



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera  
División de Estudios de Postgrado  
Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera



# “Efecto de barricas reutilizadas de *Quercus alba* en tequila: blanco, reposado y añejo”

## TESIS

Que para obtener el grado de  
**Maestro en Ciencias y Tecnología**  
de la madera

PRESENTA:

*Ing. Osvaldo Aguilar Méndez*

Director de Tesis:

*Dr. J. Guadalupe Rutiaga Quiñones*

Co director de Tesis:

*Dr. Jesús Campos García*

Morelia Michoacán, marzo de 2018.

---

---

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>8</b>
<b>2. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1. TEQUILA</b> .....	<b>11</b>
<i>2.1.1. Definición</i> .....	<b>11</b>
<i>2.1.2. Clasificación</i> .....	<b>13</b>
2.1.2.1. Categorías .....	<b>13</b>
2.1.2.1.1. “100% de Agave” .....	<b>13</b>
2.1.2.1.2. “Tequila” .....	<b>13</b>
2.1.2.2. Clases .....	<b>14</b>
2.1.2.2.1. Blanco o Plata.....	<b>14</b>
2.1.2.2.2. Joven u Oro. ....	<b>15</b>
2.1.2.2.3. Reposado. ....	<b>15</b>
2.1.2.2.4. Añejo.....	<b>16</b>
2.1.2.2.5. Extra añejo.....	<b>16</b>
<i>2.1.3. El sabor y el olor del tequila</i> .....	<b>19</b>
<b>2.2. MADURACIÓN</b> .....	<b>30</b>
<i>2.2.1. Definición</i> .....	<b>30</b>
<i>2.2.2. Influencia de la maduración sobre los compuestos fenólicos</i> .....	<b>32</b>
<i>2.2.3. La influencia de las barricas en el sabor</i> .....	<b>34</b>
<i>2.2.4. Caso particular de los aguardientes.</i> .....	<b>38</b>

---

---

2.3. BARRICA .....	40
2.3.1. <i>Historia de la barrica</i> .....	40
2.3.2. <i>El proceso de elaboración de una barrica</i> .....	42
2.3.2.1. Armado de la barrica .....	43
2.3.2.2. Curvado y tostado.....	44
2.3.2.2.1. Bracero con recortes de madera .....	46
2.3.2.2.2. Gas .....	46
2.3.2.2.3. Vapor de agua o agua caliente.....	47
Figura 2.9. Mojado de la madera durante el proceso de tostado .....	47
2.3.2.2.4. Resistencia eléctrica.....	48
2.3.2.2.5. Generador de ondas infrarojas .....	48
2.3.2.3. El calentamiento del proceso de tostado.....	49
2.3.2.4. Ensamble final .....	50
2.4. MADERA.....	51
2.4.1. <i>Descripción botánica del género Quercus.</i> .....	56
2.4.1.1. Descripción general .....	57
2.4.1.2. Clasificación Botánica (BayScience Foundation, 2009) .....	60
2.4.1.3. Quercus europeos .....	60
2.4.1.4. Quercus Americanos .....	62
2.4.1.5. Quercus alba .....	63
2.4.1.6. Nombres vulgares:.....	65
2.4.1.7. Distribución en México.....	65
2.4.1.8. Características macroscópicas de la madera.....	66

---

---

---

---

2.4.1.9. Características microscópicas de la madera .....	66
2.4.2. <i>Propiedades y composición química de la madera de Quercus</i> .....	67
2.4.3. <i>Principales sustancias volátiles procedentes del Quercus</i> .....	71
<b>3. HIPÓTESIS</b> .....	<b>76</b>
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	<b>77</b>
4.1. OBJETIVO GENERAL .....	77
4.2. OBJETIVOS PARTICULARES .....	77
4.2.1. <i>Extraer, identificar y cuantificar, los compuestos volátiles presentes en tequila blanco, reposado y añejo</i> .....	77
4.2.2. <i>Determinar el efecto de la maduración del tequila en barricas reutilizadas de Quercus alba mediante un análisis estadístico</i> .....	77
<b>5. METODOLOGÍA</b> .....	<b>78</b>
5.1. MATERIALES: .....	78
5.1.1. <i>Material utilitario</i> .....	78
5.1.2. <i>Reactivos:</i> .....	79
5.1.3. <i>Equipo:</i> .....	80
5.2. MÉTODO .....	82
<b>6. RESULTADOS</b> .....	<b>83</b>
6.1. COMPUESTOS ENCONTRADOS .....	83
6.2. CROMATOGRAMAS .....	85
6.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	88
<b>7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>91</b>
7.1.1. <i>Tequila Blanco</i> .....	93

---

---

---

---

7.1.1.1. Compuestos característicos de tequila blanco .....	95
<b>Tabla 7.1. Compuestos característicos del tequila blanco de acuerdo a la Figura 7.1. ....</b>	<b>95</b>
7.1.2. <i>Tequila reposado</i> .....	95
7.1.2.1. Cromatograma.....	98
7.1.2.2. Compuestos del tequila reposado. ....	99
<b>Tabla 7.2. Compuestos característicos del tequila reposado de acuerdo a la Gráfica 7.5. ....</b>	<b>100</b>
7.1.3. <i>Tequila añejo</i> .....	100
7.1.3.1. Cromatograma.....	101
7.1.3.1. Compuestos del tequila añejo. ....	102
7.1.4. <i>Compuestos sin cambios</i> .....	103
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>107</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>110</b>

---

---

## Resumen

El uso de barricas de madera de Roble Blanco (*Quercus alba*, *Quercus Petraea*, <<en México mejor conocido como Encino>>), para mejorar la calidad organoléptica de las bebidas alcohólicas, es una práctica extendida en todo el mundo. El tequila es una bebida alcohólica que siguen ese proceso, y a excepción del tequila blanco, el reposado, añejo y extra añejo, pasan diferentes tiempos de maduración en barricas, a efecto de mejorar sus características organolépticas. Durante el tiempo que permanece el tequila en la barrica se modifica la composición química de la bebida debido al aporte de sustancias propias de la madera y a reacciones químicas que se producen. Las principales reacciones son de oxidación debido a las características propias de la madera, que permite una lenta oxigenación, llamada micro-oxigenación. Los compuestos volátiles son los que le confieren características distintivas en aroma y sabor al tequila, mismos que dependerán del tiempo y condiciones de maduración. En la presente investigación se realizó una extracción de los compuestos volátiles presentes en tequila: blanco (control), reposado y añejo, con la finalidad de determinar las diferencias en el perfil aromático en estos tipos de tequila. Para ello se realizaron extracciones líquido-líquido de los compuestos volátiles, posteriormente con el uso de la Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC-MS), se determinó la naturaleza y contenido de los compuestos presentes. Con los datos obtenidos se llevó a cabo un análisis cualitativo y cuantitativo de los compuestos volátiles, a fin de conocer las diferencias específicas relacionadas al tiempo de maduración de la bebida en barricas reutilizadas de *Quercus alba*. Los resultados indicaron que el proceso de maduración del tequila en barricas reutilizadas influye de forma determinante en el contenido de compuestos volátiles que contiene el tequila blanco, promoviendo reacciones químicas que provocan disminución, incremento y producción de nuevos compuestos volátiles que modifican de forma significativa las características organolépticas del tequila blanco, reposado y añejo. Es importante resaltar que existen compuestos típicos asociados con el efecto de la madera en la bebida, pero también existen otros compuestos característicos asociados con el tiempo de maduración en la barrica, por lo que algunos compuestos encontrados en los tequilas analizados podrían ser usados como identificadores de calidad para cada tipo de tequila.

**Palabras clave:** barrica, roble, encino, añejamiento, maduración, tequila, blanco, reposado, añejo, *Quercus alba*, GC-MS.

---

---

## Abstract

The use of oak barrels of white oak (*Quercus alba*, *Quercus Petraea*, << In Mexico better known as “Encino”>>), to improve the organoleptic quality of alcoholic beverages, is a widespread practice throughout the world. Tequila is an alcoholic beverage that follows this process, and an exception of silver tequila, aged, extra aged and ultra aged tequila are submitted to a maturation process to improve their organoleptic characteristics. During the time that tequila remains in the barrels, the chemical composition in the beverage is modified, due to release of substances from the wood and to chemical reactions. The oxidation reactions may be due to a characteristic of the wood, which allows a slow oxygenation called micro-oxygenation. The volatile compounds are those that confer specific characteristics in aroma and flavor to tequila, that depend on the time and the conditions of maturation. In the present study, an extraction of the compounds present in the tequila was carried out: Silver tequila (control), Aged and Extra aged tequila, to determine their main differences in aromatic profiles.. For this purpose, liquid-liquid extractions of the volatile compounds were carried out, later by using Gas Chromatography coupled to Mass Spectrometry (GC-MS), the nature and content of compounds content was determined. The data obtained were used to conduce a quality and quantitative analysis of volatile compounds contained into the tequila types, in order to know the effects related with the beverage maturation time in reutilized barrels of *Quercus alba*. The results indicated that the tequila maturation process in reutilized barrels influences on the content of volatile compounds present in silver tequila, promoting chemical reactions that cause a decrease, increase, and in production of novel volatile compounds that significantly modify the organoleptic characteristics of the silver, aged and extra aged tequila. It is important to note that there are typical compounds associated with the effect of wood on the beverage, but there are also other characteristic compounds associated with the maturation time in the barrel. Thus, some compounds found in the tequila analyzed could be used as indicative quality profiles for each type of tequila.

**Keywords:** Barrels, oak, aging, maturation, tequila, silver, aged, extra-aged, *Quercus alba*, GC-MS.

---

---

## 1. INTRODUCCIÓN

El tequila es una bebida de fama mundial que necesita de investigación especializada para elevar sus índices de calidad. En la industria tequilera se desconoce el efecto específico de la maduración en barrica sobre esta bebida, y por consecuencia se desconocen los efectos e influencia del nivel de tostado, origen de la madera y edad de la barrica, así como temperatura, humedad y luminosidad en la bodega de maduración, sin embargo las barricas de madera se utilizan para que el tequila adquiera nuevos atributos como el color, aroma y sabor; a fin de elevar su calidad gustativa.

En la actualidad el uso de barricas de roble blanco es una práctica común en todo el mundo, empleado para el añejamiento de diferentes bebidas como: whisky, brandy, ron, vinos tintos, blancos y rosados entre algunos otros; todos ellos recurren a la fermentación o maduración en barricas. En las regiones vitícolas más prestigiosas del mundo es frecuente hacer uso de esta tecnología. Es una técnica costosa, pero su contribución al enriquecimiento organoléptico de vinos y destilados es indudable. La madera del género *Quercus* es la preferida para la construcción de estos recipientes debido a sus propiedades físico-mecánicas y a su composición química.

Durante la maduración en barrica se modifica la composición química de las bebidas, debido al aporte de sustancias propias de la madera y a las reacciones químicas de oxidación que ahí se producen, sobre todo de compuestos aromáticos del tipo volátiles, así como de algunos taninos.

En la revisión de antecedentes bibliográficos, no se encontraron reportes que contemplen la influencia de la barrica durante la maduración de tequila, lo cual no significa que no existan, ya que estos podrían estar como secreto industrial o



---

---

como patentes registradas. En contraste en la crianza de vinos, se encontraron muchos estudios acerca de la influencia de la barrica, con infinidad de variables, por lo que se puede considerar que los resultados de esta investigación pueden ser de suma importancia para la realización de estudios posteriores en el proceso de maduración del tequila.

El proceso de elaboración de los vinos, sigue siendo en su nivel elemental, un proceso artesanal, esto debido a que la mayor parte de los productores aprendieron a elaborarlos empíricamente, mediante el método de prueba y error, proceso que en su mayor parte sigue siendo vigente. El tequila, no es la excepción al caso, ya que la elaboración de esta bebida también se sigue realizando con técnicas artesanales en la mayor parte de las ocasiones.

La tonelería, es el arte de elaborar recipientes de madera, en muy diversas formas: toneles, cubas, barricas, cubetas, barriles y algunas otras. Su producción es realizada de la misma forma desde hace muchos años, también proviene de conocimientos empíricos heredados de una generación a otra, pero que se ha transformado a lo largo de la historia, y que poco se ha estudiado de manera formal, aunque se han hecho intentos por industrializar su fabricación, sobre todo para acelerar los tiempos de producción.

Se considera que hay compuestos volátiles que influyen de manera directa en las características organolépticas del tequila. El proceso de maduración conocido en México como reposo y añejamiento de tequila, tienen como finalidad, elevar la calidad del producto, por ese motivo en el presente trabajo se evaluó el efecto e importancia de la maduración en barricas de roble blanco. Esta investigación comprende el análisis cualitativo y cuantitativo de compuestos volátiles en tres clases de tequila: blanco, reposado y añejo, con la finalidad de comparar las diferencias en el contenido de compuestos volátiles entre esas clases de tequila debido a la maduración que tuvieron en barricas

---

---

reutilizadas de roble blanco *Quercus alba*, debido a que éstas son las más comúnmente utilizadas por los productores de tequila reposado y añejo en forma comercial.

---

---

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1. TEQUILA

#### 2.1.1. Definición

Es una bebida alcohólica regional obtenida por destilación de mostos,<sup>1</sup> preparados directa y originalmente del material extraído, en las instalaciones de la fábrica de un productor autorizado que es una persona física o moral que cuenta con autorización por parte de la Dirección General de Normas de la Secretaría de Economía y del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, esto conforme a sus respectivas atribuciones para dedicarse a la elaboración de tequila dentro de sus instalaciones, las cuales deben estar ubicadas en el territorio comprendido en la Declaración General de Protección de la Denominación de Origen “Tequila”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de octubre de 1977 (DGPDOT, 1977) y sus subsecuentes modificaciones y adiciones, derivados de las cabezas de *Agave tequilana* Weber variedad azul (Figura 2.1), previa o posteriormente hidrolizadas o cocidas, y sometidos a fermentación alcohólica con levaduras<sup>2</sup>, cultivadas o no,

---

<sup>1</sup> El mosto es el jugo de agave que contiene los elementos para la fermentación, en este caso el microorganismo responsable de llevar a cabo la fermentación, como pueden ser *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces marxianus* o cualquier otra.

<sup>2</sup> Se denomina levadura a cualquiera de los diversos hongos microscópicos unicelulares que son importantes por su capacidad para realizar la

---

consistente en la transformación de los azúcares de origen vegetal, en alcohol etílico y bióxido de carbono, con la formación de otros compuestos que contribuirán a las características sensoriales finales del tequila, siendo susceptibles los mostos de ser enriquecidos y mezclados conjuntamente en la formulación con otros azúcares hasta en una proporción no mayor a 49% de azúcares reductores totales expresados en unidades de masa, en la inteligencia de que no están permitidas las mezclas en frío. El tequila es un líquido que puede tener color, cuando sea madurado, abocado, o añadido de un color específico. El tequila puede ser añadido de edulcorantes, colorantes, aromatizantes y/o saborizantes permitidos por la Secretaría de Salud, con objeto de proporcionar o intensificar su color, aroma y/o abor (NOM-006-SCFI-2012, 2012).

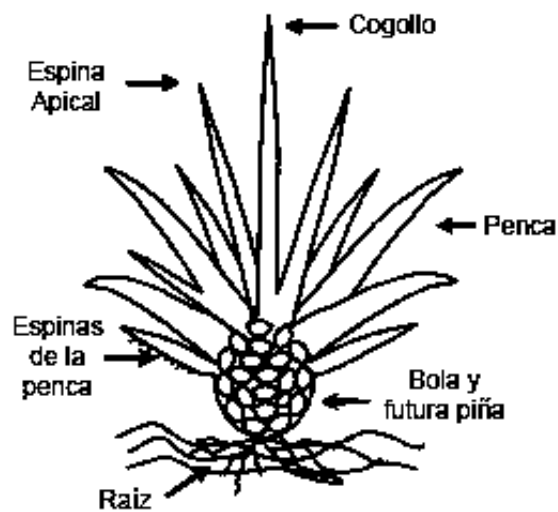


Figura 2.1. Partes de la planta de *Agave tequilana*.

---

descomposición mediante fermentación de diversos cuerpos orgánicos, principalmente los azúcares o carbohidratos, produciendo distintas sustancias.

---

---

---

### 2.1.2. Clasificación

De acuerdo a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana del tequila(NOM-006-SCFI-2012, 2012) éste se clasifica en dos categorías y cinco clases:

#### 2.1.2.1. Categorías

De acuerdo al porcentaje de los azúcares provenientes del *Agave tequilana* Weber variedad azul que se utilice en la elaboración del tequila, éste se puede clasificar en una de las siguientes categorías:

##### 2.1.2.1.1. “100% de Agave”

Es el producto que no es enriquecido con otros azúcares distintos a los obtenidos del *Agave tequilana* Weber var. azul cultivado en el territorio permitido. Para que este producto sea considerado como “Tequila 100% de Agave” debe ser envasado en la planta que controle el propio productor autorizado. Este producto debe ser denominado únicamente a través de alguna de las siguientes leyendas: “100% de Agave”, “100% puro de Agave”, “100% Agave”, o “100% puro Agave”, al final de las cuales se puede añadir la palabra “azul” (NOM-006-SCFI-2012, 2012).

##### 2.1.2.1.2. “Tequila”

Es el producto en el que los mostos son susceptibles de ser enriquecidos y mezclados conjuntamente en la formulación con otros azúcares hasta en una proporción no mayor a 49% de azúcares reductores totales expresados en unidades de masa. Este enriquecimiento máximo de hasta 49% de azúcares reductores totales expresados en unidades de masa, no se debe realizar con azúcares provenientes de cualquier especie de *Agave*. Sólo se podrá

---

---

incrementar el 51% de azúcares reductores totales expresados en unidades de masa con azúcares reductores totales provenientes de *Agave tequilana* Weber var. azul cultivado en el territorio comprendido en la Declaración General de Protección de la Denominación de Origen “Tequila”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de octubre de 1977 (DGPDOT, 1977). Este producto puede ser envasado en plantas ajenas a un productor autorizado, siempre y cuando los envasadores cumplan con las condiciones establecidas en la NOM-006-SCFI-2012.

#### 2.1.2.2. Clases

De acuerdo a las características adquiridas en procesos posteriores a la destilación establecida en la NOM-006-SCFI-2012, consistente en la separación de los constituyentes de una mezcla líquida por vaporización parcial de la misma y recuperación de los vapores y residuos; es decir, la separación de una mezcla de sustancias en donde se fraccionan los volátiles de un residuo no volátil. La destilación alcohólica está basada en que el alcohol etílico, vaporiza a una temperatura menor que el punto de ebullición del agua, los vapores que suben pueden ser condensados y convertidos a forma líquida con un alto contenido alcohólico.

La maduración del tequila debe realizarse por el productor autorizado dentro del territorio comprendido en la declaración y consiste en el proceso de permanecer durante cierto tiempo en contacto directo con la madera de recipientes de roble o encino, cuya capacidad máxima sea de 600 litros (NOM-006-SCFI-2012, 2012).

El tequila se clasifica en una de las siguientes clases:

##### 2.1.2.2.1. Blanco o Plata.

---

---

Es el producto transparente no necesariamente incoloro, sin abocante, obtenido de la destilación añadiendo únicamente agua de dilución en los casos que proceda para ajustar la graduación comercial requerida, pudiendo tener una maduración menor de dos meses en recipientes de roble o encino.

#### 2.1.2.2.2. Joven u Oro.

Es el producto resultante de la mezcla de tequila blanco con tequilas reposados y/o añejos y/o extra añejo, pero que de manera mezclada nunca estuvo en recipientes de madera

Es de destacar que también se le denomina tequila joven u oro al producto que se obtiene de la mezcla de tequila blanco al que se le aplica el procedimiento de abocado que se usa para suavizar el sabor del tequila, en este caso mediante la adición de uno o más de los siguientes ingredientes que se citan a continuación:

- *Color caramelo*
- *Extracto de roble o encino natural*
- *Glicerina*
- *Jarabe a base de azúcar*

#### 2.1.2.2.3. Reposado.

Producto susceptible de ser abocado, sujeto a un proceso de maduración de por lo menos dos meses en contacto directo con la madera de recipientes de

---

---

roble o encino. Su contenido alcohólico comercial debe, en su caso, ajustarse con agua de dilución.

El resultado de las mezclas de tequila reposado con tequilas añejos o extra añejos, se considera como tequila reposado.

#### 2.1.2.2.4. Añejo.

Producto susceptible de ser abocado, sujeto a un proceso de maduración de por lo menos un año en contacto directo con la madera de recipientes de roble o encino, cuya capacidad máxima sea de 600 litros, su contenido alcohólico comercial debe, en su caso, ajustarse con agua de dilución.

El resultado de las mezclas de tequila añejo con tequila extra añejo se considera como tequila añejo.

#### 2.1.2.2.5. Extra añejo.

Producto susceptible de ser abocado, sujeto a un proceso de maduración de por lo menos tres años, en contacto directo con la madera de recipientes de roble o encino, cuya capacidad máxima sea de 600 litros, su contenido alcohólico comercial debe, en su caso, ajustarse con agua de dilución.

La Norma Oficial Mexicana del tequila, nos especifica que para el mercado internacional se puede sustituir la clasificación mencionada en los párrafos anteriores por la traducción al idioma correspondiente de acuerdo a la regulación del país o lugar de comercialización, o bien, por las siguientes:

- “Silver” en lugar de Blanco o Plata.
- “Gold” en lugar de Joven u Oro.



- 
- “Aged” en lugar de Reposado.
  - “Extra aged” en lugar de Añejo.
  - “Ultra aged” en lugar de Extra añejo.

Para las clases de tequila se establecen los parámetros fisicoquímicos que para esos efectos describe la Tabla 2.1 de este documento y publicada en la (NOM-006-SCFI-2012, 2012), misma que fue modificada de su versión anterior en la NOM-006-SCFI-2006.

**Tabla 2.1. Especificaciones fisicoquímicas para la comercialización del tequila, vigiladas en forma permanente (NOM-006-SCFI-2012, 2012.**

Parámetros	Tequila										Método de Ensayo (Prueba)
	Blanco		Joven u Oro		Reposado		Añejo		Extra añejo		
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Contenido Alcohólico a 293 K (20°C) (% Alc. Vol.)	35	55	35	55	35	55	35	55	35	55	NMX-V-013-NORMEX
Extracto Seco (g/L)	0	0.3	0	5	0	5	0	5	0	5	NMX-V-017-NORMEX
Valores expresados en mg/100 mL de Alcohol Anhidro											
Alcoholes Superiores (alcoholes de peso molecular superior al alcohol etílico o aceite de fusel como alcohol Isoamílico)	20	500	20	500	20	500	20	500	20	500	NMX-V-005-NORMEX(2)
Metanol (1)	30	300	30	300	30	300	30	300	30	300	

NOTAS <sup>1</sup> y <sup>2</sup> (NOM-006-SCFI-2012, 2012).

<sup>1</sup> El parámetro mínimo puede disminuir si el productor de tequila demuestra al Organismo Evaluador de la Conformidad, que cuenta con un método viable para reducir el contenido de metanol.

<sup>2</sup> Para la determinación de Alcoholes superiores en esta norma, sólo se permite el método por Cromatografía de Gases, debido a que el método espectrofotométrico (vía

---

---

### 2.1.3. El sabor y el olor del tequila

Las propiedades organolépticas de las bebidas alcohólicas como el tequila, los vinos<sup>1</sup>, y algunas otras están determinadas por la composición de la mezcla de alcoholes, ésteres, y algunos otros compuestos (De León-Rodríguez, González-Hernández, Barba de la Rosa, Escalante-Minakata, & López, 2006). El sabor es una combinación de ambos: aroma y sabor, percibiendo los volátiles a través de la boca y el sistema olfativo (De León-Rodríguez et al., 2008).

La gran mayoría de los compuestos volátiles son derivados de ácidos grasos, carbohidratos y aminoácidos producidos por diversas rutas biosintéticas que ocurren a lo largo del proceso de elaboración: el cocimiento, la fermentación, el reposo y el almacenamiento. Asimismo, también existen compuestos son derivados de la destrucción celular que se produce al reaccionar ciertas enzimas con su sustrato en el proceso de elaboración. Sin embargo, el perfil aromático característico del tequila sólo se obtiene al emplear *Agave tequilana* Weber var. azul, pues aun cuando se tenga la misma serie de compuestos como precursores, no se puede asegurar el mismo perfil al usar otras variedades de agave, debido a los atributos de los cultivares (Acosta-Navarrete, López-Perez, & Miranda-López, 2007).

---

húmeda) no cuantifica el n-propanol presente en las muestras (ello para evitar que haya mucha diferencia en los resultados de alcoholes superiores debido al método utilizado en el laboratorio (cromatográfico o vía húmeda)

<sup>1</sup> El **vino** (del latín *vinum*) es una bebida obtenida de la uva (especie *Vitis vinifera*) mediante la fermentación alcohólica de su mosto o zumo.

---

---

En cada etapa del proceso se producen distintos compuestos odoríficos, pero sólo algunos permanecen hasta el final. Se tienen los aromas primarios, que se forman por interacciones del suelo, clima y métodos de cultivo, y muchos de los cuales son liberados por las levaduras durante la fermentación. Los aromas prefermentativos se producen durante la molienda de la piña, dando lugar a alcoholes y aldehídos. Los aromas de la fermentación o secundarios, al parecer los de mayor impacto, se generan por cambios químicos debidos a la acción de microorganismos como las levaduras y las bacterias o por condiciones del proceso. Los aromas formados durante la maduración se deben a cambios fisicoquímicos ocurridos, algunos por su transformación y otros producidos por el contacto con la madera de las barricas. Debe de mencionarse que también se pueden formar aromas no deseables, lo cual puede ocurrir en cualquiera de las etapas (Acosta-Navarrete et al., 2007).

En una caracterización del sabor del tequila llevada a cabo por una combinación de análisis sensorial y por medios instrumentales (Benn & Peppard, 1996), se identificaron más de 175 componentes, de los cuales 40 compuestos fueron identificados por Cromatografía de Gases GC con picos cromatográficos definidos, el resto fueron por comparación de espectros y de tiempos de retención de la cromatografía de gases respecto a sus índices de masa con estándares. En ese mismo trabajo de investigación se hizo un intento de reconstituir el sabor del tequila a partir de algunos componentes identificados. Se hizo una disolución alcohólica de 47 productos químicos encontrados en el extracto de tequila, incluyendo todos los compuestos de impacto de 32 caracteres identificados durante la evaluación.

La cantidad de cada compuesto utilizado en la reconstitución se basó en el nivel detectado en el extracto. Se encontró que el sabor del "tequila" formado (a la dilución apropiada en agua) era más dulce, y con sabores a chocolate, fruta,

---

---

aceite de fusel (alcoholado), y éster (afrutado) que el del producto genuino. Además, le faltaba sabor a pan, amaderado, y el característico sabor picante. Estos resultados promovieron que (Benn & Peppard, 1996) afirmaran que si bien en ese estudio se identificaron varios olores durante la evaluación, pocos de ellos podrían ser considerados los compuestos característicos del extracto, lo que indica que existen otros contribuyentes importantes al sabor tequila que permanecen aún sin identificar. Sobre la base de detección en los extractos, se determinó que cinco constituyentes son los más poderosos odorantes del tequila; estos fueron:

- *isovaleraldehído,*
- *alcohol isoamílico,*
- *$\beta$ -damascenona,*
- *2-feniletanol, y*
- *vainillina.*

Sin embargo, los esfuerzos de la reconstitución del sabor tequila mezclando entre sí los diversos componentes identificados en el presente estudio no tuvieron mucho éxito, lo que confirma que al menos algunos de los principales contribuyentes a sabor tequila aún no se han caracterizado químicamente (Benn & Peppard, 1996).

El distintivo sabor del tequila es una combinación de aroma y sabor, y ambos determinan la aceptación del consumidor. Aunque el aroma está determinada por los compuestos volátiles, se considera que tiene un impacto importante en la percepción del sabor en todas las bebidas destiladas. La fermentación es la parte más importante del proceso, ya que es durante esta etapa que los azúcares se convierten en etanol, ésteres y ácidos orgánicos; estos

---

---

compuestos, junto con otras sustancias derivadas del agave cocido, dan el característico sabor a tequila (Cedeño, 1995) citado por (Vallejo-Cordoba, González-Córdova, & del Carmen Estrada-Montoya, 2004).

En un estudio realizado por (Vallejo-Cordoba et al., 2004) se identificaron los siguientes compuestos volátiles en tequila blanco:

1	propanol	11	propil decanoato
2	3-metil butanol	12	metil dodecanoato
3	etil hexanoato	13	butil decanoato
4	4-metil heptanol	14	etil dodecanoato
5	metil heptanoato	15	3-metil-etil decanoato
6	etil octanoato	16	etil tetradecanoato
7	metil decanoato	17	2-fenil etil octanoato
8	2-butenona	18	3-hexanona
9	etil decanoato	19	etil hexadecanoato
10	3-metil butil octanoato	20	etil octadecanoato

En una investigación realizada por (López-Alvarez, Díaz-Pérez, Sosa-Aguirre, Macías-Rodríguez, & Campos-García, 2012), se encontraron en tequila blanco alrededor de 29 compuestos, producto de una destilación de jugo de agave fermentado por la levadura *Kluyveromyces marxianus* UMPe-1 (Campos-García, Sosa-Aguirre, Reyes-de la Cruz, & López-Alvarez, 2009). En la misma investigación

se encontraron 22 de esos mismos compuestos aunque con bajas concentraciones en la bebida obtenida a partir de fermentación con la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, la cual es utilizada de manera común a nivel industrial para fermentación de jugo de agave para la obtención de tequila (López-Alvarez et al., 2012).

**Tabla 2.2. Comparativo de compuestos volátiles empleando levaduras *Kluyveromyces marxianus* UMPe-1y *Saccharomyces cerevisiae*.**

No.	COMPUESTO	<i>Kluyveromyces marxianus</i> UMPe-1	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> Pan 1
1	1,2-Butanediol		
2	Ethanol		
3	2,3-Butanedione		
4	1-Propanol		
5	2-Methyl-1-propanol		
6	1-Butanol		
7	Cyclopentanone		
8	3-Methyl-1-butanol		
9	3-Methyl-3-buten-1-ol		<b>ND</b>
10	Dihydro-2-methyl-3(2H)-furanone		
11	4-Penten-1-ol		
12	3-Methyl-1-pentanol		<b>ND</b>
13	2-Hydroxyethyl propionate		
14	Ethyl octanoate		
15	cis-Linalool oxide		

---



---

16	Furfural		
17	Acetylfuran		
18	Linalool		<b>ND</b>
19	5-Methyl-2-furancarboxaldehyde		
20	Ethyl decanoate		
21	2-Furanmethanol		
22	(+)- $\alpha$ -Terpineol		
23	Unknown		
24	2-phenylethyl acetate		
25	Ethyl dodecanoate		
26	Phenylethyl alcohol		
27	Nerolidol		<b>ND</b>
28	1-Hexadecanol		
29	Thymol		<b>ND</b>

Es importante destacar que hay compuestos volátiles que se encontraron en la muestra obtenida a partir de la levadura *Kluyveromyces marxianus* UMPE-1 pero que no se encontraron en el tequila obtenido a partir de *Saccharomyces cerevisiae* siendo estos los siguientes: 3-metil-3-butenol, 3-metil-pentanol, linalool, nerolidol y timol (López-Alvarez et al., 2012), como se puede apreciar en la Tabla 2.1.

El contenido de terpenos en las bebidas puede influir en las características aromáticas de las bebidas obtenidas de Agave. Mientras que los ésteres asociados con agradables sabores frutales, pueden ser el resultado de la fermentación (Vallejo-Cordoba et al., 2004) citado por (López-Alvarez et al., 2012). Los resultados indican que diferentes ésteres están presentes en concentraciones más altas en tequila



---

---

blanco obtenidos de la fermentación con la levadura *Kluyveromyces marxianus* UMPe-1. Estos compuestos fueron (López-Alvarez et al., 2012):

- *propionato de 2-hidroxietilo*
- *octanoato de etilo*
- *decanoato de etilo*
- *acetato de 2-feniletilo*
- *dodecanoato de etilo*

Además, otros compuestos volátiles se encuentran en mayor proporción, tales como:

- *2,3-butanodiona*
- *2-metil-1-propanol*
- *3-metil-1-butanol*
- *dihidro-2-metil-3(2H)-furanona*
- *acetilfurano*
- *5-metil-2-furancarboxaldehído*
- *(+) α-terpineol*
- *alcohol feniletílico*
- *hexadecanol*

Cabe mencionar que algunos de estos compuestos han sido identificados en las bebidas de tequila que fueron envejecidos en barricas de roble (Vallejo-Cordoba et al., 2004).

---

---

Se realizó una caracterización de compuestos volátiles de 10 bebidas étnicas entre las que se encuentran:

- *Bacanora proveniente de Agave angustifolia Haw*
- *Mezcal proveniente de Agave angustifolia*
- *Agave duranguensis*
- *Agave potatorum*
- *Agave salmiana*
- *Raicilla proveniente de Agave maximilana*
- *Sisal proveniente de Agave sisalana*
- *Sotol proveniente de Dasylirion*
- *Tequila proveniente de Agave tequilana Weber variedad azul*
- *Pulque proveniente de Agave mapisaga.*

En ese estudio se detectaron 105 compuestos de los cuales 53 fueron detectados en tequila (De León-Rodríguez et al., 2008).

A fin de diferenciar las categorías y clases de tequila se han realizado algunos otros estudios como el realizado por (Lachenmeier, Richling, López, Frank, & Schreier, 2005) en el que llevó a cabo un análisis multivariado de FTIR (Fourier Transform InfraRed “Espectroscopía infrarroja por transformación de Fourier”) y de cromatografía iónica de datos para el control de calidad de tequila en el que debido a la superposición de datos, los intentos de diferenciar entre el blanco, reposado, y añejo dentro de cada una de las dos categorías fracasaron. Esto podría estar relacionado con la cantidad de *Agave* utilizado, porque grandes cantidades de metanol se deben principalmente a la presencia de pectinas en el *Agave* (Lachenmeier et al., 2005).

---

---

El tequila es fabricado normalmente utilizando cepas de levaduras seleccionadas por cada productor (Cedeño-Cruz, 2003) citado por (Lachenmeier, Sohnius, Attig, & López, 2006). La cepa de levadura es el factor más importante que influye en la cantidad de alcoholes superiores y etanol producidos. Se ha reportado que las cepas nativas aisladas de tequila producen mayores cantidades de alcohol isoamílico e isobutanol, en comparación con las cepas de levadura empleadas en panaderías (Lachenmeier et al., 2006).

Se reportaron otros factores que tienen impacto en la producción de alcoholes superiores, como la relación carbono-nitrógeno y la temperatura de fermentación (Cedeño-Cruz, 2003). En cambio los procesos posteriores a la destilación, por ejemplo, el tipo de alambique o el tiempo de rectificación no alteraron la composición de compuestos regulados (Lachenmeier et al., 2006). Se determinó que el metanol se genera a través de la hidrólisis de las pectinas metilados presentes en la planta de *Agave* (Cedeño-Cruz, 2003). Algunas sustancias volátiles (a menudo los indeseables) pueden ser producidos como resultado de la contaminación bacteriana del mosto de *Agave* (Cedeño, 1995) citado por (Lachenmeier et al., 2006).

Se ha encontrado que compuestos aromáticos como el 2-fenil etanol,  $\alpha$ -terpineol, linalol, furfural, benzaldehído, son significativamente mayores en tequila "100% agave" que en tequilas enriquecidos o mezclados, por lo que éstos pueden proporcionar información sobre el tipo y la pureza de la materia prima utilizada para producción (Bauer-Christoph et al., 2003).

Los compuestos furánicos como los furfurales se producen por la reacción de Maillard<sup>1</sup>, entre ellos compuestos furánicos: Furfural (FUR), 2-acetil furano (2AF) y el

---

<sup>1</sup> (Técnicamente: glucosilación o glicación no enzimática de proteínas) Conjunto muy complejo de reacciones químicas que traen consigo la producción de melanoidinas

---

---

5-metilfurfural (5MF) son de particular interés debido a su asociación con adenomas y carcinomas hepatocelulares cuando están presentes a altos niveles. Es por esa razón que las regulaciones mexicanas actualmente permiten una concentración máxima permisible de furfural de 4 mg por 100 mL de alcohol anhidro (AA) en tequilas (Muñoz-Muñoz et al., 2010).

En un estudio realizado (López-Pérez, 2006) usando la técnica de SPME-GC-MS (Solid-Phase-Micro-Extraction-Gas-Chromatography–Mass-Spectrometry “Micro Extracción en Fase Sólida por Cromatografía de Gases acoplado a Espectrometría de Masas”) a bebidas como sotol, mezcal y tequila se encontraron los siguientes compuestos:

**Tabla 2.3. Comparativo de compuestos volátiles en sotol, mezcal y tequila**  
(López-Pérez, 2006).

Compuesto	Sotol	Mezcal	Tequila
Acetato de Etilo	1	1	1
Metanol	1	1	1
Etanol	1	1	1
2-Butanol	1		
Butanoic acid EE			1
Propanol	1	1	1

---

coloreadas que van desde el amarillo claro hasta el café muy oscuro e incluso el negro, además de diferentes compuestos aromáticos. Para que las transformaciones tengan lugar, son necesarios un azúcar reductor (cetosa o aldosa) y un grupo amino libre, proveniente de un aminoácido o una proteína. La reacción de Maillard puede ocurrir durante el calentamiento de los alimentos o durante el almacenamiento prolongado.

---

---

2-Metil-propanol	1	1	1
3-Metil-butanolacetato	1	1	
3 -Carene			1
Butanol	1	1	
Ciclopentanona	1	1	
3-Metil-cyclopentanona	1	1	
Hexanoic acid EE	1	1	1
2 / 3 -butanol	1	1	1
Pentanol	1		
2-Me-3(2H)-furanona	1	1	
2-Butanone-3-OH	1	1	
Propanoic acid 2-OH EE	1	1	1
Hexanol	1	1	
Octanoic acid EE	1	1	1
Ácido acético	1	1	1
Furfural	1	1	1
Ethanone- 1 -(2-furanyl)	1	1	1
Nonanoic acid EE		1	
Ácido Propanoico	1	1	1
Linalool			1
Octanol		1	1
Ácido 2-Metil-propanoico	1	1	1
5-Me-furfuraldehido	1	1	1
Decanoic acid EE	1	1	1
Ácido Butanoico	1		
Ácido 3-Metil-butanoico	1	1	1
2-Metil-furano	1	1	
Terpineol	1	1	1
Naftaleno	1	1	
Decanol		1	1
Acetic acid 2-phenyl EE	1	1	1
Dodecanoic acid EE	1	1	1
Metil-naphthalene	1	1	
Ácido Hexanoico		1	1

---



---

2-Metil-naphthalene	1		
Phenylethanol	1	1	1
2-Methoxy phenol		1	
Fenol	1	1	
4-Et-2-methoxy phenolB	1		
Tetradecanoic acid EE	1	1	
Nerolidol			1
Ácido Octanoico		1	1
Hexadecanoic acid EE	1	1	1
Ácido Decanoico		1	1

Los resultados de la comparación de estas 3 bebidas se muestran en la Tabla 2.3, e indican las similitudes y diferencias entre las 3 bebidas, las cuales son debidas probablemente a las materias primas, y al al proceso de elaboración. El sotol presenta el mayor número de componentes, seguido de mezcal y tequila. La presencia de menos compuestos en tequila podría ser debido a la pérdida de volátiles durante su paso a través de carbón activado antes del embotellado. A pesar de las similitudes entre las bebidas, las diferencias en las concentraciones encontradas se pueden utilizar para identificar el tipo de bebida en virtud de este estudio (López-Pérez, 2006).

## 2.2. MADURACIÓN

### 2.2.1. Definición

La “Norma Oficial Mexicana de Bebidas alcohólicas de tequila” indica que la maduración es la transformación lenta del producto, lo que le permite adquirir características sensoriales adicionales, procesos fisicoquímicos. El proceso consiste en la permanencia en recipientes en los que la bebida está en contacto directo con

---

---

la madera de roble o encino, cuya capacidad máxima es de 600 litros. La permanencia depende de la clase de tequila que se busque madurar: en el caso del tequila reposado, por lo menos dos meses, para el tequila añejo por lo menos un año, y para el tequila extra añejo debe durar por lo menos tres años (NOM-006-SCFI-2012, 2012).

La Norma Oficial Mexicana de la Secretaría de Salud para bebidas alcohólicas en general define la “maduración” como la transformación lenta que le permite adquirir al producto alcohólico las características sensoriales deseadas, por procesos fisicoquímicos, que en forma natural tienen lugar durante su permanencia en:

- a. Recipientes de madera que estén en contacto directo con los productos objeto de esta Norma, los cuales pueden ser de roble, roble blanco o encino; o bien, de otras maderas que se encuentren permitidas para tal uso conforme a las disposiciones jurídicas aplicables.
- b. Recipientes de acero inoxidable o de cualquier otro material con recubrimiento interno de calidad sanitaria, para cerveza y vinos, y
- c. En el caso de los vinos, también en botella. Cuando no se utilice madera se podrá utilizar viruta la cual deberá obtenerse exclusivamente de la especie *Quercus* (NOM-142-SSA1/SCFI-2014, 2015).

En otras bebidas como lo pueden ser el ron, brandy, cognac, whisky, whiskey, vino tinto, vino blanco y algunas otras, a las que se les aplica el mismo proceso de depositar y permanecer durante cierto tiempo en barricas de madera del género *Quercus spp.* se le conoce como añejamiento, envejecimiento o crianza, dependiendo del caso particular de la bebida de la que se trate.

En México el término “Añejamiento” hace referencia al proceso de maduración al que se somete un producto alcohólico de por lo menos un año en recipientes de madera

---

---

de roble blanco o encino, cuya capacidad no debe ser superior a 700 litros (NOM-142-SSA1/SCFI-2014, 2015).

En el caso de las bebidas como el mezcal (NOM-070-SCFI-1994, 1994), sotol (NOM-159-SCFI-2004, 2004), y charanda (NOM-144-SCFI-2000, 2000) éstas están regidas por las especificaciones que indica la norma correspondiente a cada caso, pero se puede afirmar que éstas, corresponden a las especificaciones que existen para maduración y añejamiento que aplican para el caso del tequila (NOM-006-SCFI-2012, 2012).

### *2.2.2. Influencia de la maduración sobre los compuestos fenólicos*

El efecto de la maduración del tequila es un tema poco estudiado, sin embargo, ha sido estudiado ampliamente en vinos, así como en ron, whisky, whiskey, cognac, brandy y algunas otras bebidas.

La crianza del vino en barricas de roble es un fenómeno en el que participan diversos procesos mediante los cuales el vino se transforma, ganando complejidad y estabilidad. En primer lugar, el roble aporta aromas y compuestos fenólicos que mejoran su calidad aromática y gustativa. Por otra parte, la crianza en barricas permite una oxigenación moderada debido a la porosidad de la madera, a través de las interduelas, la cual proporciona el sustrato necesario para que las reacciones de polimerización y combinación de los antocianos y las procianidinas tengan lugar. De este modo se producirá una estabilización del color del vino y una suavización de la astringencia<sup>1</sup>. Asimismo se producirá la precipitación de parte de la materia colorante del vino, evitando la sedimentación en la botella. (Zamora-Marín, 2007).

---

<sup>1</sup> El sabor astringente es una sensación entre sequedad intensa y amargor que se produce en la boca.



---

---

“Investigaciones llevadas a cabo por (Llaudy-Fernández, 2006), (Cabanillas et al, 2001) y (Cano et al, 2008) y (Guillou-Calderón, 2012) han demostrado la eficacia de los aportes controlados de oxígeno al vino. Para ello, analizaron la influencia de la microoxigenación sobre la composición fenólica (principalmente antocianos), astringencia y color, en diversos vinos tintos previo a la crianza en barricas. Los resultados demostraron que aquellos vinos tratados presentaron un color ligeramente menos intenso y más evolucionado a matices de color amarillo, pero esta intensidad colorante fue superior al final de la crianza, debido a una evolución más lenta. Por otro lado, la concentración de antocianos totales fue menor en los vinos con adición de oxígeno respecto a los vinos sin tratar, sin embargo, la cantidad de antocianos combinados fue mayor, probablemente debido a que la presencia de oxígeno conduce a la formación de acetaldehído por oxidación de los peróxidos a partir de etanol, que actúa como puente de unión entre antocianos y flavanoles, originando polímeros muy estables” (Nicolás Vivas & Glories, 1996). Adicionalmente, se produciría un aumento en la polimerización de proantocianidinas (taninos condensados), lo que se traduciría en una precipitación de la materia colorante inestable en la barrica o cuba y no en la botella, originando vinos más estables en términos de color y taninos, con una consiguiente disminución de la astringencia (Guillou-Calderón, 2012).

Durante la crianza en barrica, se producen modificaciones en la composición de los vinos debidas al aporte de sustancias propias del roble, principalmente compuestos aromáticos y taninos, y a los fenómenos oxidativos que tienen lugar. El origen de la madera de roble, está estrechamente relacionado con las especies cultivadas en cada zona, y con la técnica tonelera aplicada en la fabricación de la barrica, especialmente el grado de tostado, son los factores que más influyen (Martínez-García, Barua-González, & Gutierrez-Viguera, 2006).

Las diferentes condiciones climáticas y edáficas, unidas a las distintas especies cultivadas en cada zona, dan lugar a variaciones en la composición de la madera de

---

---

roble, por lo tanto el origen geográfico es una de las variables determinantes de los caracteres sensoriales de los vinos. Los robles franceses (*Quercus petraea* o *Quercus sessilis*) comunican más carácter aromático a los vinos, mientras que los americanos (*Quercus alba*) aportan menos taninos y por ello los vinos son más suaves (Feuillat, 1982; Francis et al., 1992; Pontallier et al., 1982; Sefton et al., 1993) citados por (Martínez-García et al., 2006). Los compuestos de la madera de roble con mayor incidencia aromática en el vino son: la whisky-lactona (olor a coco, madera, tostado), presente en dos formas isoméricas (*cis* y *trans*), los fenoles volátiles (con aromas a especias, humo, farmacia, cuero), los aldehídos furánicos (aromas a caramelo y almendra) y los aldehídos fenólicos entre los que destaca la vainillina (Martínez-García et al., 2006).

### 2.2.3. *La influencia de las barricas en el sabor*

El principal objetivo del proceso de maduración, añejamiento o crianza en barricas, no es aportar compuestos químicos a la bebida, debido el proceso para que la madera influya en el sabor y olor de las bebidas no se consigue con una simple infusión, las cuales están prohibidas en las bebidas que cuentan con denominación de origen. Por lo tanto, se requiere un proceso progresivo para que la madera, debido a su porosidad y a su aptitud para ceder taninos hidrolizables (elagitaninos), induzca los mecanismos de oxidación lenta y continua llamada microoxigenación favorecidas por el ácido gálico y los elagitaninos (N Vivas, 2005).

Desde el punto de vista de la tonelería entendida como el arte de construir recipientes de madera para el depósito de diferentes bebidas alcohólicas que se pretenden añejar, como pueden ser cubas, barricas y algunos otros productos; la barrica es considerada un elemento de filtración y soporte del conjunto de reacciones que desencadena la microoxigenación, por lo tanto, su influencia barrica está definida por las características de la madera, fundamentalmente su tipo de

---

---

---

---

grano (la densidad de la madera determina sus propiedades de porosidad y permeabilidad), y el tratamiento mecánico al que haya sido sometido: hendido o aserrío (Hueso, 2002).

Hay que resaltar que una barrica nueva aporta una mejora gustativa y olfativa a las bebidas que se añejen o maduren, siempre y cuando, no domine el sabor y olor de la madera, si no que se obtenga un producto equilibrado, o como lo describe (N Vivas, 2005): un conjunto armonioso e íntimamente amalgamado.

Una barrica usada o reutilizada aporta características mas débiles o discretas, incluso en algunas ocasiones podría aportar características que pueden ser consideradas como defectos por ser productos no armoniosos con la bebida, como una acidez volátil, acetato de etilo, y/o endurecimiento del vino por redisolución de aniones de sulfato. Hay que destacar que si el mantenimiento de la barrica no es el adecuado, podría provocar resultados no deseables. Por lo tanto, el modo de maduración, crianza o añejamiento, así como el mantenimiento adecuado de la barrica, deben ser adaptados al tipo de bebida, y en particular a su estructura fenólica (N Vivas, 2005).

El tipo de barrica empleada, nueva o reutilizada depende del tipo particular de bebida, por ejemplo las barricas nuevas aportan al vino mayor intensidad de sabor a vainilla, lo cual no siempre es apreciado. Por ejemplo en Burdeos, Borgoña y en muchas zonas de España, se utilizan las propiedades del roble nuevo para los vinos tintos, y en menor medida para los blancos por la presencia del sabor a vainilla. Por el contrario, las regiones de Oporto, Jerez o Champagne, es indeseable el contacto del vino con la madera nueva. Para determinar la influencia de las barricas en el sabor final del producto se pueden tener en cuenta los siguientes factores:

- *Tamaño de la barrica*
- *Edad*

- 
- 
- *Origen geográfico de la madera*
  - *Especie con la que está hecha*
  - *Intensidad del tostado*

La estructura celular del roble varía según su origen: los vinificadores distinguen el grano cerrado o suelto, que depende de su crecimiento y por tanto, del bosque de donde proviene. Los robles que crecen lentamente, dan una madera de grano cerrado. Esta característica no sólo afecta su permeabilidad al aire sino también a sus componentes fenólicos (Hidalgo-Togores, 2003).

Los polifenoles contenidos en las células de roble son los que se buscan para ciertos vinos, por los aportes aromáticos que estos presentan. El roble del Lemousín<sup>1</sup>, que crece rápidamente, posee una estructura más tosca y aporta componentes aromáticos más poderosos que el de Berry<sup>2</sup>. Al proceder de una región situada más al norte, posee una mayor cantidad de sustancias aromáticas sutiles, tales como el eugenol y la lactona. En consecuencia, el roble del Lemousín se utiliza para los aguardientes como el Cognac, mientras que para los vinos se prefiere el de Berry (Martínez-García et al., 2006), (Chatonnet & Dubourdieu, 1998).

La relación entre la masa del líquido y la superficie de madera con la que está en contacto es un factor que influye en el desarrollo de la maduración. Por lo tanto, una

---

<sup>1</sup> **Lemosín** o **Limusín** es una región metropolitana francesa conformada por los departamentos de Creuse, Corrèze y Haute-Vienne. Ocupa la parte occidental del Macizo Central y limita con las regiones de Centro, Auvernia, Mediodía-Pirineos, Aquitania y Poitou-Charentes.

<sup>2</sup> Berry fue una provincia de Francia durante el Antiguo Régimen con capital en Bourges.

---

---

barrica nueva, aportará mayor cantidad de componentes aromáticos al vino, ya que tiene un mejor intercambio de oxígeno debido a que sus poros no están cerrados por los depósitos de vino y el oxígeno penetra más fácilmente; además de que el roble nuevo añade mayor cantidad de taninos y de sustancias “suavizantes”, procedentes de la celulosa de la madera y más aroma a vainilla, específico de la madera nueva (Chatonnet & Dubourdieu, 1998).

La experiencia ha demostrado que la intensidad del tostado provoca diferencias en la crianza de los vinos. Un tostado fuerte carboniza el tonel y produce un filtro de carbón de leña entre el vino y la madera, lo que origina aromas fuertes y una gran variedad de componentes fenólicos. Finalmente, un tostado más suave permitirá una mejor extracción de los componentes de la madera responsables de la astringencia (Hidalgo-Togores, 2003).

Las moléculas más frecuentemente citadas por su aporte de las barricas son:

- *“Los isómeros de la  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octolactona (Whisky-lactona). Los cuales representan la mayor parte del potencial aromático de la madera fresca, pudiendo incrementarse durante el secado natural y el tostado de la barrica.*
- *El eugenol, con olor a clavo, es un fenol volátil que se encuentra en la madera fresca. Su contenido aumenta algunas veces durante el secado y durante el tostado.*
- *La vainilla, cuyo papel organoléptico es aún objeto de discusión, participa débilmente en el aroma de la madera fresca; este aldehído fenólico aumenta significativamente durante la operación del tostado.*

Existen otras familias de compuestos odorantes pero su participación en el aroma de la barrica o madera, es minoritaria (N Vivas, 2005).

---

---

#### 2.2.4. Caso particular de los aguardientes.

El objetivo de la crianza en barrica de los vinos blancos secos es la interacción madera/vino/biomasa levaduriana, mientras que en los vinos tintos es favorecer las reacciones de óxido-reducción lentas y continuas. Por su parte en el caso de los aguardientes, se busca el aporte de los constituyentes de la madera responsables del color, del sabor y del aroma, por procesos oxidativos, los cuales participan en la evolución de los aguardientes en barricas (N Vivas, 2005).

El proceso de maduración y añejamiento está caracterizado por los cambios del color, olor y sabor en la bebida de la que se trate independientemente del contenido alcohólico de ésta. Esos cambios se deben a los cambios en la concentración de sus componentes, y pueden ser causados por:

1. *Extracción directa de compuestos presentes en la madera.*
2. *Descomposición de macromoléculas de la madera y extracción de productos del destilado.*
3. *Reacciones entre componentes de la madera y constituyentes del destilado original.*
4. *Reacciones que involucran únicamente extractivos de la madera.*
5. *Reacciones que involucran únicamente componentes de la bebida.*
6. *Evaporación de compuestos volátiles.*

De las cuales se sugiere que la extracción y transformaciones subsecuentes de la barrica son lo mas importante para el sabor final de la bebida (Moselade & J.L., 1998).

---

---

En la maduración de aguardientes en barricas, se incrementan los compuestos fenólicos. Por lo tanto, a fin de limitar la acumulación de compuestos solubles y simultáneamente permitir los fenómenos oxidativos, se emplean barricas usadas de varios años. Puede incluso preferirse maderas de grano cerrado más pobres en extracto seco que las barricas de grano grueso.

Durante todo el tiempo de estancia en barrica se producirán:

- *La hidrólisis de los polisacáridos en oligosacáridos y en monosacáridos que permiten la aparición y acumulación de azúcares (hexosas y pentosas).*
- *La alcoholólisis de las ligninas, cuyo efecto es la formación de aldehídos fenólicos (vainilla, siringaldehído, coniferaldehído y sinapaldehído) que pueden oxidarse en los ácidos correspondientes, según el proceso clásico establecido por (Puech, 1978) citado por (N Vivas, 2005).*
- *La hidrólisis en medio etanólico, la oxidación y la polimerización de los elagitaninos produciendo formas fenólicas de elevado peso molecular poco astringentes y frecuentemente coloreadas (Vivas, 2005).*

---

---

## 2.3. BARRICA

### 2.3.1. Historia de la barrica

La barrica (Figura 2.2) se inventó para conservar y transportar líquidos en las mejores condiciones (N Vivas, 2005). Y su origen se le atribuye a los Celtas. El hábitat de estos pueblos, ubicado entre bosques, hizo de la madera la principal materia prima de sus actividades. La conexión entre el vino y los envases de madera se relaciona con las invasiones Celtas de la Galia central hacia el siglo IX antes de Cristo. De esta manera, a través de los Galos, confluyeron el arte de fabricar toneles y la producción de vino.



Figura 2.2. Barrica de 225 litros con aros galvanizados.

En un principio, el vino se valió de estos recipientes de madera para el almacenamiento, el transporte y conservación, debido a la incidencia negativa que ejercía el contacto con el aire en la conservación de los vinos. Además, la madera tenía una gran ventaja respecto a las ánforas o recipientes de barro, ya que su menor porosidad atenuaba la oxigenación del vino. Por otro lado, la madera tenía virtudes evidentes en el transporte, ya que es un material más sólido que el barro cocido, y además, su forma cilíndrica facilitaba mediante el rodamiento su movimiento incluso en recipientes de gran tamaño (N Vivas, 2005)



---

---

Inicialmente la materia prima para la elaboración de toneles se extrajo de árboles muy diversos. El principal requisito que debían reunir, era que aportaran suficiente dureza y escasa porosidad, para asegurar resistencia, impermeabilidad y moderada oxidación. Con estas premisas, lo más habitual era emplear los árboles de cada entorno, ya que el transporte era bastante costoso, de manera que la fabricación de toneles se realizó a partir de maderas de roble (*Quercus alba*, *Quercus sessilis*), castaño (*Castanea sativa*), cerezo (*Prunus cerasus*), fresno (*Fraxinus excelsior* L.) y en menor medida, de haya (*Fagus sylvatica*) y sauces (*Salix alba* y *Salix spp.*); entre otras especies en menor proporción como la acacia (*Acacia spp.*) y las moreras (*Morus spp.*) (Díaz-Morrás & Vivanco-Sáez, 2007), (N Vivas, 2005), (Blouin & Peynaud, 2003).

Cuando se revisan a detalle las propiedades mecánicas de la madera, su porosidad, permeabilidad y composición química, se puede observar que algunas especies americanas y europeas del género *Quercus spp.*, debido a que responden de forma complementaria a los requerimientos:

- *Gran facilidad de curvarse bajo la acción del calor, vapor o agua caliente.*
- *Excelente porosidad a los gases asociada a características anatómicas que limitan la permeabilidad a los líquidos.*
- *Posibilidad de formar durante el tostado moléculas odorantes que suponen una aportación positiva o agradable a la bebida.*
- *Presencia de moléculas astringentes pero con pocos productos amargos fácilmente eliminables por el secado y lixiviado natural.*
- *Ligereza relativa de los materiales que permite la construcción de recipientes de poco peso en relación con su capacidad.*

- 
- 
- *Resistencia natural del material de ataque de los micro-organismos. El roble es una madera considerada dura y poco putrescible. Debido a su impregnación por la lignina y los taninos (N Vivas, 2005).*

### 2.3.2. El proceso de elaboración de una barrica

Una vez talado el roble, se reservan las partes del árbol sin nudos, para evitar pérdidas de líquido y oxidación a través de ellos. De esas partes se cortan trozas, que reciben en francés el nombre de *billons*, con un diámetro entre 50 y 60 centímetros y una longitud ligeramente superior a la que tendrán las futuras duelas o tablas que componen una barrica. Las trozas se cortarán a continuación en cuarterones (Blouin & Peynaud, 2003). Estas se cortan por el sistema de hendido (Figura 2.4), a fin de evitar la apertura de los poros. De cada cuarterón se obtienen dos duelas, que se dejan secar durante un periodo de entre 18 y 36 meses (Blouin & Peynaud, 2003; Rodríguez-Rodríguez, 2011), como se puede apreciar en la Figura 2.3.



Figura 2.3. Ejemplos de hendido y aserrado de cuarterones.



Figura 2.4. Hendido por medio hidráulico.

#### 2.3.2.1. Armado de la barrica

Las duelas se colocan verticalmente (Figura 2.5), y por medio del aro armador se juntan por sus cantos hasta completar una circunferencia. Una vez que se ha dado esta forma, se introducen dos aros metálicos (aros de formación) que se emplearán durante todo el proceso de fabricación de la barrica para que no se desajusten las duelas. Es importante destacar que entre las duelas no hay ningún elemento que las ensamble, sino que se fijan por la presión que ejercen unas sobre otras. Las barricas bordelesas<sup>1</sup> requieren de 28 a 32 duelas para el cuerpo y entre 10 y 18 tablas para los fondos (Rodríguez, 2011).

---

<sup>1</sup> La barrica bordelesa es la que se fabrica con madera de *Quercus sessilis* y *Quercus petraea*, proveniente de la región de los bosques de Francia.



Figura 2.5. Alineación de duelas para el armado de la barrica.

#### 2.3.2.2. Curvado y tostado

Se curvan las duelas de la barrica para formar el ensanchamiento o barriga central. Para ello se coloca un brasero en el interior del casco, se moja la barrica y, con una cuerda y una soga que abraza la parte inferior de la barrica, se presiona poco a poco la madera (Figura 2.6). La combinación del fuego, el agua y la soga otorgan la forma definitiva a la barrica. Las llamas del brasero aportarán el tostado al interior de la barrica (Figura 2.7), que posteriormente se mostrará en el vino en forma de aromas empireumáticos (serie de olores a azúcar quemado, humo, alquitrán, yodo, etc. generalmente desagradables) (Díaz-Morrás & Vivanco-Sáez, 2007).



Figura 2.6. Lazo con el que se cierra la parte inferior de la barrica para lograr el curvado final de la barrica.

El tostado de las barricas es necesario para doblar las duelas y otorgar a la barrica su geometría característica (Figura 2.6). A pesar de que el domado de las duelas se puede conseguir rápidamente (unos 15 minutos), la mayor parte de los toneleros acostumbra a alargar el proceso del tostado, para modificar el futuro impacto organoléptico de la barrica sobre el vino. De hecho, los toneleros hablan generalmente de tostado de formación y de tostado de afinado para distinguir el proceso imprescindible de moldeado de las duelas y la consiguiente generación de aromas (Zamora-Marín, 2005).



Figura 2.7. Introducción de la barrica al braceró para el inicio del tostado y curvado de la barrica.

---

---

A efecto de realizar el proceso de tostado, éste se lleva a cabo por varios métodos:

#### 2.3.2.2.1. Bracero con recortes de madera.

El combustible tradicionalmente utilizado son los recortes de madera o las piezas que después del secado se consideraron defectuosas, las cuales se queman en un bracero (Figuras 2.7 y 2.8). Debido a que la forma y dimensiones del bracero son muy variables (diámetro de 20 a 50 cm y altura entre 30 y 50 cm), la repartición del calor se asegura por aperturas dispuestas en forma vertical u horizontal, con una anchura de 3 a 15 cm, o por agujeros de un diámetro entre 1 a 3 cm como se puede apreciar en la Figura 2.7. Debe evitarse quemar maderas que puedan dar al arder olores particulares, tal como ocurre con las maderas resinosas.



Figura 2.8. Introducción de recortes de madera al bracero interior para el proceso de tostado.

#### 2.3.2.2.2. Gas

La utilización de gas permite disponer de una fuente de intensidad regulable (Figura 2.10). Este sistema de calentamiento es utilizado frecuentemente en Estados Unidos para las barricas destinadas a whiskey, en donde la intensidad del calentamiento es

---

---

elevada y superficial, de modo que la influencia del tostado en los productos de crianza de estas barricas se limita a la coloración. Puede utilizarse gas para el tostado de los fondos.

#### 2.3.2.2.3. Vapor de agua o agua caliente

El agua caliente (Figura 2.9) o el vapor de agua pueden ser utilizadas únicamente para preparar la madera antes del doblado, debido a que la inmersión permite lavar ciertos compuestos, principalmente sustancias fenólicas hidrosolubles con caracteres amargos y astringentes. Si la utilización del agua o del vapor se hace de manera conveniente, no se observarán más roturas en el domado. Este modo de calefacción tiene la ventaja de ser más rápido que el de calentamiento tradicional de bracerero.



Figura 2.9. Mojado de la madera durante el proceso de tostado.

---

---

#### 2.3.2.2.4. Resistencia eléctrica

Las resistencias eléctricas son utilizadas para el tostado de los fondos. Este sistema permite una intensidad de calor variable, ajustando la intensidad de la corriente eléctrica. El tostado sin embargo es relativamente superficial y más intenso que el obtenido por métodos tradicionales. Una ventaja de éste es que permite la automatización, la uniformidad de los tostados e incrementa el ritmo de producción. Los resultados obtenidos con el tostado eléctrico son superiores a los obtenidos por gas.



Figura 2.10. Tostado de barricas por el método de gas.

#### 2.3.2.2.5. Generador de ondas infrarrojas

Es una tecnología relativamente reciente que permite proveer hasta una profundidad determinada una cantidad de calor repartida de forma homogénea e intensidad constante. La regulación de emisión de ondas infrarrojas garantiza temperaturas aplicadas durante un tiempo dado.



---

---

Su ventaja reside en el perfecto control del aporte calórico en el espacio y en el tiempo. El sistema podría ser útilmente aplicado en unidades de producción industriales sustituyendo a las instalaciones de gas y eléctricas (N Vivas, 2005).

### 2.3.2.3. El calentamiento del proceso de tostado

Las temperaturas que se alcanzan en el interior de la barrica varían en función de la duración del calentamiento, como se puede apreciar en la Tabla 2.4.

El calentamiento se clasifica en tres categorías, según el tiempo y la temperatura en la superficie de la madera, medida en el interior del casco, como se puede observar en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4. Relación de temperatura y tiempo para los distintos tipos de tostado por medio del método de bracero.**

<b>Tipo de tostado</b>	<b>Duración (Min)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Débil	30	120 - 130
Medio M -	35	160 - 170
Medio M +	40	180 - 190
Fuerte	45	200 - 210

---

---

Los valores de la Tabla 2.4 pueden variar de una tonelería a otra. Sin embargo esta etapa es muy importante para la calidad aromática conferida a las bebidas, por lo que se requieren métodos más objetivos de control, tomando en consideración los siguientes aspectos:

- *La temperatura a la que la barrica puede inflamarse es aproximadamente a 250 °C.*
- *Se deben considerar los parámetros térmicos que condicionan la aparición de ampollas: temperaturas para las que la producción de gas en la madera se hace superior a su escape en donde las fibras se desencolan brutalmente en zonas delimitadas en forma circular. Para evitarlo conviene limitar el aumento de temperatura ( $\leq 7$  °C/min) y mantener niveles inferiores a 250 °C.*

Las humectaciones frecuentes permiten prevenir estos accidentes, pero si se realizan en exceso, las temperaturas que se alcanzan no son las suficientes. Se calcula que una humectación permite un enfriamiento en superficie de entre 20 y 50% sin afectar las capas profundas.

#### 2.3.2.4. Ensamble final

Antes de colocar los fondos es necesario preparar los extremos de la barrica (Figura 2.11). Esta fase se conoce como el descabezado, mediante el cual se biselan los bordes de la barrica donde se ajustarán los fondos. Para realizar los fondos se unen varias tablas, normalmente en número impar, por medio de clavos de doble punta. Los bordes de la tapa adquieren forma de cuña para provocar un correcto encaje en el jable. El aro armador se quita para encajar los fondos, y a continuación se introduce en el jable una masa de engrudo (agua y harina) para facilitar un correcto ensamblaje y evitar fugas. Finalmente se colocan los sellos definitivos, que son más

---

---

finos que los aros de armar para facilitar el movimiento de las barricas, y se repasa la parte exterior con bastrenes y rascadores para otorgarle un aspecto óptimo. Tras abrir la corchera u orificio de llenado, la barrica se llena de agua hirviendo y vapor para provocar su hinchado y evitar fugas (Zamora-Marín, 2005).

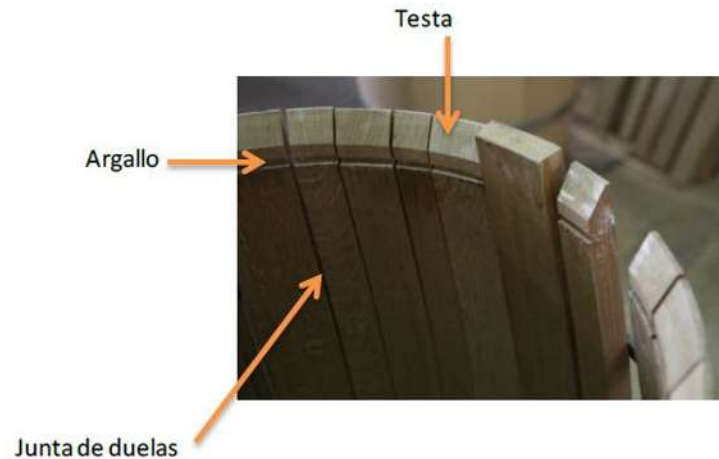


Figura 2.11. Detalle de alineación de las duelas respecto al jable.

#### 2.4. MADERA

La madera de roble blanco “encino” (*Quercus spp.*), es un género con una amplia distribución geográfica así como de una gran diversidad, se que estima existen en el mundo alrededor de unas 450 especies de encinos, de las cuales cerca de 250 existen en el continente americano. En México no se ha podido precisar el número de especies endémicas debido a la naturaleza complicada del género así como sobre su status y sus relaciones taxonómicas (Zavala-Chávez, 1998), preliminarmente se identificaron 161 especies del género *Quercus*, ubicadas en tres secciones: 76 en la sección Lobatae (encinos rojos), 81 en la sección *Quercus* (encinos blancos) y cuatro especies en la sección *Protobalanus* (encinos intermedios) (Valencia-A., 2004). En la familia Fagaceae el género *Quercus* es el

---

---

que presenta mayor distribución en todo el mundo. Debido a que se encuentra en casi todos los bosques templados del hemisferio norte como se aprecia en las Figuras 2.12 y 2.13 y 2.14, así como en algunas regiones tropicales y subtropicales del mismo. Incluso existen algunas especies en hábitats más secos, en el sureste de Asia y nororiente de África.



Figura 2.12. Distribución del género *Quercus* en Estados Unidos.



Figura 2.13. Distribución del género *Quercus petraea* en Europa.



Figura 2.14. Distribución del género *Quercus robur* en Europa.

---

---

En América se localiza desde Canadá hasta Colombia, incluyendo Cuba. Se reconocen dos centros de diversidad para el género, el primero se localiza en el sureste de Asia con alrededor de 125 especies, el segundo se presenta en México, particularmente en las regiones montañosas, en donde forman parte importante de los bosques templados. Asimismo, teniendo en cuenta el número de especies estimadas para el continente americano (alrededor de 234), en México se encuentra el 68.8% de estas, superando así a las que se presentan en Estados Unidos, 90 especies, que corresponden a 38.4% (Valencia-A., 2004).

Recientemente ha llamado la atención estudiar los encinos de México, pues parecía haberseles marginado, tal vez por su taxonomía complicada y porque muchas especies son poco conocidas (Zavala, 1990). La variabilidad morfológica es elevada, lo cual podría indicar una plasticidad fenotípica considerable, además de hibridarse con relativa facilidad y mostrar, consecuentemente, introgresión genética. Como resultado, una variabilidad tal, que se han descrito muchas más especies de las que parece haber realmente, hay varios nombres vulgares de especies de encinos, particularmente para las especies de encinos mexicanos. Muchos nombres han aumentado la lista de sinonimias y otros permanecen en duda para incorporarlos a la relación de especies aceptadas en la literatura taxonómica del género. (Zavala-Chávez, 1998). Se calcula que 109 especies son endémicas del país, de las cuales 47 pertenecen a la sección *Quercus*, 61 a la sección *Lobatae* y una a *Protobalanus*. México comparte con Estados Unidos 33 especies del género, mientras que con centroamérica comparte 20. Los estados con mayor diversidad de especies son Oaxaca, Nuevo León, Jalisco, Chihuahua y Veracruz. (Zavala-Chávez, 1998).

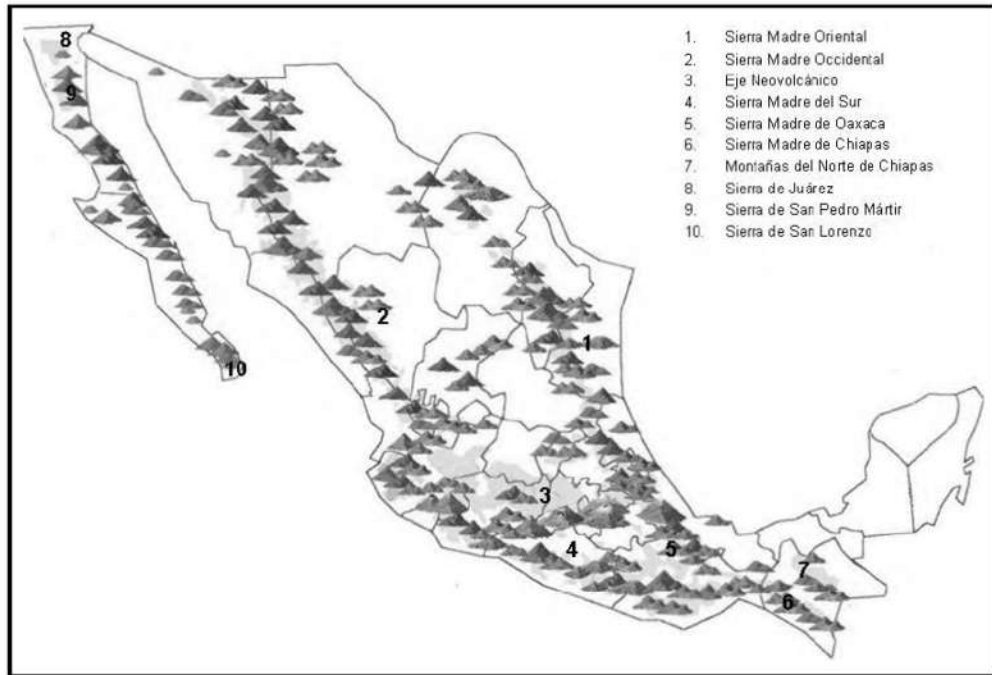


Figura 2.15. Regiones fisiográficas donde se distribuye del género *Quercus* en México.

Las especies con distribución más amplia en nuestro país son:

- *Quercus candicans*
- *Quercus castanea*
- *Quercus crassifolia*
- *Quercus laeta*
- *Quercus microphylla*
- *Quercus obtusata*
- *Quercus rugosa*.

---

---

Altitudinalmente, las especies de *Quercus* se desarrollan entre 0 y 3,500 msnm, pero son más frecuentes entre los 1,000 y 3,000 msnm. El conocimiento del género *Quercus* en México es aún deficiente y se necesita realizar más estudios en torno a este importante género (Valencia-A., 2004).

Una de las razones principales por las que se usa la madera de *Quercus spp.* en la fabricación de barricas, es la presencia de tilides que cubren los huecos intercelulares, proporcionándole la característica de impermeabilidad (Miller, 1999). Esta tilidosis (Figura 2.16, 2.19 y 2.20) típica del género se complementa de forma ideal con el proceso de tostado por el que pasa la madera durante el proceso de fabricación (N Vivas, 2005), debido a la presencia de celulosa y hemicelulosa hidrolizadas, como consecuencia de la elevación de la temperatura de la madera durante ese proceso y con los taninos elágicos, ya que se considera que estos compuestos le aportan sabores deseables a los vinos y bebidas destiladas (Hueso, 2002).

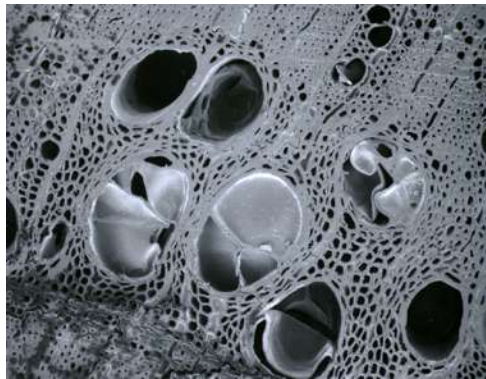


Figura 2.16. Tilosis en células de *Quercus alba* (Curtis, Lersten, & D., 2015)

#### 2.4.1. Descripción botánica del género *Quercus*.



---

---

#### 2.4.1.1. Descripción general

Son árboles (Figura 2.16 y 2.17) o arbustos con raíces que penetran profundamente en el suelo, su tronco es recto y elevado, ramificándose a cierta altura que le hace adquirir un aspecto de matorral (N Vivas, 2005).



Figura 2.16. Árbol de *Quercus alba*.



Figura 2.17. Árbol de *Quercus sessilis*.

Fruto con una semilla por atrofia de las otras 5, las cuales quedan adheridas a ella; fruto colocado en un involucre escamoso. Las hojas son alternas, tiesas y coriáceas, variadas en su forma y tamaño, lo mismo que en el color, predominando el verde en todas sus tonalidades, pero en algunas especies son glaucas o azulosas; en otras las hojas tiernas son de color rojizo o rojizo violáceo. Las hay de borde entero, aserrado o dentado, ondulado o lobulado; a veces los dientes se prolongan en puntas agudas (Martínez, 1981).



Figura 2.18. Partes del *Quercus alba*.

Cuando se presenta en forma de árbol, éste llega a alcanzar los 20 m de alto, con tronco de 45 cm de diámetro, con ramas fuertes, de 3 a 4 cm de diámetro y con lenticelas muy visibles. Hojas duras y coriáceas, de 8 a 10 cm de largo por 3 a 5 de ancho, ampliamente elíptico-obovadas, haz brillante y casi liso, envés tomentoso, margen crenado-aserrado hacia el ápice. El fruto (bellota) es ovoide a largamente ovoide, de 12-20 mm de largo, anual, solitario o en grupos de 2 a 3, en un pedúnculo de 3 a 6 cm de largo (Pérez-Olvera, Vélez-Jimenez, & Ceja-Romero, 2006).

El género *Quercus* está conformado por más de 600 especies, pero únicamente una quincena son utilizadas en la tonelería (Hidalgo-Togores, 2003).

---

---

2.4.1.2. Clasificación Botánica (BayScience Foundation, 2009).

Reino Vegetal	Plantas
Phylum: Tracheophyta	Plantas Vasculares
Clase: Magnoliopsida	Dicotiledóneas
Orden: Fagales	
Familia: Isotomoidea	
Subfamilia: Fagoideae	
Tribu: Anemoneae	
Género: <i>Quercus</i>	Linnaeus, Carolus

2.4.1.3. *Quercus* europeos

En Europa las distintas especies se agrupan en cuatro subgéneros, cuya distribución territorial se encuentra muy mezclada, destacando entre ellas las siguientes:

Subgénero *Quercus* oersted (antiguo *Lepidobalanus*) :

- *Quercus congesta*
- *Quercus faginea* (roble portugués o quejido).
- *Quercus farnetto* (roble húngaro)
- *Quercus fructicosa* (roble lusitano)
- *Quercus infectoria*

- 
- 
- *Quercus petraea* o *sessilis* (roble sésil)<sup>1</sup>
  - *Quercus pubescens* o *lanuginosa* (roble pubescente o blanco)
  - *Quercus pyrenaica* (roble negro o rebollo)
  - *Quercus robur* o *pedunculata* (roble común, albar, o del país)
  - *Quercus canariensis* (quejigo)

Subgénero *Erythrobalanus*:

- *Quercus rubra* (roble rojo americano)

Subgénero *Cerris*:

- *Quercus cerris* (roble turco)
- *Quercus suber* (alcornoque)<sup>2</sup>
- *Quercus troyana* (roble macedonio)

Subgénero *Sclerophyllodrys*:

- *Quercus alnifolia* (roble chipriota dorado)
- *Quercus coccifera* (coscoja)

---

<sup>1</sup> Es el de mayor uso en tonelería, para la barrica europea.

<sup>2</sup> Usado principalmente para el uso del corcho para embotellar vinos, y otros usos.

- 
- 
- *Quercus ilex* (encina)

Los robles europeos más utilizados en la construcción de barricas son el *Quercus petraea* o *sessilis*, cultivado en la zona central de Francia: Allier, Argonne, Borgoña, Centro, Nièvre y Vosgos, donde prefiere los suelos más pobres, arenosos y es menos exigente en luminosidad. Se cultiva según la técnica de “haute futaie” (bosque alto) lográndose árboles más delgados y altos, con una mayor densidad de plantación y obteniéndose una madera más porosa de grano más grueso y más rico en polifenoles. Estas mismas especies de roble se encuentran repartidas prácticamente por todo el continente europeo (Hidalgo-Togores, 2003).

#### 2.4.1.4. Quercus Americanos

En este caso se utilizan los siguientes:

- *Quercus alba* forma *latiloba* (Sarg.) EJPalmer y Steyerm.
- *Quercus alba* var. *Latiloba* sarg.
- *Quercus alba* var. *Longigemma* Trel.
- *Quercus alba* var. *Microcarpa* A.DC.
- *Quercus alba* forma *pinnatifida* (Michx.) Rehder
- *Quercus alba* var. *Pinnatifida* Michx.
- *Quercus alba* var. *Pubescens* (Willd.) Willd.
- *Quercus alba* var. *Repanda* (Michx.) Michx.
- *Quercus alba* var. *Ryderi* Trel.
- *Quercus alba* var. *Subcaerulea* Pickens & M. Pickens

- 
- 
- *Quercus alba* var. *Subflavea* Pickens & M. Pickens
  - *Quercus alba* *sublyrata* forma Trel.
  - *Quercus alba* forma *viridis* Trel.
  - *Quercus candida* Steud.
  - *Quercus nigrescens* Raf.
  - *Quercus ramosa* Dippel
  - *Quercus repanda* Michx.
  - *Quercus retusa* Raf.

#### 2.4.1.5. *Quercus alba*

Puede ser identificado por sus hojas, compuestas por siete lóbulos separados; la extremidad del lóbulo medio es plana, los dos primeros lóbulos laterales son más anchos que el tercero y su extremo es plano, mientras que el del tercero es redondeado (Figura 2.18). La corteza está formada por pequeñas placas de súber poliédrico de color amarillo ceniza. El color de la madera es muy pálido.

*Quercus alba* posee una ultraestructura similar a la de *Quercus robur* y *Quercus petraea*. Sin embargo, tiene un carácter distintivo que puede conferirle propiedades particulares: sus tálides son más espesos que los de *Quercus robur* y *Quercus petraea*.

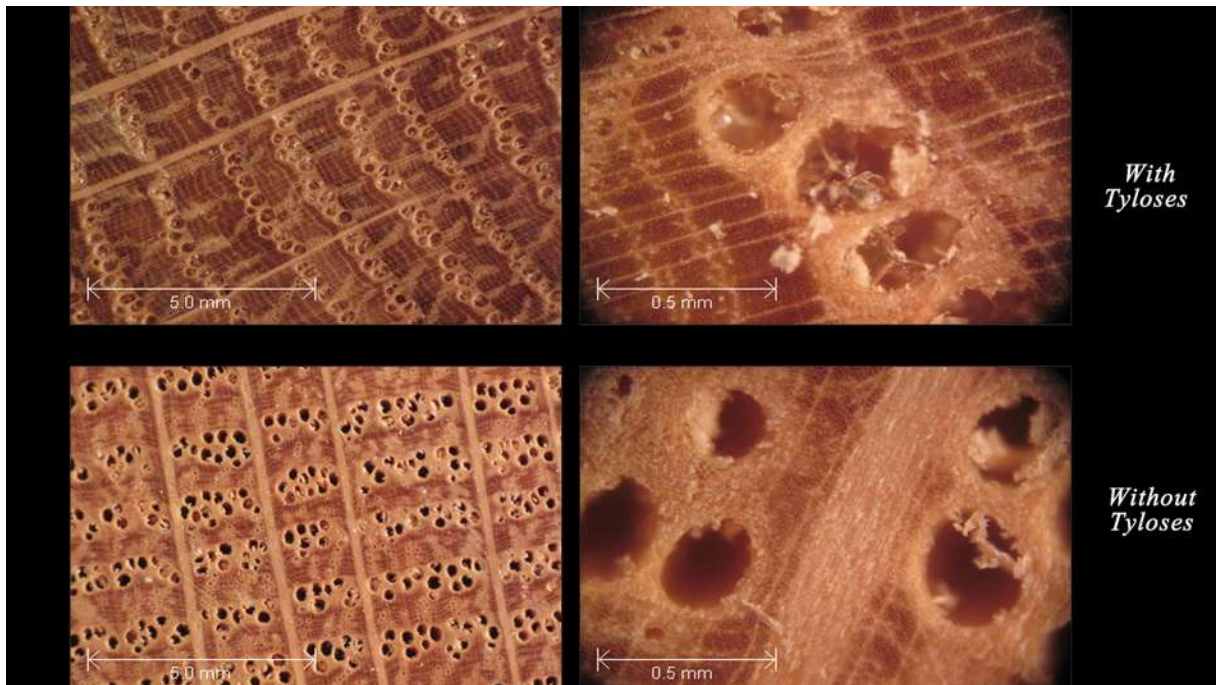


Figura 2.19. Tilosis en *Quercus spp.* (Fikardos, 2015)

El espesor de las tílides de *Quercus alba* varía entre 2 y 4  $\mu\text{m}$ , mientras que los de *Quercus robur* y *Quercus petraea* son al menos diez veces más débiles.



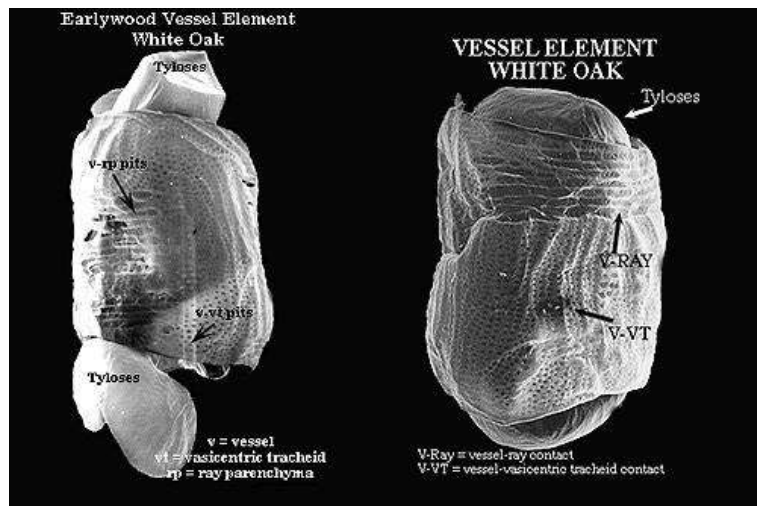


Figura 2.20. Tilosis vista en un vaso de *Quercus alba* (Wheeler, 1996).

Esta particularidad es importante, porque explica la posibilidad de producir barricas impermeable aun con madera aserrada (N Vivas, 2005).

#### 2.4.1.6. Nombres vulgares:

En Europa es ampliamente conocido como roble. En México se usa el nombre encino, para las especies de hojas perennes y roble para las especies de hojas caducas; también se utilizan los nombres de charrasquillo, encinilla, ahoatl, ndeza, yagacino (Martínez, 1981), encino cuero, encino blanco liso, encino de asta, encino avellano, encino tocz, encino quebracho, encino roble, encino hojarasca y encino negro entre otros varios (Pérez-Olvera, Dávalos-Sotelo, & Guerrero-Cuacuil, 2000).

#### 2.4.1.7. Distribución en México

Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca,

---

---

Chiapas, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, México, Distrito Federal, Morelos, Puebla y Veracruz (Figura 2.15).

#### 2.4.1.8. Características macroscópicas de la madera

La madera presenta diferencia de color entre albura y duramen. La albura es de color castaño muy pálido (10YR 8/3) y el duramen es de color castaño amarillento (10YR 5/3). Los radios multiseriados en la albura son de color gris claro (10YR 7/2) contrastando levemente con los demás elementos celulares. Los radios multiseriados en el duramen son de color castaño grisáceo oscuro (10YR 4/2) contrastando con los demás elementos celulares. No tiene olor ni sabor, el brillo es mediano, el veteado pronunciado, la textura gruesa y el hilo recto. Las zonas de crecimiento no están bien marcadas (Pérez-Olvera et al., 2006).

#### 2.4.1.9. Características microscópicas de la madera

La madera presenta porosidad difusa. Los poros son exclusivamente solitarios y se arreglan en hileras radiales y diagonales. Son poco numerosos, de contorno oval y circular, de diámetro tangencial mediano. Los elementos de vaso son de longitud mediana, con platina de perforación simple, paredes terminales oblicuas y punteaduras areoladas alternas de forma oval. Las punteaduras vaso-radio son simples, con bordes reducidos y arreglo vertical. Alrededor de algunos vasos de la madera temprana se encuentran traqueidas vasicéntricas. Los vasos presentan gran cantidad de tálides. El parénquima axial es difuso en agregados. Los radios son uniseriados y multiseriados, homogéneos, formados por células procumbentes. Los primeros son numerosos, de 12 células de altura. Los multiseriados son poco numerosos, altos y muy anchos. Presentan gran cantidad de gomas. Las fibras son

---

---

de tipo libriforme y fibrotraqueidas, de longitud mediana, diámetro fino y pared muy gruesa (Pérez-Olvera et al., 2006).

#### 2.4.2. Propiedades y composición química de la madera de *Quercus*

La madera de *Quercus spp.* presenta propiedades ideales para la elaboración de barricas, entre las que destacan la poca conducción del calor, resistencia a los golpes, composición química, porosidad y permeabilidad, que depende del sentido de colocación de las fibras (Llaudy-Fernández, 2006). Las especies de encinos blancos presentan gran cantidad de tílides en sus elementos de vaso, mientras que en los encinos rojos no se presentan o son escasas. En el caso de las especies, *Quercus glabrescens* presenta tílides en un 77% de sus elementos de vaso, seguido de *Quercus mexicana* con 24%, *Quercus affinis*, *Quercus crassifolia* y *Quercus laurina* con 2% (Honorato-Salazar, 1998). Esto hace *Quercus glabrescens* sea más impermeable y ofrezca cierta resistencia a la difusión de enzimas y la penetración de las hifas de los hongos (Honorato-Salazar, 2001). Químicamente de la madera de los *Quercus spp.* mexicanos presentan un mayor contenido de celulosa con respecto a especies congéneres que crecen en otras latitudes (Bárcenas-Pazos, Ríos-Villa, Aguirre-Rivera, Juárez Flores, & Honorato Salazar, 2008).

El duramen del *Quercus candicans* está formado por:

10.2 % de sustancias extraíbles

66.9 % de polisacáridos

21.4 % de lignina Runkel

0.9 % de cenizas

---

---

Y su composición elemental es: C = 47.2, H = 6.2 y O = 45.7 %. En las cenizas se detectaron los elementos K, Mg, Ca, P y S.

El pH del duramen es ácido, 5.6 (Rutiaga-Quiñones, Windeisen, & Strobbel, 2000)

Y otros componentes minoritarios, que varían en su concentración según la especie:

- *Polifenoles de bajo peso molecular:*

Ácidos, aldehídos benzóicos y alcoholes bencílicos (aldehídos, ácidos vainílico y siringílico); cinamínicos (coniferaldehído, sinapaldehído, eugenol y sus derivados); ácidos cinamínicos en su forma aglicona (aesculina, sabor amargo, escopolina, sabor ácido).

- *Lignanos, flavonoides y estilbenos*
- *Taninos hidrolisables*

(Galotaninos y elagitaninos que pueden encontrarse en sus formas libres o unidas a polisacáridos).

- *Taninos condensados en muy poca cantidad*
- *Compuestos alifáticos*

(Ácidos, oléico, linoléico y palmítico)

- *Compuestos aromáticos terpénicos, furánicos*

(Furfural, 5-hidroxi-metilfurfural). Lactonas ( $\beta$ -metil- $\gamma$ -octolactona,  $\beta$ -nonalactona, y  $\beta$ -decalactona)

- 
- *Carotenoides y derivados de su degradación*
  - *Esteroides*
  - *Oleoserinas*
  - *Ceras y minerales (Vivas, 2000) citado por (Llaudy-Fernández, 2006)).*

La especie de *Quercus alba* tiene un mayor potencial aromático que el *Quercus petraea*, debido a su alto contenido de *cis / trans*-isómeros de  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octolactona. Además, el *Quercus alba* es fácilmente identificado por la baja concentración de polifenoles totales extraíbles, el alto contenido de  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octolactona (Figura 2.21) y la presencia de dos isómeros de 3-oxo-retro- $\alpha$ -ionol. La cantidad de  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octolactona en roble blanco americano es elevada y podría tener influencia negativa en el aroma del vino. Brindando un adecuado control de las operaciones en barril podría facilitar la utilización de este tipo de roble, modelado por la liberación de sustancias volátiles y olores de la madera (Chatonnet & Dubourdieu, 1998).

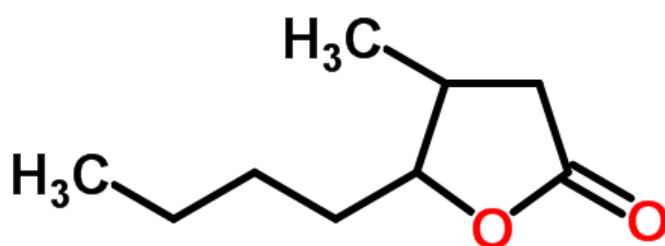


Figura 2.21. Fórmula general de la whisky lactona.

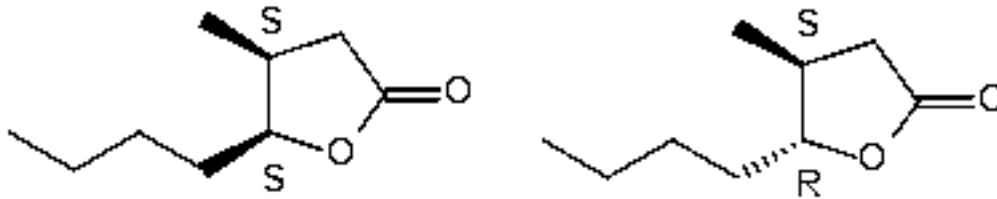


Figura 2.22. Fórmula general de los *cis* / *trans*-isómeros de  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octolactona, respectivamente (whisky lactona).

La madera de *Quercus spp.* presenta una gran variedad de compuestos volátiles minoritarios y compuestos fijos, es decir, las moléculas de bajo peso molecular y las macromoléculas respectivamente. En el duramen los compuestos pueden clasificarse según su aptitud para ser liberados:

- *Los compuestos solubles, que se liberan espontáneamente en el transcurso de la maduración, son esencialmente moléculas pequeñas, tales como las cumarinas, ácidos y aldehídos fenólicos, elagitaninos oligómeros, las osas<sup>1</sup>, aniones y cationes.*
- *Las sustancias extraíbles, las cuales requieren de un proceso de hidrólisis para disminuir su grado de reticulación y facilitar su liberación; ejemplos de*

---

<sup>1</sup> En química se usa este término para señalar a los azúcares en general.

---

---

*ello son los polisacáridos y las ligninas de ciertas cadenas que se rompen y permiten su extracción.*

- *Las sustancias ligadas, totalmente insolubles las cuales corresponden a las formas oxidadas y condensadas de elagitaninos, de polisacáridos y de ligninas incrustadas en las paredes celulares ligadas de forma covalentemente, se encuentran también fracciones fenólicas aprisionadas irreversiblemente en los poros de la madera. Este grupo es parcialmente accesible después de hinchar las paredes celulares con soluciones alcalinas (N Vivas, 2005).*

Como se mencionó anteriormente, una parte de los componentes de la madera se solubiliza y pasa de forma gradual a la bebida durante el añejamiento, por lo que esas sustancias influirán en la composición y calidad final de la bebida añejada.

#### *2.4.3. Principales sustancias volátiles procedentes del Quercus.*

La aportación de la de madera de *Quercus spp.* a los vinos y a las bebidas destiladas que se maduran en barricas depende de: la región donde se desarrolló el árbol, el método y tiempo de secado, la intensidad del tostado, la edad del árbol, edad de la barrica, y el número de usos que tenga la misma, el periodo de estancia en la barrica, así como las condiciones de temperatura, humedad y luminosidad en las que se desarrolló la maduración (Nicolás Vivas & Glories, 1996) (N Vivas, 2005) (Zamora-Marín, 2005) (Nicolas Vivas et al., 2013).

En un estudio realizado por (Zamora-Marín, 2005), en el que investigó la influencia en los aromas del vino, con del grado de tostado de las duelas, se encontraron una

serie de compuestos volátiles de importancia organoléptica, que aporta el *Quercus spp.* al vino (Zamora-Marín, 2005), (Tabla 2.5).

**Tabla 2.5. Relación de compuestos con su aroma y origen. Compuestos volátiles por grupo funcional obtenidos en vinos durante crianza en barricas (Zamora-Marín, 2005).**

GRUPO FUNCIONAL	COMPUESTO	AROMA	ORIGEN
Furanos	Furfural	Almendras tostadas	Polisacáridos
	Metilfurfural		
	Hidróximetilfurfural		
	Alcohol furfurílico		
Otros heterocícllos volátiles	Maltol	Caramelo, tostados	
	Dimetilpirazinas	Café, avellanas, tostados	
Ácido acético		Vinagre	
Aldehidos fenoles	Vainilla	Vainilla	Lignina
	Siringaldehído	-	
	Sinapaldehído	-	
	Coniferaldehído	-	
Fenil cetonas	Acetofenona	Vainilla	
	Acetovainillona		
	Propiovainillona		
	Butirivainillona		
Fenoles volátiles	Guayacol	Quemado	
	Metil-guayacol		



	Etil-guayacol		
	Eugenol	Clavo de especia	
	Etil-4-fenol	Sudor de caballo	
$\beta$ -metil- $\gamma$ -octolactona	Isómero <i>cis</i>	Nuez de coco, roble	Lípidos
	Isómero <i>trans</i>		

Los Furanos descritos en la Tabla 2.5 presentes en los vinos de crianza, son los responsables de los característicos y agradables aromas de almendras y almendras tostadas (Tabla 2.5).

El maltol y otros heterociclos oxigenados otorgan los aromas de caramelo y notas de tostado que también caracterizan a los vinos. Por su parte, las dimetilpirazinas, con notas de cacao, avellanas, pan tostado y café serán las responsables de la presencia de estos aromas en los vinos de maduración (Zamora-Marín, 2005).

De los compuestos aromáticos responsables del aroma a nuez de coco o madera de roble la principal molécula es la  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octolactona *cis* y *trans*, siendo la forma *cis* más odorante que la *trans*. El segundo componente más abundante es el eugenol, con olor fenólico similar a la especia llamada clavo. Cuantitativamente, el contenido medio de  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octolactona y eugenol es más elevado en los robles americanos que entre los robles franceses; el *Quercus petraea* es más rico en estas moléculas que el *Quercus robur*. (N Vivas, 2005).

En su conjunto, los furanos y los demás heterociclos volátiles se generan mediante la reacción de Maillard a partir de la celulosa y hemicelulosa de la madera de *Quercus sp.* durante el proceso del tostado de las duelas (Chatonnet & Dubourdieu, 1998) y Hodge, 1967 citados por (Zamora-Marín, 2005).

---

---

Asimismo, el tostado de las duelas genera ácido acético a partir de los grupos acetilados de las hemicelulosas lo que puede incrementar la acidez volátil de los vinos de crianza, especialmente cuando las barricas son nuevas, en las que puede llegar a alcanzar los 0.15 g/L. Aún así, la principal fuente del ácido acético en el vino no es la madera, sino el metabolismo microbiano, principalmente levaduras, bacterias acéticas y bacterias lácticas.

Otras dos familias de compuestos volátiles procedentes del roble y que presentan un gran interés son los aldehídos fenólicos y las fenil cetonas. Dentro de los aldehídos fenoles, destaca por su importancia sensorial la vainillina, que es la principal responsable del olor a vainilla que caracteriza a muchos vinos de crianza. También se incluyen dentro de esta familia el siringaldehído, el sinapaldehído y el coniferaldehído, aunque sus umbrales de percepción son superiores y por tanto a su concentración habitual no presentan un gran impacto sensorial. Las fenil cetonas, por el contrario sí participan en el aroma de los vinos de crianza, contribuyendo al olor de vainilla característico (Zamora-Marín, 2005).

El origen químico de la vainillina y los demás aldehídos y cetonas es la lignina. Durante el tostado de las duelas se produce su parcial termólisis, lo que provoca la liberación de sus extremos terminales, precursores de aldehídos fenoles y las fenil cetonas.

Los fenoles volátiles son una amplia familia de compuestos, procedente del roble, que también participan en el aroma del vino: el guayacol aporta olor a tostado; el metil-4-guayacol y el etil-4-guayacol presenta olor a madera quemada; el vinil-4-guayacol tiene un olor que recuerda al del clavel; el fenol presenta olor de tinta; el eugenol, de gran importancia organoléptica, confiere aroma de clavo de especia; el vinil-4-fenol aporta notas fenólicas y farmacéuticas; y finalmente, el etil-4-fenol presenta un desagradable olor animal, descrito como cuero o como sudor de caballo. La presencia de este último compuesto se considera, siempre y cuando

---

---

sobrepase su umbral de percepción, como un grave defecto del vino (Ribéreau-Gayon, 1999, citado por Zamora, 2005).

El origen de los fenoles volátiles también es múltiple; proceden de la termólisis de las ligninas originada durante el tostado de las duelas, y/o Pero también pueden originarse mediante la descarboxilación de los ácidos fenoles presentes en la uva y el vino, especialmente si existe un problema de desarrollo de *Brettanomyces spp* (Zamora-Marín, 2005).

Finalmente, las  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octolactona también presentan una gran importancia para el aroma de los vinos de crianza. Estas lactonas, conocidas comúnmente como whisky lactonas o lactonas del whiskey, confieren el olor a nuez de coco característico de los vinos de crianza. Se han descrito dos isómeros, el *cis* (-) y el *trans* (+). Es necesario señalar que el isómero *cis* presenta un umbral de percepción entre 4 y 5 veces menor que el isómero *trans*, por lo que su contribución al aroma será mayor. El origen de las  $\beta$ -metil- $\gamma$ -octolactona parece estar relacionado con la degradación térmica de los lípidos presentes en la madera de roble.

Como se ha comentado anteriormente, gran parte de las moléculas que son cedidas por el roble al vino y que presentan un interés para su calidad se producen o modifican durante el proceso de tostado de las duelas (Zamora-Marín, 2005).

---

---

### **3. HIPÓTESIS**

- *“Durante el proceso de maduración del tequila, las barricas reutilizadas de Quercus alba, aportan propiedades organolépticas al tequila reposado y añejo”.*

---

---

## **4. OBJETIVOS**

### *4.1. Objetivo General*

Evaluar el efecto del proceso de maduración del tequila en barricas reutilizadas de *Quercus alba* en el contenido de compuestos volátiles.

### *4.2. Objetivos Particulares*

*4.2.1. Extraer, identificar y cuantificar, los compuestos volátiles presentes en tequila blanco, reposado y añejo.*

*4.2.2. Determinar el efecto de la maduración del tequila en barricas reutilizadas de Quercus alba mediante un análisis estadístico.*

---

---

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. Materiales:

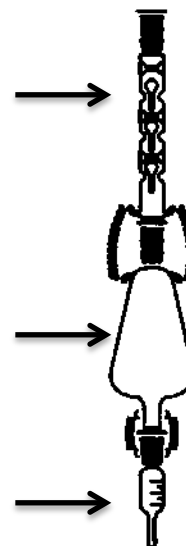
#### 5.1.1. Material utilitario

Kit Micro concentrador Kuderna-Danish con juntas de cristal esmerilado (Supelco, MO, USA) Cat. No. 6-4718. Consistente en:

1 Micro condensador de 135mm, con unión esmerilada 19/22. Cat. No. 4721.

1 Frasco de 40 mL, con unión esmerilada 19/22. Cat. No. 4722.

1 vaso receptor de 2 mL con unión con unión esmerilada 19/22. Cat. No. 4723.



Vasos de precipitado de 10 mL.

Pipeta graduada de 10 mL.

Pipeta graduada de 5 mL.

---

---

Embudo de separación con llave de teflón

Probeta graduada de 10 mL, Pyrex.

Soportes universales.

Pinzas de 3 dedos.

Tubos de ensayo:

De plástico con tapa de 45 mL.

Micro tubo con tapa de 1.5 mL.

Baño María Büchi B-491.



Pipeta Eppendorf Research 500-5000uL.

Pipeta Pasteur Corning de 9”.

Gradilla de plástico para microtubos.

Gradilla de unicel para tubos de 45 mL.

### 5.1.2. Reactivos:

Las muestras de tequila utilizadas, fueron proporcionadas por la empresa:

---

---

---

Tequila “El Consuelo” proveniente de la fábrica de tequila “Altos Ciénega Unidos S.P.R. de R.L.” de San Francisco de Asís, municipio de Atotonilco El Alto, Jalisco.

En las siguientes presentaciones:

- *Blanco a 38% v/v de concentración de etanol*
- *Reposado a 38% v/v de concentración de etanol*
- *Añejo a 38% v/v de concentración de etanol*

Diclorometano al 99.5%, Sigma Aldrich.

#### 5.1.3. Equipo:



Figura 5.4. Cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas, GC/MS Agilent Serie 5975C.



---

El equipo GC-MS usó una columna certificada de análisis Zebron, ZB-FFAP 30ml x 0.25mm Id x um df, de fase líquida ácido nitroterephthalic modificado glicol polietileno, con límites de temperatura de 40°C a 250/260 °C (programa isotérmico). 7HG-G009-11, Serie 246559 (Figura 5.5).



Figura 5.5. Columna para Cromatógrafo de Gases acoplado a Espectrometría de Masas GC-MS.

---

---

## 5.2. Método

Se preparó una disolución de 15 mL de tequila: Diclorometano al 99.5%, en una proporción 1:2 (v/v); que se depositó en un embudo de separación, se agitó vigorosamente durante 30 segundos, se dejó reposar hasta observar la separación de dos fases, siendo éstas: la fase acuosa en la parte superior y la orgánica en la parte inferior. Se extrajo la fase orgánica, agregando nuevamente 10 mL de diclorometano, se repitió la operación del agitado vigoroso y el reposo correspondiente, una vez separadas las fases, se agregó la fase orgánica a la primera extracción, conformando ambas una sola extracción. Se realizaron tres extracciones (repeticiones) por cada uno de los tres tipos de tequilas analizados.

El extracto orgánico obtenido se depositó en un equipo micro concentrador Kuderna-Danish, ubicado dentro del baño María a una temperatura de 55 °C hasta un volumen final de 2 mL.

Mediante el Cromatógrafo de Gases con columna capilar acoplada a Espectrometría de Masas (GC-MS), se separaron e identificaron los diversos compuestos volátiles que contienen las tres clases de tequila, posteriormente clasificaron y se concentraron en la Tabla 6.1.

Se realizó un Análisis de Correspondencia que permitió establecer las relaciones existentes entre los compuestos encontrados en las tres clases de tequilas usando el software STATISTICA (Data Analysis Software System). Versión 8.0. de Stat Soft. Inc.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Compuestos encontrados.

Con los datos obtenidos de la biblioteca NIST-ChemStation, Agilent, se identificaron los compuestos presentes en cada clase de tequila para formar una relación general de las abundancias relativas detectadas, como se puede apreciar en la Tabla 6.1.

**Tabla 6.1. Abundancias relativas en tequilas: Blanco, reposado y añejo correspondientes a 62 compuestos detectados en la Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC-MS). N=9.**

No. Pico	T.R.	Nombre	Abundancia Relativa X 10 <sup>3</sup>		
			Blanco	Reposado	Añejo
1	7.7	1,1-Dietoxi-2-metil butano	825	0	0
2	7.8	1,1-Dietoxi-3-metil butano	1,277	0	0
3	8.4	2-Metil-1-propanol	70,083	138,056	86,374
4	8.9	3-Metil-1-Propanol acetato	571	1,083	471
5	9.7	1-Butanol	2,072	2,691	2,928
6	10.5	3-Pentel-2 ol	2,038	5,484	2,947
7	10.9	Ciclopentanona	880	950	1,091
8	12.0	3-Metil-1-butanol	328,402	723,945	481,852
9	12.6	Ácido hexanóico etil ester	440	0	0
10	13.2	1-Petanol	1,005	1,893	719
11	13.4	Desconocido	1,142	0	0
12	13.9	Dihidro-2-metil-3(2H)-furanona	469	1,354	3,124
13	14.6	3-Hidroxi-2-butanona	1,277	6,166	3,990
14	15.4	4-Penten-2-ol	1,216	3,920	1,976
15	16.9	(S)-Ácido propanóico 2-hidroxi-etil ester	3,166	91,056	12,130
16	20.4	Ácido octanóico etil ester	6,354	2,615	963
17	20.9	Ácido acético	97,239	167,439	115,197
18	21.9	Furfural	1,018	5,779	3,739

19	23.3	(S)-3-Etil-4-metil pentanol	1,056	1,781	4,559
20	24.7	2-Hidroxi-4-metil ácido pentanoico	3,128	1,145	3,221
21	24.9	3,7-Dimetil-1,6-octadien-3 ol	1,729	2,043	485
22	25.7	Isoamil lactato	0	1,211	495
23	26.0	5-Metil-2-furancarboxaldehido	4	2,726	3,788
24	26.9	Hexadecano	437	1,083	790
25	28.3	Ácido decanóico etil ester	44,616	11,777	3,505
26	29.4	2-Furanmetanol	0	0	471
27	29.6	3-Metil Ácido Butanóico	0	288	719
28	29.8	Ácido butanedioico dietil ester	0	1,094	541
29	29.9	2,6,10-Trimetil tetradecano	591	869	685
30	30.4	a-Terpineol	2,756	1,948	3,060
31	30.7	Heptadecano	3,382	7,226	4,198
32	32.3	Desconocido	531	1,207	1,636
33	33.6	Desconocido	1,182	1,344	1,506
34	34.3	Octadecano	6,299	13,669	7,523
35	34.6	Ácido acético 2-fenil ester	432	2,491	1,715
36	35.6	Ácido dodecanóico etil ester	30,283	6,147	1,120
37	35.9	Ácido hexanóico	0	0	706
38	36.2	Ácido pentadecanóico 3-metil butil ester	1,815	0	0
39	36.5	3-metil octadecano	524	1,122	809
40	37.7	Nonadecano	8,343	19,163	10,291
41	37.9	Fenil etil alcohol	1,147	25,407	21,460
42	40.9	Eicosano	8,439	20,019	5,256
43	42.1	3,7,11,-Trimetil-1,6,10-Dodecatrien-3-ol	0	2,181	1,366
44	42.3	Ácido tetradecanóico etil ester	5,405	3,999	0
45	42.8	Ácido octanóico	458	6,331	6,445
46	44.1	Heneicosano	9,336	18,497	10,180
47	46.1	1-Dodecanol	2,324	4,768	584
48	47.1	Docosano	7,515	989	2,464
49	48.5	Ácido hexadecanóico etil ester	5,579	2,915	1,088
50	49.2	Ácido n-decanóico	2,383	11,546	11,466
51	49.9	Tetracosano	3,652	9,902	5,533
52	52.7	Octacosano	2,699	5,746	3,597
53	55.0	Ácido dodecanóico	481	5,473	3,274
54	55.3	Triacotano	763	4,001	3,879
55	55.9	Ácido linoleico etil ester	791	1,280	0
56	57.0	Vainillina	0	1,341	1,245
57	57.9	Desconocido	449	1,081	969
58	61.3	3-Metil-Dibenzotiofeno	917	1,238	919

---

---

59	62.3	4-Metil nafto (1,2) Tiofeno	537	1,614	884
60	63.0	N,N-Dimetil octanamida	505	1,264	516
61	63.4	4-Metildibenzotiofeno	661	1,212	799
62	63.8	3,7 Dimetilbenzotiofeno	734	864	993

## *6.2. Cromatogramas*

Con el uso del software de Agilent Technologies, Inc., Environmental ChemStation (MSD ChemStation) versión: F.01.00.1903 se obtuvieron los cromatogramas correspondientes a cada análisis como se presentan en las Figura 6.1.

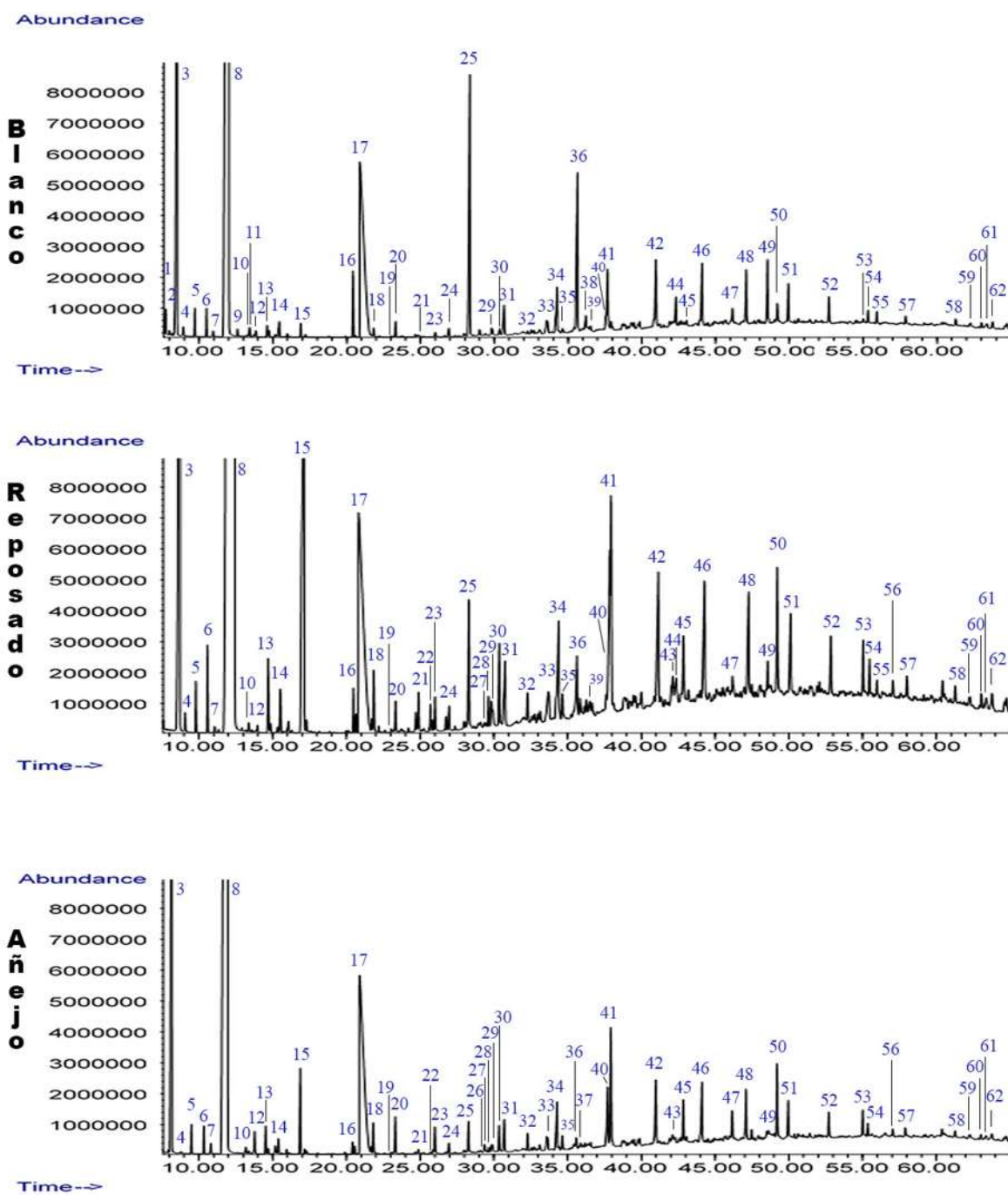


Figura 6.1. Cromatogramas de tequila: blanco, reposado y añejo; incluyendo los números de pico que corresponden a los números indicados en la Tabla 6.1.

**Tabla 6.2. Contribución porcentual. Proporción de la abundancia relativa de cada compuesto, respecto al total de la misma clase de tequila.**

<b>No. Pico</b>	<b>Blanco</b>	<b>Reposado</b>	<b>Añejo</b>
1	0.12	-	-
2	0.19	-	-
3	10.29	10.13	10.13
4	0.08	0.08	0.06
5	0.30	0.20	0.34
6	0.30	0.40	0.35
7	0.13	0.07	0.13
8	48.20	53.14	56.54
9	0.06	-	-
10	0.15	0.14	0.08
11	0.17	-	-
12	0.07	0.10	0.37
13	0.19	0.45	0.47
14	0.18	0.29	0.23
15	0.46	6.68	1.42
16	0.93	0.19	0.11
17	14.27	12.29	13.52
18	0.15	0.42	0.44
19	0.16	0.13	0.53
20	0.46	0.08	0.38
21	0.25	0.15	0.06
22	-	0.09	0.06
23	-	0.20	0.44
24	0.06	0.08	0.09
25	6.55	0.86	0.41
26	-	-	0.06
27	-	0.02	0.08
28	-	0.08	0.06
29	0.09	0.06	0.08
30	0.40	0.14	0.36
31	0.50	0.53	0.49
32	0.08	0.09	0.19
33	0.17	0.10	0.18
34	0.92	1.00	0.88
35	0.06	0.18	0.20
36	4.44	0.45	0.13

---



---

37	-	-	0.08
38	0.27	-	-
39	0.08	0.08	0.09
40	1.22	1.41	1.21
41	0.17	1.86	2.52
42	1.24	1.47	0.62
43	-	0.16	0.16
44	0.79	0.29	-
45	0.07	0.46	0.76
46	1.37	1.36	1.19
47	0.34	0.35	0.07
48	1.10	0.07	0.29
49	0.82	0.21	0.13
50	0.35	0.85	1.35
51	0.54	0.73	0.65
52	0.40	0.42	0.42
53	0.07	0.40	0.38
54	0.11	0.29	0.46
55	0.12	0.09	-
56	-	0.10	0.15
57	0.07	0.08	0.11
58	0.13	0.09	0.11
59	0.08	0.12	0.10
60	0.07	0.09	0.06
61	0.10	0.09	0.09
62	0.11	0.06	0.12
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>

### 6.3. Análisis Estadístico

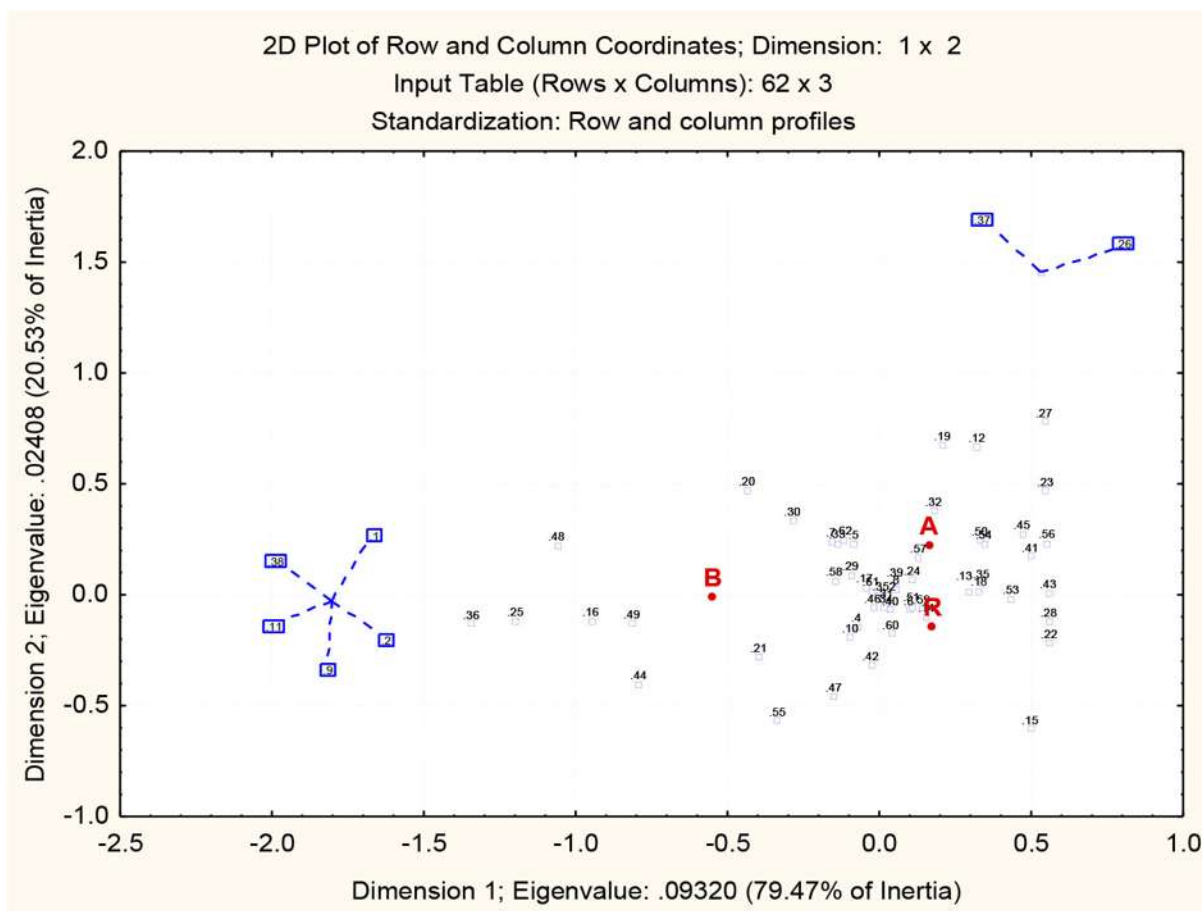
En la Gráfica 6.1 se observan las inercias globales en sus dos dimensiones por cada clase de tequila con las letras **B**, **R**, y **A**, que representan a Blanco, Reposado y Añejo respectivamente, así como la inercia de cada pico cromatográfico con la numeración asignada a cada compuesto y su correspondencia con respecto al cromatograma de la Figura 6.1. Con este análisis se realizó una agrupación de cada



uno de los compuestos, basado en su abundancia relativa respecto a cada clase de tequila analizado.

**Tabla 6.3 Inercias por clase de tequila en las dos dimensiones del análisis de correspondencias, basado en el total de los compuestos.**

Tequila	Inercia en Dimensión 1	Inercia en Dimensión 2
Blanco	-0.550315	-0.004756
Reposado	0.174002	-0.138865
Añejo	0.161804	0.225799



---

---

Gráfica 6.1. Compuestos Volátiles de las tres clases de tequilas analizados: Blanco, Reposado y Añejo obtenidos por análisis en GC-MS y agrupados por análisis de correspondencia respecto a su abundancia relativa, la letra B en rojo representa al tequila Blanco, la letra R en rojo representa al tequila Reposado y la letra A en rojo representa al tequila Añejo, los números representa el número del pico correspondiente a los tres cromatogramas, N=9.

---

---

## 7. Análisis y discusión de resultados

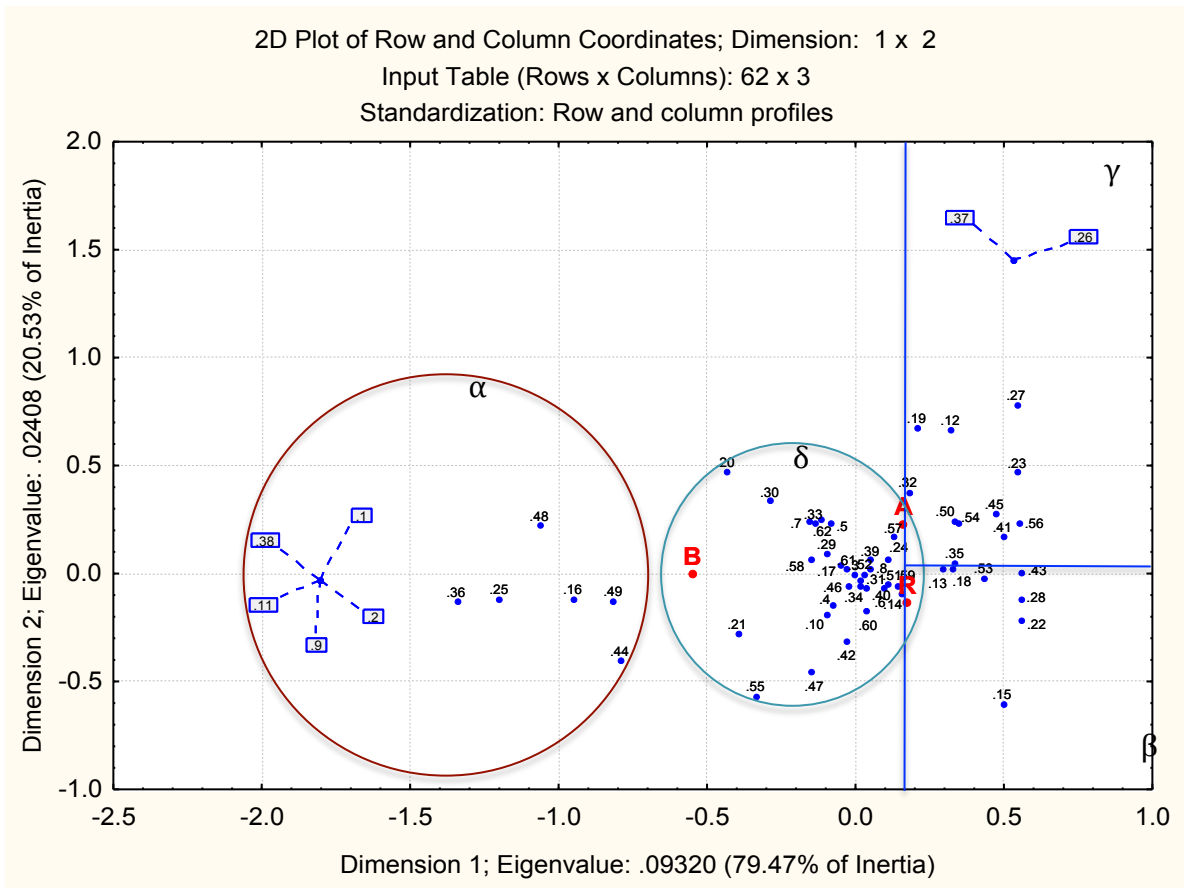
Al analizar los cromatogramas, se identificaron 55 compuestos volátiles en cada clase de tequila (blanco, reposado y añejo), diferentes en cada caso; es decir, no son los mismos, como se puede apreciar en la tabla 5.1.

Se realizó el análisis estadístico, mediante la técnica de “Análisis de Correspondencia”, usando el software STATISTICA (Data Analysis Software System). Versión 8.0. de Stat Soft. Inc., que permite representar la presencia y abundancia relativa, individual y general de cada uno de los compuestos respecto a las tres clases de tequila analizado.

En la Gráfica 6.1 se muestran los resultados del análisis de correspondencia realizado con las abundancias relativas de los 62 compuestos representados en los cromatogramas de la Figura 6.1, que nos muestra que partiendo del centro de gravedad (0,0) de las dimensiones 1 y 2; en una inercia negativa en la dimensión 1 ubica al tequila blanco B, sin un cambio importante en la dimensión 2, que nos indica que es estadísticamente es el más diferente a las otras dos clases de tequilas, por encontrarse mas alejado del centro de gravedad.

Con una inercia positiva en la dimensión 1 se ubican las clases reposado y añejo R y A, pero con inercias contrarias en la dimensión 2, que nos sugiere son más parecidos entre ellos que con el tequila blanco, pero con diferencias estadísticamente significativas entre ellos en particular.

De acuerdo a estos resultados, los compuestos se clasificaron en 4 grupos:  $\alpha$  que corresponde a los compuestos característicos de tequila blanco,  $\beta$  que agrupa a los compuestos característicos del tequila reposado,  $\gamma$  que agrupa a los compuestos característicos del tequila añejo, y un grupo representado con  $\delta$  que al estar mas cerca del centro de gravedad sugiere que no tuvieron cambios que estadísticamente se consideren significativos, como se puede apreciar en la Gráfica 7.1.



Gráfica 7.1. Representación de los grupos  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\delta$  de la clasificación de los compuestos volátiles obtenidos durante el presente trabajo de investigación. N=9

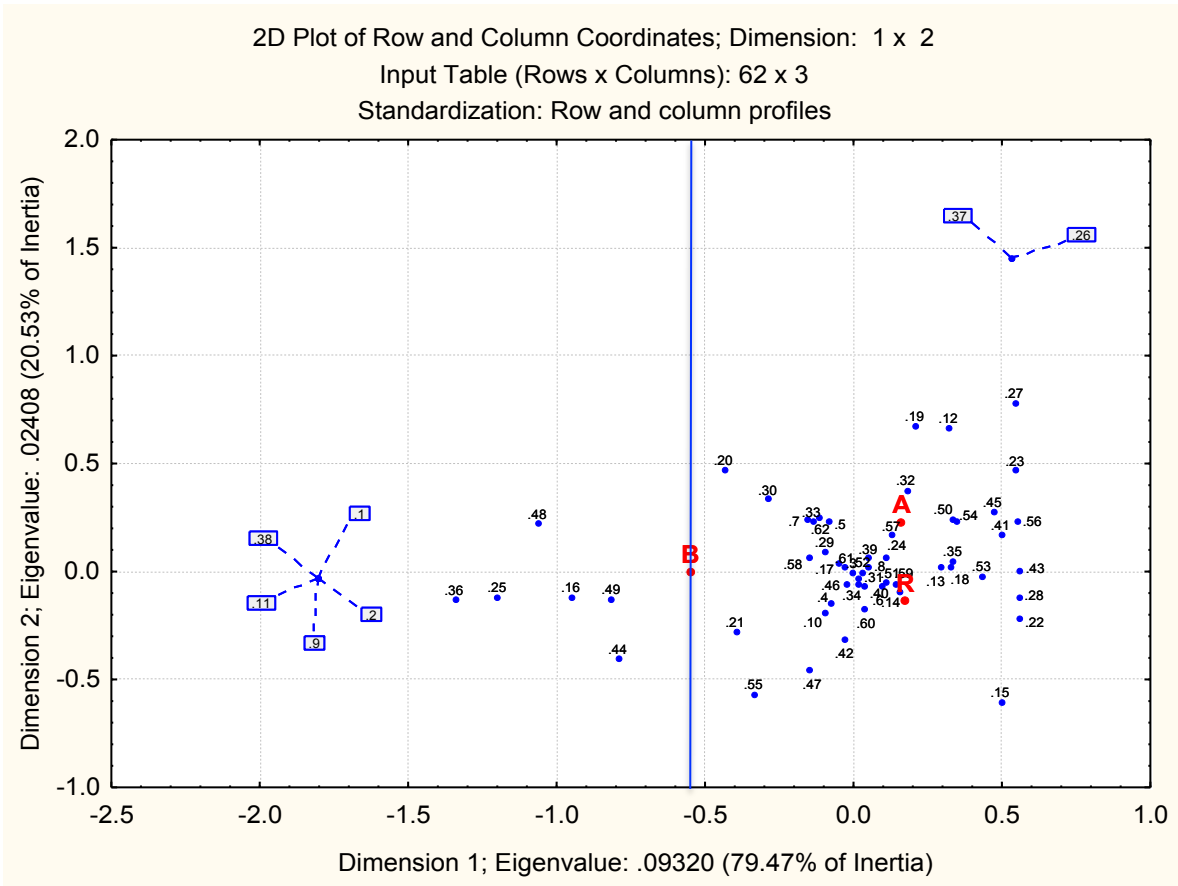
---

---

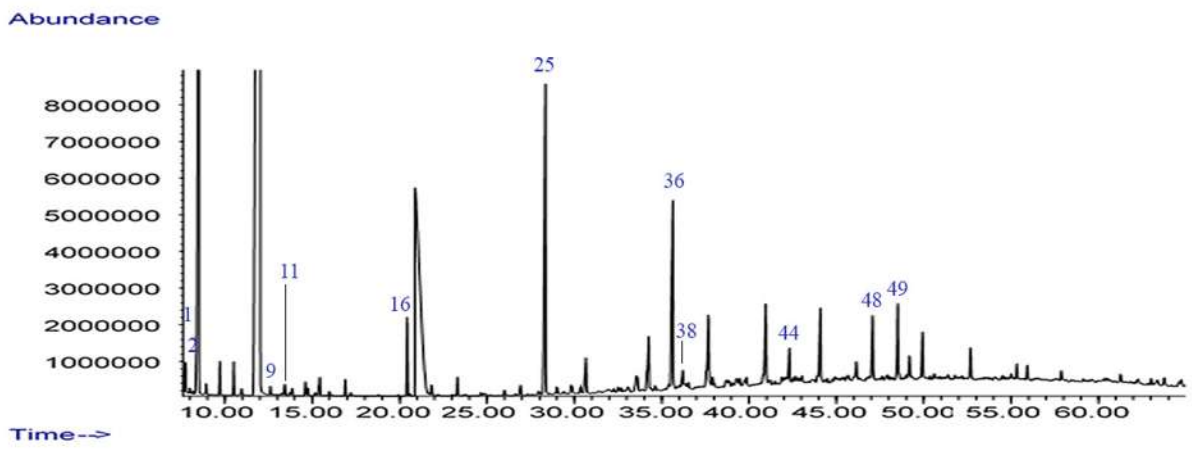
### 7.1.1. Tequila Blanco

En esta clase de tequila se encontraron 55 de los 62 compuestos volátiles totales, pero de acuerdo al análisis estadístico son 11 los compuestos volátiles característicos (Listados en la Tabla 7.1, y representados en el grupo  $\alpha$  del análisis de correspondencia de la Gráfica 7.1), de los cuales 5 son exclusivos de este tipo de tequila identificados en los picos 1, 2, 9, 11 y 38 que corresponden a: 1,1-Dietoxi-2-metil butano, 1,1-Dietoxi-3-metil butano, Ácido hexanóico etil ester, a un compuesto que no identificado y a Ácido pentadecanóico 3-metil butil ester; respectivamente. Los 45 compuestos restantes están presentes en tequila blanco pero sus abundancias relativas en reposado y añejo reflejadas en las inercias del análisis de correspondencia sugieren que no son característicos de esta clase de tequila.

En la Gráfica 7.2 se puede apreciar la línea vertical que pasa por el punto B ubicada en el punto -0.550315 de la dimensión 1, obtenido de la Tabla 6.3, que divide a su izquierda a los compuestos característicos del tequila blanco.



Gráfica 7.2. Ubicación de la línea que permitió clasificar a los compuestos característicos del tequila blanco. N=9.



---

Figura 7.1. Cromatograma de tequila blanco representando numéricamente únicamente los compuestos volátiles característicos del tequila blanco de acuerdo a la Tabla 7.1.

#### 7.1.1.1. Compuestos característicos de tequila blanco

**Tabla 7.1. Compuestos característicos del tequila blanco de acuerdo a la Figura 7.1.**

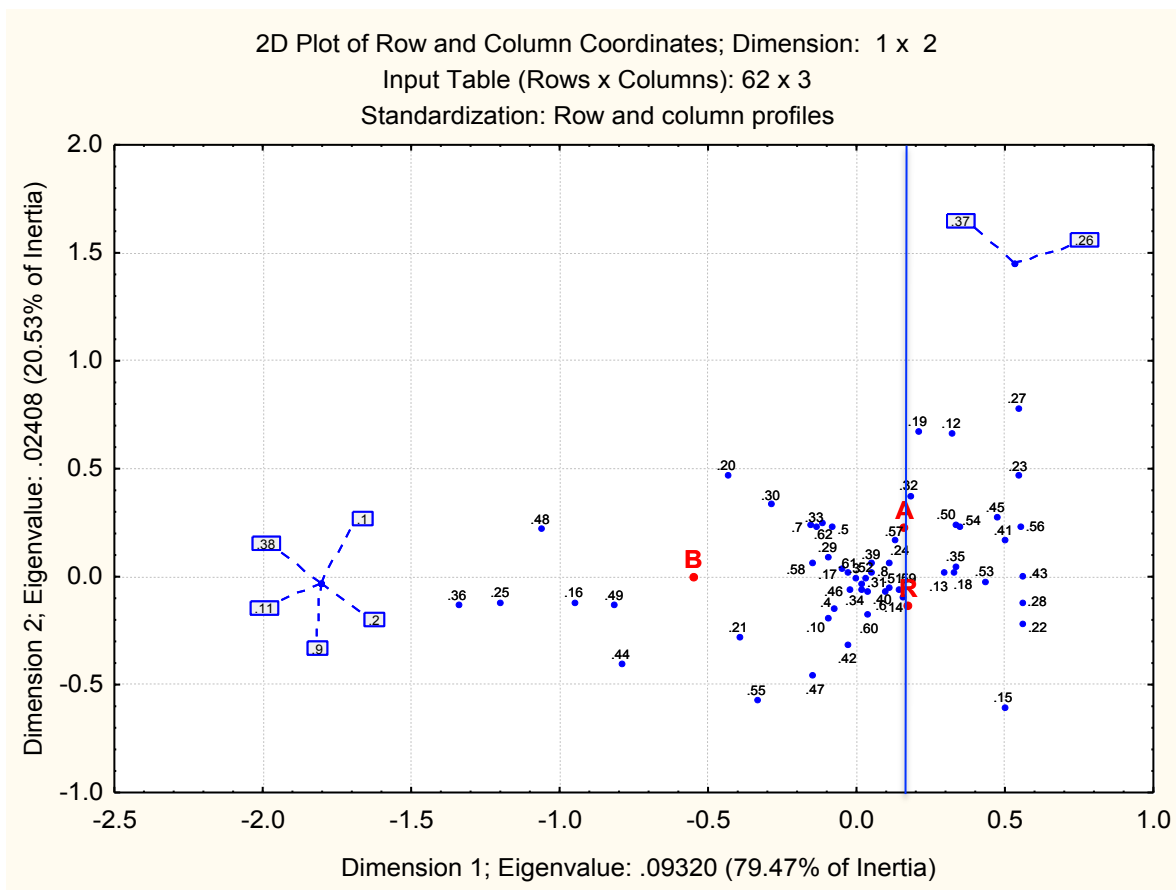
<b>No. Pico</b>	<b>T.R.</b>	<b>Nombre</b>
1	7.7	1,1-Dietoxi-2-metil butano
2	7.8	1,1-Dietoxi-3-metil butano
9	12.6	Ácido hexanóico etil ester
11	13.4	Desconocido
16	20.4	Ácido octanóico etil ester
25	28.3	Ácido decanóico etil ester
36	35.6	Ácido dodecanóico etil ester
38	36.2	Ácido pentadecanóico 3-metil butil ester
44	42.3	Ácido tetradecanóico etil ester
48	47.1	Docosano
49	48.5	Ácido hexadecanóico etil ester

#### 7.1.2. Tequila reposado

En esta clase de tequila se encontraron 55 de los 62 compuestos volátiles totales, de los cuales 7 compuestos listados en la Tabla 7.2, y representados en el grupo  $\beta$  del análisis de correspondencia de la Gráfica 7.1, indican que son característicos de

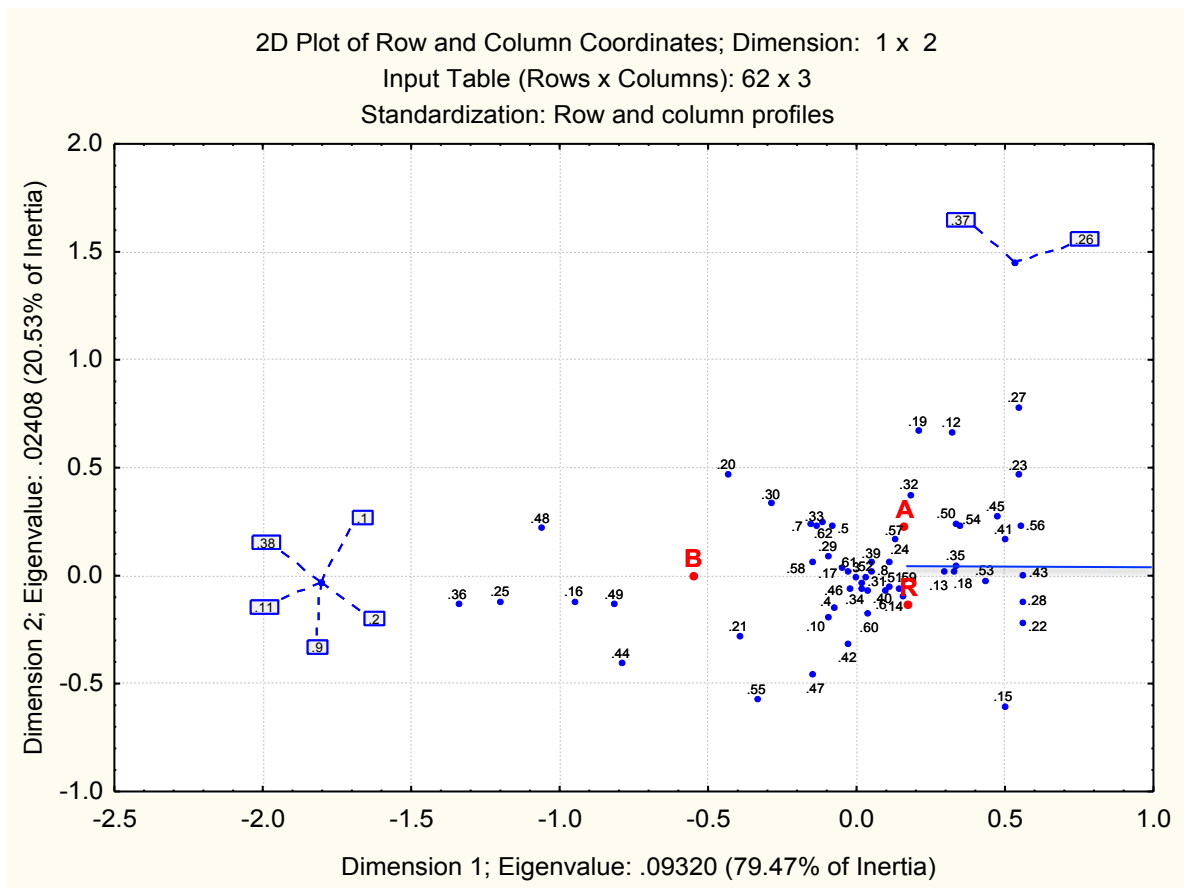
esta clase de tequila; de estos resultados se desprende también que únicamente 3 compuestos solo tienen presencia en reposado y añejo: Isoamil lactato, Ácido butanedioico dietil ester y 3,7,11,-Trimetil-1,6,10-Dodecatrien-3-ol. Los 49 compuestos restantes que tienen presencia en esta clase de tequila, pero que no aparecen en la Tabla 7.2, no tienen la abundancia relativa para que la inercia del análisis de correspondencia los ubique como característicos de esta clase de tequila.

A fin de clasificar el efecto de reposado respecto al de añejo, se trazó una línea horizontal en el punto 0.043467 de la dimensión 2 que se calcula en base al punto medio de los puntos A y R en esa misma dimensión obtenidos de la Tabla 6.3., como se puede apreciar en la Gráfica 7.4.





Gráfica 7.3 En la gráfica se puede apreciar la línea horizontal que pasa entre los puntos A y R ubicada en el punto 0.167903 de la dimensión 1, obtenido del punto medio entre las inercias en la dimensión 1 de los puntos A y R de la Tabla 6.3, que divide a su derecha a los compuestos característicos de los tequilas: reposado y añejo. N=9.



Gráfica 7.4. Línea de referencia que permite diferenciar a los compuestos característicos de reposado respecto a los añejos. N=9.

---

---

### 7.1.2.1. Cromatograma

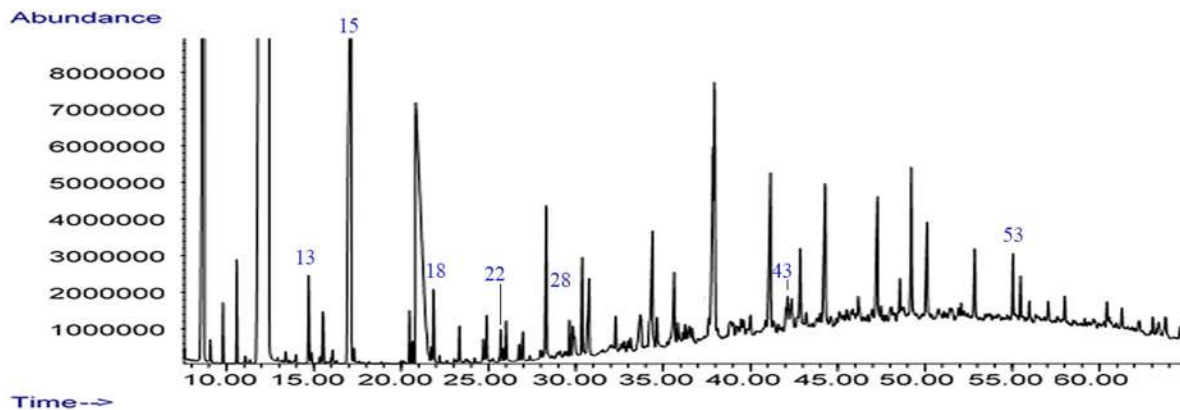
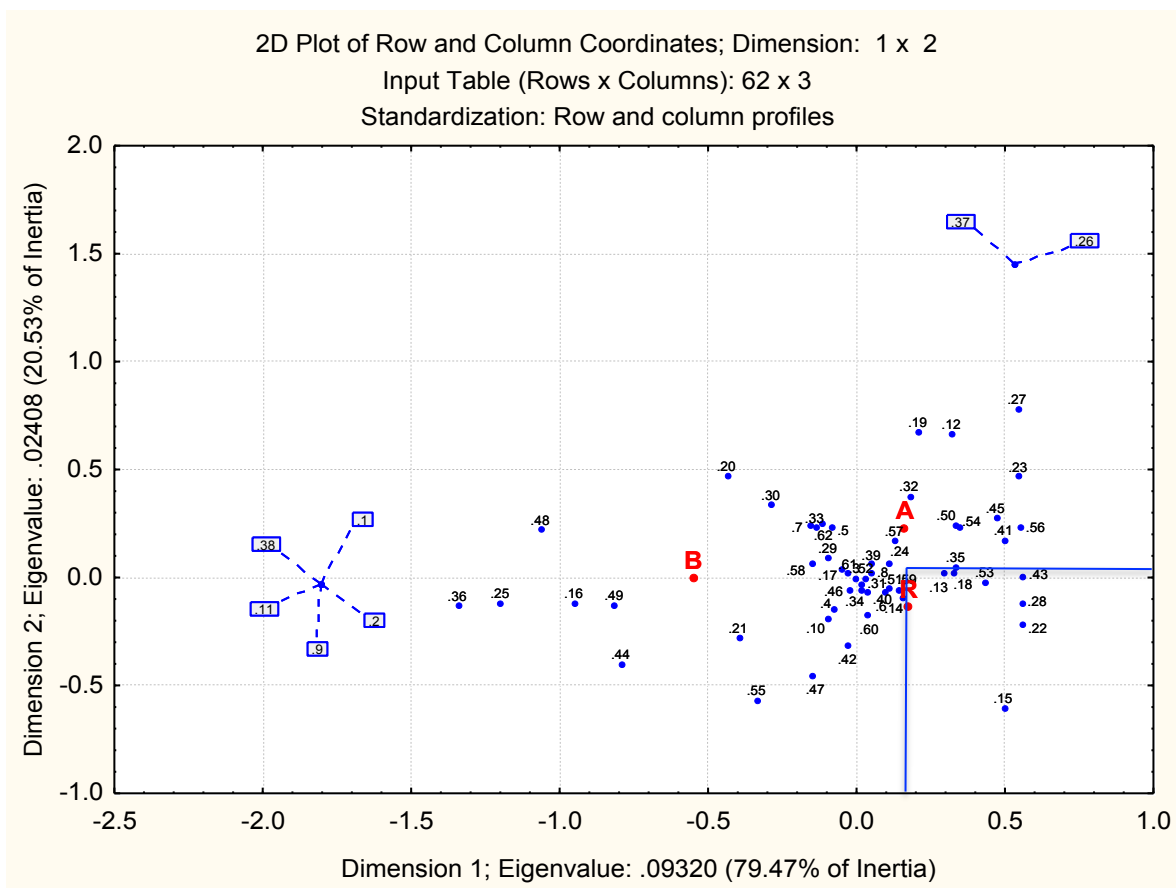


Figura 7.2. Cromatograma de tequila reposado representando los compuestos volátiles característicos del tequila blanco de acuerdo a la Tabla 7.2.



Gráfica 7.5. Compuestos característicos de tequila reposado.

De los cruces de las líneas de las Gráficas 7.3 y 7.4, se desprende el espacio que ocupa el grupo de compuestos  $\beta$  de la Gráfica 7.1, que indica los compuestos característicos de tequila reposado.

#### 7.1.2.2. Compuestos del tequila reposado.

**Tabla 7.2. Compuestos característicos del tequila reposado de acuerdo a la Gráfica 7.5.**

No. Pico	T.R.	Nombre
13	14.6	3-Hidroxi-2-butanona (S)-Ácido propanóico 2-hidroxi-
15	16.9	Etil ester
18	21.9	Furfural
22	25.7	Isoamil lactato
28	29.8	Ácido butanedioico dietil ester 3,7,11,-Trimetil-1,6,10-
43	42.1	Dodecatrien-3-ol
53	55	Ácido dodecanóico

### 7.1.3. Tequila añejo

En el tequila añejo se encuentran presentes 55 compuestos volátiles. De acuerdo a los resultados del análisis de correspondencia se sugiere que son 13 los compuestos característicos de esta clase de tequila, que se enlistan en la Tabla 7.3, y representados en el grupo  $\gamma$  del análisis de correspondencia de la Gráfica 7.1; de éstos se encontró que los compuestos: 2-Furanmetanol y Ácido hexanóico tienen presencia únicamente en el tequila añejo.

El grupo de compuestos característicos de añejo, mostrado en la Gráfica 7.6, los compuestos volátiles que solo fueron detectados en una abundancia relativa alta en el tequila añejo como lo muestra la Tabla 7.3. En este grupo también se detectaron aromáticos presentes en el tequila blanco y en el tequila reposado pero en concentraciones menores, lo que sugiere que la estancia en barrica por un tiempo mínimo de un año, promovió el aumento de su concentración y la generación de otros volátiles no detectados anteriormente. Por lo tanto, este tiempo de maduración

---

---

de los destilados en barrica proporciona un número considerable de volátiles a esta clase de tequilas dando así el valor agregado al producto final.

### 7.1.3.1. Cromatograma

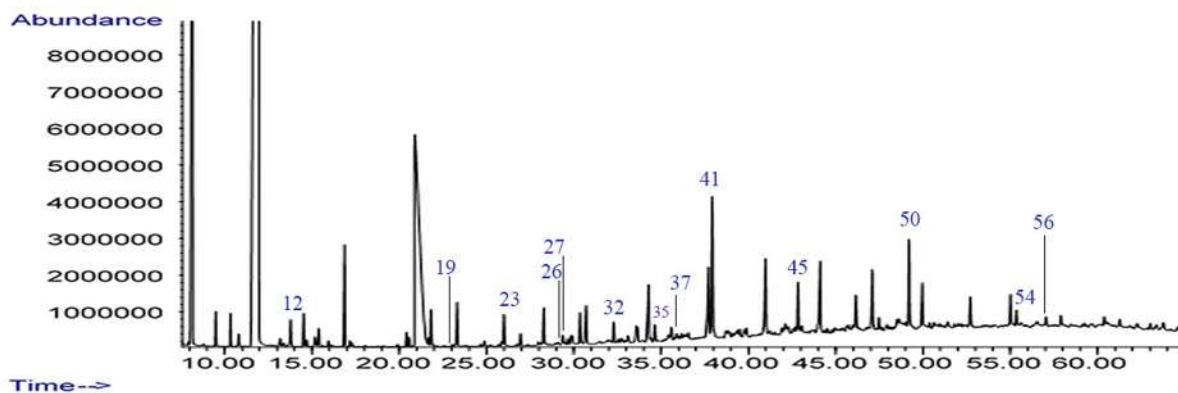
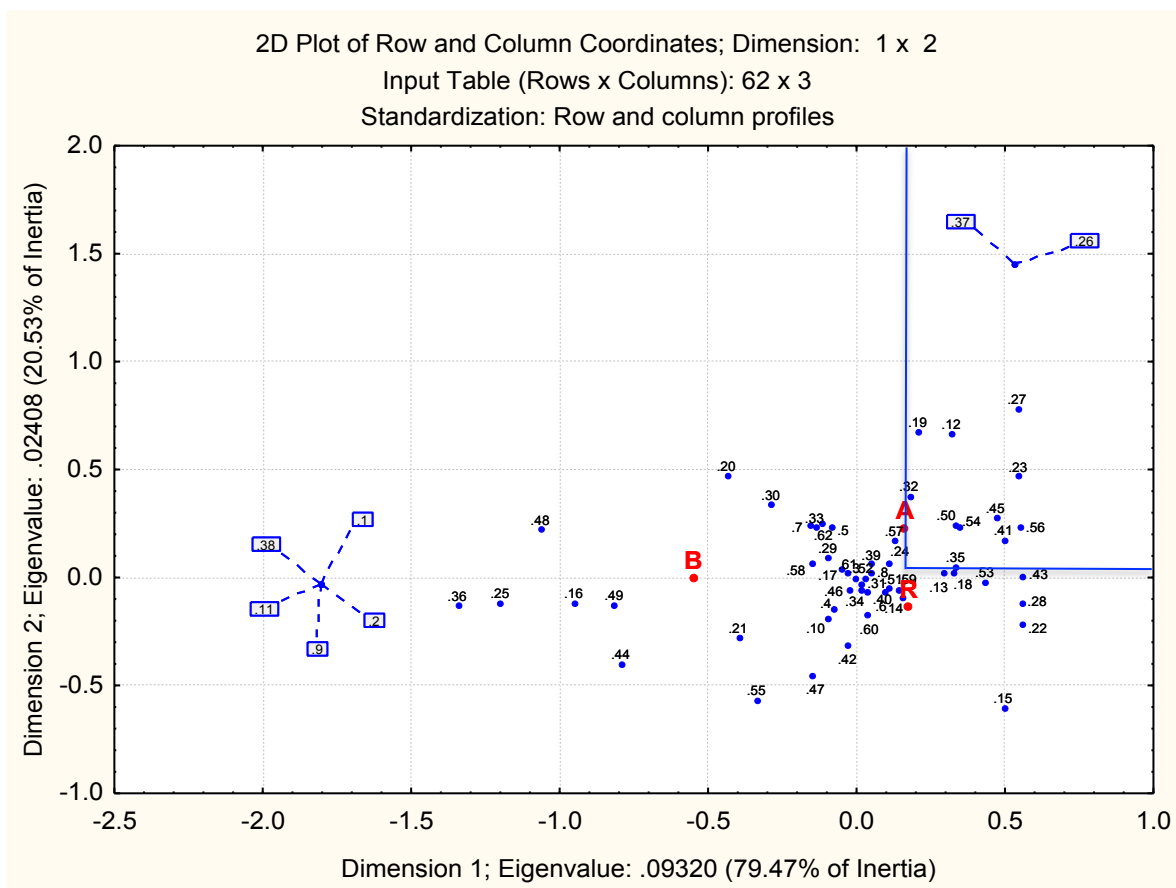


Figura 7.3. Cromatograma de tequila añejo. Representando numéricamente los compuestos volátiles característicos del tequila blanco de acuerdo a la Tabla 7.3, y a la Gráfica 7.6.



Gráfica 7.6. Compuestos característicos de tequila añejo.

Del Análisis de Correspondencias de la Gráfica 7.6 se usó el cruce de las líneas presentadas en las Gráficas 7.3 y 7.4, de lo que se desprende el espacio que ocupa el grupo de compuestos  $\gamma$  de la Gráfica 7.1, que indica los compuestos característicos de tequila añejo.

#### 7.1.3.1. Compuestos del tequila añejo.

---

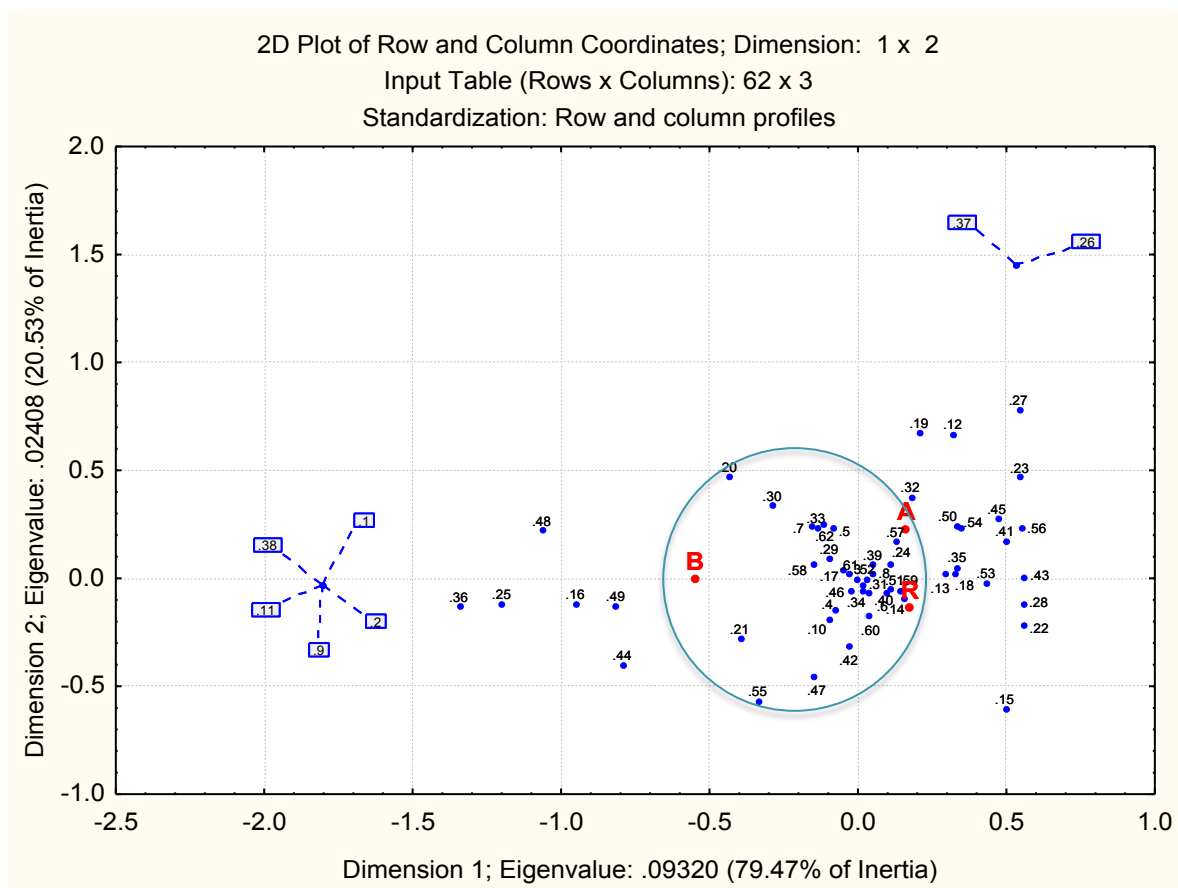
---

**Tabla 7.3. Compuestos característicos del tequila añejo de acuerdo a la Gráfica 7.6, y Figura 7.3.**

No. Pico	T.R.	Nombre
12	13.9	Dihidro-2-metil-3(2H)-furanona
19	23.3	(S)-3-Etil-4-metil pentanol
23	26	5-Metil-2-furancarboxaldehido
26	29.4	2-Furanmetanol
27	29.6	3-Metil Ácido Butanólico
32	32.3	Desconocido
35	34.6	Ácido acético 2-fenil ester
37	35.9	Ácido hexanólico
41	37.9	Fenil etil alcohol
45	42.8	Ácido octanólico
50	49.2	Ácido n-decanólico
54	55.3	Triacotano
56	57.047	Vainillina

#### *7.1.4. Compuestos sin cambios*

El análisis estadístico sugiere que los 31 compuestos mencionados en la Tabla 7.4 y representados en el análisis de correspondencia de la Figura 7.4 con la letra  $\delta$  en la Gráfica 7.1, son compuestos cuyas abundancias relativas no les dan las inercias necesarias para catalogarlos como característicos de alguna clase específica de tequila en particular, como se puede apreciar en la Gráfica 7.7, esto sugiere que las reacciones que se llevaron a cabo durante los procesos de reposado y añejamiento dentro de la barrica no fueron determinantes para que tuvieran un cambio estadísticamente significativo durante los tratamientos.



Gráfica 7.7. Representación de los compuestos sin cambios representativos. N=9

En la Gráfica 7.7 se puede apreciar una circunferencia que agrupa a todos los compuesto NO comprendidos en los grupos característicos de las tres clases de tequila, que se encuentran muy cerca del centro de gravedad 0.0 en sus dos dimensiones, indicativo de poca influencia en los tratamientos. N=9.



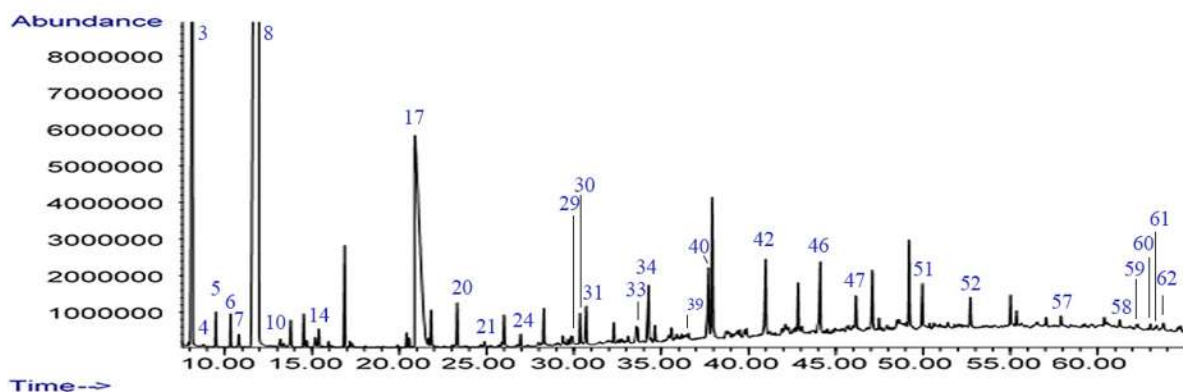


Figura 7.4. Cromatograma donde se indican los compuestos volátiles en los que no influyó el tratamiento en barrica.

**Tabla 7.4. Compuestos volátiles en los que se considera no influyó el efecto de barrica. N=9.**

No. Pico	T.R.	Nombre
3	8.4	2-Metil-1-propanol
4	8.9	3-Metil-1-Propanol acetato
5	9.7	1-Butanol
6	10.5	3-Pentel-2 ol
7	10.9	Ciclopentanona
8	12	3-Metil-1-butanol
10	13.2	1-Petanol
14	15.4	4-Penten-2-ol
17	20.9	Ácido acetico
20	24.7	2-Hidroxi-4-metil Ácido pentanoico
21	24.9	3,7-Dimetil-1,6-octadien-3 ol
24	26.9	Hexadecano
29	29.9	2,6,10-Trimetil tetradecano
30	30.4	a-Terpineol
31	30.7	Heptadecano

---



---

33	33.6	Desconocido
34	34.3	Octadecano
39	36.5	3-metil octadecano
40	37.7	Nonadecano
42	40.9	Eicosano
46	44.1	Heneicosano
47	46.1	1-Dodecanol
51	49.9	Tetracosano
52	52.7	Octacosano
55	55.9	Ácido linoleico etil ester
57	57.9	Desconocido
58	61.3	3-Metil-Dibenzotiofeno
59	62.3	4-Metil nafto (1,2) Tiofeno
60	63	N,N-Dimetil octanamida
61	63.4	4-Metildibenzotiofeno
62	63.8	3,7 Dimetilbenzotiofeno

En la Tabla 7.4 se presentan los compuestos volátiles encontrados en las tres clases de tequila analizados, agrupados por análisis de correspondencia respecto a su abundancia relativa, en los cuales se sugiere que no fueron afectados por el tratamiento en barrica.

Sumando los compuestos de los grupos  $\beta$  y  $\gamma$  del análisis de correspondencia de la Gráfica 7.1, correspondientes a compuestos característicos de tequila reposado y añejo respectivamente, se sugiere que estos compuestos son característicos del tratamiento en barrica durante los procesos de reposo y añejamiento del tequila.

En los compuestos que conforman los grupos  $\alpha$  y  $\delta$  del análisis de correspondencia de la Gráfica 7.1, correspondientes a compuestos característicos de tequila blanco y compuestos sin cambios; respectivamente, el tratamiento de la barrica no influyó de manera estadísticamente significativa.

---

---

## 8. CONCLUSIONES

1. *El proceso de maduración en barricas reutilizadas de Quercus alba, usado para la producción de tequila reposado y añejo, influye en el contenido de los compuestos volátiles que contiene el tequila blanco, promoviendo mediante reacciones químicas: la desaparición, disminución, incremento y creación de nuevos compuestos volátiles que transforman las características organolépticas del tequila reposado y añejo.*
2. *El proceso de maduración de tequila reposado y añejo en barricas reutilizadas de Quercus alba, influye en la transformación de compuestos volátiles del tequila blanco, dando como resultado tequila con características organolépticas distintas a las iniciales, lo que confirma la hipótesis planteada.*
3. *La extracción, identificación y cuantificación de los compuestos volátiles presentes en el tequila blanco, reposado y añejo, podrían ampliarse con metodologías complementarias (Benn & Peppard, 1996), que permitan identificar más compuestos volátiles, que mediante la metodología empleada en la presente investigación no se pudieron identificar y cuantificar.*
4. *Existen compuestos característicos del tequila blanco, que podrían ser usados como identificadores para esa clase de tequila. (Compuestos de la Tabla 7.1).*

- 
- 
5. *Existen compuestos característicos del proceso de maduración del tequila, que podrían ser usados como identificadores del efecto de la barrica. (Compuestos de la Tabla 7.2 y 7.3).*
  6. *Existen compuestos característicos del proceso de reposado y otros del añejamiento del tequila, que podrían ser usados como identificadores de cada una de esas clases de tequila. (Compuestos de la Tabla 7.2 y 7.3, respectivamente).*

## **RECOMENDACIONES**

El efecto de las barricas de *Quercus alba* en la maduración del tequila, requiere de más investigaciones científicas que permitan ampliar el conocimiento de los fenómenos químicos y fisicoquímicos que se desarrollan durante el proceso de maduración.

Se podría investigar el efecto en la maduración del tequila de diversas especies del género *Quercus*, similares a *Quercus alba*, *Quercus petraea*, y *Quercus pyrenaica*; de crecimiento en México, que presenten características fisiológicas y anatómicas similares a estas especies, que permitieran ser usadas en la producción de barricas en México.

Se requiere de investigaciones que evalúen las variables de: especies de *Quercus*, tiempos y condiciones de estancia, número de usos, origen geográfico de la madera, edad, intensidad y tipo de tostado, tamaño y/o capacidad de la barrica.

Se podrían emplear técnicas regenerativas en las barricas, que podrían influir en el comportamiento de los compuestos volátiles y que pueden ser evaluadas en los procesos de reposado, añejamiento y extrañejamiento del tequila.

---

---

## PRODUCTOS DE ESTE TRABAJO

**ARTÍCULO:** “Volatile compound profile conferred to tequila beverage by maturation in recycled and regenerated white oak barrels from *Quercus alba*”.

Publicado en: European Food Research and Technology. pp 1-10. **DOI:** [10.1007/s00217-017-2901-7](https://doi.org/10.1007/s00217-017-2901-7). Junio de 2017.

**CAPÍTULO DE LIBRO:** “Tequila barricas y volátiles”, en el libro “Voces Nicolaitas”. **ISBN:** 978-607-424-565-3. Diciembre de 2015.

**PONENCIA:** “Rendimiento y contenido de volátiles en la elaboración del tequila” presentado en el “III Congreso Internacional de Ingeniería Química Biotecnológica y Alimentaria”. La Habana Cuba, octubre de 2014.

**PONENCIA:** “Efecto de la barrica en el tequila reposado y añejo” presentado en el “Festival de la ciencias, sabiduría científica y tecnológica para todos”. Huetamo Michoacán, febrero de 2017.

**PONENCIA:** “Efecto de la Barrica en el olor y sabor del Tequila” presentado en el “I Foro Nacional de Bebidas de México”. La Piedad Michoacán, junio de 2017.

---

---

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Navarrete, María Susana, López-Perez, Mercedes, & Miranda-López, Rita. (2007). El Tequila, su aroma y su sabor. *Ciencias*, 087, 50-53.
- Bárceñas-Pazos, Guadalupe M., Ríos-Villa, Rosalva, Aguirre-Rivera, J. Rogelio, Juárez Flores, Bertha I., & Honorato Salazar, J. Amador. (2008). Composición química y densidad básica relativa de la madera de dos especies arbustivas de encino blanco de la Sierra de Álvarez, SLP, México. *Madera y Bosques*, 14, 81-94.
- Bauer-Christoph, C., Christoph, N., Aguilar-Cisneros, B. O., López, M. G., Richling, E., Rossmann, A., & Schreier, P. (2003). Authentication of tequila by gas chromatography and stable isotope ratio analyses. *European Food Research and Technology*, 217(5), 438-443. doi: 10.1007/s00217-003-0782-4
- Benn, Scot M., & Peppard, Terry L. (1996). Characterization of Tequila Flavor by Instrumental and Sensory Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(2), 557-566. doi: 10.1021/jf9504172
- Blouin, Jacques, & Peynaud, Émile. (2003). *Enología Práctica. Conocimiento y elaboración del vino*: Ed. Mundi-Prensa.
- Campos-García, Jesús, Sosa-Aguirre, Carlos, Reyes-de la Cruz, Homero, & López-Alvarez, Arnoldo. (2009). México Patent No.: I. M. d. I. P. Industrial.
- Cedeño, Miguel C. (1995). Tequila Production. *Critical Reviews in Biotechnology*, 15(1), 1-11. doi: 10.3109/07388559509150529
- Cedeño-Cruz, Miguel. (2003). Tequila production from agave: historical influences and contemporary processes. In N. U. Press (Ed.), *The Alcohol Textbook. A reference for the beverage, fuel and industrial alcohol industries* (4th Edition ed., pp. 223-246). England.
- Chatonnet, P, & Dubourdiou, D. (1998). Comparative Study of the Characteristics of American White Oak (*Quercus alba*) and European Oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*) for Production of Barrels Used in Barrel Aging of Wines *American Journal of Enology and Viticulture*, 49, 79-85.
- Curtis, John D., Lersten, Nels R, & D., Nowak. Michael. (2015). Photographic Atlas of Plant Anatomy. Retrieved 21/07/2015, 2015, from [http://botweb.uwsp.edu/anatomy/images/dicotwood/pages\\_c/SEM0230new.htm](http://botweb.uwsp.edu/anatomy/images/dicotwood/pages_c/SEM0230new.htm)

- 
- 
- De León-Rodríguez, Antonio, Escalante-Minakata, Pilar, Jimenez-García, María I., Ordoñez-Acevedo, Leandro G., Flores-Flores, José L., & Barba-De la Rosa, Ana P. (2008). Characterization of Volatile Compounds from Ethnic Agave Alcoholic Beverages by Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Food Technology & Biotechnology*, 46(4), 448-455.
- De León-Rodríguez, Antonio, González-Hernández, Lidia, Barba de la Rosa, Ana P., Escalante-Minakata, Pilar, & López, Mercedes G. (2006). Characterization of Volatile Compounds of Mezcal, an Ethnic Alcoholic Beverage Obtained from Agave salmiana. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(4), 1337-1341. doi: 10.1021/jf052154+
- DGPDOT, Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. (1977). Declaración General de Protección a la Denominación General de Origen "Tequila". *Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de octubre*.
- Díaz-Morrás, Eduardo, & Vivanco-Sáez, Santiago. (2007). La tonelería y el vino. *Foresta: Revista de la asociación y Colegio de Ingenieros Técnicos Forestales*, No. 35, marzo 2007.
- Fikardos, Winery. (2015). Why are oak barrels important and why do we still use them? *Winemaking*. Retrieved 16/11/2015, 2015, from <http://www.fikardoswines.com.cy/en/fikardos-blog/18-winemaking/153-why-do-we-still-used-oak-barrels>
- Guillou-Calderón, Nathalie Estefanía. (2012). *Mecanismos y efectos asociados a procesos de oxidación de compuestos fenólicos en vinos*. (Ingeniería), Universidad de Chile, Chile.
- Hidalgo-Togores, José. (2003). *Tratado de Enología* (Vol. 1). España: Mundi-Prensa.
- Honorato-Salazar, J. Amador. (1998). Características anatómicas microscópicas de cinco encinos del Estado de Puebla. *Reporte Técnico INIFAP, cir-centro*, 23.
- Honorato-Salazar, J. Amador. (2001). Durabilidad natural de la madera de cinco especies de Quercus del Estado de Puebla. *Polibotánica*, 12, 85-100.
- Hueso, J. A. . (2002). Prontuario de la barrica (pp. 31): Tonelería Victoria. Alta Tonelería.
- Lachenmeier, Dirk W., Richling, Elke, López, Mercedes G., Frank, Willi, & Schreier, Peter. (2005). Multivariate Analysis of FTIR and Ion Chromatographic Data for the Quality Control of Tequila. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 2151-2157. doi: 10.1021/jf048637f

- 
- 
- Lachenmeier, Dirk W., Sohnius, Eva-Maria, Attig, Rainer, & López, Mercedes G. (2006). Quantification of Selected Volatile Constituents and Anions in Mexican Agave Spirits (Tequila, Mezcal, Sotol, Bacanora). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(11), 3911-3915. doi: 10.1021/jf060094h
- Llaudy-Fernández, María del Carmen. (2006). *Contribución al estudio de los factores que afectan la astringencia del vino tinto*. (Tesis de Doctorado), Universitat Rovira i Virgili, España.
- López-Alvarez, Arnoldo, Díaz-Pérez, Alma Laura, Sosa-Aguirre, Carlos, Macías-Rodríguez, Lourdes, & Campos-García, Jesús. (2012). Ethanol yield and volatile compound content in fermentation of agave must by *Kluyveromyces marxianus* UMPe-1 comparing with *Saccharomyces cerevisiae* baker's yeast used in tequila production. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 113(5), 614-618. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiosc.2011.12.015>
- López-Pérez, Mercedes Guadalupe. (2006). Authenticity: The Case of Tequila *Authentication of Food and Wine* (Vol. 952, pp. 273-287): American Chemical Society.
- Martínez, Maximino. (1981). *Los Encinos de México* (Vol. 8): Anales del Instituto de Biología. Comisión Forestal del Estado de Michoacán.
- Martínez-García, J., Barua-González, M., & Gutierrez-Viguera, A. (2006). Influencia del origen del roble en la modificación de la composición aromática de los vinos durante la crianza. *Revista "Enólogos", No.40 (Marzo-Abril)*.
- Miller, Regis B. (1999). Characteristics and availability of commercially important woods. In G. T. R. (GTR) (Ed.), *Wood handbook : wood as an engineering material* (pp. 1.1 - 1.35). Madison, WI. USA: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Moselade, J.R., & J.L., Puech. (1998). Wood maturation of distilled beverages. *Trends in Food Science & Technology*, 9, 95-101.
- Muñoz-Muñoz, Ana C., Pichardo-Molina, Juan L., Ramos-Ortíz, Gabriel, Barbosa-García, Oracio, Maldonado, José L., Meneses-Nava, Marco A., . . . López-de-Alba, Pedro L. (2010). Identification and quantification of furanic compounds in tequila and mezcal using spectroscopy and chemometric methods. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 21, 1077-1087.
- NOM-006-SCFI-2012, Norma Oficial Mexicana. (2012). Bebidas alcohólicas-Tequila-Especificaciones. *Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de diciembre de 2012*, PRIMERA SECCIÓN (5-24).
- 
-



- 
- 
- NOM-070-SCFI-1994, Norma Oficial Mexicana. (1994). Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones. *Diario Oficial de la Federación*.
- NOM-142-SSA1/SCFI-2014, Norma Oficial Mexicana. (2015). Bebidas alcohólicas. *Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de marzo de 2015*, PRIMERA SECCIÓN
- NOM-144-SCFI-2000. (2000). Bebidas alcohólicas-Charanda-Especificaciones. *Diario Oficial de la Federación*.
- NOM-159-SCFI-2004, Norma Oficial Mexicana. (2004). Bebidas alcohólicas-Sotol-Especificaciones y métodos de prueba. *Publicada en el diario oficial de la Federación el 16 de junio de 2004*, PRIMERA SECCIÓN (2-30).
- Pérez-Olvera, Carmen de la Paz, Dávalos-Sotelo, Raymundo , & Guerrero-Cuacuil, Estela (2000). Aprovechamiento de la madera de encino en México. *Madera y Bosques*, 6(1), 3-13.
- Pérez-Olvera, Carmen de la Paz, Vélez-Jimenez, Susana, & Ceja-Romero, Jacqueline. (2006). Anatomía de la madera de ocho especies de Quercus (FAGACEAE) de Oaxaca, México (parte a). *Madera y Bosques*, 12(1), 63-94.
- Rodríguez-Rodríguez, Pedro. (2011). *Composición Química y perfil sensorial de vinos de crianza de la D.O. Jumilla*. (Tesis Doctoral), Universidad de Murcia, Murcia, España.
- Rutiaga-Quiñones, José G., Windeisen, E., & Strobbel, C. (2000). Composición química del duramen de la madera de Quercus candicans Neé. *Madera y Bosques*, 6(2), 73-80.
- Valencia-A., Susana. (2004). Diversidad del género Quercus (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 75, 33-53.
- Vallejo-Cordoba, Belinda, González-Córdova, Aarón Fernando, & del Carmen Estrada-Montoya, María. (2004). Tequila Volatile Characterization and Ethyl Ester Determination by Solid Phase Microextraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(18), 5567-5571.
- Vivas, N. (2005). *Manual de Tonelería*. España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Vivas, Nicolás, & Glories, Yves. (1996). Role of oak ellagitannins in the oxidation process of red wines during aging. *American Journal of Enology and Viticulture*, 47, 103-107.

- 
- 
- Vivas, Nicolas, Vivas de Gaulejac, Nathalie, Vitry, Christiane, Mouche, Claire, Kahn, Nadège, Nonier-Bourden, Marie Françoise, & Absalon, Christelle. (2013). Impact of ethanol content on the scavenging activities of oak wood C-glycosidic ellagitannins. Application to the evaluation of the nutritional status of spirits. *Journal of the Institute of Brewing*, 119(3), 116-125. doi: 10.1002/jib.70
- Wheeler, E. A. . (1996). Some Vessel Element Features. Tyloses. Retrieved 16/11/2015, 2015, from <https://http://www.ncsu.edu/project/sdir/wps202/VEL/vel.html>
- Zamora-Marín, Fernando. (2005). Los aromas que el roble aporta al vino; influencia del grado de tostado de las duelas. *Enólogos*, 35, 42-45.
- Zamora-Marín, Fernando. (2007). Influencia de la crianza en barrica y de la microoxigenación sobre la estabilización de la materia colorante del vino y su astringencia. *Revista Enología*, No. 2 Año IV (Mayo-Junio)
- Zavala-Chávez, Fernando. (1998). Observaciones sobre la distribución de encinos en México. *Polibotánica*, 8, 47-64.