).

b) Chips o Virutas de roble. Fragmentos de madera de aspecto irregular y astiloso, con un tamaño medio de 10mm. La adición de chips a los depósitos, es efectuada por medio de bolsas de infusión (Fernández de Simón, 2007; Verdier *et al.*, 2007; Muñoz, 2007).

c) Fragmentos de roble. Trozos de madera de roble, de mayor tamaño que los chips, producidos por el corte aserrado de la madera. Estos fragmentos se pueden encontrar generalmente en formatos de cubos de 1 x 1 x 1cm, o en rectángulos de 5 x 8cm de lado y 1cm de grosor. La aplicación de estos chips, es generalmente dentro de bolsas de infusión (Fernández de Simón, 2007; Verdier *et al.*, 2007).

d) Tablillas, listones o travesaño de roble. Piezas de madera con forma rectangular, que son sumergidas o ancladas en bastidores de acero inoxidable dentro de los depósitos. Las medidas de estas piezas de madera son muy variables con tamaños de 80-90 x 4-6 x 1cm hasta las que superan 1,5m de largo, x 20 x 2cm. Su formato entrega una mayor versatilidad en la selección de mixturas de madera y tostados a utilizar, siendo este formato el más utilizado por los productores de grandes volúmenes (Fernández de Simón, 2007; Verdier *et al.*, 2007).

2.3.2.2. Alternativos utilizados en barricas

Generalmente estos alternativos son utilizados en barricas agotadas, donde el aporte de sustancias de interés ha disminuido con el uso (Muñoz, 2007).

a) Entablillado interior de la barrica. Es un sistema por el cual se encajan tablillas de roble de 5 a 10cm de ancho dentro de la barrica, en algunos casos esta se sobrepone directamente sobre las duelas originales (Muñoz, 2007).

b) Tablillas encadenadas. Consiste en listones de madera encadenados en sus extremos uno tras otro, las piezas de madera son dimensionadas según el diámetro orificio de llenado de la barrica (Fernández de Simón, 2007).

b) Sistema de infusión para granulado o virutas de roble. Es un cilindro con un diámetro menor al orificio de llenado de barricas, está constituido por una malla de acero inoxidable por el cual, los líquidos pueden mantener contacto con los fragmentos o virutas que estén en el interior del infusor (Fernández de Simón, 2007).

2.4. Otras maderas con potencial en la guarda de cervezas

a) Cerezo (*Prunus avium*). El cerezo es parte de la familia *Rosaceae* y del género *Prunus*, se considera originario de Oriente próximo, en la región comprendida entre las costas del Mar Negro y el Mar Caspio. Actualmente, se encuentran plantaciones de cerezos en numerosas regiones de clima templado, entre los 35° y los 55° de latitud Norte y Sur (García, 2010). La madera de cerezo presenta estudios de impacto en vinos y vinagre. En el caso del vino, éste experimenta remarcables aumentos en compuestos volátiles producto de las interacciones con la madera, como lo son el p-anisaldehído, ácido benzoico, benzoato de metilo, entre otros. (Fernández de Simón et al., 2013). En vinagres de vino, se ha comparado con maderas de roble, acacia y castaño, donde los aromas a frutos rojos aumentan por el contacto con madera de cerezo (Cerezo et al., 2010; Sanz et al., 2010). Los aportes de etil benzanoato, etil furoato, y benzaldehído aumentan en el tiempo de guarda de vinagres de vino en maderas de cerezo, como también la naringenina, taxofolina y kaempferol, siendo estos, los marcadores del uso de esta madera (Callejon et al., 2010; Cerezo et al., 2014)

b) Acacia (*Robinia pseudoacacia*). Por otra parte, el acacio (*Robinia pseudoacacia*) es una especie leguminosa originaria del sureste y centro de Estados Unidos, que se ha extendido al resto de América y otros continentes, principalmente en lugares con clima templado y mediterráneo (FIA, 1999). Su madera se ha descrito en comparación con los perfiles químicos, físicos y sensoriales obtenidos en vinos tintos con crianza en roble, cerezo, fresno y castaño de indias. Ésta se presenta como una madera que aporta aldehídos furánicos, llegando a su máxima concentración a los cuatro meses de crianza con tostado medio, posteriormente decreciendo con el tiempo. Otras estructuras presentes en los vinos con crianza entre 9 y 12 meses con acacia son 1H-pirrol-2-carboxaldehído; 4-hidroxi-5,6-dihidro-(2H)-pirano-2-ona y furaneol, obtenidos por deshidrataciones y reordenamientos de carbohidratos de la madera expuesta al calor. Los compuestos derivados de la degradación de la lignina más significativos son siringol y 3,4-dimetoxifenol. Respecto al aporte de características sensoriales en vino tinto el acacio da notas picantes y de ahumado, en vinos blancos mejora las características sensoriales, respecto a aquellos con crianza en barricas de roble (Fernández de Simón et al., 2013; Kozlovic et al., 2010). En el caso del vinagre, se han

descrito dos marcadores del uso de esta madera, siendo estos la robinetina y fustina (Cerezo *et al.*, 2009; Callejon *et al.*, 2010; Cerezo *et al.*, 2014).

3. Efectos físicos, químicos y organolépticos de la guarda sin maderas en cervezas

3.1. Efectos físicos de la guarda en las cervezas

a) Color. Según Vanderhaegen *et al.* (2003), el color en la cerveza aumenta al pasar el tiempo en guarda, siendo los compuestos colorantes producidos por reacciones de Maillard, en presencia de oxígeno y temperatura, los principales factores en el incremento de este parámetro. En la figura 23, se puede apreciar el cambio de color en la cerveza a través del tiempo para diferentes temperaturas y presencia de oxígeno en guarda. Reportes de Oñatejaén *et al.* (2005), Brenner y Khan (1976), también sugieren que la guarda de la cerveza genera un oscurecimiento de color. Mientras, que Grigsby *et al.* (1974) agrega que elementos como el cobre y fierro, influyen en el cambio de color.

El color inicial de las cervezas, afecta el nivel de variación de color después de la guarda, siendo las cervezas oscuras y con alto contenido de alcohol, las más afectadas por reacciones de Maillard en guarda (Vanderhaegen *et al.*, 2007).

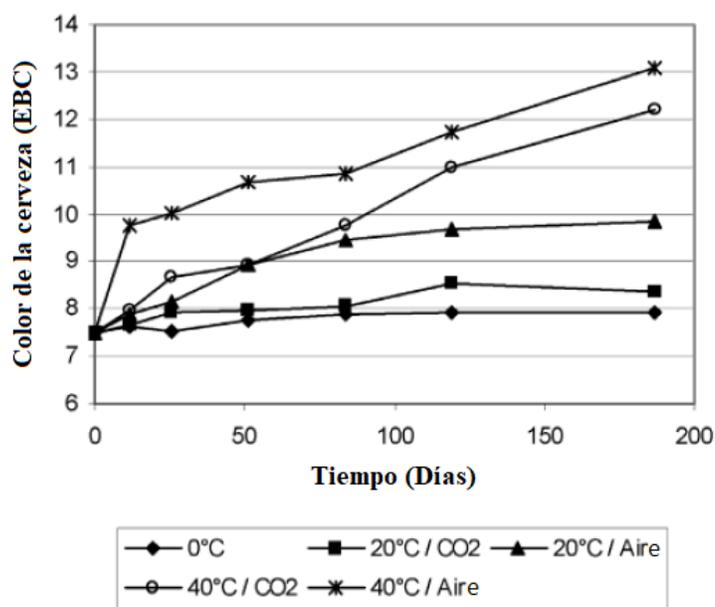


Figura 23. Gráfico “Efecto del tiempo de guarda, temperatura y presencia de aire en el color de la cerveza”.

Fuente: Vanderhaegen *et al.*, 2003.

b) Espuma. Las proteínas disminuyen con el tiempo de guarda, afectando directamente la estabilidad de la espuma. La estabilidad de la espuma se ve mayormente afectada en casos donde la guarda está expuesta a temperatura, como se puede apreciar en la tabla 10 (Malfliet *et al.*, 2008).

Tabla 10. Estabilidad de la espuma en cerveza fresca y con guarda para distintas muestras. Fuente: Malfliet *et al.*, 2008. Modificado.

	Muestra	Cerveza A	Cerveza B	Cerveza C	Cerveza D	Cerveza E	Cerveza F
Estabilidad de la espuma (NIBEM)	Sin Guarda	239	326	292	218	232	291
	60d 30°C	179	300	258	216	245	270
	9m 22°C	212	322	273	230	238	280

Sin Guarda: Cerveza fresca sin guarda; 60d 30°C: Muestra de cerveza con crianza por 60 días a 30°C; 9m 22°C: Muestra de cerveza con crianza por 9 meses a 22°C.

3.2. Efectos químicos de la guarda en las cervezas

3.2.1. Contenido de alcohol

El alcohol presente en la cerveza, está ligado a una serie de reacciones al momento de la guarda, siendo la oxidación una de las más importantes. El alcohol entrega electrones a grupos carbonilos reactivos de melanoidinas, facilitando la unión a oxígeno libre, y disponiendo de la molécula para avanzar en los pasos que lo transforman en acetaldehído (Vanderhaegen *et al.*, 2006; Saison *et al.*, 2010).

A pesar de lo anterior, autores como Guimarães *et al.* (2020) y Wyler *et al.* (2015) no encontraron diferencias significativas entre la cerveza sin guarda y la cerveza con guarda, como se puede ver en la Tabla 11. Por lo anterior, se podría concluir que las condiciones de guarda (sin oxígeno y almacenamiento a 0°C) afectaron las reacciones que influyen en la cantidad de alcohol.

Tabla 11. Contenido de alcohol para cervezas con guarda de 1, 2 y 3 meses. Fuente: Wyler *et al.*, 2015. Modificado.

Meses de guarda	Contenido de alcohol
1	4.57 a
2	4.92 a
3	4.57 a

Letras iguales en la columna de contenido de alcohol muestran que no hay diferencias significativas según la prueba de Turkey ($p < 0.05$).

3.2.2. pH

El pH en la cerveza no presenta cambios significativos a través del tiempo de guarda, esto puede ser apreciado en la Tabla 12 (Wyler *et al.*, 2015; Guimarães *et al.*, 2020).

Tabla 12. Variación del pH. Fuente: Wyler *et al.*, 2015. Modificado.

Meses de guarda	pH
1	4.86 a
2	4.84 a
3	4.73 a

Letras iguales en la columna de pH muestran que no hay diferencias significativas según la prueba de Turkey ($p < 0.05$).

3.2.3. Unidad Internacional de Amargor (por sus siglas en inglés IBU)

La concentración de iso- α -ácidos, disminuyen con el tiempo, provocado principalmente por procesos de oxidación. Lo anterior se puede ver en la tabla 13, donde los *cis*-iso- α -ácidos son claramente más estables que los *trans*-iso- α -ácidos, estando acorde a la bibliografía previa (King y Duineveld, 1999; Cooman *et al.*, 2000; Malfliet *et al.*, 2008).

Tabla 13. Concentración de iso- α -ácidos (mg/L) en cerveza fresca y con guarda para distintas muestras de cervezas (A-F). Fuente: Malfliet *et al.*, 2008. Modificado.

Cerveza	Muestra	t-ich	c-ich	t-inh	c-inh	t-iah	c-iah	iso- α -acids	RT/C
A	Sin Guarda	2.1	5.0	2.4	7.3	0.9	2.3	20.0	0.37
	60d 30°C	1.4	4.8	1.6	6.8	0.7	2.1	17.4	0.26
	9m 22°C	0.6	4.2	0.6	5.4	0.3	1.6	12.7	0.12
B	Sin Guarda	2.4	5.5	3.3	9.6	1.0	2.5	24.3	0.37
	60d 30°C	1.6	5.2	2.3	8.8	0.8	2.4	21.1	0.28
	9m 22°C	0.8	4.7	1.0	7.6	0.4	1.8	16.3	0.15
C	Sin Guarda	0.9	1.8	1.7	4.0	0.5	1.0	9.9	0.44
	60d 30°C	0.6	1.7	1.1	3.9	0.4	1.0	8.7	0.30
	9m 22°C	0.2	1.5	0.3	2.9	0.2	0.7	5.9	0.12
D	Sin Guarda	1.7	3.5	2.2	6.1	0.7	1.7	15.8	0.40
	60d 30°C	1.3	3.5	1.6	5.9	0.7	1.7	14.6	0.31
	9m 22°C	0.8	3.4	1.1	5.5	0.4	1.5	12.7	0.21
E	Sin Guarda	1.6	3.3	1.9	5.1	0.7	1.5	14.1	0.42
	60d 30°C	1.3	3.2	1.5	4.9	0.6	1.4	12.9	0.34
	9m 22°C	0.6	2.7	0.8	3.9	0.3	1.1	9.5	0.22
F	Sin Guarda	1.7	3.9	2.6	7.7	0.8	2.0	18.8	0.37
	60d 30°C	1.3	3.9	1.9	7.7	0.7	1.9	17.4	0.27
	9m 22°C	0.6	3.4	0.8	5.6	0.3	1.4	12.1	0.16

Sin Guarda: Cerveza fresca sin guarda; 60d 30°C: Muestra de cerveza con crianza por 60 días a 30°C; 9m 22°C: Muestra de cerveza con crianza por 9 meses a 22°C.

Identificación de Componentes: t-ich: *trans*-isocohumulona; c-ich: *cis*-isocohumulona; t-inh: *trans*-isohumulona; c-inh: *cis*-isohumulona; t-iah: *trans*-isoadhumulona; c-iah: *cis*-isoadhumulona.

3.2.4. Fenoles totales

Según Vanderhaegen *et al.* (2003), los polifenoles de la cerveza son degradados en el periodo de guarda, principalmente por efecto de la oxidación. La degradación de los polifenoles no se observa en términos de concentración, debido a que el método de medición de fenoles totales cuenta las estructuras fenólicas centrales de estos compuestos.

Por otro lado, Malfliet *et al.* (2008) afirma que en la gran mayoría de las cervezas que analizó, los niveles de polifenoles totales disminuyeron, como se puede apreciar en la Tabla 14.

Tabla 14. Concentración de fenoles totales (mg/L) en cerveza fresca y con guarda para distintas muestras de cervezas (A-F). Fuente: Malfliet *et al.*, 2008. Modificado.

	Muestra	Cerveza A	Cerveza B	Cerveza C	Cerveza D	Cerveza E	Cerveza F
Polifenoles Totales mg/L	Sin Guarda	171.4	178.8	96.4	234.1	140.2	157.4
	60d 30°C	173.8	171.8	95.9	236.9	136.9	154.6
	9m 22°C	161.9	175.4	96.4	227.6	135.2	156.2

Sin Guarda: Cerveza fresca sin guarda 60d 30°C: Muestra de cerveza con crianza por 60 días a 30°C 9m 22°C: Muestra de cerveza con crianza por 9 meses a 22°C.

3.2.5. Compuestos volátiles

a) Ésteres de Acetato. Durante la guarda de la cerveza, la concentración de ésteres de acetato disminuye, como se puede observar para el caso del acetato de isoamilo en la Figura 24. Siendo la hidrólisis, la principal causa de la disminución de estos compuestos, por efecto de esterasas extracelulares presentes en la matriz de la cerveza. Los ésteres de acetato, son producidos en gran medida por el metabolismo secundario de las levaduras en el proceso de fermentación alcohólica, dando descriptores aromáticos relacionados con aromas a plátano (acetato de isoamilo), y solvente frutal (etil acetato) (Neven *et al.*, 1997; Vanderhaegen *et al.*, 2003; Malfliet *et al.*, 2008).

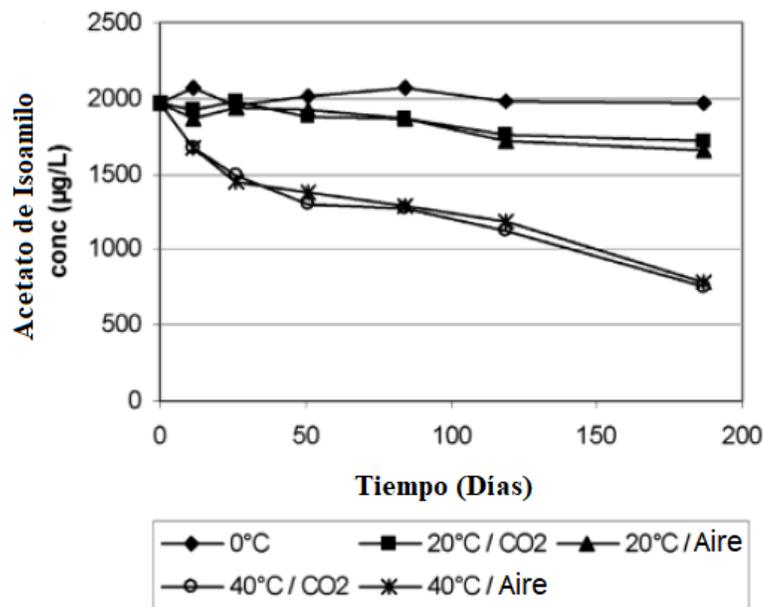


Figura 24. Gráfico “Efecto del tiempo en la concentración de acetato de isoamilo para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”.

Fuente: Vanderhaegen *et al.*, 2003.

b) Ésteres etílicos. Los ésteres etílicos son formados e hidrolizados en el proceso de guarda, dependiendo del mecanismo de síntesis del compuesto. La levadura en el proceso de fermentación alcohólica, produce ésteres etílicos, los cuales son hidrolizados en el proceso de guarda, este es el caso del etil butanoato, etil pentanoato, etil hexanoato, etc, visible en la Figura 25.

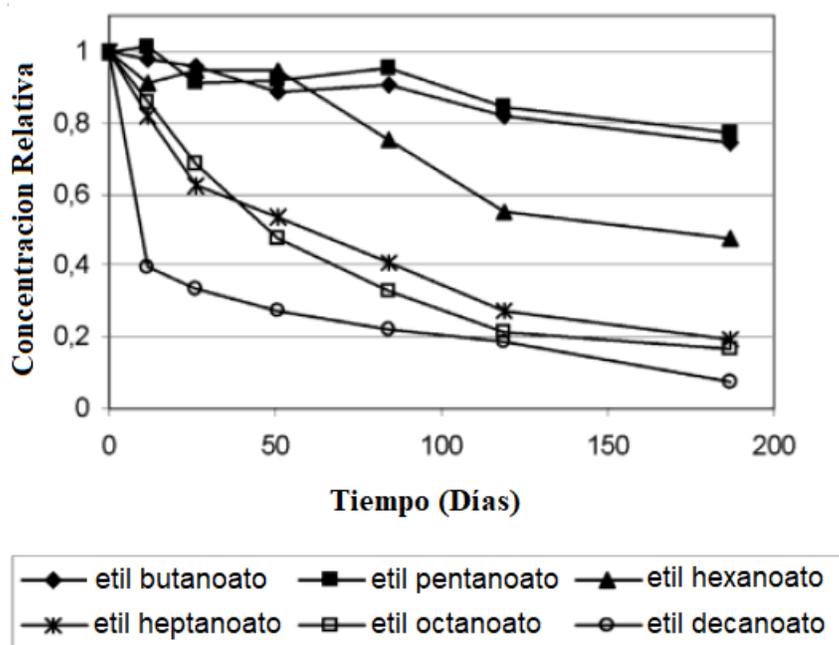


Figura 25. Gráfico “Efecto del tiempo de en la concentración relativa de algunos ésteres etílicos en cerveza”.

Fuente: Vanderhaegen *et al.*, 2003.

A diferencia de la hidrólisis y la degradación de los anteriores ésteres etílicos, la esterificación del etanol con ácidos orgánicos en el momento de la guarda, aumenta la concentración de compuestos tales como el etil-3-metil-butirato, visible en la Figura 26. Los ácidos precursores de estos compuestos, provienen de los lúpulos y levaduras, siendo los más importantes el ácido 3-metilbutírico, ácido 2-metilbutírico y ácido 2-metil propiónico. Otros precursores, provienen de la degradación oxidativa de los *alfa* y *beta* ácidos extraídos desde los lúpulos (Williams y Wagner, 1979; Vanderhaegen *et al.*, 2006).

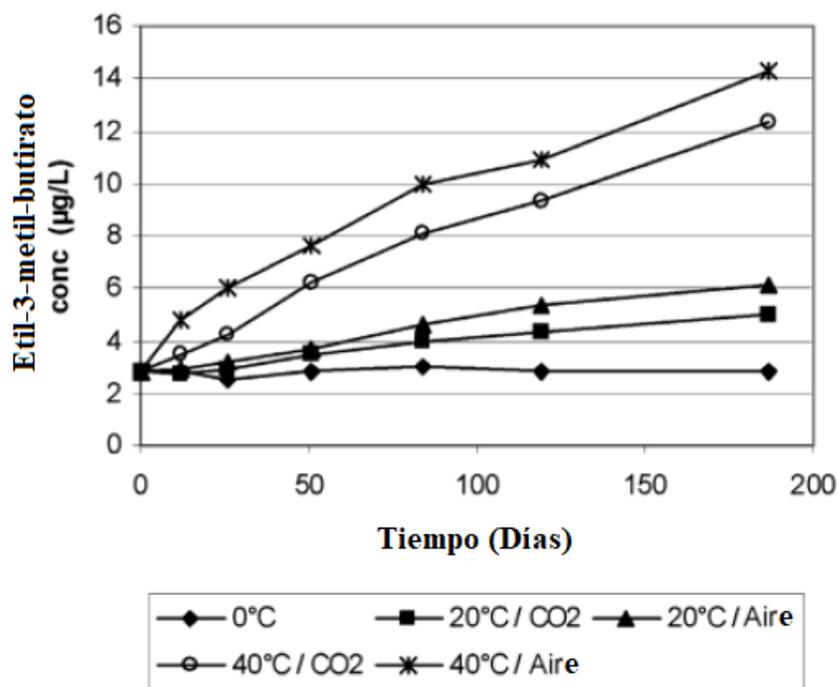


Figura 26. Gráfico “Efecto del tiempo de en la concentración de etil-3-metil-butirato para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”.

Fuente: Vanderhaegen *et al.*, 2003.

c) Compuestos carbonilos. Los compuestos carbonilos, son un amplio espectro de moléculas que poseen un grupo funcional carbonilo. Según Vanderhaegen *et al.* (2006). Éstos pueden ser utilizados como marcadores de la oxidación en cervezas, ya que aumentan su concentración en la cerveza al estar expuesta a oxígeno.

El acetaldehído, es formado a partir de la oxidación del etanol, su síntesis se produce rápidamente en la guarda, especialmente cuando existe presencia de oxígeno y temperatura, este fenómeno puede ser apreciado en la Figura 27 (Engan, 1969; Vanderhaegen *et al.*, 2006).

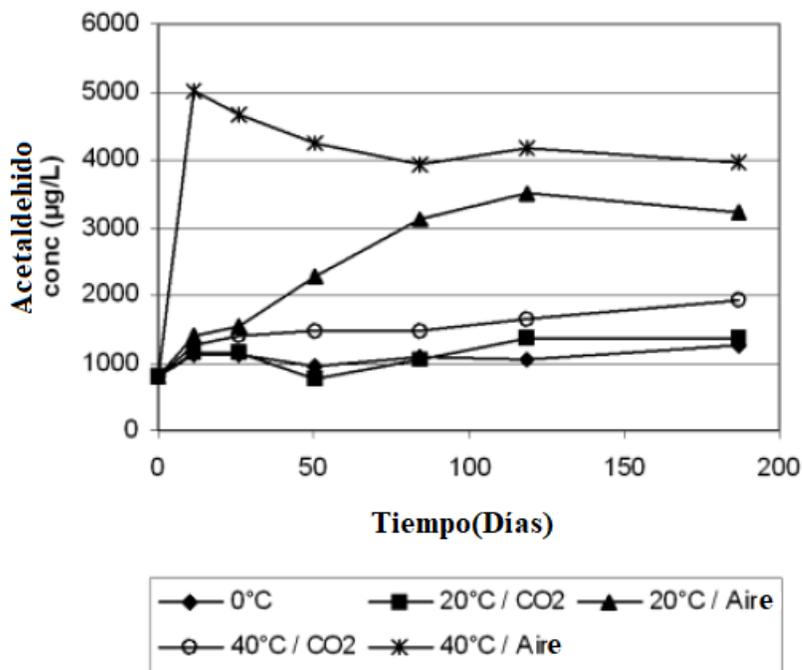


Figura 27. Gráfico “Efecto del tiempo en la concentración de etil-3-metil-butirato para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”.

Fuente: Vanderhaegen *et al.*, 2003.

Otros compuestos carbonilos que aumentan por oxidación y reacciones no oxidativas, son el 3-metilbutanal, 2-metilbutanal y fenilacetaldehído, por medio de la proliferación de sus precursores producidos por la degradación de leucina e isoleucina vía reacciones de Strecker (Vanderhaegen *et al.*, 2005).

Algunas moléculas tales como diacetonas y cetonas de interés enológico, aumentan en el proceso de guarda. El diacetilo aumenta su concentración en el tiempo (Figura 28), debido a su síntesis en las reacciones de Maillard que persisten en la cerveza. La temperatura de guarda, es clave en la concentración final que se obtendrá de este compuesto (Hollnagel y Kroh, 1998; Vanderhaegen *et al.*, 2005). Por tanto, la temperatura ideal de guarda para cervezas con bajos niveles de tolerancia al diacetilo, es cercana a los 0°C.

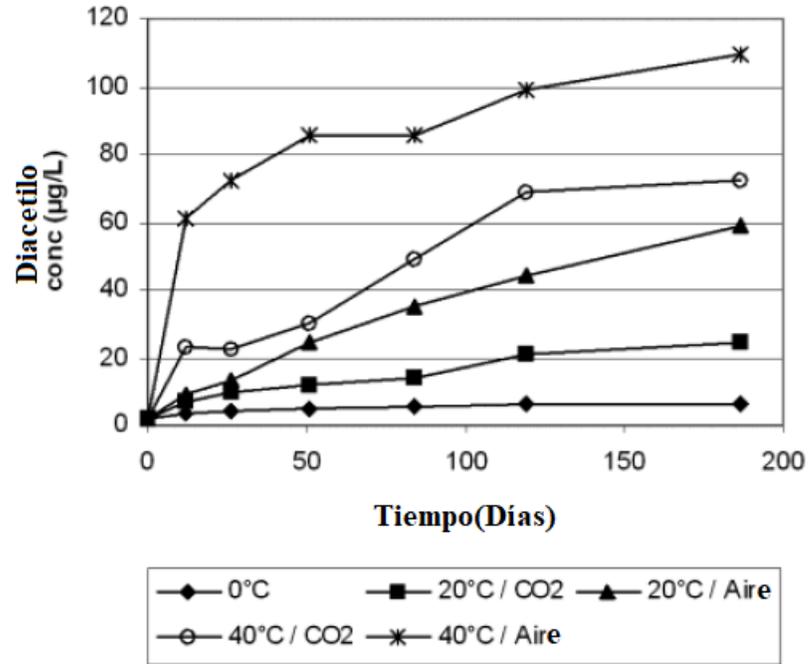


Figura 28. Gráfico “Efecto del tiempo de en la concentración de diacetilo para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”. Fuente: Vanderhaegen *et al.*, 2003.

Otras cetonas que aumentan fuertemente en la guarda de cerveza, son el 3-metil-3-buten-2-ona y 4-metilpentan-2-ona. La concentración de ésta última, se puede observar en la figura 29.

Las dos cetonas antes nombradas, son sintetizadas por la degradación de componentes del lúpulo, observándose mayor concentración de estas, cuando las cervezas en guarda son fuertemente lupuladas (Vanderhaegen *et al.*, 2005).

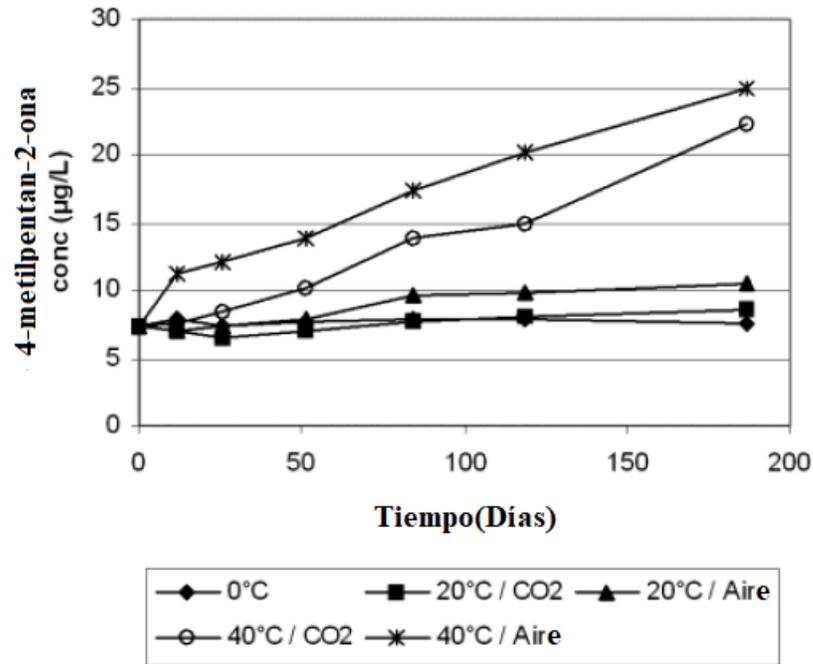


Figura 29. Gráfico “Efecto del tiempo de en la concentración de 4-metilpentan-2-ona para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”.

Fuente: Vanderhaegen *et al.*, 2003.

La concentración de la cetona β -damascenona, es altamente dependiente de la temperatura de guarda como puede ser observado en la figura 30. A temperaturas de 20°C y 40°C, el aumento crece a una tasa regular. Mientras que para temperaturas menor la síntesis de este compuesto disminuye hasta los 0°C, donde casi no hay cambios en su concentración. Siendo la hidrólisis de glucósidos y precursores obtenidos de la conversión de trioles y dihidroxiacetileno, los sugeridos como responsables del aumento de β -damascenona, en la guarda de cervezas (Chevance *et al.*, 2002; Vanderhaegen *et al.*, 2003; Saison *et al.*, 2010).

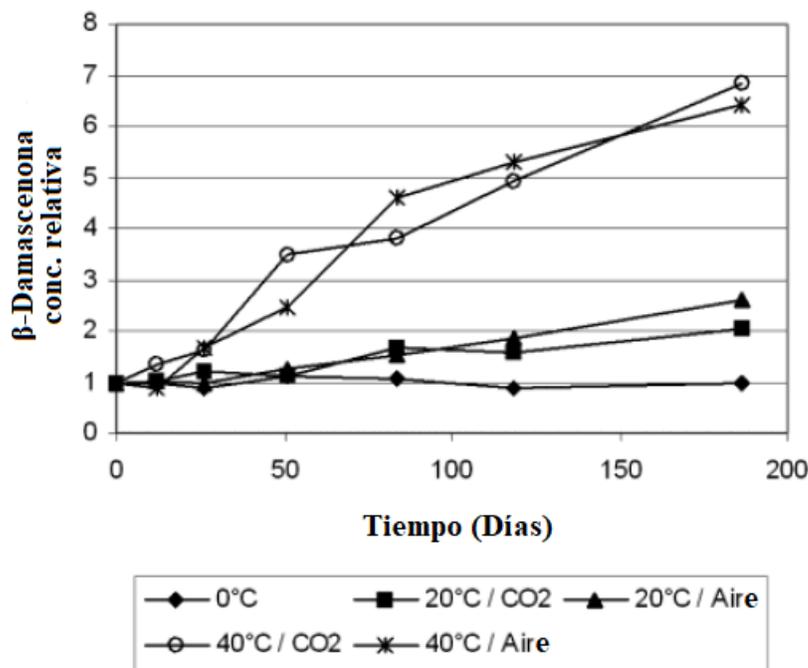


Figura 30. Gráfico “Efecto del tiempo en la concentración relativa de β -damascenona para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”.

Fuente: Vanderhaegen *et al.*, 2003.

En el caso de los aldehídos lineales provenientes de la oxidación de lípidos, el compuesto *trans*-2-nonenal es especialmente notable, debido a su papel preponderante en el olor a cartón (defecto) y su uso generalizado como marcador de guarda (Vanderhaegen *et al.*, 2003; Saison *et al.*, 2010).

Según Vanderhaegen *et al.* (2003), no evidenció un aumento en la concentración de *trans*-2-nonenal, principalmente porque las cervezas analizadas poseían tecnología que afecta los mecanismos de oxidación de lípidos. Por otro lado, Saison *et al.* (2010) confirmó que la concentración de *trans*-2-nonenal aumentó con el tiempo de guarda, siendo esta muy dependiente de la temperatura, como se puede observar en la tabla 15.

Tabla 15. Efecto del tiempo en la concentración de *trans*-2-nonenal para diferentes condiciones de guarda de cerveza. Fuente: Saison *et al.*, (2010). Modificado.

	Cerveza fresca	5 días a 60°C	3 semanas a 40°C	3 meses a 28°C	6 meses a 20°C	10 años a 10°C
<i>trans</i> -2-nonenal	0,03	0,16	0,11	0,05	0,08	0,09

La concentración de *trans*-2-nonenal esta expresada en ppb.

d) Productos de la reacción de Maillard. El 2-furfural es un marcador típico de daño termal en distintos procesos productivos de la cerveza, también es un compuesto que aumenta su

concentración en la guarda de cerveza, dependiendo en gran medida de la presencia de oxígeno y temperatura, como se puede apreciar en la Figura 31 (Vanderhaegen *et al.*, 2003).

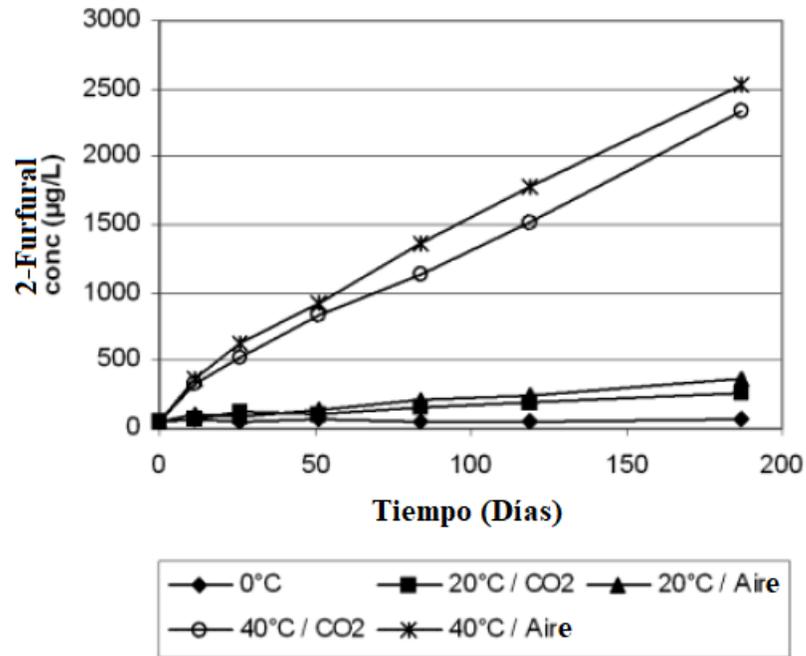


Figura 31. Gráfico “Efecto del tiempo en la concentración de 2-furfural para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”.

Fuente: Vanderhaegen *et al.*, 2003.

Por otro lado, otros compuestos como 5-metil-2-furfural, 2-acetilfurano, 2-furanmetanol y tiazol, aumentan su concentración en la guarda de la cerveza, dependiendo principalmente de la temperatura. Se puede observar en el caso del 2-furanmetanol, en la figura 32 (Vanderhaegen *et al.*, 2003; Saison *et al.*, 2010).

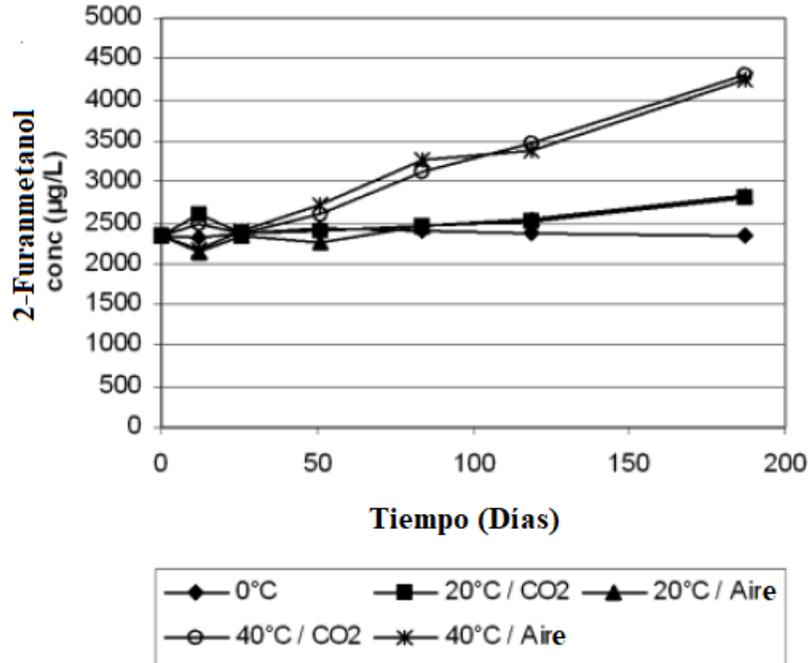


Figura 32. Gráfico “Efecto del tiempo en la concentración de 2-furanmetanol (Alcohol furfúrico) para diferentes condiciones de guarda de la cerveza.”

Fuente: Vanderhaegen *et al.*, 2003.

e) Dioxolano. Estos compuestos son sintetizados por las reacciones de condensación, entre 2,3-butanediol y acetaldehído o 3-metilbutanal, estando su concentración estrechamente ligada a la concentración de acetaldehído, y por ello a la presencia de oxígeno. Los dioxolanos que aumentan en el periodo de guarda de la cerveza, son 2,4,5-trimetil-1,3-dioxolano y 2-isopropil-4,5-dimetil-1,3-dioxolano. Se puede observar para el compuesto 2,4,5-trimetil-1,3-dioxolano en la figura 33, su concentración está muy ligada a la concentración de acetaldehído, obtenida en la misma investigación (Figura 27) (Vanderhaegen *et al.*, 2003; Vanderhaegen *et al.*, 2007).

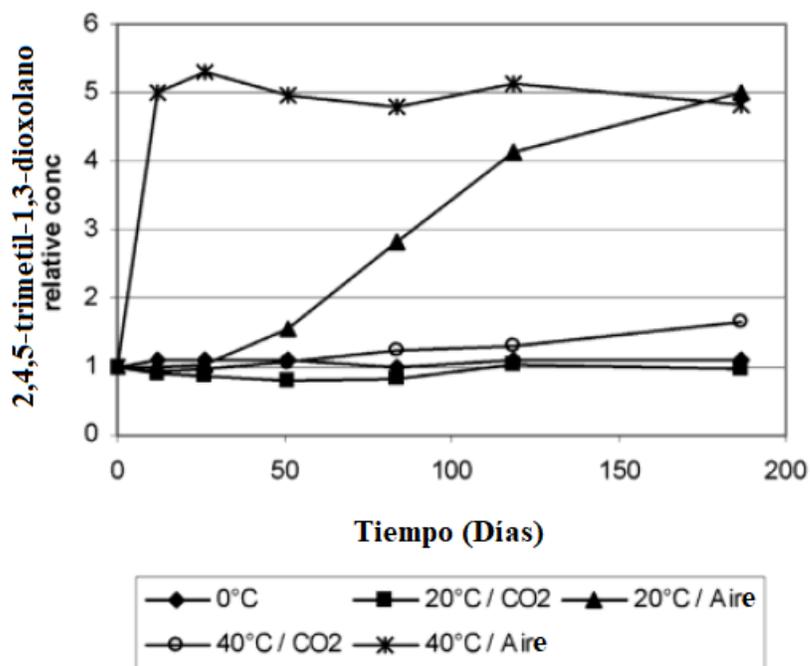


Figura 33. Gráfico “Efecto del tiempo en la concentración relativa de 2,4,5-trimetil-1,3-dioxolano para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”.

Fuente: Vanderhaegen *et al.*, 2003.

f) Éteres furánicos. Los éteres furánicos que experimentan un aumento significativo de su concentración en guarda, son el 5-(etoximetil)-2-furfural y 2-etoxi-2,5-dihidrofurano, siendo estos considerados marcadores de añejamiento en cerveza. Estos compuestos no son generados de manera significativa en los procesos productivos, ya que sus precursores (etanol y los alcoholes furánicos) están mayormente presentes en el periodo de guarda. Como se puede ver en el caso del 2-(etoximetil)furano (Figura 34), estos compuestos tienen una tasa de síntesis mayor a temperaturas de guarda de 20°C y 40°C, y es casi nula a temperaturas de 0°C (Vanderhaegen *et al.*, 2003; Vanderhaegen *et al.*, 2006; Vanderhaegen *et al.*, 2007).

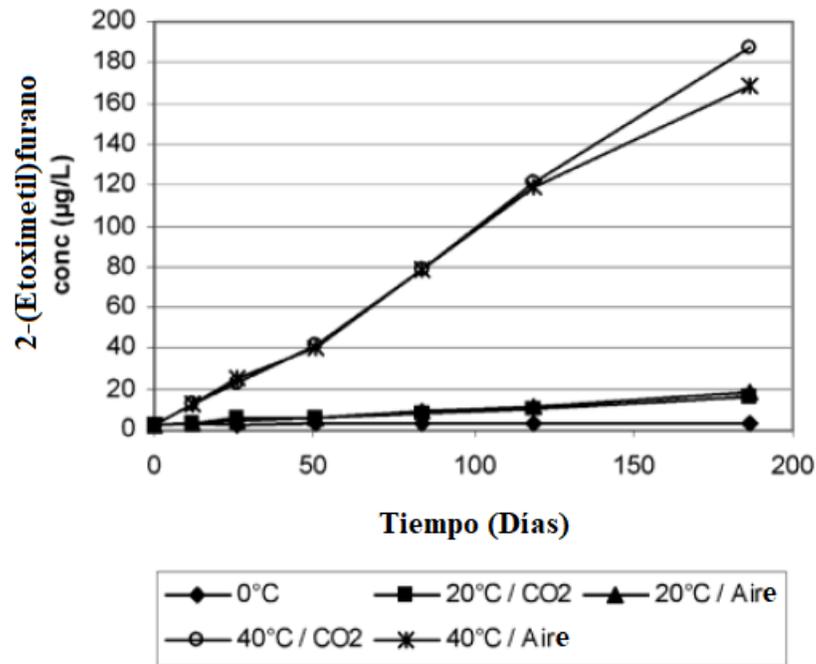


Figura 34. Gráfico “Efecto del tiempo en la concentración relativa de 2,4,5-trimetil-1,3-dioxolano para diferentes condiciones de guarda de la cerveza”. Fuente: Vanderhaegen *et al.*, 2003.

3.3. Efectos organolépticos de la guarda en las cervezas

Según Saison *et al.* (2010), las condiciones de la cerveza (tipo “Lager”, EBC de 6,5 y contenido de alcohol de 5,1°GL) en guarda, son de gran importancia para los perfiles de sabor y aroma (“Flavor”). Los resultados de su investigación muestran que dentro de los 5 sabores, olor y aromas seleccionados por el panel entrenado como marcadores de guarda (aroma típico a vino madeira, olor a cartón, solvente, aromas típicos de la reacción de Maillard, y aroma a ramas y tallos de grosellas llamado “Ribes” por Clapperton (1976)) no fueron encontrados en cerveza fresca, como también la ausencia en la intensidad organoléptica del añejamiento (Anexo 2). Para los autores Vanderhaegen *et al.* (2003), el panel entrenado tomó 6 aromas y 6 sabores de importancia en cerveza de alta fermentación (EBC de 7,5 y 7,5°GL) encontrados en las muestras (Anexo 3), observando que las cervezas a distintas condiciones de guarda, muestran diferencias significativas entre ellas. En el caso de Malfliet *et al.* (2008), el panel entrenado dio puntos generales a las cervezas para el perfil de guarda, observando diferencias entre la cerveza fresca y la cerveza con guarda. Además, ésta última, presentó distintos puntajes a diferentes condiciones de guarda, como puede ser observado en la Tabla 16.

Tabla 16. Puntajes sensoriales generales para la guarda de cerveza. Fuente: Malfliet *et al.*, (2008).

Cerveza	Fresca	60 días a 30°C	9 meses a 22°C
A	0,2	4,5	4,8
B	0,4	4,2	6,7
C	0,1	3,1	4,1
D	0,2	3,2	4,1
E	0,1	2,5	4,3
F	0,3	4,2	6,2

Fresca: Muestra de cerveza fresca; 60 días a 30°C: Muestra de cerveza con guarda de 60 días a 30°C; 9 meses a 22°C: Muestra de cerveza con guarda de 9 meses a 22°C.

Por lo tanto, se puede afirmar que existen cambios organolépticos perceptibles por un panel entrenado, en la guarda de cervezas “Lager” y “Ale”. De manera más específica Guyot-Declerck *et al.* (2005) y Gijs *et al.* (2002), señalan que hay 10 marcadores químicos-aromáticos que cambian su concentración en la guarda de la cerveza. Estos compuestos pueden ser percibidos en un análisis sensorial y son descritos más detalladamente en la Tabla 17.

Tabla 17. Compuestos encontrados en la guarda de cervezas, sus descriptores sensoriales y umbral de percepción. Fuente: Guyot-Declerck *et al.* (2005). Modificado.

Compuesto	Descriptor sensorial	Umbral de percepción (ng/g)
Trisulfuro de dimetilo	Repollo	0.00033-0.01
Metional	Papa	40-250
<i>Trans</i> -2-nonenal	Cartón, Cuero, Caja de Zapatos	0.11
Acetilpirazina	Avellanas tostadas, praliné molido	62
γ -Nonalactona	Coco	65
Cinamato de etilo	Frutos rojos ácidos, plátano	-
β -damascenona	Frutos rojos, compota de manzanas	150
Furaneol	Frutilla, piña ^a	700
2-metoxipirazina	Pimiento <i>verde</i> ^b	400-700
Butirato de etilo	Piña, kiwi y fresa ^c	400

a. Sasaki *et al.*, 2014.

b. Pickering *et al.*, 2008.

c. Martínez *et al.*, 2015.

Guyot-Declerck *et al.* (2005) observaron que el olor a cartón, papa y repollo aumentan de forma significativa en cervezas “Lagers” regulares con guarda, a diferencia de cervezas frescas regulares.

Para el efecto de la temperatura en el periodo de guarda, Saison *et al.* (2010), observaron un aumento de los aromas a cartón y compuestos de la reacción de Maillard, en cervezas guardadas a 60°C por 5 días, 40°C por 3 semanas y 28°C por 3 meses en comparación a las expuestas a temperatura de 20°C (anexo 2). Esto también fue evidenciado por Vanderhaegen *et al.* (2003), donde la temperatura incidió en el aumento de los aromas a cartón/papel y

caramelo (reacción de Maillard), pero a diferencia Saison et al. (2010) la presencia de oxígeno fue determinante en la presencia del aroma a caramelo, además, observo que los aromas frutales disminuyeron con la guarda a mayor temperatura.

La presencia de oxígeno en el periodo de guarda, disminuye el sabor amargo en la cerveza, debido a la degradación oxidativa de los *alfa* y *beta* ácidos extraídos desde los lúpulos, virando a sabores dulces y cálidos. El oxígeno, también afecta los aromas a “Ribes”, madeira y compuestos de la reacción de Maillard, aumentando la presencia de estos aromas, en cervezas con guarda y expuestas a aire (King y Duineveld, 1999; Vanderhaegen et al., 2003; Saison et al., 2010).

El pH, es un factor importante en la guarda de cervezas. Según, Saison et al. (2010), las cervezas con un pH muy bajo (2 a 3) muestran una baja estabilidad organoléptica a diferencia de cervezas con un pH alto (4.5 a 4.8). Según las observaciones del autor, poseen una mayor estabilidad organoléptica en el tiempo, especialmente en el desarrollo de aromas a cartón. Guyot-Declerck et al. (2005), también afirman que aumentar el pH de guarda disminuye la percepción de aromas a cartón (*trans*-2-nonenal) y papa (metional), debido al aumento de aroma a coco que pueden esconder estos aromas no deseados.

El contenido de alcohol, afecta el perfil sensorial de la cerveza con guarda, ya que estos compuestos están relacionado a múltiples reacciones químicas dentro del periodo de añejamiento. A pesar de lo anterior, el contenido de alcohol no produce una diferencia substancial en lo que respecta al perfil de añejamiento, como se puede observar en el anexo 2, pero influye de manera significativa en el aroma a madeira (Saison et al., 2010).

4. Efectos químicos, físicos y organolépticos de las maderas de roble francés y americano en las cervezas tipo “Ale” y “Lager”

4.1. Efectos físicos en las cervezas tipo “Ale” y “Lager”

4.1.1. Efectos físicos en las cervezas tipo “Ale”

a) Color. Las cervezas de fermentación alta (estilo “Barleywine”, EBC de 65,3 y 8,64°GL) analizadas por Toro (2020), mostraron que, en condiciones de temperatura de 2 a 4°C, por 12 meses en botellas de vidrio selladas de 750 cc, el color disminuye significativamente en la guarda con madera de roble americano (2g/L de chips) y madera de roble francés (2g/L de chips), comparados con el control (sin contacto con maderas) en las mismas condiciones de

temperatura y tiempo. Por lo anterior, y según lo expuesto por Vanderhaegen (2006), las cervezas con guarda, tienden a aumentar su color por compuestos intermediarios en la reacción de Maillard, fenómeno que no fue observado en los tratamientos de Toro (2020), dejando entrever que, existe un efecto de la madera de roble americano y roble francés en la disminución del color. A pesar de lo anterior, el análisis del color de la cerveza (estilo “Strong Ale”, EBC de 24 y 6,8°GL) de fermentación alta realizado en el anexo 4 (cuadro 5), en condiciones de 2 a 4°C por 24 meses en barricas plásticas de 10L, se observó que no existían diferencias significativas de color, entre el tratamiento de roble francés (1,5g/L de chips) y el control con guarda sin madera.

4.1.2. Efectos físicos en las cervezas tipo “Lager”

a) Color. En la investigación realizada por Wyler *et al.*, (2015), donde es comparada una cerveza de baja fermentación (estilo “Munich Helles”, EBC de 5,91 a 9,85 y 4,7 a 5,4°GL) expuesta a distintos tostados (alto, medio y bajo) y formato de guarda (cubos y barrica) con roble francés y un control (guarda sin madera), almacenadas en contenedores de 20L de plástico para el caso de los cubos, y barrica de roble francés de 20L, en condiciones de guarda a 0°C por 3 meses, con muestreo cada mes. El autor no encontró diferencias significativas del color de la cerveza en contacto con roble francés, para los dos primeros meses de contacto con maderas respecto a cervezas control. Sin embargo, al tercer mes, el tratamiento en formato barrica, aumenta el color de manera significativa comparado a la cerveza control. Lo anterior, se puede explicar por qué la reacción de Maillard y la síntesis de compuestos relacionados al pardeamiento, son dependientes de la temperatura y también del oxígeno, estando este elemento, mayormente presente en el formato barrica, por la naturaleza porosa de la madera. De manera comparativa y a diferencia de Wyler *et al.*, (2015), los autores Guimarães *et al.* (2020) con madera de roble (*Quercus sp.*), replicando las mismas condiciones experimentales de formato, temperatura, tiempo y muestreo no observo cambios en el color en la cerveza tipo “Lager” (EBC de 18,1 y 6,6°GL). Dejando entrever que, puede existir un efecto de la especie de roble utilizado, debido a diferencias de porosidad y permeabilidad a oxígeno entre especies, como también el efecto de la concentración de sustancias susceptibles al pardeamiento por la reacción de Maillard, ya que las dos cervezas son distintas (Vanderhaegen *et al.*, 2003; Nevares *et al.*, 2014; del Alamo-Sanza *et al.*, 2017).

4.2. Efectos químicos en las cervezas tipo “Ale” y “Lager”

4.2.1. Efectos químicos en las cervezas tipo “Ale”

4.2.1.1. Análisis de pH, contenido de alcohol, acidez total, azúcares reductores y IBU

Resultados obtenidos por Toro (2020), en cervezas de fermentación alta (estilo “Barleywine”, EBC de 65,3 y 8,64°GL), en condiciones de temperatura de 2 a 4°C, por 12 meses en botellas de vidrio selladas de 750 cc, para 6 tratamientos con chips de roble francés (tostado alto, medio y bajo), chips de roble americano (tostado alto, medio y bajo) y un control (guarda sin madera), con muestras al final del periodo de guarda. Sugieren que no existen cambios significativos en el pH, azúcares reductores y acidez total, en cervezas con contacto con madera de roble americano y francés, respecto a su control. Por otro lado, en la misma investigación, se encontraron cambios significativos en la concentración de alcohol en cervezas con crianza en maderas, comparados con el control, como puede ser observado en la tabla 18. No obstante, según Toro (2020), concluye que las diferencias en la concentración de alcohol, no son atribuibles a los efectos de especie botánica y nivel de tostado de la madera utilizada, esto es compatible con lo reportado por Brodahl (2020), al no encontrar diferencias significativas en la concentración de alcohol para cervezas (estilo “Belgian Blondie”, EBC de 11,1 y 11°GL) con crianza con chips roble francés (tostado bajo y medio), roble americano (tostado bajo) y guarda sin madera, en contenedores de vidrio de 20L, guardados por 6 meses a temperatura de 14°C.

Por otro lado, los autores Bossaert *et al.*, (2021) con una estrategia experimental donde, cerveza de fermentación alta (estilo “Blond Ale” y 10,31°GL) permaneció en barricas de 225L de roble francés y acacia, por 38 semanas a 22,4°C de temperatura, y toma de muestras a las 0 (referencia), 2, 12 y 38 semanas. Si encontraron diferencias significativas en el pH para la cerveza en contacto con madera de roble francés, con el consiguiente aumento en las concentraciones de ácidos orgánicos (ácido acético y ácido láctico), los autores señalan, que es un efecto entre la cerveza, la barrica y la comunidad de microorganismos, este último buscado por Bossaert *et al.*, (2021) a diferencia de Toro (2020), el cual utilizó recipientes de vidrio y chips de roble desinfectados, para despreciar el efecto de microorganismos en la guarda.

Tabla 18. Valores obtenidos para análisis de pH, azúcares residuales, acidez total y grado alcohólico para distintos tratamientos de crianza en madera para cerveza “Barleywine (Ale)”. Fuente: Toro (2020). Modificado.

Tratamiento	pH -	Azúcar residual g/L	Acidez total g/L (1)	Grado alcohólico v/v (2)
Guarda sin madera	4,03 ± 0,01 _a	5,37 ± 0,73 _a	1,24 ± 0,05 _a	8,6 ± 0,0 _b
Crianza con roble americano / tostado bajo	4,03 ± 0,02 _a	5,20 ± 0,34 _a	1,47 ± 0,00 _a	8,6 ± 0,2 _b
Crianza con roble americano / tostado medio	3,93 ± 0,11 _a	5,10 ± 0,43 _a	1,50 ± 0,11 _a	9,1 ± 0,5 _a
Crianza con roble americano / tostado alto	4,00 ± 0,19 _a	5,23 ± 0,41 _a	1,24 ± 0,58 _a	8,4 ± 0,2 _b
Crianza con roble francés / tostado bajo	3,92 ± 0,07 _a	5,67 ± 0,68 _a	1,34 ± 0,58 _a	8,7 ± 0,2 _a
Crianza con Roble Francés / tostado medio	3,88 ± 0,06 _a	5,10 ± 0,26 _a	1,30 ± 0,58 _a	8,5 ± 1,0 _b
Crianza con Roble Francés / tostado alto	3,92 ± 0,05 _a	4,90 ± 0,45 _a	1,17 ± 1,0 _a	8,5 ± 1,0 _b

Promedio ± desviación estándar. Letras minúsculas distintas en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos (LSD Fisher, $p < 0,05$). (1) g/L equivalente de ácido tartárico; (2) v/v equivalente a ml de alcohol /100 ml de cerveza; (3) Unidades de absorbancia.

Según Williams y Wagner (1979), y Vanderhaegen *et al.*, (2006), los compuestos amargos como *alfa* y *beta* ácidos, son degradados por reacciones oxidativas, disminuyendo con el tiempo de guarda. El efecto de la madera, no es relevante en la degradación y disminución de los compuestos amargos, como se puede observar en el anexo 4 (cuadro 3). No existen diferencias significativas en los tratamientos. A pesar de lo anterior, Toro (2020) señala que, en el caso de los tostados medios y altos de roble francés y americano, se obtuvieron unos valores mayores en IBU, como puede ser observado en la tabla 19.

Tabla 19. Valores obtenidos en IBU para distintos tratamientos de crianza en madera para cerveza “Barleywine (Ale)”. Fuente: Toro (2020). Modificado.

Tratamiento	IBU
Guarda sin madera	22 ± 1,0 _a
Crianza con roble americano / tostado bajo	22 ± 1,5 _a
Crianza con roble americano / tostado medio	25 ± 0,5 _b
Crianza con roble americano / tostado alto	24 ± 1,1 _{ab}
Crianza con roble francés / tostado bajo	22 ± 1,0 _a
Crianza con Roble Francés / tostado medio	24 ± 0,5 _{ab}
Crianza con Roble Francés / tostado alto	25 ± 0,0 _b

Promedio ± desviación estándar. Letras minúsculas distintas en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos (LSD Fisher, $p < 0,05$). (1) mg CE/L: Equivalente en mg/L de catequina.

4.2.1.2. Compuestos Fenólicos

a) Fenoles totales. Según Toro (2020), las concentraciones de fenoles totales se mantienen constantes en la crianza de la cerveza con madera de roble americano y roble francés, para la gran mayoría de tostados, excepto en el tratamiento de tostado ligero de roble francés, donde la concentración de fenoles totales es significativamente menor que la concentración del control. Brodahl (2020), obtiene resultados similares, donde la gran mayoría de cerveza con crianza en madera de roble americano (tostado ligero) y francés (tostado medio), mantiene significativamente su concentración de fenoles totales, a excepción del tratamiento de roble francés de tostado ligero. En contraposición, Autores como Puech *et al.* (1999), Fernández de Simón (2007) y Navarro (2017), muestran en sus investigaciones que los compuestos fenólicos en la madera de roble francés y americano, están presentes en distintas concentraciones, siendo la madera roble francés el que mayor concentración de fenoles totales presenta, en comparación al roble americano. En la misma línea, Maia (2020), en un trabajo realizado en cervezas de estilo “Pale Ale” (EBC de 7,9 y 5°GL) y “Stout” (EBC de 77,8 y 5°GL), en guarda por 21 días a 22°C de temperatura en botellas de 500cc, con chips madera de roble francés y americano, a concentración de 2g/L, además de un control sin contacto con madera. Observó que el tratamiento de crianza con roble francés, aumenta los fenoles totales en la cerveza de estilos “Pale” y “Stout”, no así el roble americano. Este mismo autor, muestra que los polifenoles totales encontrados en estos dos estilos, son significativamente diferentes, como se puede observar en la Figura 35.

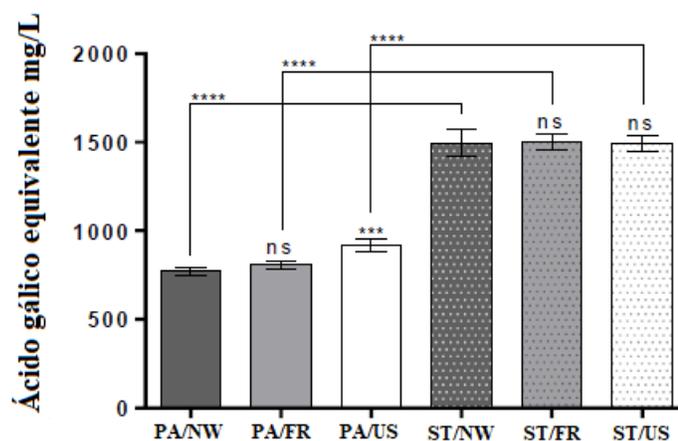


Figura 35. Gráfico “ Fenoles totales para cervezas de estilo “Pale” (PA) y “Stout” (ST) con crianza en madera de roble francés (FR), roble americano (US) y guarda sin madera (NW)”. Fuente: Maia 2020. Modificado.

b) Taninos totales. En general, los taninos totales, aumentan su concentración en cervezas con crianza en maderas de roble francés y americano, mostrando significativas diferencias, en los tratamientos de tostados bajos y altos con respecto a cervezas con guarda sin madera, como se puede observar en la Tabla 20 (Toro, 2020). Esto es debido a que la madera de roble es capaz de ceder taninos (descritos en el ítem 2.2.3.1.2.) a la cerveza, ya que estos son solubles en agua. La concentración disponible de taninos en la madera, puede cambiar por múltiples factores, siendo el origen botánico, geográfico y tipo de tostado los que estarían influyendo en los valores obtenidos por Toro (2020) (Navarro, 2017; Puech *et al.*, 1999).

Tabla 20. Valores obtenidos de taninos totales para distintos tratamientos de crianza en madera para cerveza “Barleywine (Ale)”. Fuente: Toro (2020). Modificado.

Tratamiento	Taninos totales mg CE/L ₍₁₎
Guarda sin madera	232 ± 51,3 _a
Crianza con roble americano / tostado bajo	425 ± 62,8 _b
Crianza con roble americano / tostado medio	329 ± 21 _{ab}
Crianza con roble americano / tostado alto	427 ± 62,4 _b
Crianza con roble francés / tostado bajo	386 ± 109 _b
Crianza con Roble Francés / tostado medio	337 ± 78,1 _{ab}
Crianza con Roble Francés / tostado alto	381 ± 97,4 _b

Promedio ± desviación estándar. Letras minúsculas distintas en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos (LSD Fisher, $p < 0,05$). (1) mg CE/L: Equivalente en mg/L de catequina.

c) Polifenoles de bajo peso molecular. Los compuestos fenólicos de bajo peso molecular, mostraron un aumento significativo en sus concentraciones, cómo se puede ser observado en la Tabla 21. El ácido gálico, aumenta significativamente sus concentraciones en la cerveza “Pale Ale” y “Stout”, para los tratamientos con roble francés y roble americano, siendo este ácido fenólico, no detectado en la cerveza sin madera. Los compuestos (-)-epicatequina y ácido salicílico, fueron detectados en la cerveza “Pale Ale” sin madera, aumentando significativamente sus concentraciones, en la cerveza “Pale Ale” con crianza en madera de roble americano y francés, no así en la cerveza “Stout”. Los ácidos 3,4-dihidroxifenilacético y siríngico, son detectados en concentraciones significativas, exclusivamente en cerveza con crianza en madera de roble americano, independientemente si es “Pale Ale” o “Stout”, mientras que el ácido vainílico aumenta significativamente en cervezas “Pale Ale” con crianza en madera de roble americano, y el isoxantohumul disminuye su concentración en los tratamientos con madera, siendo esta disminución estadísticamente significativa en cervezas “Stout” con crianza en roble francés (Maia, 2020). El polifenol isoxantohumul, proveniente de la isomerización del xantohumul (extraído de los lúpulos), en el proceso de hervido. La isomerización del xantohumul es beneficiada por la presencia de melanoidinas, estando mayormente presente en cervezas “Stout” que en “Pale Ale”, al mismo tiempo, el isoxantohumul es propenso a degradarse por oxidación, dando como resultado una cerveza control “Stout” con una cantidad alta de isoxantohumul, y por la adición de chips de roble, un ingreso de oxígeno, para las cerveza con tratamientos, disminuyendo así la cantidad de isoxantohumul en estas (Magalhães *et al.*, 2008; Dresel *et al.*, 2016).

Tabla 21. Concentración de compuestos fenólicos de bajo peso molecular en cervezas con maduración con madera de roble francés, roble americano y control con guarda sin madera. Fuente: Maia (2020). Modificado.

Compuesto	Pale Ale			Stout		
	Sin madera	Roble francés	Roble americano	Sin madera	Roble francés	Roble americano
-	n.d.	0.24±0.03	0.24±0.06	n.d.	0.23±0.03	0.31±0.02
AG		****	****		****	****
DHPA	0.05±0.00	0.04±0.00	0.12±0.03	0.04±0.01	0.03±0.01	0.06±0.00*

AV	0.44±0.01	0.40±0.04	0.71±0.11	0.36±0.08	0.34±0.07	0.50±0.05
			**			
Syr	n.d.	n.q.	0.2±0.03	n.q.	n.q.	0.19±0.02
			****			****
E	0.35±0.02	0.29±0.02	0.29±0.02*	n.d.	n.d.	n.d.
		**				
Sal	0.69±0.03	0.55±0.04*	0.57±0.04*	0.10±0.03	0.09±0.03	0.13±0.01
IX	0.46±0.08	0.37± 0.03	0.37±0.04	0.52±0.09	0.44±0.07	0.35±0.02*

Promedio ± desviación estándar. Fue utilizada la prueba Dunnett's de comparaciones múltiples al control. Signos de **** indican diferencias significativas ($p < 0.0001$), signos de ** indican diferencias significativas ($p < 0.01$) y signos de * indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Utilización de 2 cifras significativas, método de redondeo.

AG-ácido gálico, DHPA-3,4-dihidroxifenilacético, AV- ácido vainílico, Syr-ácido siríngico, E-(-)-epicatequina, Sal- ácido salicílico, IX- isoxantohumul.

Resultados obtenidos por Sterckx *et al.* (2012), en cervezas de fermentación alta (estilo “Belgian Blond Ale” y 8,3°GL) expuestas a chips de madera de roble francés y roble americano a razón de 5g/L, en botellas de vidrio de 330cc, en guarda por 60 días a 20°C, con muestras a los 5, 15, 32 y 60 días. Muestran que, dentro de los aldehídos fenólicos, el siringaldehído aumenta ostensiblemente en presencia de roble americano, siendo el tostado alto el que mayor concentración posee, de manera similar la acetosiringona, vainillina y acetovanillona, aumentan su concentración de manera significativa en cervezas con crianza en madera de roble americano.

El guayacol y 4-etilguayacol, aumentan su concentración en las cervezas con crianza con maderas de roble americano y francés, exceptuando la cerveza con maderas de roble francés de tostado medio, ya que estos compuestos comienzan a decaer a los 5 y 10 días respectivamente (Sterckx *et al.*, 2012).

4.2.1.3. Otros compuestos aromáticos

Respecto a las familias químicas de compuestos aromáticos, específicamente alcoholes, ésteres, terpenos, ácidos carboxílicos y aldehídos, éstos aumentan notoriamente en cervezas con crianza en roble americano. A diferencia del roble francés, que aporta mayor concentración de cetonas y compuestos fenólicos (Toro, 2020).

Según estudios de Coelho *et al.* (2019), en cerveza de fermentación alta (estilo “Belgian Dark Strong Ale” y 9°GL), sometidas a crianza en barricas de roble americano por 3, 11 y 16 meses, y un control sin guarda. Se observó que las lactonas son un marcador de roble americano. En cervezas sin contacto con madera no se apreció (*cis*) β -metil- γ -octolactona y (*trans*) β -metil- γ -octolactona,. Otras lactonas como γ -nonalactona, γ -etoxicarbonil- γ -butanolactona y furaneol presentan una concentración significativamente mayor en cervezas con crianza en madera de roble americano, comparadas con cervezas control.

4.2.2. Efectos químicos en las cervezas tipo “Lager”

4.2.2.1. Análisis de pH, contenido de alcohol, acidez total y IBU.

Resultados obtenidos por Wyler *et al.* (2015), en la investigación detallada en el ítem 4.1.2.; muestran que el contenido de alcohol en la cerveza con crianza con chips de madera de roble

francés, en todos los tostados (bajo, medio, alto), no mostraron diferencias significativas entre ella y/o el control. El tratamiento en barrica, fue el único que mostró diferencias significativas con los demás tratamientos y control. La posible razón de la disminución en el contenido de alcohol, se puede atribuir al contacto de la cerveza con oxígeno, por la permeabilidad de la madera en la barrica, a diferencia de los otros tratamientos. De esta manera, se explica la degradación de los alcoholes por oxidación, similar a lo que ocurre en cervezas con guarda sin contacto con madera, pero con exposición al aire (Figura 27). Similares resultados, obtuvieron Guimarães *et al.* (2020) (estudio detallado en el ítem 4.1.2.), al no encontrar diferencias significativas en el contenido de alcohol de cervezas “Lager”, con crianza en roble.

El pH y la acidez total, no muestra una relación causal por el uso de madera de roble francés en la crianza de cervezas tipo “Lager”, siendo esto muy similar a lo observado en el caso de las cervezas tipo “Ale” con crianza con chips de roble americano y francés (Wyler *et al.*, 2015).

El índice de amargor (IBU), es significativamente menor en el tratamiento de cerveza con crianza en barrica de roble francés, para el primer mes de crianza. Esto se puede explicar por el efecto micro oxidante que posee este contenedor, dado que los *alfa* ácidos son degradados muy rápidamente por reacciones oxidantes (Intelmann y Hofmann, 2010; Nevares *et al.*, 2014). Los demás tratamientos, no presentan una relación estadística entre el tiempo, madera y tostado, como se puede apreciar en la Tabla 22. De todas maneras, se puede observar un aumento en este valor para todos los tratamientos en el segundo mes, como también una leve disminución de este índice para el tercer mes (Wyler *et al.*, 2015). Lo anterior, va en contraposición con lo observado por diferentes autores, donde la disminución en el IBU de las cervezas “Lagers” comienza rápidamente las primeras semanas (Malfliet *et al.*, 2008; Intelmann y Hofmann, 2010). Esto, puede ser explicado por algún error experimental, el cual estaría normalizado en el análisis estadístico, ya que los resultados no son significativos.

Tabla 22. Valores de parámetros en cerveza “Lager” con diferentes crianzas en roble francés. Fuente: Wyler *et al.* (2015). Modificado.

Parámetro	Mes	Guarda madera	sin Tostado	bajo	Tostado medio	Tostado alto	Barrica
Contenido de alcohol v/v (1)	1	4.57±0.08 _{aA}	4.62±0.05 _{aA}	4.47±0.14 _{aA}	4.68±0.14 _{aA}	4.34±0.14 _{aA}	
	2	4.92±0.61 _{aA}	4.8±0.18 _{aA}	4.69±0.03 _{aA}	5.19±0.69 _{aA}	5.05±0.27 _{bA}	
	3	4.57±0.0 _{aA}	4.6±0.37 _{aA}	4.65±0.15 _{aA}	4.57±0.05 _{aA}	4.45±0.08 _{bA}	
pH	1	4.86±0.11 _{aA}	4.65±0.01 _{aB}	4.61±0.06 _{aB}	4.63±0.05 _{aB}	4.62± 0.01 _{aB}	
	2	4.84±0.12 _{aA}	4.71±0.03 _{bA}	4.7±0.010 _{aA}	4.69±0.04 _{aA}	4.68±0.01 _{bA}	
	3	4.73±0.0 _{aA}	4.72±0.01 _{bA}	4.57±0.09 _{aA}	4.67±0.11 _{aA}	4.64±0.02 _{bA}	
Acidez total g/L(2)	1	1.18±0.0 _{aA}	1.15±0.01 _{aA}	1.09±0.06 _{aA}	1.13±0.02 _{aA}	1.11±0.08 _{aA}	
	2	1.07±0.0 _{bB}	1.15±0.0 _{aB}	1.25 ± 0.0 _{aB}	1.51±0 _{bA}	1.23±0.0 _{aB}	
	3	1.11±0.0 _{cA}	1.14±0.0 _{aA}	1.25 ± 0.12 _{aA}	1.10±0.06 _{bA}	1.42±0.17 _{aA}	
IBU	1	17.25±0.0 _{aBC}	17.9±0.5 _{aB}	17.9±0.39 _{aB}	20.4±0.11 _{aA}	16.87± 0.17 _{aC}	
	2	19.6±0.0 _{bA}	21.4±2 _{aA}	20.5±0.34 _{bA}	20.0±0.38 _{aA}	19.1± 0.2 _{aA}	
	3	18.5±0.0 _{cA}	19.0±0.22 _{aA}	18.7±0.19 _{aA}	19.3±0.49 _{aA}	18.9 ± 0.45 _{aA}	

Promedio ± desviación estándar. Letras minúsculas distintas en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes meses para el mismo tratamiento (LSD Fisher, $p < 0,05$). Letras Mayúsculas distintas en sentido horizontal, indican diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos (LSD Fisher, $p < 0,05$). (1) g/L equivalente de ácido tartárico; (2) v/v equivalente a ml de alcohol /100 ml de cerveza; (3) Unidades de absorbancia. Utilización de 2 cifras significativas, método de redondeo.

4.2.2.2. Compuestos Fenólicos

a) Fenoles totales. Los fenoles totales, aumentan a través del tiempo para las cervezas “Lager” con crianza con chips y barrica de roble francés, en todos los tostados, como puede ser observado en la Tabla 23. Lo anterior se podría atribuir, a la capacidad de la madera de roble francés y roble americano, de ceder compuestos fenólicos (definidos en el ítem 2.2.3.1.) a la matriz de la cerveza. De esta manera, aumenta el contenido de fenoles totales en el tiempo a comparación de la cerveza en guarda sin madera (Fernández de Simón, 2007; Navarro 2017). Los tratamientos que aportan mayor cantidad de fenoles totales a la cerveza “Lager”, son los que mantuvieron contacto con chips de roble francés de tostado alto y crianza en barrica de roble francés.

Tabla 23. Valores de fenoles totales en cerveza “Lager” con diferentes crianzas en roble francés. Fuente: Wyler *et al.* (2015). Modificado.

Parámetro	Mes	Guarda sin madera	Tostado bajo	Tostado medio	Tostado alto	Barrica
Fenoles totales mg/100ml	1	7.22±0.0 _{aA}	6.95±0.03 _{bA}	7.18±0.10 _{aA}	7.30±0.19 _{aA}	7.12±0.11 _{aA}
	2	9.11±1.77 x10 ⁻¹⁵ _{bA}	9.27±0.37 _{aA}	9.23±0.27 _{bA}	9.00±0.35 _{bA}	8.62±0.22 _{bA}
	3	4.57±0.0 _{cA}	9.81±0.76 _{aB}	11.1±0.46 _{aAB}	11.9±0.35 _{cA}	11.8±0.79 _{cA}

Promedio ± desviación estándar. Letras minúsculas distintas en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes meses para el mismo tratamiento (LSD Fisher, $p < 0.05$). Letras Mayúsculas distintas en sentido horizontal, indican diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos (LSD Fisher, $p < 0.05$). Utilización de 2 cifras significativas, método de redondeo.

c) Polifenoles de bajo peso molecular. La concentración de ácido gálico, es significativamente mayor en cervezas con crianza en madera de roble francés, siendo los tratamientos con roble francés de tostado alto y barrica, los que aportan una mayor concentración de ácido gálico a las cervezas “Lager”, como se puede observar en la Figura 36 (Wyler *et al.*, 2015). Para el caso del roble americano, los autores Coelho *et al.* (2021), al analizar cervezas de fermentación baja (estilo “International Lager” y 4,7°GL), expuesta a chips de roble americano reutilizados de tostado medio plus en concentraciones de 10g/L, 20g/L y 30g/L, por 48h a 30°C, 40°C y 50°C, en tubos de pyrex de 100mL, y un control con guarda sin madera. Los resultados exponen diferencias significativas en todos los polifenoles de bajo peso molecular analizados, entre el control sin madera y las cervezas expuestas a madera de roble americano, teniendo mayor concentración las cervezas expuestas a madera, en todas las concentraciones de chips y temperaturas de guarda. Resalta entre todos los

tratamientos, que, a mayor cantidad de madera de roble americano, aumenta el contenido polifenoles de bajo peso molecular, debido a la mayor cantidad de sustancias que pueden ser extraída de la madera. Para el caso de la temperatura, las muestras a 40°C obtienen mayor extracción de estos compuestos.

Al comparar las dinámicas de las concentraciones de ácido gálico, entre cervezas “Ale” y “Lager” con crianza en roble francés y roble americano, sale a la luz, que este ácido fenólico, es un marcador del uso de estas maderas, en la crianza de las cervezas, a pesar de que los procesos productivos sean distintos.

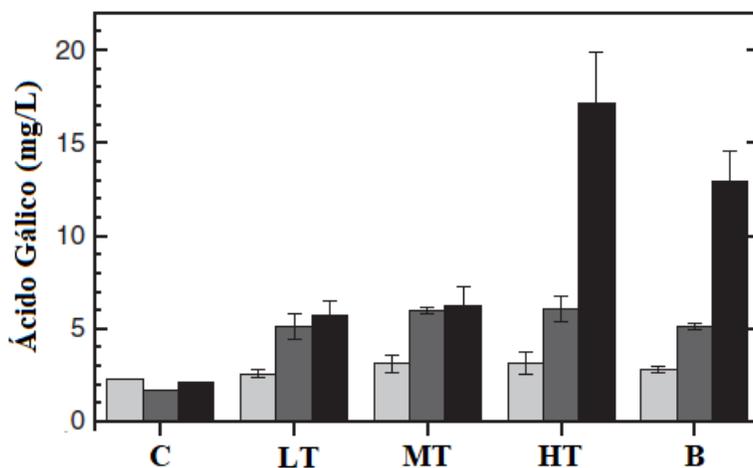


Figura 36. Gráfico “Concentración de ácido gálico en cerveza “Lager” con crianza en madera de roble francés en formatos de chips de tostados ligero (LT), medio (MT), alto (HT) y barrica (B), comparados al control (C)”. Fuente: Wyler *et al.*, 2015. Modificado.

Dentro de los aldehídos fenólicos, el coniferaldehído mantiene su concentración en el tiempo, a pesar de ser aportado por la madera de roble francés a la cerveza. Esta situación se debió a las reacciones de oxidación, que degradan el coniferaldehído en favor de la vainillina. A su vez, es degradada en ácido vainílico, resultando en el aumento significativo de estos dos últimos compuestos en el tiempo (Wyler *et al.*, 2015). Resultados similares, fueron apreciados por Coelho *et al.* (2021) para la concentración de vainillina presentes en cervezas “Lager” con crianza con chips reusados de madera de roble americano en todos los tratamientos.

Otro aldehído fenólico que presenta cambios significativos en su concentración, es el sinapaldehído, el cual disminuye en el proceso de crianza con maderas de roble francés comparado con el control con guarda sin madera. La disminución de este compuesto, es explicada principalmente por la oxidación y transformación de éste, en siringaldehído y ácido siríntrico. A su vez estos dos aldehídos fenólicos, aumentan su concentración de manera significativa, en las cervezas “Lager” con crianza en madera de roble francés (Wyler *et al.*, 2015). Por otro lado, Guimarães *et al.* (2020) (detallado en el ítem 4.1.2.) obtuvo concentraciones de sinapaldehído, siringaldehído y ácido siríntrico significativamente mayores que las encontradas en cerveza con guarda sin madera de roble. Para el caso de la crianza con roble americano en cervezas “Lager”, a los 90 días de guarda, las concentraciones de sinapaldehído y siringaldehído aumentan de manera significativa.

Los fenoles volátiles, tales como el eugenol, 4-metilguayacol, acetovanillona y 2,6-dimetoxifenol, aumentan su concentración de manera significativa en cervezas “Lager” en contacto con chips de madera de roble americano reusados (20g/L), en condiciones de guarda de 40°C por 48h, comparado a cerveza sin guarda en madera. Por el contrario, el 4-viniguayacol y 4-vinilfenol disminuyen su concentración en cerveza “Lager” en contacto con roble americano reusado, para las condiciones nombradas anteriormente (Coelho *et al.*, 2021). Guimarães *et al.* (2020), de manera comparativa, obtuvo resultados similares en cervezas “Lager” con crianza con chips de roble (*Quercus spp.*) para el caso del guayacol, el cual aumenta su concentración de manera significativa, comparado a un control con guarda sin madera.

4.2.2.3. Otros compuestos aromáticos. Dentro de los compuestos furánicos, el 5-hidroximetilfurfural aumenta significativamente su concentración en cervezas “Lager” con crianza en madera de roble francés, en contraposición, el furfural disminuye significativamente en las cervezas con crianza en madera. Caso similar sucede con el control con guarda sin madera, presentando una disminución de este aldehído furánico a través del tiempo de guarda, como se puede observar en la Figura 37 (Wyler *et al.*, 2015).

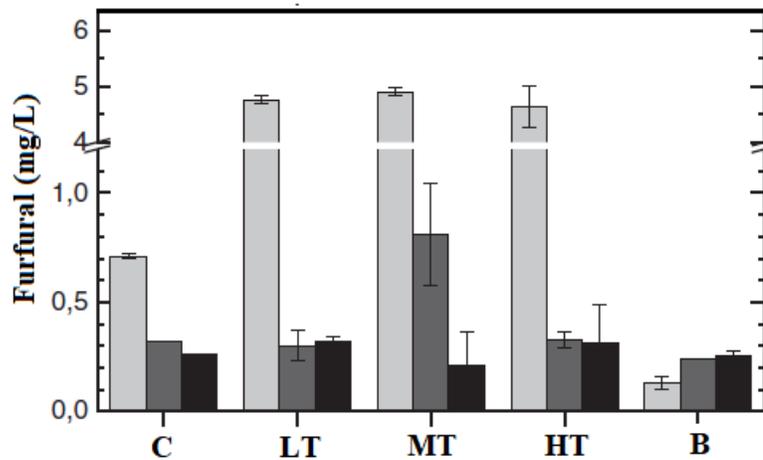


Figura 37. Gráfico “Concentración de furfural en cerveza “Lager” con crianza en madera de roble francés en formatos chips de tostados ligero (LT), medio (MT), alto (HT) y barrica (B), comparados al control (C)”. Fuente: Wyler *et al.*, 2015. Modificado.

En el caso de la madera de roble americano, Coelho *et al.* (2021)(detallado en el ítem 4.2.2.2. letra b), obtuvieron resultados similares para el 5-hidroximetilfurfural, el cual aumentó significativamente su concentración en cervezas “Lager” con exposición a chips de roble americano reusados (20g/L), en condiciones de guarda de 40°C por 48h., comparado al control con guarda sin madera. Este mismo autor, observó un aumento en las concentraciones de furfural, en todos sus tratamientos con chips de roble americano, comparados a su control con guarda sin madera. Caso contrario, fue lo observado por Wyler *et al.* (2015) en la

concentración del furfural a través del tiempo (3 meses), el cual disminuyó significativamente su concentración, para cervezas en contacto con cubos de roble francés. La contradicción entre los resultados de estos dos autores, se explica, por la gran diferencia en el periodo de contacto entre cervezas y madera. Al ser menor el tiempo de muestreo para Coelho *et al.* (2021), evita lo observado por Wyler *et al.* (2015), donde las muestras extraídas el segundo mes de crianza, muestran una fuerte disminución del furfural. Además, la temperatura de guarda utilizada por Wyler *et al.* (2015), fue de 0°C, a diferencia de Coelho *et al.* (2021), el cual utilizó 40°C, justamente esta última temperatura, fue en la cual Vanderhaegen *et al.* (2003), observó un aumento significativo de furfural, en cervezas con guarda sin maderas.

Las lactonas encontradas en la madera de roble, tales como la (*cis*) β -metil- γ -octolactona y (*trans*) β -metil- γ -octolactona, aumentan su concentración en la cerveza expuesta a madera de roble americano, en todos sus tratamientos, ya que estos dos compuestos en la cerveza control, no fue detectada. De manera similar, cervezas de fermentación alta (estilo “Belgian Dark Strong Ale” y 9°GL) sometidas a crianza en barricas de roble americano por 3, 11 y 16 meses, comparadas a la cerveza con guarda sin madera, presentan un aumento significativo de estas lactonas (Coelho *et al.*, 2019; Coelho *et al.*, 2021).

4.3. Efectos sensoriales en las cervezas tipo “Ale” y “Lager”

4.3.1. Efectos sensoriales en las cervezas tipo “Ale”

De acuerdo a los estudios ejecutados por Toro (2020), (descrito en el ítem 4.2.1.1.) los perfiles aromáticos no mostraron diferencias significativas entre las cervezas con crianza en madera de roble americano y francés, respecto al control con guarda sin madera, No obstante, encontró diferencias entre los efectos de éstas dos especies en la guarda de la cerveza “Ale”, donde el descriptor de caramelo, registró mayor presencia en roble francés de tostado medio. A diferencia de lo que sucede con el roble americano de tostado medio, el cual posee una menor presencia de este atributo. El descriptor de madera, fue mayor en el roble francés de tostado medio y menor en roble americano. Caso contrario fue observado en el descriptor de chocolate, donde el roble americano obtuvo una mayor puntuación respecto al roble francés.

De manera similar Sterckx *et al.* (2012) (descrito en el ítem 4.2.1.2.; letra a), observaron diferencias en el efecto de estas dos especies botánicas y el nivel de tostado, en la crianza de cerveza tipo “Ale”, como se puede ver en el anexo 6 (Figura 1). El roble francés de tostado alto a los 32 días de crianza, presenta mayores puntajes en los aromas de madera, quemado y ahumado respecto del roble americano de tostado alto, y este último a su vez, presenta una mayor puntuación en el atributo de vainilla. El roble francés de tostado alto, a los 32 días de crianza, presenta mayores niveles de aromas a vainilla, quemado y ahumado respecto del roble francés de tostado medio, este último, presenta una mayor puntuación en los atributos de maduración, madera y fenólico. En esta misma línea, el roble francés de tostado alto a los

32 días, posee mayor puntuación en el atributo de vainilla, respecto del roble americano de tostado medio, el cual a su vez posee una mayor puntuación en los descriptores de maduración en madera, especiado y fenólico. Además, Sterckx *et al.* (2012), encuentran diferencias significativas entre las cervezas con guarda sin madera (control) y las cervezas con crianza con chips de madera de roble americano y francés, puntuando el control con una calificación de 0, entregando un resultado totalmente distinto al visto por Toro (2020).

4.3.2. Efectos sensoriales en las cervezas tipo “Lager”

Según Coelho *et al.* (2021) (detallado en el ítem 4.2.2.2. letra b), existe una correlación significativa entre los compuestos volátiles, el perfil aromático y la preferencia de los panelistas. El mismo autor, observa que aromas derivados de aldehídos fenólicos, tales como la vainillina, las lactonas *cis/trans* y compuestos furánicos, aumentan en cervezas con crianza en roble americano, siendo la temperatura de guarda, un factor importante en la intensificación de estos aromas. Además, aromas como solvente, frutal y floral, disminuyen considerablemente en cervezas “Lagers” expuestas a madera de roble americano, debido la disminución de ésteres responsables de estos aromas, tales como isoamilo acetato, etil octanoato y linanol. Los efectos de la crianza de cervezas “Lager”, con madera de roble americano, en el caso de los defectos de olor a cartón, relacionado con el compuesto *trans*-2-nonenal (descrito en ítem 3.2.5. letra c), no son dependientes de la crianza en esta madera. De manera más gráfica, los cambios en el perfil aromático de la cerveza “Lager”, pueden ser observados en el anexo 5 (Figura a).

El efecto de la madera de roble americano, en el sabor y sensación en boca depende de cada carácter estudiado. Para el caso del amargor, el uso de esta madera es perjudicial para su intensidad, observando mejores niveles de este carácter, en cervezas con guarda sin madera. La astringencia, tiene una dinámica similar a lo observado en el amargor, disminuyendo en presencia de roble americano, respecto de las cervezas control. El dulzor y la acidez, son percibidos de manera similar para cervezas “Lager” con crianza con chips de roble americano y guarda sin madera. Para estos dos últimos atributos, las cervezas guardadas a temperatura de 30°C, muestran un pequeño aumento de estos dos sabores, pero sin llegar a ser significativos (Coelho *et al.*, 2021).

En el caso del roble francés, Wyler *et al.* (2015)(detallado en el ítem 4.1.2.) llegaron a la conclusión, de que existen cambios físicos y químicos en las cervezas con guarda en esta madera, pero estos no fueron percibidos por el panel hedónico, por ello no existiría efecto sensorial en las cervezas con crianza en roble francés. El mismo autor asevera que, al hacer un análisis hedónico de la cerveza con un panel no entrenado, afectaba los resultados, ya que estos no podían diferenciar las características entregadas por la madera en la cerveza. Además, atribuye la baja temperatura de crianza (0°C), bajo contenido de alcohol y poco tiempo de crianza de las cervezas, las pequeñas diferencias no significativas entre los tratamientos y el control. De manera comparativa, el autor Guimarães *et al.* (2020), en el caso del roble (*Quercus spp.*), si encuentran diferencias significativas en los perfiles sensoriales, entre la cerveza “Lager” con crianza en roble y cervezas “Lager” con guarda sin madera, en

condiciones iguales a las usadas por Wyler *et al.* (2015), pero en este caso se utiliza un panel entrenado para los análisis sensoriales, observando diferentes características descriptivas de la cerveza con crianza en madera de roble, siendo los aromas a resina, quemado y vainilla, los que aumentaron significativamente, y en el caso del sabor, lo tánico y condimentado.

5. Comunidades microbianas en la crianza de cervezas en madera

5.1. Generalidades

La cerveza como un alimento fermentado, posee microbiota activa en cada paso de su producción (Figura 38), definiendo importantes características sensoriales y/o defectos en el producto final. En la actualidad, la gran mayoría de cervezas disponibles en el mercado, utilizan como principal microorganismo fermentador, las levaduras *Saccharomyces spp.* (Bokulich y Bamforth, 2013). En el caso de las cervezas más comercializadas a nivel mundial, tales como los estilos “International Lager”, “Pilsen”, “Pale Ale”, etc. La presencia de otros microorganismos en éstas puede llegar a producir defectos en la cerveza, tales como turbidez, acidificación, defectos de aroma y sabor (BJCP, 2015; Zhimin *et al.*, 2019). Los microorganismos más importantes, en el deterioro microbiológico de las cervezas convencionales, son las bacterias lácticas, las bacterias acéticas y la levadura *Brettanomyces* (Esmaeili *et al.*, 2015).

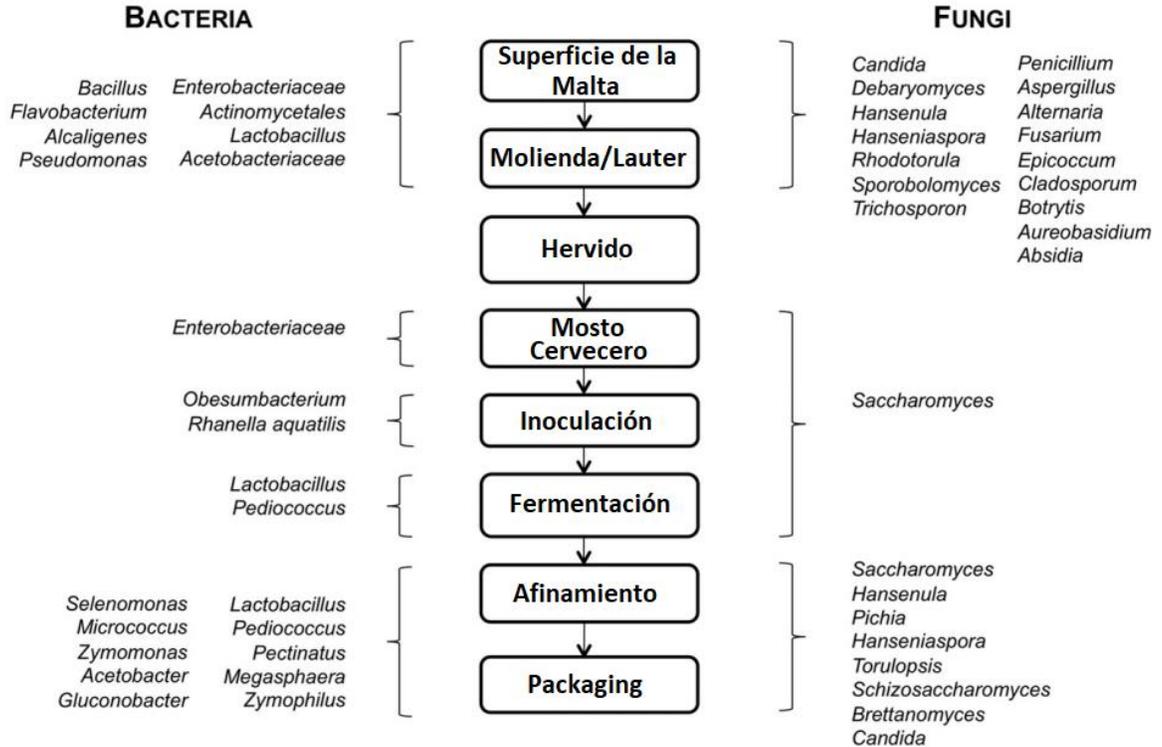


Figura 38. Microbiota de la maltería y la elaboración de cerveza. El diagrama muestra una descripción general de las especies de bacterias y hongos previamente reportadas en todas las etapas principales de la cerveza. Fuente: Bokulich y Bamforth, 2013. Modificado.

A pesar de lo anterior, existen estilos cerveceros tradicionales y contemporáneos, tales como los belgas “Flanders Red Ale”, “Oud Bruin”, “Lambic”, o los del nuevo mundo como “American Coolship Ale” y “American Wild Ale”, que utilizan múltiples microorganismos en su fermentación, incluidos los antes nombrados (Spitaels et al., 2014; BJCP, 2015). Estas cervezas llamadas ácidas, enfrían el mosto exponiéndolo al ambiente, siendo inoculado de manera natural por los microorganismos en el entorno, de esta manera se produce la fermentación espontánea (De Roos y De Vuyst, 2018).

Según De Roos y De Vuyst (2018), la fermentación espontánea en la elaboración de cervezas “Lambic” se puede dividir en cuatro fases. La primera, es dominada por enterobacterias, levaduras oxidativas, y crecimiento limitado de bacterias acéticas. La segunda fase o fase principal, es dominada por levaduras *Saccharomyces*, en la cual la gran mayoría del alcohol es producido. La tercera fase, es donde dominan las bacterias acidificantes, tales como *Lactobacillus brevis*, *Acetobacter pasteurianus*, entre otras. La cuarta fase, llamada de maduración, presenta una dominación por los microorganismos *Pediococcus damnosus* y *Brettanomyces bruxellensis*.

La madera de roble, en específico las barricas, juega un papel crucial en la producción de diferentes cervezas ácidas, tales como los estilos “Lambic” y “American Coolship Ale”, siendo este recipiente de madera donde la cerveza fermentará y madurará, Además de ser un reservorio e inoculador de comunidades microbianas. La inoculación entregada por las

barricas de roble, proviene de los microorganismos soportados por biofilms en la superficie del recipiente y microorganismos asentados dentro de la madera. Éstos últimos llegando a penetrar en el caso de algunas levaduras, hasta 1,2cm dentro de las duelas de la barrica (Shayevitz *et al.*, 2020; Kocijan *et al.*, 2021).

5.2. Comunidades microbianas en la crianza de cervezas acidas en madera

La investigación de Bossaert *et al.* (2021), se centra en el estudio de cerveza rubia de fermentación alta (10,31°GL y IBU de 14,07), con guarda a temperatura de $22.4^{\circ}\text{C} \pm 1.4^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $49.4\% \pm 7.9\%$, en barricas bordelesas (225L) de madera de acacia y roble, con muestras a las 0 (referencia), 2, 12 y 38 semanas. Siendo las comunidades investigadas por medio de Secuenciación y qPCR. La amplificación fue dirigida a la región V4 hipervariable del gen 16S ARNr y la región ITS1. Las divisiones taxonómicas usadas, fueron por medio de Unidades Taxonómicas Operacionales (OTU) para los organismos fúngicos, con un límite de disimilitud del 3%. Mientras para el análisis de las bacterias, fue utilizado Unidades Taxonómicas Operacionales Radio-Zero (zOTU), con un límite de disimilitud del 3%.

Los resultados de la detallada investigación, muestran una amplia gama de bacterias y hongos al inicio del proceso de maduración de las cervezas acidas, siendo el *Penicillium sp.*, y la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, los organismos fúngicos mayormente dominantes hasta la semana 12 de maduración. La presencia de *Penicillium sp.*, en estas semanas, es un problema en la inocuidad alimentaria en cervezas. En múltiples estudios han responsabilizado a este microorganismo con la aparición de micotoxinas cancerígenas y neurotóxicas en alimentos, siendo una de estas la ocratoxina A (Cole *et al.*, 1983; Bellver *et al.*, 2014; Schabo *et al.*, 2020).

El grupo de las bacterias, presentó mayormente *Stenotrophomonas spp.*, hasta la segunda semana de maduración. La dinámica de los organismos fúngicos varió después de la semana 12, (observable en el anexo 7 (Figura 1. a, c y e)), disminuyendo su índice de diversidad, aumentando constantemente el microorganismo *Brettanomyces bruxellensis* hasta la semana 38 de maduración, donde este alcanzó niveles cercanos al 100% de abundancia, observado en el anexo 7 (figura 3).

En el caso de las bacterias, su población total muestra un aumento hasta las doce semanas, para después disminuir hasta las 38 semanas, de manera contraria, el índice de diversidad, disminuye hasta la semana 12, para después aumentar hasta la semana 38, esto puede ser observado en el anexo 7 (Figura 1. b, d y f). Las especies dominantes dentro de las bacterias, después de la semana 12, fueron *Pediococcus damnosus* y *Acetobacter sp.*, alcanzando niveles cercanos al 100% de abundancia, como se puede observar en el anexo 7 (Figura 2). Este mismo autor, agrega la comparación de maderas de especies botánicas distintas, observando efectos significativos de la variable madera (especie botánica) en las poblaciones microbianas, como se puede ver en la tabla 24. Además, por el mismo efecto de la madera,

se observa una mayor presencia de bacterias acéticas en las barricas de roble, a diferencia de las barricas de acacio, las cuales no tuvieron OTU significativo de este microorganismo.

Tabla 24. Resultados del análisis de la varianza (*PerMANOVA*)^a comparando la composición de las comunidades fúngicas y bacterianas durante la maduración de la *cerveza*^b en barrica. Fuente: Bossaert *et al.* (2021).

Factor	Composición de las comunidades					
	Bacterianas			Fúngicas		
	df	F	P	Df	F	P
Especie de botánica	2	1.99	0.05	2	1.56	0.11
Tiempo de maduración	2	7.64	0.00	2	4.90	0.00

a *df*: grados de libertad; F: F estadística; P: P-value basado en 1000 permutaciones (valores estadísticamente significativos están en formato negrita ($P < 0.05$)). Las muestras de cerveza fueron tomadas al inicio (semana 0), 2, 12 y 38 semanas desde el inicio de la maduración en barricas. Utilización de 2 cifras significativas, método de redondeo.

La investigación de Shayevitz *et al.* (2020), realizada en tres cervezas de fermentación alta de estilo “American Coolship Ale” (no especifica °GL), “Gueuze” (6°GL y IBU de 14) y “Strong Imperial Porter” (11°GL y IBU de 50), con guarda por 8 meses en barricas de roble de 235L, muestreo periódico a lo largo de la guarda, y análisis de microbiológicos moleculares. Obtienen resultados similares a Bossaert *et al.* (2021), en las variaciones de las comunidades fúngicas y bacterianas en cerveza “American Coolship Ale”, observando que los microorganismos fúngicos más abundantes al inicio de la maduración fueron las levaduras *Saccharomyces* (*spp. cerevisiae* + *bayanus*), para luego ser superadas en abundancia por las levaduras *Brettanomyces*, estas llegando a copar el 100% de la abundancia al final del periodo de guarda (250 días). En este mismo estudio, el comportamiento de las comunidades bacterianas, es similar a lo obtenido por Bossaert *et al.* (2021), aunque en este caso, comienza con una gran abundancia de enterobacterias, las cuales disminuyen drásticamente hasta obtener una abundancia cercana al 0% a los 250 días de maduración. Las bacterias lácticas y acéticas, de manera contraria a las enterobacterias, comienzan con abundancias cercanas a 0%, para ir tomando a través del tiempo, mayor relevancia en los porcentajes, siendo al final de la maduración cuando las bacterias lácticas y acéticas alcanzan unas abundancias cercanas al 100%.

Finalmente, estos estudios muestran, que el comportamiento de las comunidades microbianas, funciona acorde al patrón de las cuatro fases descritas por De Roos y De Vuyst (2018), siendo las enterobacterias, levaduras *Saccharomyces* y *Brettanomyces*, bacterias lácticas y bacterias acéticas, los microorganismos determinantes en la producción de cervezas ácidas (Farber y Barth. 2019).

CONCLUSIÓN

De la presente investigación se obtienen las siguientes conclusiones;

- Se acepta parcialmente la hipótesis planteada, ya que el uso de maderas de roble francés y americano, no modifica positivamente la característica física estudiada, específicamente el color de cervezas “Lager” y “Ale”. Además, la utilización de la madera de roble francés en cervezas “Lager”, no mejora su perfil sensorial, por ende, no modifica positivamente el carácter organoléptico de la cerveza.
- El uso de maderas de roble francés y americano, incrementa la composición fenólica, calidad aromática y perfil sensorial de cervezas “Ale”. Por ello, mejora las características físicas, químicas y sensoriales, de las cervezas de fermentación alta expuestas a estas maderas. De manera similar, las cervezas “Lager”, mejoran su composición fenólica, al entrar en contacto maderas de roble francés y americano. No así, el perfil sensorial, el cual no presenta cambios al ser expuesto a madera de roble francés.
- La utilización de chips de roble americano, en relación con el roble francés en la crianza de cerveza, presenta una mayor calidad aromática y sensorial para las cervezas de tipo “Ale”.
- La guarda sin madera produce deterioros en la composición química, física y sensorial de la cerveza, siendo el principal factor de cambio, la temperatura. En el caso de cervezas “Lager” o “Ale” rubias, produce un pardeamiento de la coloración, debido al aumento de productos de la reacción de Maillard. Por otra parte, esto no sería un problema en cervezas oscuras, ya que aumentarían los aromas típicos de esta reacción, favoreciendo a estos tipos de cervezas. Además, aumentaría la concentración del compuesto β -damascenona, y por correspondiente, el aroma a frutos rojos y compota de manzana, que entregaría mayor complejidad a estilos robustos.
- La presencia de oxígeno en la crianza o guarda de cervezas con madera, deteriora la calidad sensorial del producto, ya que el IBU disminuye su magnitud por la oxidación de los α -ácidos y β -ácidos. Además, se intensifican los aromas a manzanas verdes, hierbas verdes y nueces, por el aumento de la presencia de acetaldehído, sintetizado en la oxidación de los alcoholes.
- La acidificación de las cervezas, puede mejorar la estabilidad microbiológica, pero afecta negativamente el perfil aromático, ya que, valores de pH menores a 4,2 aceleran la síntesis de aromas a cartón y papa. De manera contraria, el pH de guarda sobre 4,6 aumentarían las notas a coco, escondiendo en parte los aromas a papa y cartón producidos por la guarda.
- La investigación actual sobre el efecto de las maderas de roble en la espuma es casi nula en el caso de cervezas “Ale” con crianza en roble americano y francés, esto se sitúa en contraposición con los grandes esfuerzos de investigación referente a la espuma en el campo de las cervezas “Lagers” industriales.

LITERATURA CITADA

- ACECHI (Asociación de Productores de Cervezas de Chile). La cerveza. [en línea]. Disponible en <https://acechi.cl/la-cerveza> (Consultado el 27 de octubre de 2021).
- Allen, F., and D. Cantwell. 1998. Barley wine: history, brewing techniques, recipes. Illustrated edition. Brewers Publications, Seattle, USA. 209p.
- Arnes, J. 2021, agosto. World Beer Index 2021: The Cost and Consumption of Beer Around the World. [en línea]. Expensivity. Disponible en <https://www.expensivity.com/beer-around-the-world/> (Consultado el 20 de septiembre de 2021).
- ASBC (American Society of Brewing Chemists). 1992. ASBC Methods of Analysis. 8th Edition. ASBC, St. Paul, USA. 198p.
- Bokulich, N., and C. Bamforth. 2013. The Microbiology of Malting and Brewing. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 77(2):157-172.
- Bamforth, C. 1985. The foaming properties of beer. *Journal of the Institute of Brewing* 91:370-383.
- Bamforth, C. 2004. Beer: Health and Nutrition. Blackwell Science Ltd, Oxford, United Kingdom. 196p.
- Barth, R. 2013. The Chemistry of Beer: The Science in the Suds. First Edition. John Wiley & Sons, Inc. 352p.
- Bellver, J., M. Fernández-Franzón, M. Ruiz, and A. Juan-García. 2014. Presence of Ochratoxin A (OTA) Mycotoxin in Alcoholic Drinks from Southern European Countries: Wine and Beer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(31):7643-7651.
- BJCP (Beer Judge Certification Program), USA. 2015. Guía de Estilos 2015: Guía de Estilos de Cerveza. Edición 2015 Español. BJCP, USA. 87p.
- Bogdan, P., and E. Kordialik-Bogacka. (2017). Alternatives to malt in brewing. *Trends in Food Science & Technology*, 65(2017):1-9.
- Bokulich, A., and C. Bamforth. 2013. The Microbiology of Malting and Brewing. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 77(2):157-172.
- Bossaert, S., S. Crauwels, G. De Rouck, and B. Lievens. 2019. The power of sour – A review: Old traditions, new opportunities. *BrewingScience*, 72:78-88.
- Bossaert, S., V. Winne, F. Van Opstaele, J. Buyse, C. Verreth, B. Herrera-Malaver, K. Verstrepen, G. De Rouck, S. Crauwels, and B. Lievens. 2021. Impact of wood species on

microbial community composition, beer chemistry and sensory characteristics during barrel-ageing of beer. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(2):1122-1136.

Brenner, M., and A. Khan. 1976. Furfural and Beer Color as Indices of Beer Flavor Deterioration. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 34(1):14-19.

Briggs, D., C. Boulton, P. Brookes and R. Stevens. 2004. *Brewing: Science and practice*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, Inglaterra, 863 p.

Buckee, G. 1990. Estimation of iso-alpha-acids in beer by HPLC-collaborative trial. *Journal of the Institute of Brewing*, 96:143-148.

Cadahía, E., L. Muñoz, B. Fernández de Simón, and M. García-Vallejo. 2001a. Changes in Low Molecular Weight Phenolic Compounds in Spanish, French, and American Oak Woods during Natural Seasoning and Toasting. *J. Agric. Food Chem.*, 49:1790-1798.

Cadahía, E., S. Varea, L. Muñoz, B. Fernández de Simón, and M. García-Vallejo. 2001b. Evolution of Ellagitannins in Spanish, French, and American Oak Woods during Natural Seasoning and Toasting. *J. Agric. Food Chem.*, 49:3677–3684.

Cadahía, E., B. Fernández de Simón, and J. Jalocha. 2003. Volatile Compounds in Spanish, French, and American Oak Woods after Natural Seasoning and Toasting. *J. Agric. Food Chem.*, 51:5923–5932.

Callejón, R., M. Torija, A. Mas, M. Morales, and A. Troncoso. 2010. Changes of volatile compounds in wine vinegars during their elaboration in barrels made from different woods. *Food Chemistry*, 120(2):561–571.

Capitello, R., and N. Maehle. 2020. *Case Studies in the Beer Sector*. Woodhead Publishing Series in Consumer Science and Strategic Marketing. Elsevier Science & Technology. 390p.

Carpenter, D. 2017. *Lager : The Definitive Guide to Tasting and Brewing the World's Most Popular Beer Styles*. Digital Edition. Voyageur Press, Stillwater, United States of America. 240p.

Castle Malting, Belgica. 2020. *Maltas Belgas que tus Cervezas Hacen Tan Especiales*. Edicion en Español. Beloeil, Belgica: Castle Malting. 44p.

Catania, C., and S. Avagnina. 2007. *La madera y el vino*. INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), Mendoza, Argentina. 17p

Catwell, D., and P. Bouckaert. 2016. *Wood & beer : a brewer's guide*. Digital Edition. Brewers Publications, Boulder, Colorado, USA.

Cerezo, A., J. Espartero, P. Winterhalter, M. Garcia-Parrilla, and A. Troncoso. 2009. (+)-Dihydrorobinetin: a Marker of Vinegar Aging in Acacia (*Robinia pseudoacacia*) Wood. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(20):9551–9554.

Cerezo, A., W. Tesfaye, M. Soria-Díaz, M. Torija, E. Mateo, M. Garcia-Parrilla, and A. Troncoso. 2010. Effect of wood on the phenolic profile and sensory properties of wine vinegars during ageing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(2):175–184.

Cerezo, A., M. Álvarez-Fernández, R. Hornedo-Ortega, A. Troncoso, and M. García-Parrilla. 2014. Phenolic Composition of Vinegars over an Accelerated Aging Process Using Different Wood Species (Acacia, Cherry, Chestnut, and Oak): Effect of Wood Toasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(19):4369–4376.

Chevance, F., C. Guyot-Declerck, J. Dupont, S. Collin. 2002. Investigation of the β -damascenone level in fresh and aged commercial beers. *J. Agric. Food Chem.*, 50:3818-3821.

Clapperton, J. 1976. Ribes flavour in beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 82(3): 175-176.

Coelho E., J. Magalhães, F. Pereira, F. Macieira, L. Domingues, and J. Oliveira. 2019. Volatile fingerprinting differentiates diverse-aged craft beers. *Food Science and Technology*, 108(2019):129-136.

Cole, J., J. Dorner, R. Cox, and L. Raymond. 1983. Two classes of alkaloid mycotoxins produced by *Penicillium crustosum* Thom isolated from contaminated beer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 31(3):655-657.

Constant, M. 1992. A Practical Method for Characterizing Poured Beer Foam Quality. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 50(2): 37–47.

Couyoumdjian, J. 2004. Una bebida moderna: la cerveza en Chile en el siglo XIX. *Historia*, 2(37): 311-336.

del Alamo-Sanza, M., L. Cárcel and I. Nevares. 2017. Characterization of oxygen transmission rate of oak wood species used in cooperage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(3): 648–655.

De Roos, J., and L. De Vuyst. 2018. Microbial acidification, alcoholization, and aroma production during spontaneous lambic beer production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(1): 25-38.

Dresel, M., C. Vogt, A. Dunkel, and T. Hofmann. 2016. The Bitter Chemodiversity of Hops (*Humulus lupulus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(41):7789-7799.

Eßlinger, H. M. 2009. *Handbook of Brewing*. Wiley-VCH. Freiberg, Germany. 763p.

Engan, S. 1969. Some changes in beer flavour during ageing. *Journal of the Institute of Brewing*, 75(4):371-376.

Esmaeili, S., M. Mogharrabi, F. Safi, S. Sohrabvandi, A. Mortazavian, and N. Bagheripoor-Fallah. 2015. The common spoilage microorganisms of beer: occurrence, defects, and determination-a review. *Carpathian Journal of Food Science & Technology*, 7(2015):68-73.

European Brewery Convention (EBC), Belgium. 1966. Tests of the E.B.C. Colour Discs for Wort and Beer. 2nd Edition. Brussels, Belgium: EBC. 451p.

Evans, D., and M. Hamet. 2005, octubre. The Selection of a Dried Yeast Strain for Use in the Apparent Attenuation Limit Malt Analysis (AAL) Procedure. *Journal in Brewing Science*, 111(2):209–214.

Farber, M., and R. Barth. 2019. *Mastering Brewing Science: Quality and Production*. 1st Edition. John Wiley & Sons. Hoboken, NJ, USA. 570p.

Fernández de Simón, B., Sanz, M., Cadahía, E., Poveda, P., and M. Broto. 2006. Chemical Characterization of Oak Heartwood from Spanish Forests of *Quercus pyrenaica*(Wild.). Ellagitannins, Low Molecular Weight Phenolic, and Volatile Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(21):8314-8321.

Fernández de Simón, B. 2007. Tratamiento de la madera de roble para tonelería. (cap.1, pp. 6-23). In: *Crianza en barricas y otras alternativas*. Fundación para la Cultura del Vino, Madrid, España. 252p

Fernández de Simón, B., M. Martínez, E. Sanz, E. Cadahía, A. Esteruelas, and M. Muñoz. 2013, octubre. Volatile compounds and sensorial characterisation of red wine aged in cherry, chestnut, false acacia, ash and oak wood barrels. *Food Chemistry*, 147: 346-356.

FIA (Fundación para la Innovación Agraria), Chile; INFOR (Instituto Forestal) INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario). 1999. *Robinia pseudoacacia: una alternativa multipropósito para la zona central*. (Documento de divulgación 15), INFOR. Santiago, Chile: INFOR. 12p.

Gallego, L. 2013. Estudio del potencial enológico de los productos de madera de rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.) autóctono de Castilla y León para la producción de vinos de calidad. 484p. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Instituto Universitario de Investigación y Gestión Forestal Sostenible. Palencia, España.

García, F. 2010. Análisis de diversos factores biológicos que influyen en el proceso de floración, producción y calidad del fruto en variedades de cerezo (*Prunus avium* L.) cultivadas en la Región de Murcia. 212 p. Tesis Doctoral. Universidad Miguel Hernández, Departamento de Tecnología Agroalimentaria. Orihuela, España

Gijs, L., F. Chevance, V. Jerkovic, and S. Collin. 2002. How low pH can intensify b-damascenone and dimethyltrisulfide production through beer aging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(20):5612-5616.

Guimarães, B., L. Pereira, M. Gonçalves and G. Ferreira. 2020. Evaluation of maturation congeners in beer aged with Brazilian Woods. *Journal of Brewing and Distilling* 9(1):1-7.

Guyot-Declerck, C., N. François, C. Ritter, B. Govaerts, and S. Collin. 2005. Influence of pH and ageing on beer organoleptic properties. A sensory analysis based on AEDA data. *Food Quality and Preference*, 16(2):157-162.

Haas, J. 2016. *Barth-Haas Hops Companion: A brewer's guide to hop varieties and hop products*. 3rd Edition. Yakima, Washington, USA: BARTH-HAAS GROUP. 183p.

Habu, J., and B. Fitzhugh. 2002. Introduction: Beyond Foraging and Collecting: Evolutionary Change in Hunter-Gatherer Settlement Systems. In: Fitzhugh B., Habu J. (eds) *Beyond Foraging and Collecting. Fundamental Issues in Archaeology*. Springer, Boston, MA.

Hayden, B., N. Canuel and S. Jennifer. 2013. What was brewing in the Natufian? An archaeological assessment of brewing technology in the Epipaleolithic. *J. Archaeol. Method Theory*, 20: 102–150.

Hieronimus, S. 2005. *Brew like a monk : Trappist, abbey, and strong Belgian ales and how to brew them*. Digital Version. Brewers Publications, Boulder, Colorado, USA. 330p.

Hojong, H., K. Jinseon, C. Eunji, A. Hyunwoo and K. Wang. 2016. Characteristics of beer produced from Korean six-row barley with the addition of adjuncts. *Journal of the Institute of Brewing*, 122:500–507.

Hollnagel, A., and L. Kroh. 1998. Formation of R-dicarbonyl fragments from mono- and disaccharides under caramelization and Maillard reaction conditions. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A*, 207:50-54.

Hornsey, I. 2003. *A History of Beer and Brewing*. Digital Version, Royal Society of Chemistry, Cambridge, United Kingdom. 762p.

Hough, J. 1990. *Biología de la cerveza y de la malta*. España, Ed. Acribia, 187p.

Intelmann, D., and T. Hofmann. 2010. On the Autoxidation of Bitter-Tasting Iso- α -acids in Beer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(8):5059-5067.

Jackson, M. 1994. *Cerveza*. Buenos Aires: El Ateneo. 192 p.

Jiménez, D., and K. Manzano. 2019. La cerveza en la provincia de Concepción: sus orígenes y su primera época de desarrollo (1833–1870). *Estudios Hemisféricos y Polares*, 10(1): 21-47.

Johnson, J., M. Claverie, and D. Wooton. 2010. *The Color and Turbidity of Beer*. Microptix Technologies. [en línea]. Maine, USA: Microptix Technologies. 9p. Disponible en

<https://es.slideshare.net/JosephEJohnson/ilab-white-paper-beer-color> (Consultado el 01 de diciembre del 2020).

Katz, S., and M. Voigt. 1986. Bread and Beer: The Early Use of Cereals in the Human Diet. *Expedition*, 28(2):23-34.

King, B., and C. Duineveld. 1999. Changes in bitterness as beer ages naturally. *Food Quality and Preference*, 10(4-5):315-324.

KIRIN (Kirin Brewery Company), Japon. 2018. Consumo mundial de cerveza. [en línea]. Japón: KIRIN. Disponible en http://www.kirinholdings.co.jp/english/news/2014/1224_01.html#table3 (Consultado el 05 de noviembre del 2019).

Kocijan, T., S. Bossaert, G. Van Boeckel, G. De Rouck, B. Lievens and S. Crauwels. 2021. Sanitation of wooden barrels for ageing beer – a review. *BrewingScience*, 74 (2021):51-62.

Kozlovic, G., A. Jeromel, L. Maslo, A. Pollnitz, and S. Orlic. 2010, junio. Use of acacia barrique barrels – Influence on the quality of Malvazija from Istria wines. *Food Chemistry*, 120:698–702.

Kunze, W. 2006. *Tecnología para cerveceros y malteros*. Primera edición en español. Berlin, Alemania: VLB Berlin. 1075p.

Lewis, M. 2015. Beer and Brewing. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* 1-30.

Ley N° 18.455. Normas sobre producción, elaboración y comercialización de alcoholes etílicos, bebidas alcohólicas y vinagres, y deroga libro I de la Ley N° 17.105. Santiago: SAG, 2000. 38p. [Publicada en Diario Oficial el: 11 de noviembre de 1985].

Liu, L., J. Wang, D. Rosenberg, H. Zhao, G. Lengyel, and D. Nadel. 2018, octubre. Fermented beverage and food storage in 13,000 y-old stone mortars at Raqefet Cave, Israel: Investigating Natufian ritual feasting. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 21:783-793.

López, U. 2019. La Influencia de la Madera en la Cerveza. [en línea]. *Del Grano a la Copa: Beer sommelier*. Recuperado en: <<https://www.delgranoalacopa.com/la-influencia-de-la-madera-en-la-cerveza/>> Consultado el 07 de diciembre del 2020.

Lukinac, J., K. Mastanjevi, K. Mastanjevi, G. Nakov, and M. Juki. 2019. Computer Vision Method in Beer Quality Evaluation—A Review. *Berverage*, 5(2):38.

Lusk L., H. Goldstein, and D. Ryder. 1995. Independent Role of Beer Proteins, Melanoidins and Polysaccharides in Foam Formation. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 53(3): 93-103.

- Maeda, K., S. Yokoi, K. Kamada, and M. Kamimura. 1990. Foam Stability and Physicochemical Properties of Beer. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 49(1):14-18.
- Maia, P. 2020. Production and Bioactivity Assessment of Beer Aged with Oak Wood Chips. 108p. Tesis de Magister. Universidade do Oporto, Faculdade de farmacia. Oporto, Portugal.
- Magalhães, P., P. Dostalek, J. Cruz, L. Guido, and A. Barros. 2008. The Impact of a Xanthohumol-Enriched Hop Product on the Behavior of Xanthohumol and Isoxanthohumol in Pale and Dark Beers: A Pilot Scale Approach. *Journal of the Institute of Brewing*, 114(3):246-256.
- Marceddu, R., A. Carrubba, and M. Sarno. 2020. Cultivation trials of hop (*Humulus lupulus* L.) in semi-arid environments. *Heliyon*, 6(10): e05114.
- Martínez, J., A. Gonzalo-Diago, E. López, E. Baroja, and E. García-Escudero. 2015. Perfil aromático de vinos blancos elaborados con variedades minoritarias de la D.O.Ca. Rioja. XIII Congreso Nacional de Investigación Enológica (2015).
- McRae, J., and J. Kennedy. (2011). Wine and grape tannin interactions with salivary proteins and their impact on astringency: a review of current research. *Molecules*, 16(3): 2348-2364.
- Miller, D. 1998. *Continental Pilsener*. Edicion Ebook. Brewers Publications, Boulder, Colorado, U.S.A. 101p.
- Mirabel, M., R. Teissier du Cros, D. de Beauregard, F. Balu, W. Giraud, M. Comtat. 2011. Aging wine in barrels: is there a link between oak wood grain size and porosity?. 1p. In Conference: OENO. Bordeaux, France. 15 June. Université Toulouse II, Toulouse, France.
- Mosher, R. 2009. *Tasting Beer: An Insider's Guide to the World's Greatest Drink*. 1st edition. Storey Publishing, San Francisco, California, U.S.A. 247 p.
- Mosher, R. 2015. *Mastering Homebrew: The complete guide to brewing delicious beer*. 1st edicion. Chronicle Books LLC, San Francisco, California, U.S.A. 384 p.
- Muñoz, P. 2007. Alternativas a la crianza en barrica (cap. 5, pp. 198-203). In: *Crianza en barricas y otras alternativas*. Fundación para la Cultura del Vino, Madrid, España. 252p.
- Nagel, J., L. Culley, Y. Lu, E. Liu, P. Matthews, J. Stevens, and J. Page. 2008. EST analysis of hop glandular trichomes identifies an O-Methyltransferase that catalyzes the biosynthesis of Xanthohumol. *The Plant Cell*, 20:186-200.
- Navarro, M. 2017. Influencia de la especie botánica, del grado de tostado y del uso de las barricas de roble sobre los elagitaninos; Consecuencias enológicas y sensoriales. 211p. Tesis Doctoral. Universitat Rovira i Virgili, Facultat d'enologia, Departament de Bioquímica i Biotecnología. Tarragona, España.

- Nevarés, I., R. Crespo, C. González and M. del Álamo-Sanza. 2014. Imaging of oxygen transmission in the oak wood of wine barrels using optical sensors and a colour camera. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20(3): 353-360.
- Neven, H., F. Delvaux, and G. Derdelinckx. 1997. Flavor evolution of top fermented beers. *MBAA Tech. Q.*, 34:115-118.
- Oñate-jaén, A., D. Bellido-milla and M. Hernández-artiga. 2005. Spectrophotometric methods to differentiate beers and evaluate beer ageing. *Food Chemistry*, 97(2), 361-369.
- Ojeda, M. 2012. Nuevos orígenes de la madera de roble para la crianza de vinos tintos de la D.O.Ca Rioja. 277p. Tesis Doctoral. Universidad de la Rioja, Departamento de Agricultura y Alimentación. Logroño, España.
- Petros, J. 2008. Oak balancing act. *Zymurgy Magazine*. Junio, 24-28.
- Pickering, G., M. Spink, Y. Kotseridis, D. Inglis, I. Brindle, M. Sears, and A. Beh. 2008. Yeast strain affects 3-isopropyl-2-methoxypyrazine concentration and sensory profile in Cabernet Sauvignon wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 14:230-237.
- Pilla, S. and Vinci, G. 2013. *Cervezas de todo el mundo: Enciclopedia práctica*. Barcelona, De Vecchi. 727p.
- Poleto, A. 2016. *Cerveja envelhecida em barril de madeira, aspectos químicos e microbiológicos*. 95p. Tesis Doctoral. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, Brasil.
- Puech, J., F. Feuillat, and J. Mosedale. 1999. The tannins of oak heartwood: Structure, properties, and their influence on wine flavour. *American Journal of Enology and Viticulture*, 50:469-478.
- Rajjote, P. 1992. *Belgian Ale*. Ebook Edition. Brewers Publications, Boulder, Colorado, U.S.A. 176p.
- Rasheed, Y., M. Saleem, and A. Hussain. 2017. Genus *Quercus*: An Overview. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, 6(8):1880-1886.
- Robbins, L. 2001. *Louis Pasteur and the Hidden World of Microbes*. Oxford University Press, USA. 144p.
- Rubio, P. 2014. *Utilización de fragmentos de roble en los procesos fermentativos y durante el envejecimiento de vinos tintos*. 301p. Tesis Doctoral. Universidad de la Rioja, Departamento de Agricultura y Alimentación. Logroño, España.

Rubio-Breton, P., M. Bordiga, J. Martínez, A. Gonzalo-Diago, E. Pérez-Álvarez and T. Garde-Cerdá. 2017. Envejecimiento de vinos en barricas y alternativos de roble. *Zubía Vino y Vid*, 29:155-176.

Sáez, M. 2012. *La Cerveza Y Su Historia*. Universitat Jaume I, Castelló, España. 54p.

Saison, D., N. Vanbeneden, D. De Schutter, L. Daenen, T. Mertens, F. Delvaux, and F. Delvaux. 2010. Characterisation of the Flavour and the Chemical Composition of Lager Beer after Ageing in Varying Conditions. *BrewingScience*, 63:41-50.

Santamaria, M., F. García, and J. Rosello. 1997. *Los Hongos. Biología y Botánica. Libro Docente*. Universidad Politecnica de Valencia, Valencia, España. 103p.

Sanz, M., E. Cadahía, E. Esteruelas, A. Muñoz, B. Fernández De Simón, T. Hernández, and I. Estrella. 2010. Phenolic Compounds in Cherry (*Prunus avium*) Heartwood with a View to Their Use in Cooperage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(8):4907-4914.

Sasaki, K., H. Takase, F. Tanzawa, H. Kobayashi, H. Saito, H. Matsuo, and R. Takata. 2015. Identification of Furaneol Glucopyranoside, the Precursor of Strawberry-like Aroma, Furaneol, in Muscat Bailey A. *American Journal of Enology and Viticulture*, 66:91-94.

Schabo, D., L. Martins, F. Maciel, B. Iamanaka, M. Taniwaki, D. Schaffner, and M. Magnani. 2020. Production of aflatoxin B1 and B2 by *Aspergillus flavus* in inoculated wheat using typical craft beer malting conditions. *Food Microbiology*, 89:103456.

Shayevitz, A., K. Harrison and C. Curtin. 2020. Barrel-Induced Variation in the Microbiome and Mycobiome of Aged Sour Ale and Imperial Porter Beer. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 79(1):33-40.

Shmulsky, R. and P. David. 2019. *Silvicultural Practices and Wood Quality*. p. 257-292. In: John Wiley & Sons Ltd., *Forest Products and Wood Science: An Introduction*. Seventh Edition. John Wiley & Sons Ltd., Hoboken, New Jersey, USA.

Spitaels, F., A. Wieme, M. Janssens, M. Aerts, H. Daniel, A. Van Landschoot, L. De Vuyst, and P. Vandamme. 2014. The Microbial Diversity of Traditional Spontaneously Fermented Lambic Beer. *PLoS ONE*, 9(4), e95384.

Spillman, P., M. Sefton, and R. Gawel. 2004. The effect of oak wood source, location of seasoning and coopering on the composition of volatile compounds in oak-matured wines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10:216-226.

Stack, M. 2003. *A Concise History of America's Brewing Industry*. [en línea]. Kansas City, USA: Economic History Association. Disponible en: <https://eh.net/encyclopedia/a-concise-history-of-americas-brewing-industry/> (Consultado el día 23 de Diciembre del 2021)

Sterckx, F., D. Saison, and F. R. Delvaux. 2012. Wood Aging of Beer. Part I: Influence on Beer Flavor and Monophenol Concentrations. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 70(1):55-61.

Sterckx, F., D. Saison, and F. R. Delvaux. 2012. Wood Aging of Beer. Part II: Influence on Beer Flavor and Monophenol Concentrations. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 70(1):62-69.

Strong, G. 2020. Belgian dark strong Ale. Battenkill Communications, Manchester, USA. 5p.

Suarez, M. 2013. Cerveza: Componentes y Propiedades. 99p. Trabajo fin de Master Universitario en Biotecnología Alimentaria. Universidad de Oviedo, Facultad de Química. Oviedo, España.

Swinnen, J. 2011. *The Economics of Beer*. 1st Edition. Oxford University Press, United States. 712p.

Thompson, D. 2018. El boom de la cerveza artesanal es la historia económica más rara y positiva de EEUU. [en línea]. USA: Univision. Disponible en: <<https://www.univision.com/noticias/citylab-emprendimiento/el-boom-de-la-cerveza-artesanal-es-la-historia-economica-mas-rara-y-mas-positiva-de-eeuu>> (Consultado el día 07 de diciembre del 2020).

Toneleria Murua, España. 2012. FrenchBarrel by Toneleria Murua. Primera edición en español. La Rioja, España: Toneleria Murua. 73p

Tonnellerie Vlad. 2020. Tonnellerie Vlad: Transilvania. [en línea]. Tonnellerie Vlad., Transilvania, Rumania. Disponible en https://www.tonnellerievlad.com/wp-content/uploads/2020/02/VLAD_BROCH_EN_WEB_200226.pdf (Consultado el día 12 de diciembre del 2020).

Toro Camilo. 2020. Caracterización química y sensorial de cerveza con crianza por la adición chips de maderas de roble americano y roble francés con 3 niveles de tostado. 49 p. Tesis de Magister. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Escuela de Postgrado. Santiago, Chile.

Tremblay, V., and C. Tremblay. 2005. *The U.S. Brewing Industry: Data and Economic Analysis*. Cambridge, MA: MIT Press. 398p.

Vanderhaegen, B., H. Neven, S. Coghe, K. Verstrepen, H. Verachtert, and G. Derdelinckx. 2003. Evolution of Chemical and Sensory Properties during Aging of Top-Fermented Beer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 6782-6790.

Vanderhaegen, B., H. Neven, H. Verachtert, and G. Derdelinckx. 2006. The chemistry of beer aging – a critical review. *Food Chemistry*, 95(3):357-381.

- Vanderhaegen, B., F. Delvaux, L. Daenen, H. Verachtert, and F. Delvaux. 2007. Aging characteristics of different beer types. *Food Chemistry*, 103(2):404–412.
- Van Tongeren, F. 2009. Standards, international integration and economic development: A historical review of the German ‘Reinheitsgebot’ (cap. 3, pp. 51-61). In: *The Economics of Beer*. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press. 400p, Illustrated edición.
- Verdier, B., L. Blateyron, and D. Granès. 2007. Las virutas y los bloques: como razonar sobre su puesta en práctica (cap. 5, pp. 190-197). In: *Crianza en barricas y otras alternativas*. Fundación para la Cultura del Vino, Madrid, España. 252p.
- Wang, J., L. Liu, T. Ball, L. Yu, Y. Li, and F. Xing. 2016. Revealing a 5,000-y-old beer recipe in China. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 113: 6444-6448.
- Williams, R., and H. Wagner. 1979. Contribution of hop bitter substances to beer staling mechanisms. *J. Am. Soc. Brew. Chem.*, 37 (1):13-19.
- Wyler, P., L. Angeloni, A. Alcarde, and S. da Cruz. 2015, enero. Effect of oak wood on the quality of beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 121:62-69.
- Yokoi, S., A. Tsugita and K. Kamada. 1988. Characterization of major proteins and peptides in beer. *J. Am. Soc. Brew. Chem.*, 46:99-103.
- Zamora, F. 2019. Barrel Aging; Types of Wood (cap. 9, pp. 125–147). In: *Red Wine Technology*. Madrid, Spain: Academic Press. 392p.
- Zhang, Y. 1995. Effect of growth rate on wood specific gravity and selected mechanical properties in individual species from distinct wood categories. *Wood Sci. Technol*, 29:451–465.
- Zhang, B., C. Jian, D. Chang-Qing, M. Reeves, and H. Fei. 2015. A Review of Polyphenolics in Oak Woods. *Int. J. Mol. Sci.*, 16:6978–7014.
- Zhimin, Y., L. Qiuying, L. Xiao, S. Rong, S. Zhen, S. Yumei, and L. Xianzhen. 2019. Beer-spoilage characteristics of *Staphylococcus xylosus* newly isolated from craft beer and its potential to influence beer quality. *Food Science & Nutrition*, 7(12): 3950-3957.

ANEXO 1

Tabla 1. Concentración de Aromas de importancia para distintas condiciones de guarda de cervezas y cerveza fresca. Fuente: Vanderhaegen et al., 2003.

volatile compound	CV (%)	FT ($\mu\text{g/L}$)	fresh beer ($\mu\text{g/L}$)	6-month-stored beer ($\mu\text{g/L}$)				
				0 °C	20 °C		40 °C	
				CO ₂	CO ₂	air	CO ₂	air
acetate esters								
ethyl acetate	2.2	21000 ^b	28099	27578	27747	26711	22340	22650
propyl acetate	10.7	30000 ^b	12.2	12.7	11.2	10.9	9.3	9.7
butyl acetate	4.8	7500 ^b	17.4	17.8	14.9	14.3	9.0	9.5
pentyl acetate	3.1		14.6	15.0	13.0	11.5	8.5	6.3
hexyl acetate	4.9	3500 ^b	7.5	6.8	4.9	4.7	2.3	1.5
heptyl acetate	7.1	1400 ^b	15.7	10.4	6.7	7.0	1.3	0.8
octyl acetate	9.6	500 ^b	23.0	15.8	9.3	8.9	0.7	0.7
isobutyl acetate	7.5	1600 ^b	41.2	42.5	39.0	38.6	34.2	30.5
isoamyl acetate	3.6	1200 ^b	1967	1972	1712	1659	760.2	788.6
ethyl esters								
ethyl propionate	2.5	1000 ^b	58.7	60.4	66.4	68.4	99.5	86.7
ethyl 2-methylpropionate	3.9	5000 ^b	5.5	5.6	13.8	14.8	24.5	29.1
ethyl 3-methylbutyrate	2.1	18–20 ^c	2.8	2.9	5.0	6.1	12.3	14.3
ethyl 2-methylbutyrate	4.5	7–20 ^c	2.7	2.7	6.8	7.1	10.7	12.1
ethyl phenylacetate	7.5		2.7	2.9	12.3	12.7	19.8	18.5
diethyl succinate	7.5	1200 ^b	9.8	10.2	36.8	38.9	65.5	60.8
ethyl lactate	21.9	25000 ^b	10.7	12.2	84.0	83.5	157.5	126.7
ethyl pyruvate	17.2		7.2	8.3	27.6	31.0	60.3	51.4
ethyl nicotinate	12.3	2000 ^b	6.5	6.5	40.3	42.3	72.0	68.6
ethyl butanoate	7.5	400 ^b	199.4	180.4	165.9	173.0	149.1	127.3
ethyl pentanoate	3.7	900 ^b	10.1	9.9	9.0	8.8	7.8	7.4
ethyl hexanoate	4.6	210 ^b	264.7	266.2	239.3	214.5	125.9	100.0
ethyl heptanoate	7.1	400 ^b	29.3	21.3	14.5	16.1	5.7	4.3
ethyl octanoate	11.5	900 ^b	498.7	443.9	333.7	378.4	84.4	55.4
ethyl nonanoate	14.2	1200 ^b	10.5	8.3	3.3	2.2	1.0	0.6
ethyl decanoate	12.9	570 ^b	118.8	91.6	51.5	57.9	9.1	9.6
carbonyl compounds								
acetaldehyde	3.5	25000 ^b	1052	1258	1377	3211	1943	3961
benzaldehyde	6.6	2000 ^b	5.7	5.7	5.1	11.2	6.7	12.4
3-methylbutanal	7.9	600 ^b	7.2	7.3	7.9	37.8	14.1	43.2
2-methylbutanal	6.3	1250 ^b	3.4	3.2	4.6	10.4	6.5	14.2
phenylacetaldehyde	13.2	1600 ^b	19.2	20.0	29.5	49.9	53.5	67.0
diacetyl	4.0	150 ^b	2.0	6.4	24.8	58.6	72.0	109.7
2,3-pentanedione	6.3	900 ^b	2.0	2.6	4.9	11.3	10.6	15.5
4-methylpentan-2-one	4.1	60000 ^b	7.3	7.5	8.5	10.5	22.3	25.0
3-methyl-3-buten-2-one ^e	3.4		1.0	1.0	1.1	1.4	1.9	2.4
5,5-dimethyl-2(5H)-furanone ^e	7.1		1.0	1.0	1.1	1.2	1.9	2.2
(E)- β -damascenone ^e	13.6	150 ^b	1.0	1.0	2.0	2.6	6.8	6.4
hexanal	4.4	350 ^b	22.4	18.8	24.0	20.1	23.9	21.7
octanal	8.5	40 ^b	1.1	1.3	1.1	1.2	1.0	1.2
nonanal	6.9	18 ^b	4.7	4.9	5.1	4.2	4.4	4.7
trans-2-nonenal	18.7	0.11 ^b	0.08	0.07	0.10	0.10	0.10	0.10
Maillard compounds								
2-furfural	5.1	15000 ^b	48.1	65.0	258.5	361.0	2329	2535
5-methyl-2-furfural	11.4	17000 ^b	6.8	7.6	7.3	6.1	34.7	27.3
2-acetyl-furan	5.6	80000 ^b	8.4	9.1	14.0	16.1	69.5	59.0
2-furanmethanol	13.6	3000000 ^b	2342	2353	2816	2837	4321	4254
thiazole	4.7	23000 ^b	3.5	3.4	4.5	4.9	6.2	6.6
dioxolanes								
2,4,5-trimethyl-1,3-dioxolane ^e	7.8	900 ^d	1.0	1.1	1.0	5.0	1.6	4.8
2-isopropyl-4,5-dimethyl-1,3-dioxolane ^e	7.3		1.0	1.0	1.1	6.3	2.5	6.0
furanic ethers								
2-furfuryl ethyl ether	7.4	6	2.7	3.3	16.1	18.0	187.2	178.7
5-(ethoxymethyl)-2-furfural ^b	20.5		1.0	1.2	5.4	7.1	61.7	82.7
2-ethoxy-2,5-dihydrofuran ^e	15.6		1.0	1.5	12.0	12.5	138.0	130.8

^a For each component the coefficient of variance (CV), the flavor threshold (FT) ($\mu\text{g/L}$), and the concentration ($\mu\text{g/L}$) in fresh beer and in beer stored for 6 months in five different conditions are given. ^{b–d} Flavor threshold in beer according to Moll et al. (17) (b), Williams et al. (27) (c), or Peppard et al. (38) (d). ^e Product commercially unavailable as pure substance; instead of concentrations, ratios of a particular peak area to the peak area in fresh beer are given.

ANEXO 2

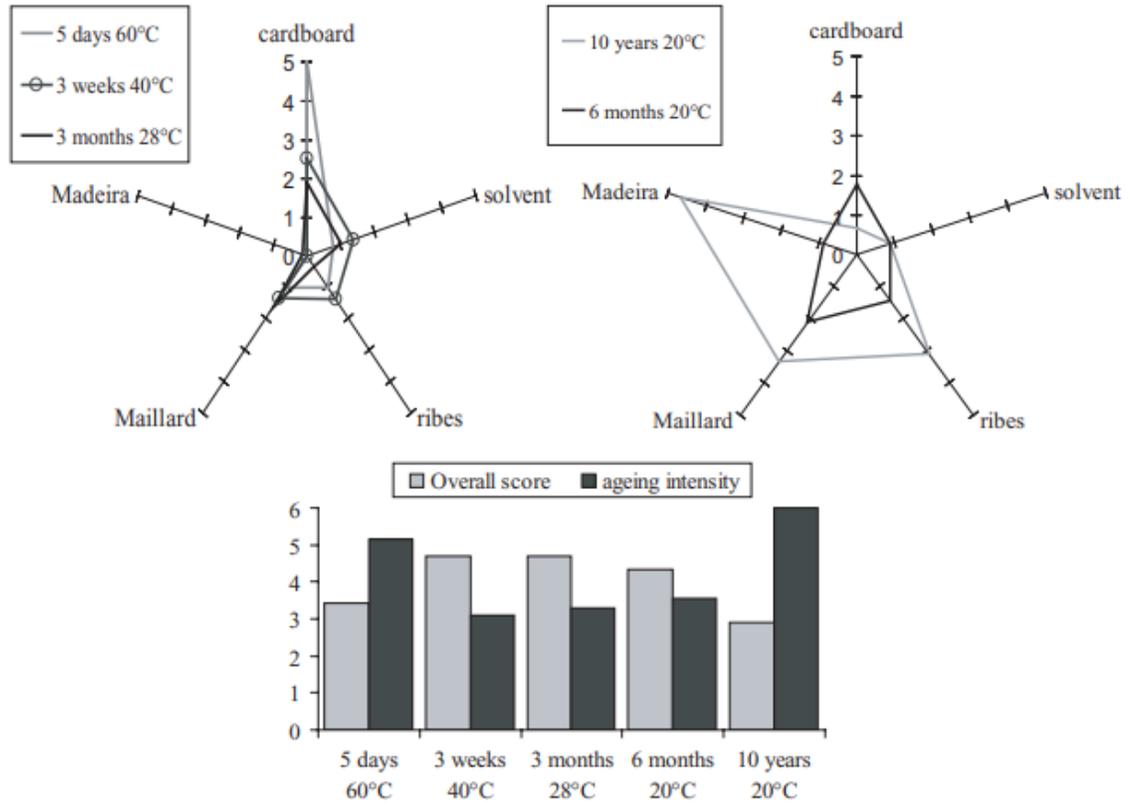


Figura 1. Resultados sensoriales de la guarda de cervezas con diferentes temperaturas y tiempos. Fuente: Saison et al., 2010.

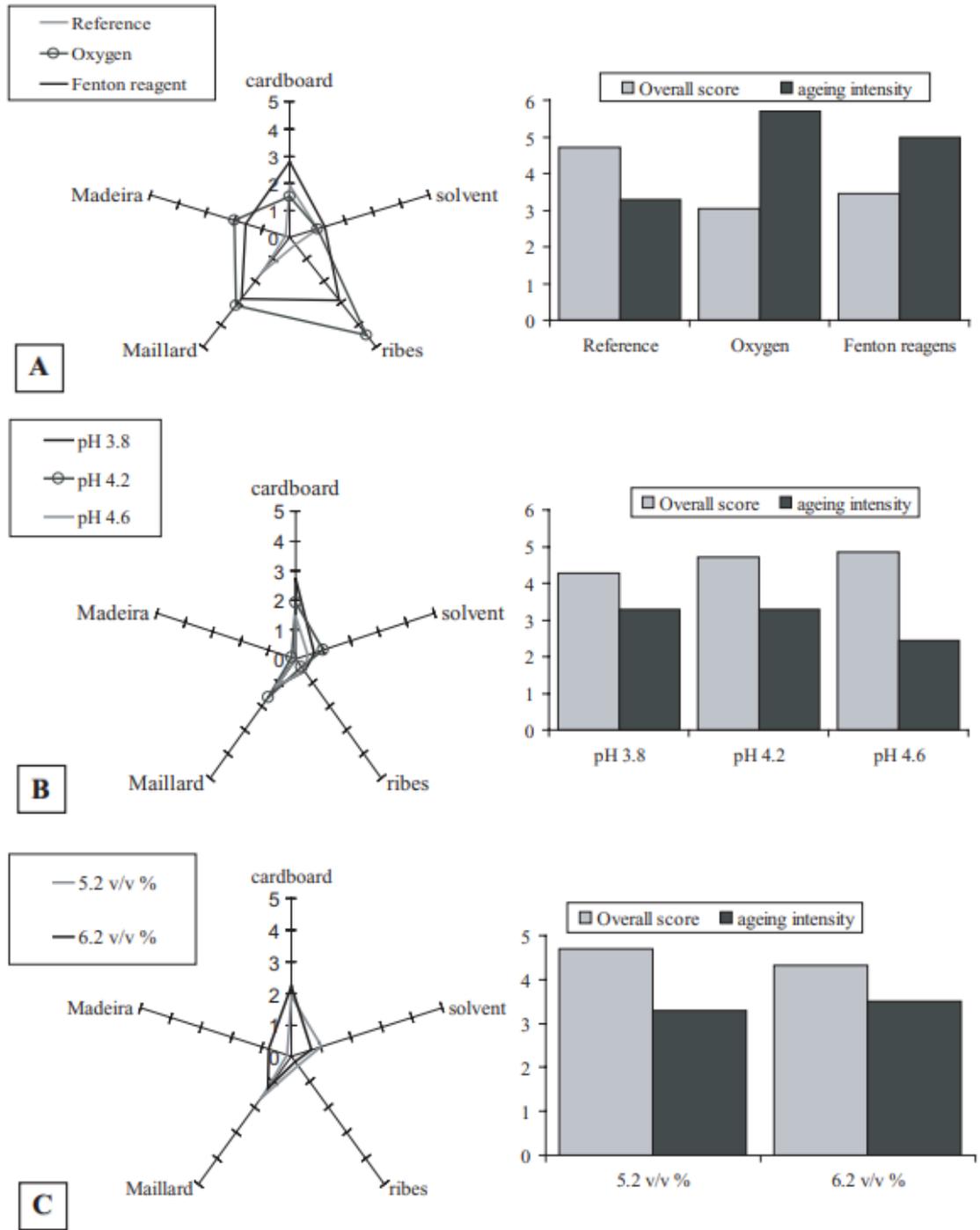


Figura 2. Resultados sensoriales de la guarda de cervezas por 3 meses a 28°C con diferentes condiciones oxidativas, pH y contenido de alcohol. Fuente: Saison et al., 2010.

ANEXO 3

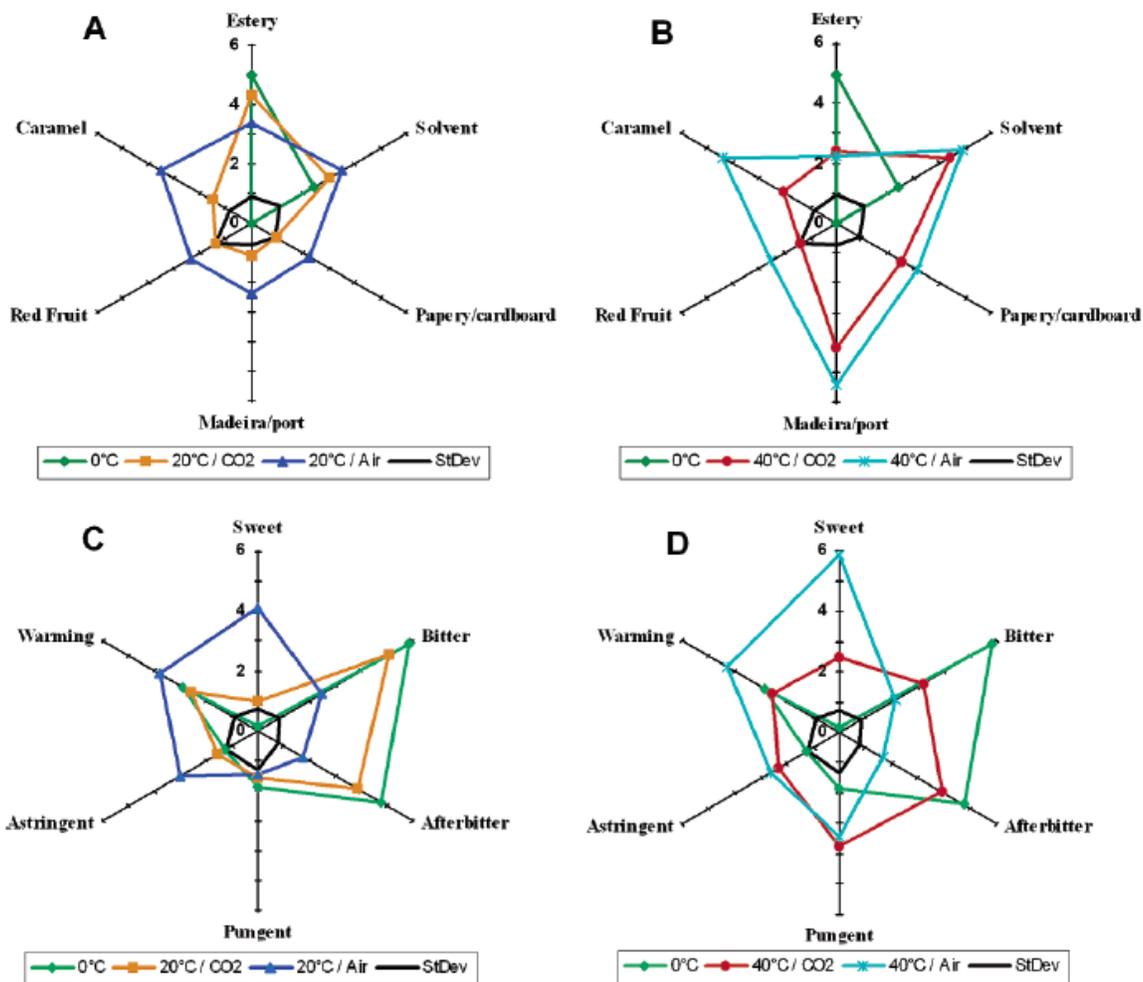


Figura 1. Perfiles aromáticos de cervezas con guarda de 6 meses a temperatura de 20°C (A) y 40°C (B), y perfiles de sabor de cervezas con guarda de 6 meses a temperatura de 20°C (A) y 40°C (B). Fuente: Vanderhaegen et al., 2003.

ANEXO 4

“CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y FÍSICA DE CERVEZA CON CRIANZA EN MADERA DE ROBLE FRANCÉS, ACACIO Y CEREZO”.

Profesor Guía:

Dr. Álvaro Peña Neira

Amaro Salvador Benavente Marin

Santiago, Chile, 2022

OBJETIVO

Comparar el efecto químico y físico de la cerveza obtenida después de la crianza en madera de roble, acacio y cerezo.

MATERIALES Y METODOS

LUGAR DE ESTUDIO

El presente trabajo se realizó en los laboratorios de Química Enológica, Análisis Cromatográfico de Alimentos y de Análisis Sensorial, además de la planta piloto del Departamento de Agroindustria y Enología de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

MATERIALES

Para llevar a cabo los objetivos del presente trabajo se emplearon diversos materiales, dentro de estos se contempla el uso de 150L de agua, 11kg de gas, 100ml de ácido peracético y 100ml de detergente alcalino. Para la elaboración de la cerveza se utilizó cuatro tipos de malta, las cuales son “Pale Ale” 25kg (The Swaen), Red 2,1kg (Maltexco), Caramel 2,1kg

(Maltexco), Chocolate 0,3kg (Maltexco). Los lúpulos de esta receta son 245g de H. Tradition (7% *alfa* ácidos), y 128g de Magnum (14% *alfa* ácidos) obtenidos en la distribuidora Casa Trinidad (Estación Central, Región Metropolitana). Para la inoculación se aplicó 46g de levadura seca *Saccharomyces cerevisiae* (S-05, Fermentis), para la clarificación en cocción se usó 22,5g de clarificante en polvo (Policlair Brewbrite) y para la clarificación en maduración 22,5g de clarificante polvo (Policlair 10). En la etapa de gasificación se utilizó 500g de CO₂ y para la crianza se aplicará en chips 42g de roble francés, 42g de acacio y 42g cerezo con tostado medio en cada tratamiento. Como contenedores en la en la maduración se utilizarán 12 recipientes de plástico sanitario con tapa hermética de 10L (Plásticos Haddad).

SOLVENTES

Todos los solventes usados [formiato de Amonio y HCl, etanol (96% v/v)], se adquirieron en Merck S.A. (Santiago, Chile).

ESTÁNDARES

Los estándares para análisis corresponderán a muestras de ácido gálico para compuestos fenólicos y catequina para taninos, los cuales fueron adquiridos en Sigma Aldrich (EEUU).

EQUIPAMIENTO

Para la elaboración de la cerveza se utilizaron dos ollas de 150L de capacidad, una de ellas fue utilizada en el macerado, a la cual se le agrego un fondo falso de acero inoxidable como filtro y la otra fue utilizada para la cocción del mosto. Aparte se hará uso de una olla de acero inoxidable con capacidad de 50L, para el agua necesaria en el lavado de granos. El sistema de donde se obtuvieron las calorías para el proceso fue por medio de un quemador jet con 32 puntas de alta presión (TG) conectado a un regulador de alta presión (GasJet). La partición de los granos se realizó con un molino de granos (Corona), el movimiento de líquidos en los procesos fue hechos por una bomba con conectores para mangueras de 1/2", y el enfriamiento del mosto fue por medio de un enfriador de placas. Para la regulación de los procesos productivos se usó un termómetro de 0-250°C, potenciómetro (pHmetro), densímetro, airlock, balanza de 0-50kg y balanza gramera de 0-500g. Como fermentador se dio uso a un contenedor de acero inoxidable siempre lleno de 200L de capacidad.

Para los análisis de caracterización de las cervezas se utilizó un potenciómetro para la medición de pH (marca Hanna). Los análisis fenólicos (taninos y fenoles totales), IBU, EBC y intensidad colorante se realizaron mediante el uso de un espectrofotómetro UV-VIS Pharmaspec, modelo UV-1700 (Shimadzu, Kyoto, Japón).

MÉTODOS

TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El estudio estará constituido por 3 tratamientos y un control, en donde cada uno constará de 3 repeticiones, como detalla el cuadro 1. La unidad experimental corresponde a 10L de cerveza contenida en contenedores de plástico sanitario de 10L.

Cuadro 1. Tratamientos según tostado, concentración y madera a utilizar. Fuente: Elaboración Propia.

Tratamiento	Madera / Tostado
T0 (Control)	Guarda sin madera
T1	Crianza con R. francés / tostado medio 1,5g/L
T2	Crianza con Acacio / tostado medio 1,5g/L
T3	Crianza con Cerezo/ tostado medio 1,5g/L

PROCEDIMIENTO.

Se comenzó con la recepción del grano en la planta piloto, para después iniciar la molienda de este, en el cual se dejó el endosperma expuesto al ambiente. Posteriormente se realizó el macerado, en donde se colocó la malta molida en una olla con 100L de agua previamente calentada a una temperatura de 45°C, de esta manera comenzando el recirculado y dejando la temperatura constante por 10 min, a continuación se llevó a 52°C aumentando 1°C por minuto, con un reposo de 15 min, luego fue llevado a 63°C, donde permaneció 40 min en reposo, para posteriormente elevar la temperatura a 72°C reposando 40min, por último se elevó la temperatura a 78°C, donde el recirculado fue concluido. Terminada la maceración, se filtró el mosto por medio de un fondo falso de acero inoxidable y se aplicó un lavado de granos con 50 L de agua a 100°C. A continuación, el mosto fue transferido por medio de una bomba a la segunda olla en donde fue hervido durante 90min, en el minuto 30 desde el hervor se agregó 128g de lúpulo Magnum, después en a los 75min desde el hervor se agregó 145g de lúpulo H. Tradition, a los 80min desde el hervor fue suministrado 22,5g de clarificante de cocción y finalmente a los 87min desde el hervor se aplicó 100g de lúpulo H. Tradition. El proceso siguiente fue el enfriado del mosto a 25°C mediante un enfriador de placas que conectado en línea, trasvasijo el líquido fermentable a un fermentador de acero inoxidable con capacidad de 200L donde se inoculo *Saccharomyces cerevisiae*, el fermentado fue ubicado en una sala capaz de mantener una temperatura de 20°C. La fermentación duró aproximadamente 7 días siendo monitoreada diariamente, se consideró el fin de este proceso cuando se mantuvo una densidad final constante. Luego se trasvasijo el líquido fermentado a un contenedor de 200L de acero inoxidable siempre lleno y se agregó 22,5g de clarificante de maduración, siendo guardado en una cámara de frío a temperatura constante de 2°C a 4°C. Terminado el tiempo de maduración se procedió a iniciar el proceso de crianza, donde se almaceno la cerveza en estanques de 10L junto con los chips de tostado medio a dosis de

1,5g/L aplicado según las 3 especies a cada tratamiento asignado. Para el control no se aplicaron chips madera y se mantuvo en las mismas condiciones de almacenamiento que los tratamientos, mientras que el control congelado fue tomado en 1 muestras de 250ml dentro de botellas autoclavables de borosilicato. El proceso de crianza tomo 24 mes a una temperatura de guarda de 2°C a 4°C para los tratamientos más el control, y 24 meses a -17°C en el caso del control congelado. Posteriormente la cerveza fue llevada al laboratorio para extraer muestras y comenzar el análisis.

VARIABLES A MEDIR

A las muestras de los tres tratamientos se les realizarán las siguientes determinaciones analíticas:

- Taninos totales: método Bate-Smith (Bate-Smith, 1973).
- Fenoles totales: Espectrofotometría a DO 280 nm (Garcia-Barcelo, 1990).
- Análisis básicos: Acidez total y pH (Bordeau- Scarpa, 1998).
- IBU: Absorbancia 215 nm (Garcia-Barcelo, 1990).
- EBC: absorbancia 480 nm (Garcia-Barcelo, 1990).

PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Para realizar las determinaciones analíticas, se eliminará el anhídrido carbónico de las muestras, vertiéndolas en un matraz Erlenmeyer de 250 mL a medio llenar que luego será sometido a un baño ultrasónico por 15 minutos. Este procedimiento se realizará de igual manera para todos los análisis.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio serán analizados estadísticamente mediante un análisis estadístico de varianza (ANDEVA) al 95% de confianza y de existir diferencias significativas, se utilizará el Test LSD de Fisher a un nivel de significancia del 5%.

La ecuación para el análisis del factor madera se representará de la siguiente manera:

$$Y_{ij} = \mu + M_i + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} : variable respuesta.

μ : media de las muestras.

M_i : Efecto madera (roble francés, acacio y cerezo).

ε_{ij} : Error experimental

RESULTADO Y DISCUSIÓN

1. Efecto químico de la madera de roble francés, acacio y cerezo.

a) Acidez total y pH.

Los análisis químicos de acidez total y pH están expuestos en el cuadro 2. Los valores de pH en los tratamientos T2 y T3 están sobre lo normal, aunque el promedio de todos los tratamientos tiene un valor de 4,36 quedando en el límite superior del rango sugerido por Suarez (2013). La acidez tomo un valor promedio de $4,3H_2SO_4g/L$, siendo el T0 el que presenta menor concentración de acidez total, y el T2 es que mayor nivel de acidez total posee. Como se puede apreciar en el cuadro 2, existen diferencias significativas entre el pH de tratamiento T0 con el tratamiento T2 y T3 esto se puede explicar por la diferencia de acidez total en el T2 y T3 en una posible incidencia microbiológica que aumentara la concentración de ácidos orgánicos.

Cuadro 2. Valores de pH y acidez total para cervezas con crianza en madera y control con guarda sin madera. Fuente: Elaboración Propia

Tratamiento	pH	Acidez total [g/L H_2SO_4]
T0 - Guarda sin madera	4,42 _b	3,66 _a
T1 - Crianza con madera de roble francés	4,43 _{ab}	3,84 _a
T2 - Crianza con madera de cerezo	4,28 _a	5,59 _b
T3 - Crianza con madera de acacio	4,33 _a	4,15 _{ab}

Letras minúsculas distintas en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos (LSD Fisher, $p < 0,05$).

b) IBU

En el caso de del índice de amargor, este no presento diferencias significativas como se puede apreciar en el cuadro 3, siendo la madera un factor nulo en su concentración.

Cuadro 3. Valores IBU para cervezas con crianza en madera y control con guarda sin madera. Fuente: Elaboración Propia

Tratamiento	IBU
T0 - Guarda sin madera	53,07 _a
T1 - Crianza con madera de roble francés	49,87 _a
T2 - Crianza con madera de cerezo	46,91 _a
T3 - Crianza con madera de acacio	52,62 _a

Letras minúsculas distintas en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos (LSD Fisher, $p < 0,05$).

c) Fenoles Totales

Los fenoles totales no presentaron diferencias significativas respecto a el factor madera, como se puede observar en el cuadro 4.

Cuadro 4. Valores obtenidos de fenoles totales para cervezas con crianza en madera y control con guarda sin madera. Fuente: Elaboración Propia

Tratamiento	Fenoles totales [mg/L de ácido gálico equivalente]
T0 - Guarda sin madera	1255,32 _a
T1 - Crianza con madera de roble francés	1277,86 _a
T2 - Crianza con madera de cerezo	1192,70 _a
T3 - Crianza con madera de acacio	1263,56 _a

Letras minúsculas distintas en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos (LSD Fisher, $p < 0,05$).

d) Taninos Totales

Los taninos tuvieron un valor medio de 254,09mg/L de catequina equivalente, observando un aumento de los taninos totales en los tratamientos con madera a diferencia del tratamiento T0.

Cuadro 5. Valores obtenidos de fenoles totales para cervezas con crianza en madera y control con guarda sin madera. Fuente: Elaboración Propia

Tratamiento	Taninos totales [mg/L de catequina equivalente]
T0 - Guarda sin madera	146,52 _b
T1 - Crianza con madera de roble francés	263,66 _a
T2 - Crianza con madera de cerezo	296,52 _a
T3 - Crianza con madera de acacio	309,67 _a

Letras minúsculas distintas en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos (LSD Fisher, $p < 0,05$).

2. Efecto físico de la madera de roble francés, acacio y cerezo.

a) Color

El color no fue afectado significativamente por el factor madera.

Cuadro 5. Valores obtenidos de fenoles totales para cervezas con crianza en madera y control con guarda sin madera. Fuente: Elaboración Propia

Tratamiento	Taninos totales [mg/L de catequina equivalente]
T0 - Guarda sin madera	24,61 _a
T1 - Crianza con madera de roble francés	26,37 _a
T2 - Crianza con madera de cerezo	26,27 _a
T3 - Crianza con madera de acacio	24,21 _a

Letras minúsculas distintas en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos (LSD Fisher, $p < 0,05$).

ANEXO 5

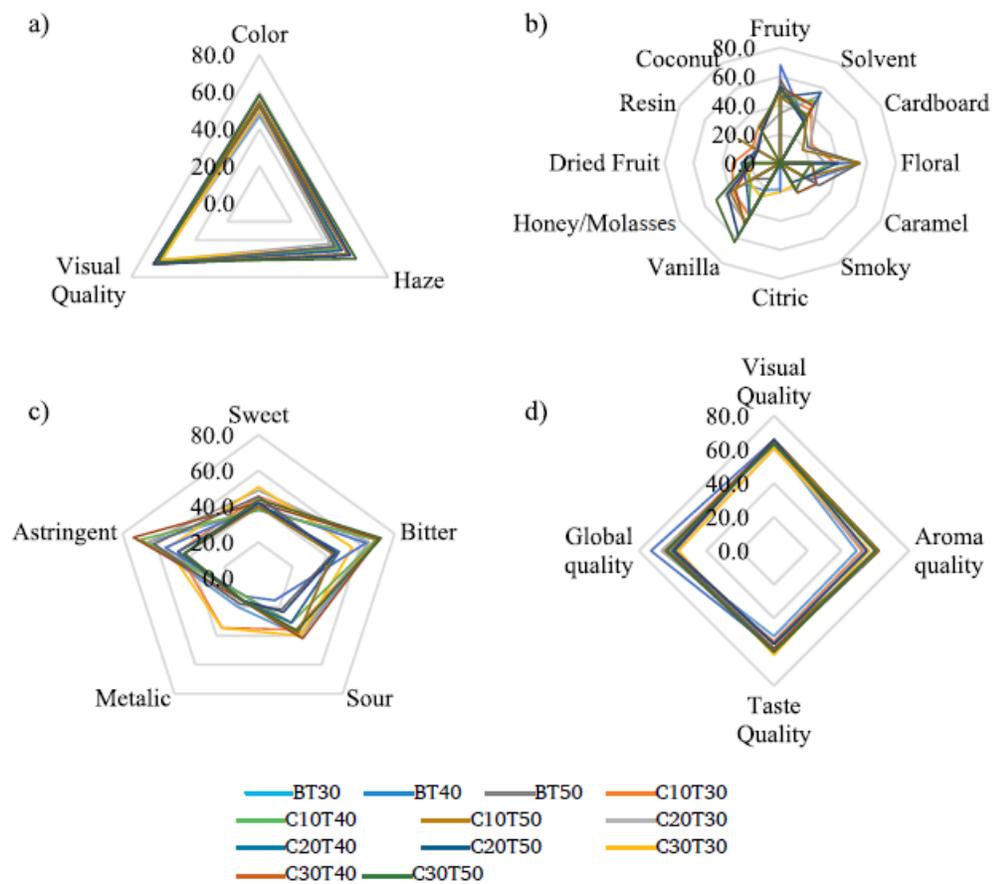


Figura 1. Análisis sensorial dividido en a) descripción visual, b) descripción aromática, c) descripción de gusto y sensación en boca, y d) cualidades generales, para diferentes formulaciones de cervezas. Fuente: Coelho *et al.*, 2021

ANEXO 6

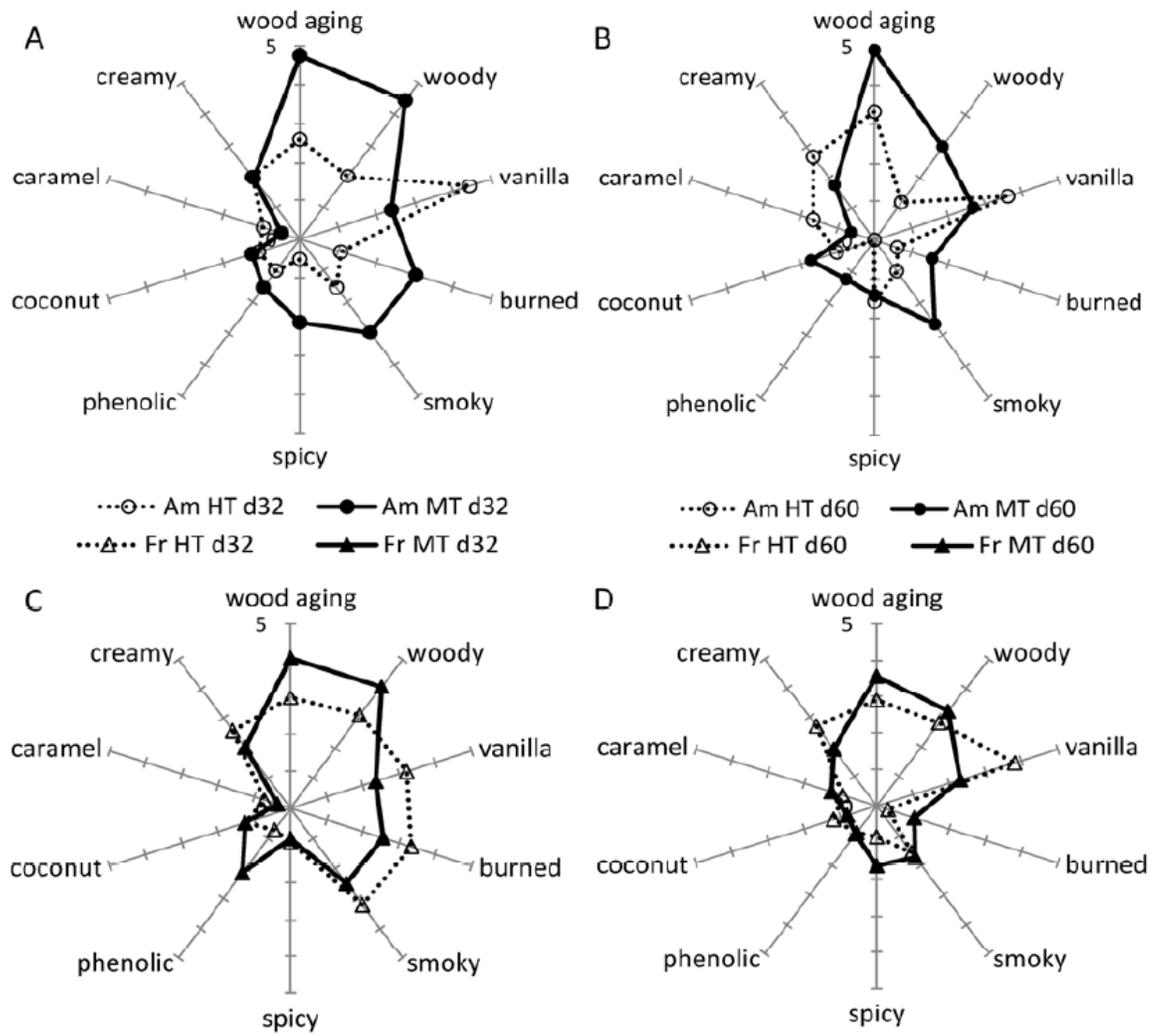


Figura 1. Análisis sensorial puntuado (0-5) en gráficos tipo tela de araña para cervezas con crianza en madera de roble francés (Fr) y americano (Am) con tostados altos (HT) y tostado medio (MT) divididos en A y C. Perfil a los 32 días de crianza. B y D. Perfil a los 60 días de crianza. Para la cerveza de referencia sin madera, estos descriptores fueron puntuados en 0. Fuente: Sterckx et al., 2012.

ANEXO 7

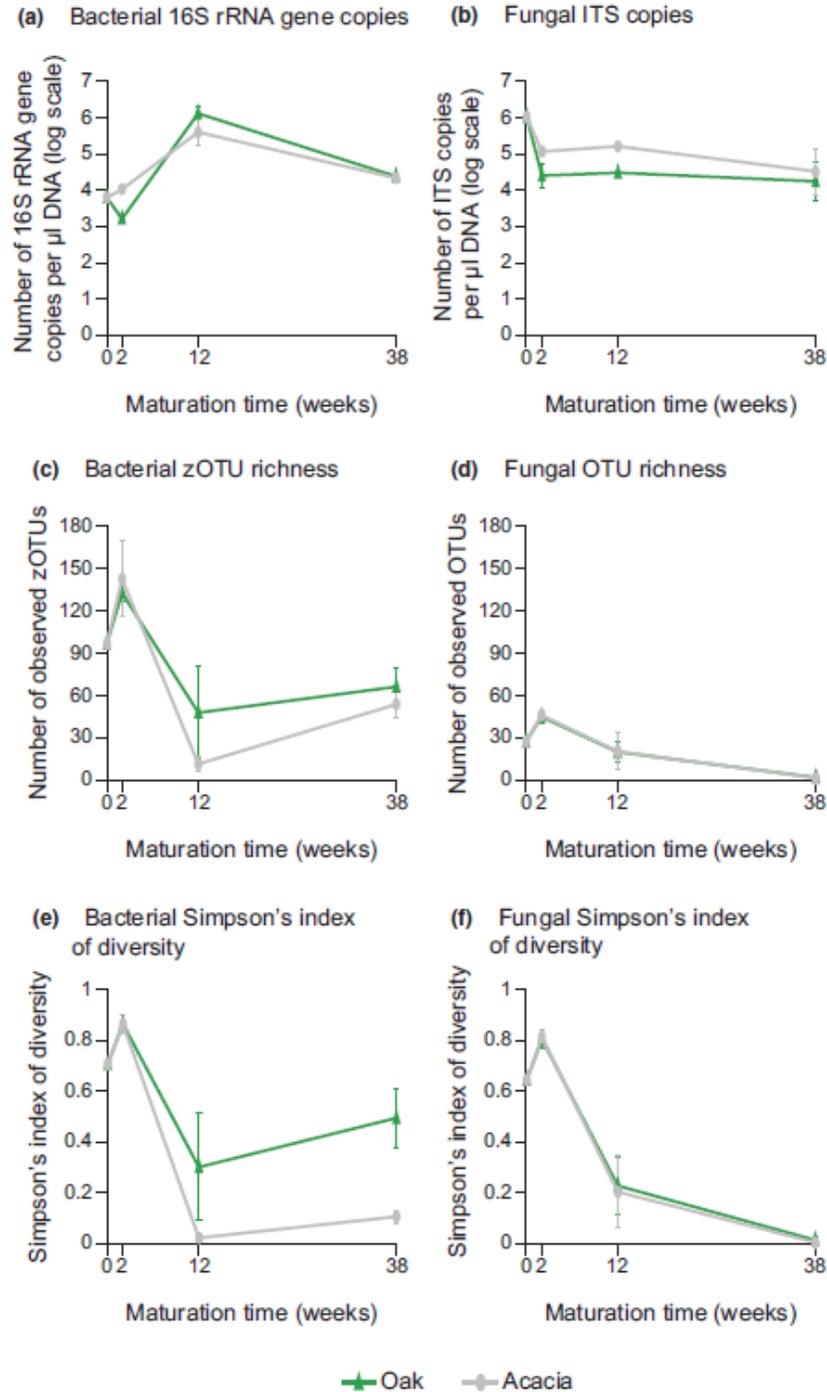


Figura 1. Dinámica temporal en números de genes 16S rRNA bacteriana (a) y números de copias ITS1 fúngica (b), riqueza (z)OTU y índice de diversidad Simpson's para bacterias (c) y microorganismos fúngicos (d), para cerveza con maduración en barricas de madera de roble (triángulo/verde) y acacia (círculo/gris). Fuente: Bossaert et al., 2021.

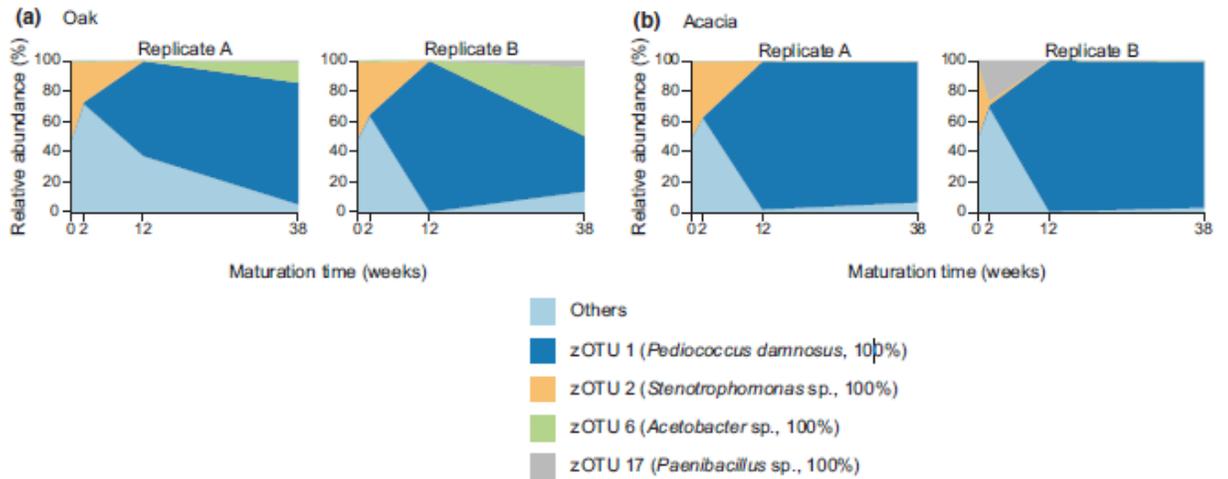


Figura 2. Dinámica temporal en la composición de las comunidades bacteriales durante el proceso de maduración en barricas de roble (a) y acacia (b). Fuente: Bossaert et al., 2021.

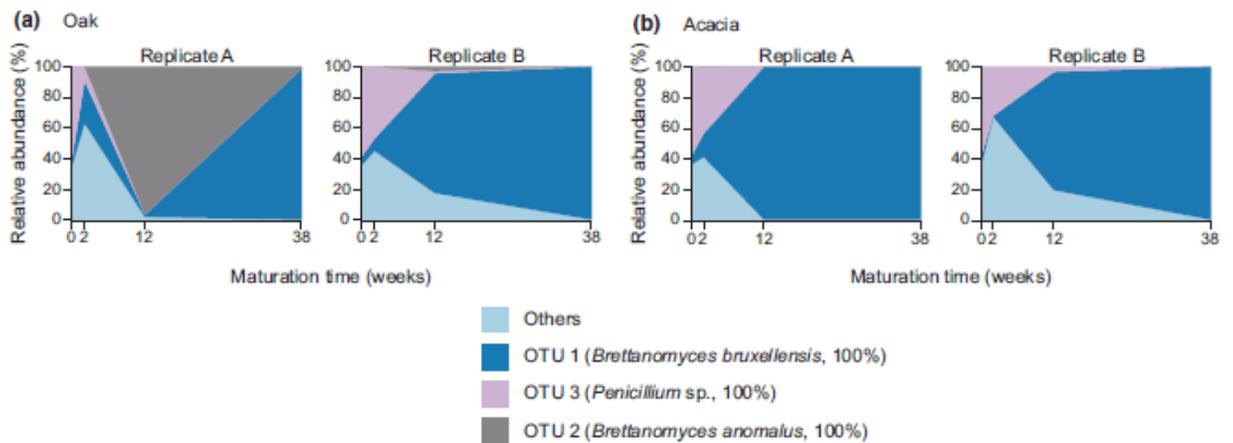


Figura 3. Dinámica temporal en la composición de las comunidades fungicas durante el proceso de maduración en barricas de roble (a) y acacia (b). Fuente: Bossaert et al., 2021.