



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE POSTGRADO

**“CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y SENSORIAL DE CERVEZA CON
CRIANZA POR LA ADICIÓN CHIPS DE MADERAS DE ROBLE
AMERICANO Y ROBLE FRANCÉS CON 3 NIVELES DE TOSTADO”**

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniera Agrónoma y al Grado de
Magíster en Ciencias Agropecuarias

CAMILO ANDRES TORO SILVA

Director de Tesis
ÁLVARO PEÑA NEIRA

Profesores consejeros
MARCELA MEDEL MARABOLI
CLAUDIO PASTENES VILLAREAL

SANTIAGO - CHILE
2020

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

“CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y SENSORIAL DE CERVEZA CON CRIANZA
POR LA ADICIÓN CHIPS DE MADERAS DE ROBLE AMERICANO Y ROBLE
FRANCÉS CON 3 NIVELES DE TOSTADO”

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

CAMILO ANDRES TORO SILVA

Calificaciones	Calificaciones
(Memoria de Título)	(Tesis de Grado)

DIRECTOR DE TESIS/AFE

Álvaro Peña-Neira

Ingeniero Agrónomo, Enólogo, Dr.

PROFESORES CONSEJEROS

Marcela Medel Maraboli

Ingeniero Agrónomo, Enóloga, Dr.

Claudio Pastenes Villareal

Ingeniero Agrónomo, Dr.

Santiago, Chile
2019

AGRADECIMIENTOS

Quisiera dar las gracias a todos quienes hicieron el desarrollo de este trabajo posible, partiendo por mi familia, los que desde el inicio me mostraron su incondicional apoyo para lograr todos mis objetivos. En segundo lugar, al equipo docente que me formó, guió y acompañó durante mis años de formación ayudándome a ser el profesional que soy hoy, dando un gran énfasis a los profesores Álvaro Peña, Marcela Medel, Eduardo Loyola, Cristina Ubeda, Juan Salvador, Carla Jara y Elías Obreque. Por otro lado, miembros del laboratorio como Lali y Héctor quienes fueron de gran ayuda en la ejecución de este estudio, siempre con buena voluntad y dispuestos a ayudar. También debo mencionar a Lili y Manuel, quienes siempre me dieron su ayuda prácticamente todos los días.

En Tercer lugar, me gustaría agradecer a todos mis amigos que fueron parte de este proceso, ayudándome desde lo académico a lo personal, y sin quienes muchos de mis proyectos no podrían haberse realizado. Sé que cambiaremos la forma en que se entiende la enología y cervecería, muchos de los valores y principios que aprendí con ustedes harán que el día de mañana marquemos la diferencia, con del trabajo duro, respetuoso y diverso.

Por último, me gustaría agradecer a Tonelerías Nadalie quienes participaron de este proyecto facilitando materiales clave para el desarrollo de este estudio y a los Laboratorios de Química Enológica y de Análisis Cromatográfico y Capacidad Antioxidante por haber financiado los análisis realizados en este trabajo.

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a la cerveza, bebida que trasciende en la historia, posición social, raza y género. A este dulce y amargo elixir que permite conectarnos en fraternidad y camaradería, tanto a aquellos que la disfrutan tomando una simple cerveza para acompañar un momento de relajo, como para aquellos que le dedicamos nuestra vida a aprender y mejorar cada vez más esta noble tradición que es la cervecería.

Lista de abreviaturas empleadas en el texto

CG-SM: Cromatografía de gases - Espectrofotometría de masas

EAG: Equivalente ácido gálico

EBC: European Brewery Convention.

EC: Equivalente Catequina

HPLC: High performance Liquid Chromatography.

IC: Intensidad Colorante

IBU: Index bitternes Unity

ROS: Especies Reactivas de oxígeno.

UA: Unidades de Absorbancia.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE CUADROS	6
INDICE FIGURAS	7
INDICE ANEXOS	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
HIPÓTESIS	12
OBJETIVOS	12
Objetivo general	12
Objetivos específicos	12
MATERIALES Y MÉTODOS	13
Ubicación del estudio	13
Materiales	13
Equipamiento y reactivos	13
Tratamiento y diseño experimental	14
Procedimiento	14
Variables a medir	15
Preparación de muestras	15
Análisis sensorial	16
Análisis estadístico	17
RESULTADOS	18
Análisis Químicos	18
Análisis Fracción aromática	19
Análisis Sensorial	22
DISCUSIÓN	26
CONCLUSIONES	35
BIBLIOGRAFÍA	36
ANEXOS	40

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos experimentales.....	14
Cuadro 2. Valores de los Análisis Químicos Realizados Durante este Estudio.....	18
Cuadro 3. Valores de los Análisis Químicos Realizados Durante este Estudio.....	19
Cuadro 4. Perfil de familias químicas que componen fracción aromática.....	19
Cuadro 5. Perfil de familias químicas que componen fracción aromática.....	20
Cuadro 6. Evaluación de aceptabilidad por panel de consumidores.....	22
Cuadro 7. Evaluación de preferencia por panel de consumidores.....	22
Cuadro 8. Evaluación de parámetros visuales por panel entrenado.....	23
Cuadro 9. Evaluación de parámetros aromáticos por panel entrenado.....	23
Cuadro 10. Evaluación de parámetros aromáticos por panel entrenado.....	24
Cuadro 11. Evaluación de parámetros gustativos por panel entrenado.....	24
Cuadro 12. Evaluación de parámetros gustativos por panel entrenado.....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema elaboración de cerveza.....	15
Figura 2. Gráfico radial del perfil sensorial de cervezas con crianza con maderas de roble americano con tostado bajo (RATL), medio (RAML) y alto (RATH).....	25
Figura 3. Gráfico radial del perfil sensorial de cervezas con crianza con maderas de roble francés con tostado bajo (RFTL), medio (RFML) y alto (RFTH).....	25

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla de compuestos aromáticos obtenidos por Espectrofotometría SM-CG.....	40
Anexo 2. Test de aceptabilidad.....	42
Anexo 3. Test de preferencia.....	44
Anexo 4. Test de calidad técnica.....	45
Anexo 5. Grafico de la evolucion sensorial en cervezas de guarda.....	47
Anexo 6. Biplot de análisis de componentes principales de principales grupos aromáticos de cervezas sometidas a crianza con chips de roble.....	48

RESUMEN

La cerveza corresponde a una bebida alcohólica que ha experimentado un alza considerable en su consumo a nivel mundial en las últimas décadas. Esto ha llevado a una mayor producción, existiendo consumidores que buscan productos diferentes a los tradicionales, surgiendo así la necesidad de diversificar los tipos de cerveza a través del uso de nuevas materias primas y técnicas de elaboración. Dentro de estas últimas se encuentra la crianza con madera de roble, técnica que actualmente se utiliza para promover el desarrollo de las propiedades organolépticas del vino. Las condiciones de este proceso, tales como tipo de madera y tiempo de guarda se establecen en función del origen botánico del roble, nivel de tostado y formato en que se utilizan en la crianza. Es por esta razón que este estudio planteó la elaboración de esta bebida, en donde por un lado existió un tratamiento control (sin crianza) y por el otro se realizaron tratamientos que consistieron en la crianza de estas con madera de roble americano (*Quercus alba*) y francés (*Quercus petraea*) en formato de chips, con 3 niveles de tostado, con el objetivo de determinar el efecto de los tratamientos sobre variables físicas, químicas y sensoriales del producto final, tomando en cuenta la cuantificación de compuestos fenólicos, intensidad colorante, además de la medición de la calidad técnica y hedónica mediante el uso de un panel de degustación entrenado y no entrenado, respectivamente.

Se planteó como hipótesis que el uso de chips de madera de roble, con diferentes niveles de tostado generará un aumento en la concentración de compuestos fenólicos, y por lo tanto una mayor aceptabilidad en las cervezas terminadas.

En este trabajo se pudo concluir que que a medida que aumenta el nivel de tostado en chips de roble utilizados en la crianza de cerveza, incrementa la composición fenólica, calidad aromática y sensorial de los productos elaborados. Por otro lado, el uso de chips de roble americano, en relación al roble francés, en la crianza de cerveza presentó una mayor calidad aromática y sensorial

ABSTRACT

In the last decades, beer consumption's has experienced an explosive increase worldwide. In addition, consumers are demanding new products different than traditional beers with additional properties, such flavors, aromas, functionality, etc. All of the above, has led to greater production supported by development in innovation and research of new products. Thus emerging the need to diversify the types of beer through the use of new raw materials and processing techniques. In this context, barrel oak aging is a technique that is currently used to promote the development of the organoleptic properties in wine production, depending on the botanical origin of the oak, the level of toasting and the format in which it is used in aging, however, there is little scientific information about barrel oak aging for beer production. Hence, this study proposes the elaboration of barrel-aging beer using American oak (*Quercus alba*) and French oak (*Quercuspetraeae*) in chip format during a month, with three levels of toasting (light, medium, and high).

It will be determined the effect of the treatments on physical, chemical and sensory variables on end-products, focusing on the quantification of phenolic compounds, coloring intensity, in addition, a preference test will be carried out using hedonic sensory analysis by untrained and trained panel to analyze the technical quality using a focus group. Trials will be carried out by triplicate and a control will be used (commercial beer without aging)

It is hypothesized that the use of oak wood chips, with different levels of toasting will generate an increase of concentration of phenolic compounds, and therefore greater acceptability in end-beers-product.

In this work , it was possible to conclude that as the level of toasting increases in oak chips used in the aging of beer, the phenolic composition, aromatic and sensory quality of the manufactured products increases. On the other hand, the use of American oak chips, in relation to French oak, in the aging of beer presented a higher aromatic and sensorial quality.

INTRODUCCION

La presencia de la cerveza en la historia se remonta hasta hace antes del 5000 a.c. en Mesopotamia, encontrándose registros arqueológicos que demuestran su presencia en diferentes culturas a lo largo del mundo desarrollaron bebidas alcohólicas fermentadas con los granos que tenían a disposición según su zona geográfica (Krauss, 1969). Es recién a fines del siglo XIX donde Luis Pasteur describe la presencia y acción de microorganismos involucrados en el proceso de elaboración (Bascur, 2013) permitiendo un mayor control sobre los mismos, y gracias a los avances generados por la revolución industrial, surgieron las grandes empresas cerveceras. En Chile, la cerveza comenzó a mediados del siglo XIX, y a finales de ese siglo su consumo se extendió por todo el país (Orellana, 2014).

Actualmente, la cerveza se ubica como la bebida alcohólica más consumida a nivel mundial, solo superado por el consumo de bebestibles no alcohólicos como el té y el agua, donde se estima que Chile alcanza un consumo de 50 L/per cápita, con un incremento en su consumo del 100% en los últimos 17 años (Acechi, 2018), siendo el sexto país con mayor consumo en Latinoamérica. En cuanto a la producción nacional esta se divide en 2 grupos, cervecerías industriales y artesanales (producción mayor y menor a 18.000 hL anuales respectivamente), siendo la Compañía de Cervecerías Unidas (CCU) quien domina el mercado, produciendo 19,8 millones de hectolitros al año representando aproximadamente el 61% del mercado (CCU, 2018). Por último, se encuentra a las cervecerías artesanales o Craft, con una participación cercana al 1% con una gran diversidad de marcas y productores (EyN, 2017). Por normativa chilena sobre la industria la ley 18.455 define a la cerveza como un producto a partir de cebada malteada, lúpulo, levadura y agua, permitiéndose la adición de extractos fermentables, azúcares refinadas y edulcorantes del producto final en su elaboración, según la forma y proporción descritos en el reglamento (MINAGRI, 1986).

Dentro de las materias primas, la más abundante es el agua, constituyendo aproximadamente el 90% de la totalidad de la cerveza, donde existe un completo control de la calidad química y microbiológica, siendo el pH un factor muy relevante. Por otro lado, se pueden encontrar diferentes tipos de sustratos fermentables, tales como maltas de cebada, trigo, maíz y sorgo, que corresponden al grano germinado, secado y tostado, y en función de la intensidad con que estos sean tostados en el proceso de secado, darán lugar a maltas base (sustrato enzimático y fermentable) y maltas especiales (aportan características organolépticas). Además de estas, se encuentra el lúpulo, el cual corresponde a la flor femenina de la planta *Humulus lupulus*, donde su principal función es aportar amargor (iso-alfa ácidos) y aroma. Por último, son las levaduras, hongos unicelulares, las encargadas de la fermentación alcohólica de la cerveza, metabolizando el azúcar disponible del mosto en etanol y CO₂, además de generar impacto en el flavor, siendo las más utilizadas las del género y especie *Saccharomyces cereviceae*. Según el tipo de fermentación que se utilice, se pueden obtener diferentes familias de cerveza: Ale, lager y Lambic. (Kunze, 2006).

Dentro de las propiedades organolépticas que posee esta bebida se puede encontrar; amargor, aromas, color, espuma y grado alcohólico (Rodríguez, 2003). Para la medición de sus propiedades químicas existen metodologías analíticas que describen parámetros como; pH, azúcares residuales, grado alcohólico, acidez, EBC (*European brewery convention*), índice

de gelatina, fenoles totales y taninos totales (García, 2009). La cerveza es una solución muy compleja con un gran número de compuestos en su estructura, donde la interacción entre la cantidad y naturaleza de las diferentes materias primas definirá su perfil sensorial, dependiendo del “estilo” a elaborar, el cual tiene como objetivo organizar parámetros cuantitativos, atributos organolépticos y origen geográfico de las diferentes cervezas existentes en el mundo. Dentro de las descripciones utilizadas para la definición se mencionan: historia, ingredientes, apariencia, aromas, sabores, sensación en boca, ejemplos comerciales e impresión general además de parámetros esenciales como densidad inicial, densidad final, grado alcohólico, amargor (IBU) y color (EBC) (JBCP, 2015).

Durante siglos, el transporte de esta bebida se realizó mediante el uso de barricas de madera, debido a las propiedades físicas del material, al ser fisurable (comportamiento de la madera al ser sometida al rajado), flexible y de una alta durabilidad natural. Los robles del género *Quercus*, cumplen con las aptitudes necesarias como materia prima para ser utilizadas en la fabricación de barricas, donde las especies más utilizadas en la actualidad por las empresas toneleras son el roble americano (*Quercus alba*) y el roble francés (*Quercus petraea*) (Flanzy, 2000). La composición química de ambos tipos de roble es diferente, donde el roble americano es más rico en componentes volátiles y derivados de la lignina, pero muy pobre en elagitaninos. Por su parte, la madera francesa suele ser más rica en fenoles, pero más pobre en compuestos aromáticos que la americana (Vivas, 2005).

Con respecto a la composición química de estas materias primas se han descrito dos líneas de compuestos, mayoritarios o macromoleculares, constituyendo el 90% de la materia seca de la madera, como celulosa, hemicelulosa y lignina. Por otra parte, representando un 10% de la masa de la materia seca se encuentran los compuestos minoritarios o extraíbles, tales como; compuestos fenólicos (aldehídos fenólicos, ácidos fenólicos, cumarinas y taninos) compuestos volátiles, compuestos furánicos, lactonas y fenoles volátiles (Flanzy, 2000). Por otro lado, el tostado es un tratamiento que induce la modificación química de algunos compuestos de la madera, como los anteriormente mencionados. Dentro de este proceso pueden ser clasificados diferentes tipos, como suave (5 min. a 180°C), medio (35 min. a 160-170°C) y fuerte (17,5 min. a 230°C). Según el grado de tostado, se desencadenan reacciones de hidrotermólisis y pirólisis, degradando parcialmente algunos compuestos mayoritarios, generándose precursores de fenoles, aldehídos, ácidos cinámicos y benzoicos mediante procesos de hidrólisis y oxidación, provocando efectos sensoriales favorables (Vivas, 2005). La madera de roble sin tostar presenta solo pequeñas cantidades de fenoles volátiles, principalmente eugenol y aldehídos fenólicos, siendo materias primas poco atractivas para la crianza. Debido a esto, la adición de madera de roble debe ser suministrada de manera estratégica, con el fin de lograr una extracción de compuestos que genere un efecto beneficioso sensorialmente (Rubio, 2014).

Por último, ha sido descrito en diferentes estudios el efecto de la crianza de cervezas con diferentes maderas, indicando diferencias a nivel tanto de los parámetros químicos como de los perfiles sensoriales obtenidos, variando en función del tiempo de crianza, estilo de cerveza, además de la especie, formato, dosis y nivel de tostado de las maderas utilizadas (Vanderhaegen, 2003; 2006; 2007; Femke, 2012)

HIPÓTESIS

A medida que aumenta el nivel de tostado en chips de roble americano y francés, utilizados en la crianza de cerveza, se incrementa la composición fenólica y la calidad aromática y sensorial de los productos elaborados.

El uso de chips de roble americano, en relación al roble francés, en la crianza de cerveza presenta una mayor calidad aromática y sensorial.

OBJETIVOS

Comparar el efecto químico, físico y sensorial de la cerveza obtenida después de las diferentes especies de robles aplicados en la crianza

Comparar el efecto químico, físico y sensorial de diferentes niveles de tostado de chips de maderas aplicados durante la crianza de cerveza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de estudio

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

Materiales

Para cumplir con los objetivos del presente trabajo se utilizaron los siguientes materiales: una olla de cocción de 1500 L, olla Lauther de 1500 L, 253 kg de malta Pilsen, 12 kg de malta Caramunich II, 21 kg de malta Carared, 4 kg de malta Carafa I, 1109 g de lúpulo Hércules (15,6% alfa ácidos), 1071 g de lúpulo Willimate (4,5% alfa ácidos), obtenida en la distribuidora Maltexco (Estación Central, Región Metropolitana), 300 g de levadura seca *Saccharomyces cerevisiae* (S-04, Fermentis), 1500 L agua previamente hervida, 500 mg de clarificante Isinglass, botellas de plástico de 3 L de capacidad.

Equipamiento y reactivos

Para los análisis de caracterización de las cervezas se utilizó un potenciómetro para la medición de pH (Hanna), un equipo de destilación de laboratorio y un aerómetro para la medición del grado alcohólico. Para el análisis pormenorizado de compuestos fenólicos flavonoides y no flavonoides se utilizó un equipo de cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) Agilent 1260 Infinity Serie (Alemania), equipado con una bomba cuaternaria G1311B, un detector DAD, columna Novapack C18 y un computador. Para la preparación de los extractos fenólicos de las muestras se utilizó un Rotavapor Büchi B-491 (Suiza). Los análisis fenólicos (taninos y fenoles totales) se realizaron mediante el uso de un espectrofotómetro UV-VIS Pharmaspec, modelo UV-1700 (Shimadzu, Kyoto, Japón). Para la saturación de CO₂ final se utilizó un saturador SodaStream, modelo Gold botella Pet.

Todos los solventes usados [formiato de Amonio y HCl, etanol (96% v/v)], se adquirieron en Merck S.A. (Santiago, Chile). Los estándares para análisis correspondieron a muestras de ácido gálico para compuestos fenólicos y catequina para taninos, los cuales fueron adquiridos en Sigma Aldrich (EEUU).

MÉTODOS

Tratamientos y diseño experimental

El estudio estuvo constituido por 7 tratamientos, en donde cada uno constó de 3 repeticiones. La unidad experimental correspondió a 3 L de cerveza contenida en botellas de 3 L.

Cuadro 1. Tratamientos experimentales

T0	Sin crianza
T1	Crianza con Roble Americano / tostado bajo
T2	Crianza con Roble Americano / tostado medio
T3	Crianza con Roble Americano / tostado alto
T4	Crianza con Roble Francés / tostado bajo
T5	Crianza con Roble Francés / tostado medio
T6	Crianza con Roble Francés / tostado alto

Procedimiento

Se inició con la molienda de las maltas, dejando el contenido interno del mismo, en este caso almidón, expuesto al ambiente. Posteriormente se realizó el macerado, en donde se colocó la malta molida en una olla con agua a razón 1:3 p/v. Se inició con una temperatura de 45° durante 10 min, posteriormente se elevó a 52°C aumentando 1°C por minuto, con un reposo de 15 min, luego se aumentó a 63°C, donde permaneció 40 min en reposo, luego se elevó a 72°C reposando 40 min y por último se elevó la temperatura a 78°C. Una vez terminada la maceración, se filtró por medio de un proceso de recirculación del mosto a través del grano por medio de la olla Lauther. Posteriormente el mosto fue transferido a la segunda olla en donde fue hervido durante 120 min, agregándose el lúpulo Hérkules en el minuto 60 una vez iniciado el hervido, y el lúpulo Willimate fue suministrado una vez terminado el hervido en el tanque de fermentación donde el mosto fue previamente enfriado a 17°C mediante un enfriador de placas. Durante este procedimiento se mantuvo la temperatura durante toda la fermentación y luego se trasvasijó a un estanque de fermentación, durante aproximadamente 7 días, con monitoreo diarios de temperatura y densidad. Al llegar a la densidad final se procedió a la carbonatación mediante la inyección de CO₂, dejando la cerveza con una concentración del gas de 1,6 volúmenes.

Por último, cuando terminó la carbonatación, se procedió a dar inicio a la crianza, en donde se vertió la cerveza en estanques de 3 L en conjunto con los chips, con una dosis de 2 g/L, aplicando de esta manera los 7 tratamientos correspondientes a las maderas de 2 especies de roble con 3 niveles de tostado cada una, más un control al que no se le realizó crianza. Al terminar este proceso, el cual duró 1 mes, con una temperatura de guarda de 2° a 4°C, la

cerveza fue nuevamente embotellada sin las maderas, donde se carbonató una segunda vez para compensar el CO₂ perdido en el proceso de crianza con un equipo de saturación, posteriormente se embotelló con tapas tipo corona y botellas Borgoñesas, las cuales se dejaron reposar por 12 meses a la temperatura de crianza (Figura 1).



Figura 1. Esquema elaboración de cerveza

Variables a medir

A las muestras de los 7 tratamientos se les realizaron las siguientes determinaciones analíticas:

- Taninos totales: MCP (Sarneckis et al., 2006).
- Fenoles totales: Espectrofotometría a DO 280 nm (García-Barcelo, 1990).
- Intensidad colorante: Espectrofotometría a DO 420+520+620 nm (García-Barcelo, 1990).
- Análisis básicos: Acidez total, pH, grado alcohólico probable, azúcares reductores (Bordeau- Scarpa, 1998).
- Composición aromática: Espectrofotometría SM-CG (Martínez et al., 2011)
- IBU: Absorbancia 275 nm (García-Barcelo, 1990).
- EBC: Absorbancia 430 nm (García-Barcelo, 1990).
- Espuma: Altura y estabilidad (Constant, 1992).

Preparación de muestras

Para realizar las determinaciones analíticas, se eliminó el anhídrido carbónico de las muestras, siendo vertidas en un matraz Erlenmeyer de 250 mL a medio llenar que luego fueron sometidas a un baño ultrasónico por 15 minutos. Este procedimiento se realizó de igual manera para todos los análisis.

Análisis sensorial

Se evaluó calidad técnica y calidad hedónica mediante una pauta en donde los atributos de la primera fueron obtenidos mediante un *focus group*, previo a la evaluación, el cual constó de un panel previamente entrenado de 12 evaluadores, pertenecientes a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, siendo capacitados para la identificación de parámetros tales como amargor, espuma, color y aromas característicos. En la segunda, las evaluaciones fueron realizadas por un panel de 80 consumidores no entrenados, se utilizaron pautas no estructuradas de 15 cm (Araya, 2012). Los tratamientos del ensayo fueron evaluados en una sesión y las muestras fueron entregadas en forma aleatorizada dentro de cada ensayo, en copas transparentes (Robichaud-Noble, 1990), conteniendo 100 mL de cerveza a temperatura de 10°C (Ciappini, 2008). Estas evaluaciones se llevaron a cabo en cabinas individuales, equipadas con una mesa, silla y luz blanca. Para relubricar la cavidad bucal y evitar la saturación de los evaluadores, se dio un período de descanso de 40 segundos entre la evaluación de las muestras.

Calidad hedónica: Para los efectos de este estudio, se realizó la evaluación de todos los tratamientos por parte de un panel no entrenado de consumidores, el cual analizó sensorialmente las muestras y las sometió a 2 tipos de pruebas, siendo la prueba de aceptabilidad la que midió de manera individual cada una de las muestras, cuantificando el grado de aceptación del producto. Por otra parte, la prueba de preferencia consistió en la evaluación paralela de los diferentes tratamientos, ubicándolos desde el más preferido hasta el menos preferido.

- **Test de aceptabilidad:** La primera parte de este análisis consistió en la valoración simultánea de todos los tratamientos.
- **Test de preferencia:** La segunda parte del análisis corresponde a la clasificación simultánea de los diferentes tratamientos, valorándolos en un ranking en función de las preferencias de cada miembro del panel.

Calidad técnica: Consistió en la caracterización de los diferentes parámetros definidos por el *focus group*, el cual cuantificó dichos parámetros, agrupados en 3 categorías: visual, aromático y gustativo (Vanderhaegen, 2003).

Análisis estadístico

Se realizaron dos análisis estadísticos, donde en el primero se valoraron las variables químicas y físicas, utilizando un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA). Donde los factores M y T corresponden a tipo de madera y nivel de tostado respectivamente, donde:

Y_{ij} : variable respuesta.

μ : media de las muestras.

M_i : Efecto madera (roble americano y francés).

T_j : Efecto tostado: (bajo, medio y alto)

ϵ_{ij} : Error experimental

$$Y_{ij} = \mu + M_i + T_j + \epsilon_{ij}$$

Con respecto al análisis estadístico del análisis sensorial, se utilizó un diseño de bloques completamente aleatorizados (DBCA) en la evaluación de la calidad técnica, utilizando a 12 evaluadores entrenados como bloques, por otro lado, en la evaluación de la calidad hedónica se utilizaron 80 consumidores como bloques. Cabe mencionar que el factor bloque (β) corresponde a cada integrante del panel correspondiente. Donde:

$$Y_{ij} = \mu + M_i + T_j + \beta_k + \epsilon_{ij}$$

Y_{ij} : variable respuesta.

μ : media de las muestras.

M : Efecto madera (roble americano y francés).

T : Efecto tostado: (bajo, medio y alto)

β_k : Efecto bloque.

ϵ_{ij} : Error experimental.

En ambos casos, estos fueron evaluados mediante modelos lineales mixtos (MLM). En caso de presentar diferencias estadísticamente significativas se hizo uso de una prueba de comparación múltiple, en este caso el test de Fisher.

RESULTADOS

Análisis químicos

Dentro de los análisis realizados en este estudio se evaluaron parámetros como pH, Acidez total, azúcares reductores, grado alcohólico, intensidad colorante (IC), european brewery convention (EBC), index bitterness unity (IBU), taninos totales y fenoles totales (Cuadros 2 y 3) donde los valores obtenidos fueron evaluados estadísticamente encontrando diferencias significativas para algunos de estos como: grado alcohólico, con un valor promedio de 8,64% v/v, un mínimo de 8,4% v/v para el T3 y un máximo de 9,1% v/v para el T2 presentando una variación de 5,8% en relación al control. Para la I.C. el valor promedio fue de 4,4, con un máximo de 5,1 para el T0 y con un mínimo de 4,2 en T4 y T5 observando una baja en los valores obtenidos en relación al control correspondiente a una variación de 17,7%, de manera paralela el resultado de EBC tuvo un valor promedio de 65,3, con un máximo de 75 para el T0 y un mínimo de 63 para T2, T3 y T6, presentando una diferencia de 16%. En el caso de IBU ° se obtuvo un valor promedio de 23,3°, con un máximo de 25,0° para los T2 y T6, con un mínimo de 23,0° para el T0, T1 y T4 indicando una variación de un 13,6% entre tratamientos.

Cuadro 2. Valores de los análisis químicos realizados durante este estudio

Tratamiento	pH	Azúcar		Acidez		A°		I.C.		
	-	g/L		g/L (1)		v/v (2)		U.A.(3)		
T0	4,03 ± 0,01	a	5,37 ± 0,73	a	1,24 ± 0,05	a	8,6 ± 0,0	b	5,1 ± 0,15	a
T1	4,03 ± 0,02	a	5,20 ± 0,34	a	1,47 ± 0,00	a	8,6 ± 0,2	b	4,6 ± 0,40	b
T2	3,93 ± 0,11	a	5,10 ± 0,43	a	1,50 ± 0,11	a	9,1 ± 0,5	a	4,6 ± 0,55	a
T3	4,00 ± 0,19	a	5,23 ± 0,41	a	1,24 ± 0,58	a	8,4 ± 0,2	b	4,3 ± 0,26	b
T4	3,92 ± 0,07	a	5,67 ± 0,68	a	1,34 ± 0,58	a	8,7 ± 0,2	a	4,2 ± 0,23	b
T5	3,88 ± 0,06	a	5,10 ± 0,26	a	1,30 ± 0,58	a	8,5 ± 1,0	b	4,2 ± 0,32	b
T6	3,92 ± 0,05	a	4,90 ± 0,45	a	1,17 ± 1,0	a	8,5 ± 1,0	b	4,3 ± 0,10	b

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

También fue posible encontrar diferencias estadísticas al analizar los valores obtenidos de los taninos totales, con un promedio de 359,76 mg/L, en que el valor mínimo de 232 mg/L se observó en T0, revelando una variación de un 84% con T3 que alcanza un valor máximo de 427 mg/L. Por último, los valores encontrados para los fenoles totales señalan un promedio de 1197,52 mg/L, con un máximo de 1241 mg/L para T0 y un mínimo de 1159 mg/L en T4 indicando una variación de 6,7% entre estos tratamientos. Es necesario mencionar que los resultados que mostraron diferencias significativas en este estudio serán analizados para explicar si efecto de la crianza con chips de robles, y si el origen botánico y su nivel de tostado generan un impacto en los tratamientos.

Por otro lado, hubo parámetros cuyos valores no presentaron diferencias estadísticamente significativas, como fue el caso del pH donde se puede señalar un valor promedio de 3,96,

con un máximo de 4,03 para el T0 y un mínimo de 3,88 para el T5. De manera similar puede analizarse los valores de los Azúcares reductores, con un valor promedio de 5,22 g/L, un máximo de 5,37 g/L para el T0 y un mínimo de 4,9 g/L para el T6. Por último, cuando se analiza la acidez total de las muestras, los datos obtenidos señalan que el valor promedio fue de 1,32 g/L, con un máximo de 1,5 g/L para el T2 y un mínimo de 1,7 g/L para el T6, por lo que se puede especular que, tanto la adición de maderas de roble americano y francés, como los diferentes niveles de tostado de las mismas, no ejercen un efecto sobre la concentración de ácidos, azúcares reductores ni el pH de la cerveza.

Cuadro 3. Valores de los análisis químicos realizados durante este estudio

Tratamiento	Fenoles		Taninos		Color		Amargor		Espuma	
	mg AGE/L ⁽¹⁾		mg CE/L ⁽²⁾		EBC ⁽³⁾		IBU ⁽⁴⁾		cm	
T0	1241 ± 7,0	a	232 ± 51,3	a	75 ± 7,0	a	22 ± 1,0	a	13,4±1,1	a
T1	1235 ± 43,5	a	425 ± 62,8	b	63 ± 2,0	b	22 ± 1,5	a	14,0±1,1	a
T2	1180 ± 62,1	ab	329 ± 21,0	ab	63 ± 3,2	b	25 ± 0,5	b	11,1±1,4	a
T3	1181 ± 43,1	ab	427 ± 62,4	b	65 ± 3,7	b	24 ± 1,1	ab	13,9±1,1	a
T4	1159 ± 39,3	b	386 ± 109	b	64 ± 2,8	b	22 ± 1,0	a	14,2±1,1	a
T5	1184 ± 27,7	ab	337 ± 78,1	ab	64 ± 3,5	b	24 ± 0,5	ab	12,0±1,0	a
T6	1203 ± 8,0	ab	381 ± 97,4	b	63 ± 2,0	b	25 ± 0,0	b	13,2±1,1	a

Promedio ± desviación estándar. Letras minúsculas distintas en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos (LSD Fisher, $p < 0,05$). (1) mgAGE/L: Equivalente en mg/L de ácido gálico (2) mg CE/L: Equivalente en mg/L de catequina; (3)°EBC: European Brewery Convention; (4) °IBU: International Bitterness Units.

De manera paralela se realizó la prueba de estabilidad de espuma, la cual no arrojó diferencias entre los diferentes tratamientos, con un tiempo promedio de retención de 13,1 segundos, donde T4 fue el que mantuvo el mayor tiempo la formación de espuma con 14,2 segundos y T2 el que presentó la menor retención con 11,3 segundos.

Durante el desarrollo de este estudio se realizó el análisis, descripción y cuantificación del perfil de compuestos que integran la composición aromática de las cervezas sometidas a los diferentes tratamientos a través del uso de un cromatógrafo de gases, para el cual se identificó un gran número de compuestos aromáticos. Estos se agruparon en familias según su naturaleza química y los valores de los mismos pueden observarse en los Cuadros 4 y 5.

Cuadro 4. Perfil de familias químicas que componen fracción aromática

Tratamiento	Alcoholes		Esteres		Cetonas		Terpenos	
T0	32889 ± 2237	cd	44934 ± 2776	bc	246 ± 8	cd	397 ± 17	b
T1	40825 ± 3111	a	57301 ± 6615	a	269 ± 3	abc	473 ± 35	a
T2	34416 ± 296	bc	47739 ± 2906	b	257 ± 9	abcd	373 ± 3	bc
T3	30955 ± 2077	d	41005 ± 3114	bc	252 ± 3	abcd	345 ± 15	bc
T4	36315 ± 168	bc	40190 ± 1216	bc	276 ± 26	ab	376 ± 49	bc
T5	35078 ± 2330	bc	31187 ± 7911	d	285 ± 30	a	323 ± 64	c
T6	33382 ± 869	bcd	38171 ± 4847	cd	236 ± 1	d	324 ± 12	c

Promedio ± desviación estándar. Letras minúsculas distintas en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos (LSD Fisher, $p < 0,05$). Unidades expresadas en área relativa.

Es importante mencionar que la sumatoria de las concentraciones relativas de cada familia en los diferentes tratamientos presentaron diferencias estadísticamente significativas en relación al control, el primer caso es el de los Alcoholes, la cual presentó un incremento de un 24,1% en T1, donde para el mismo tratamiento de manera similar para Esteres y Terpenos se observó un incremento de 27,5% y 19,9%, respectivamente. En el caso de los Compuestos Fenólicos volátiles y los Ácidos Carboxílicos hubo un incremento en T1 y T4 para ambas familias donde para la primera de estas, experimentó un incremento de 18% y 22,3% y la segunda 27,7% y 31,9% respectivamente.

Cuadro 5. Perfil de familias químicas que componen fracción aromática

Tratamiento	Ác. Carboxílicos		Aldehídos		C. Fenólicos	
T0	3910 ± 180	cd	18 ± 3	c	85,4 ± 8,2	bc
T1	4616 ± 325	ab	29 ± 2	a	109,1 ± 8,6	a
T2	4249 ± 474	bc	24 ± 4	ab	84,7 ± 5,7	cb
T3	3552 ± 157	de	22 ± 2	bc	80,3 ± 6,8	c
T4	4783 ± 88	a	19 ± 1	bc	112,7 ± 2,4	a
T5	3696 ± 172	de	21 ± 0,5	bc	86,4 ± 17,6	bc
T6	3429 ± 219	e	22 ± 5	bc	100 ± 0,5	ab

Promedio ± desviación estándar. Letras minúsculas distintas en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos (LSD Fisher, $p < 0,05$). Unidades expresadas en área relativa.

Para las Cetonas también se observó un incremento en relación al control, en este caso T4 y T5 aumentaron un 12,2% y 15,7% respectivamente, siendo este último el tratamiento el que obtuvo la mayor concentración relativa de este grupo (Cuadro 4). Por último, para los Aldehídos también se registró un incremento de su concentración relativa para T1 y T2 con una variación de 62,2% y 37,2% siendo esta la familia que presentó la mayor variación porcentual en relación al testigo.

Al avanzar en la descripción de los compuestos de cada grupo mencionados en el Anexo 1, en primer lugar, se mencionan los Alcoholes, encontrándose 18 compuestos en donde el mayoritario fue el fenil etil alcohol el cual presentó un incremento en la concentración relativa con diferencias estadísticamente significativa en el T1 de un 22,7 % en relación al control. Además, pueden mencionarse compuestos como el isobutanol con un incremento de un 30% en T1, el metil butanol con un aumentó en T1 y T2 de 27,6% y 11,6% correspondientemente y el 2-nonanol con un incremento de 210% en T2. En el caso de las Cetonas fueron detectados 2 compuestos, donde solo el difurfuril eter presentó diferencias significativas en los tratamientos de tostado bajo y medio para ambas especies de roble, donde T2 fue el que presentó el menor incremento con un 18,2% y T5 el que presentó el mayor con una diferencia 41,8% en relación al testigo.

Por otro lado, en el grupo de los Compuestos Fenólicos se identificaron 2 compuestos, siendo el ácido benzenopropánico el mayoritario en función de su área relativa, con un aumento de un 27,9% en relación al control. En el caso de los Terpenos fueron 5 los compuestos hallados, siendo el linalol el mayoritario, seguido del metil nerolato y en último lugar el L- α -terpinenol los compuestos que registraron la mayor variación en sus concentraciones donde los 3 presentaron un incremento en el T1 en relación al control de un 16,6%, 30,9% y 27,5% respectivamente.

Dentro de los Aldehídos fue detectado solo 1 compuesto, correspondiente al benzaldehído, el cual presenta un aumento en su concentración relativa en T1 y T2 de 62,3% y 37,2% respectivamente en relación al T0. Al evaluar los Ácidos Carboxílicos se identificaron 7 compuestos, donde el mayoritario fue el ácido octanoico presentando diferencias en su concentración en T1 y T4 de 15,2% y 20,3% correspondientemente. También se detectaron diferencias en compuestos de menor presencia como el ácido isovalérico y hexanoico donde ambos presentaron sus máximas concentraciones en T4 con variaciones de 27,8% y 37,5% correspondientemente en relación a T0.

La última familia corresponde a los Ésteres, identificándose 30 compuestos, siendo este el grupo químico de mayor presencia, en donde el más abundante correspondió al el 2-fenil etil acetato con un incremento de un 19,4% en T1 en relación al control, seguido del etil hexanoato y el etil decanoato, los que presentaron un incremento en su concentración relativa en T1 de 20,4% y 52,3% correspondientemente. También podemos mencionar compuestos que a pesar de no ser los mayoritarios alcanzaron variaciones importantes en T1 como el etil tetradecanoato y el γ -nonalactona experimentando un incremento de 104% y 22% respectivamente en relación a T0. Por último, es importante mencionar que el etil undecanoato tuvo un incremento significativo en todos los tratamientos con roble americano, en el cual T2 experimentó un incremento del 152,4% en relación al testigo.

Análisis sensorial

En los resultados del Test de aceptabilidad (Cuadro 6) se puede observar que el valor promedio de todos los tratamientos fue 8,13, el valor mínimo fue 6,64 obtenido en el Tratamiento 4, y el valor máximo fue 9,6 para el Tratamiento 3, siendo este último el mejor evaluado con una variación de 9,6% en relación al T0. A su vez, también entrega los resultados del análisis estadístico, el cual muestra diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, ubicando al T3 como el mejor evaluado, y al tratamiento 4 como el peor evaluado. Por otro lado, los resultados del Test de preferencia (Cuadro 7) permitieron observar que T3 se ubica como el mejor posicionado dentro del ranking, con una media de 3,01 con una variación de 15,7% en relación al T0, por otra parte, el peor posicionado fue el Tratamiento 4 con una media de 4,87

Cuadro 6. Evaluación de aceptabilidad por panel de consumidores

Tratamiento	Media	
T0	8,7 ± 3,3	ab
T1	7,7 ± 3,6	bcd
T2	8,3 ± 3,3	bcde
T3	9,6 ± 3,4	a
T4	6,6 ± 3,3	f
T5	7,5 ± 3,3	bcdef
T6	8,3 ± 3,1	abc

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

Ambos análisis sensoriales, tanto el Test de aceptabilidad como el de preferencia ubican a T3 (crianza con Roble Americano / tostado medio) como el mejor evaluado, dando cuenta que existe una tendencia en cuanto a la elección del panel de un tratamiento como el más aceptado a nivel general. De manera paralela, ambos análisis ubicaron como el peor evaluado al T4 (crianza con Roble Americano / tostado alto), corroborando estas tendencias.

Cuadro 7. Evaluación de preferencia por panel de consumidores

Tratamiento	Ranking	
T0	3,5	ab
T1	4,4	de
T2	3,8	bc
T3	3,0	a
T4	4,8	e
T5	4,3	cde
T6	3,9	bcd

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

Una vez obtenidos los resultados de las evaluaciones hedónicas se dio paso a las evaluaciones de calidad técnica, consistiendo en la caracterización de los parámetros visual, gustativo y aromático, definidos por el *focus group*. Con respecto a los parámetros visuales se analizaron la espuma y el color de las cervezas, cuyos valores pueden observarse en el Cuadro 8. En cuanto a la espuma se alcanzó un valor promedio de 3,1 y el mejor el T5 con 4,8, T0 con 1,4, el que obtuvo la menor calificación con diferencias significativas entre sí. Por otro lado, el color presenta un valor promedio de 9,8 siendo el peor evaluado el T0 con 9,5 y el mejor evaluado el T6 con 10,4 sin diferencias significativas entre ellos.

Cuadro 8. Evaluación de parámetros visuales por panel entrenado

Tratamiento	Espuma	Color
T0	1,2 ± 1,0 b	9,5 ± 1,9 a
T1	4,9 ± 3,1 a	9,6 ± 2,0 a
T2	2,8 ± 3,3 ab	9,6 ± 2,5 a
T3	2,2 ± 1,7 b	9,9 ± 2,0 a
T4	3,5 ± 4,4 ab	10,1 ± 2,2 a
T5	4,7 ± 3,3 a	9,6 ± 1,8 a
T6	2,6 ± 2,6 ab	10,4 ± 1,5 a

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

En segundo lugar se obtuvieron los resultados de los parámetros aromáticos, donde el *focus group* definió los 8 descriptores más relevantes dentro del perfil aromático de los diferentes tratamientos (Cuadros 9 y 10). En este aspecto, se observaron diferencias significativas para descriptores como Madera con un valor promedio de 7,3 donde T2 obtuvo la menor puntuación con 6,6 y T5 la mayor con 8,4 donde se observa una variación de 21,7% en relación a T0. El Caramelo presentó un valor promedio de 6,6 en donde el menor puntaje fue 5,3 para T2 y el mayor fue 8 para T5 el cual presentó una variación de 48,1% en relación a T0. Por último, el aroma a Chocolate presentó un valor promedio de 4,8 donde el tratamiento evaluado con el menor valor fue T4 con 4,2 y la mayor expresión de este atributo se observó en T3 con 5,7 el cual evidenció una variación de 26,6% en relación a T0.

Cuadro 9. Evaluación de parámetros aromáticos por panel entrenado

Tratamiento	Café	Caramelo	Coco	Chocolate
T0	6,3 ± 3,1 a	6,4 ± 2,8 abc	3,2 ± 3,6 a	4,5 ± 3,4 ab
T1	6,3 ± 3,1 a	6,9 ± 3,4 ab	3,8 ± 3,1 a	5,3 ± 2,5 ab
T2	7,5 ± 3,7 a	4,6 ± 4,0 c	3,3 ± 2,6 a	4,9 ± 3,3 ab
T3	6,5 ± 3,2 a	5,8 ± 4,0 bc	3,0 ± 2,2 a	5,7 ± 2,6 b
T4	6,0 ± 3,1 a	6,9 ± 3,5 ab	3,7 ± 3,4 a	4,2 ± 2,1 ab
T5	7,2 ± 2,7 a	7,9 ± 2,5 a	3,5 ± 3,3 a	4,6 ± 3,4 a
T6	7,2 ± 2,4 a	7,3 ± 3,9 bc	3,2 ± 3,8 a	4,6 ± 3,8 ab

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

Por otra parte, los demás descriptores no presentaron diferencias estadísticamente significativas, dentro de los cuales se pueden mencionar Café, obteniendo un valor promedio de 6,7 con un valor máximo de 7,2 para T6 y un valor mínimo de 6 para el T4. Para el Coco se obtuvo un valor promedio de 3,4 con un valor máximo de 3,8 para T1 y un valor mínimo de 3 para T3. Tostado mostró un valor promedio de 8, en donde el valor máximo fue 9,1 para T2 y un mínimo de 7,3 para T0. En el descriptor de Vainilla se presentó un valor promedio de 4,9 con un valor máximo de 6,2 para T4 y un mínimo de 4 para T2. Por último, Flores fue evaluado con un valor promedio de 4 donde el valor máximo lo obtuvo T6 con un 6,2 y un valor mínimo de 4 para T0.

Cuadro 10. Evaluación de parámetros aromáticos por panel entrenado

Tratamiento	Madera		Tostado		Vainilla		Flores	
T0	6,9 ± 3,6	ab	8,7 ± 2,1	a	3,7 ± 3,2	a	4,0 ± 3,3	a
T1	6,7 ± 3,6	b	7,9 ± 2,5	a	5,9 ± 3,4	a	4,2 ± 3,2	a
T2	6,6 ± 3,1	b	8,1 ± 2,9	a	4,0 ± 3,2	a	4,3 ± 3,5	a
T3	7,5 ± 3,0	ab	7,6 ± 2,0	a	3,6 ± 1,9	a	3,8 ± 3,4	a
T4	7,8 ± 3,9	ab	7,3 ± 3,2	a	6,2 ± 3,8	a	4,1 ± 3,5	a
T5	8,4 ± 3,9	a	7,4 ± 3,1	a	5,8 ± 3,4	a	4,3 ± 3,3	a
T6	7,3 ± 3,3	ab	9,1 ± 2,8	a	5,1 ± 4,0	a	4,7 ± 3,4	a

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

Por último, al observar los resultados de los parámetros gustativos se analizaron; dulzor, amargor, acidez, astringencia, persistencia y volumen en boca, cuyos resultados pueden observarse en los Cuadros 11 y 12. En este caso las evaluaciones realizadas por el panel entrenado y su posterior análisis estadístico mostraron diferencias significativas para todos los parámetros gustativos, con excepción del volumen en boca, en donde se obtuvo un valor promedio de 7,3 con que valores oscilaron entre 8,2 para T1, siendo este tratamiento el que mostro mayor presencia de este atributo, y 6,3 para T3, el cual fue evaluado como el que presento la menor presencia de este atributo.

Cuadro 11. Evaluación de parámetros gustativos por panel entrenado

Tratamiento	Dulzor		Amargor		Acidez	
T0	6,4 ± 3,8	ab	8,1 ± 2,0	a	6,5 ± 2,8	ab
nT1	6,4 ± 3,4	ab	6,8 ± 2,8	ab	7,0 ± 3,8	ab
T2	6,3 ± 3,4	ab	7,6 ± 3,0	a	7,6 ± 3,1	a
T3	6,0 ± 3,2	ab	5,5 ± 2,9	b	6,0 ± 2,8	ab
T4	7,4 ± 3,4	a	8,0 ± 2,6	a	5,2 ± 3,4	b
T5	7,5 ± 2,8	a	7,0 ± 3,1	ab	5,4 ± 3,7	b
T6	5,0 ± 3,1	b	7,4 ± 3,6	a	7,1 ± 3,4	ab

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

Con respecto a los gustos básicos el dulzor presentó un valor promedio de 6,4 en que el tratamiento peor evaluado fue T6 con 5, y la más alta para este atributo fue T5 con 7,5 observándose una variación de un 17,2% en relación a T0. Por otro lado, para el amargor se obtuvo un valor promedio de 7,2, en donde el tratamiento que presentó el menor valor fue el T3 con 5,5 y el mayor fue el T0 con 8,1 con una variación entre estos valores de un 32%. Por último, la acidez presentó un valor promedio de 6,5 en donde el Tratamiento con menor presencia de este atributo fue el T4 con un 5,2 y el de mayor fue el T2 con un valor de 7,6 con una variación de un 14,5% en relación a T0.

Cuadro 12. Evaluación de parámetros gustativos por panel entrenado

Tratamiento	Vol. Boca		Astringencia		Persistencia	
T0	6,4 ± 2,9	a	4,6 ± 2,7	ab	2,4 ± 2,0	b
T1	8,2 ± 3,2	a	4,5 ± 2,7	ab	5,7 ± 3,3	a
T2	7,7 ± 3,0	a	4,2 ± 2,2	ab	4,5 ± 4,4	ab
T3	6,3 ± 2,8	a	3,7 ± 2,5	b	2,3 ± 1,5	b
T4	8,0 ± 3,7	a	5,9 ± 4,3	a	4,8 ± 4,9	ab
T5	7,2 ± 3,2	a	4,4 ± 3,3	ab	5,6 ± 4,3	a
T6	7,4 ± 2,6	a	4,9 ± 4,0	ab	3,3 ± 3,9	ab

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

Dentro de otros atributos gustativos se analizaron la astringencia y la persistencia, donde el primero presentó un valor promedio de 4,6 en que el tratamiento peor evaluado correspondió a T3 con un valor de 3,7 y la más alta fue T1 con un valor de 5,9. Por otro lado, la persistencia obtuvo un valor promedio de 4 en que T3 presentó el menor valor, correspondiente a 2,3 y T1 el que presentó la mayor expresión de este atributo con un valor de 5,7 observando una variación de 57,8% en relación a T0.

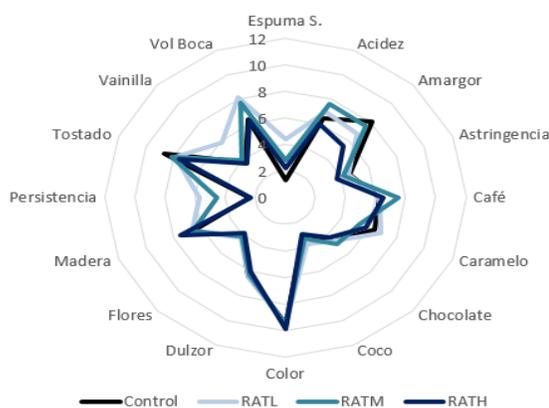


Figura 2. Gráfico radial del perfil sensorial de cervezas con crianza con maderas de roble americano con tostado bajo (RATL), medio (RAML) y alto (RATH).

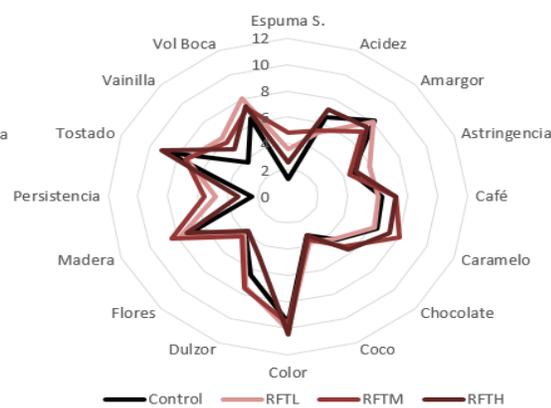


Figura 3. Gráfico radial del perfil sensorial de cervezas con crianza con maderas de roble francés con tostado bajo (RFTL), medio (RFML) y alto (RFTH).

DISCUSIÓN

En el marco de la presente investigación, es importante tener presente que producto de las tecnologías utilizadas para la carbonatación de las cervezas sometidas a los tratamientos no se logró una obtención uniforme en la difusión de CO₂ al realizarse el embotellado final. Por otro lado, si bien se fijó como un mes el período en el que las cervezas estarían expuestas a los diferentes tratamientos, por razones técnicas y logísticas, se determinó un periodo de 12 meses de guarda posterior a completado el mes de crianza, con efectos potenciales sobre algunos parámetros, como se discutirá más adelante.

Los resultados obtenidos confirmaron que el estilo de cerveza utilizado para el plan experimental, coincidió con los parámetros establecidos por el Manual de estilo BJCP (2015), excepto por el IBU, el que se encontró por debajo de los estándares. Tomando esto en consideración, se consiguió establecer patrones en los efectos tanto para las especies de roble como para sus niveles de tostado utilizados, donde en el caso de los parámetros químicos (Cuadro 2) se puede observar que para las variables pH, Azúcares Reductores y Acidez Total, no se registraron diferencias significativas entre tratamientos. Estos resultados coinciden con los valores obtenidos por García (2009) en la descripción de una amplia gama de cervezas nacionales. En la evaluación del grado alcohólico se registraron diferencias para T2 y T4, donde no se exhibió un comportamiento asociados a la especie de roble o su nivel de tostado. Estos resultados se pueden contrastar con la investigación de Femke et al. (2012), quienes bajo condiciones experimentales similares al diseño de este estudio no encontraron diferencias significativas para este parámetro en ningún tratamiento.

Por otro lado, al evaluar las demás variables químicas (Cuadro 3) se observa que para IC y ECB (ambas medidas estandarizadas para la medición del color) todos los tratamientos presentaron una disminución considerable de sus valores, en similar intensidad, en relación al tratamiento testigo, por lo que se podría especular que existe un efecto de la crianza con maderas, pero no para las variables especies y nivel de tostado. Al analizar los grados IBU, como se mencionó anteriormente, este parámetro no cumplió con los estándares esperados para el tipo de cerveza producida. Esto puede explicarse debido a la degradación de *trans*-iso-alfa ácidos, compuestos con una vida media de 12 meses con una baja estabilidad en el tiempo en relación a su isómero *cis*, que mediante procesos de oxidación por la interacción con especies reactivas de oxígeno (ROS) presentes en el medio, disminuyen progresivamente su concentración y en consecuencia el amargor en la medida que se mantiene la guarda (De Cooman et al., 2000). Con respecto a la variación dentro de los tratamientos, las diferencias tienden a ubicar a los mayores valores de esta variable en los tratamientos con mayores tostados, donde la especie no tiene un efecto claro. Cabe mencionar que la degradación de estos compuestos puede dar origen a precursores y posterior formación de alcanos, alquenos y cetonas impactando de manera considerable en el perfil sensorial (Vanderhaegen, 2006).

Con respecto al color, los resultados obtenidos en el estudio recién mencionado son discordantes. Dicho estudio consistió en someter a envejecimiento diversas cervezas comerciales, determinando que existe un aumento en el color producto de la interacción de compuestos intermediarios en la reacción de Maillard. Esto, mediante procesos de condensación, deshidratación, ciclización e isomeración entre azúcares reductores y material

nitrogenado como aminoácidos, proteínas, aminos o péptidos, se da paso a la formación de melanoidinas. Estos compuestos poseen propiedades cromáticas que producen un aumento del color, donde este fenómeno ocurre en función de las condiciones de almacenaje tales como; tiempo de guarda, grado alcohólico, temperatura, pH, concentración de oxígeno y concentración de precursores.

Al evaluar los resultados de los Taninos Totales y compararlos con el estudio de García (2009), es posible mencionar que la concentración de estos compuestos se encuentra dentro del espectro descrito por dicho autor, y que al ser compuestos provenientes principalmente de las maltas y lúpulos utilizados (Callemien et al., 2007) se puede asumir que el aumento en la concentración es debido al aporte de las maderas utilizadas. No obstante los taninos de las maltas son de tipo condensado y los de la madera de tipo hidrolizable, al utilizarse un método de precipitación en su determinación por reacción con CMC, es posible que haya un resultado aditivo de ambos tipos de taninos. Por otro lado, no hubo diferencias significativas para esta variable entre las especies de roble estudiadas, pero sí en relación al nivel de tostado, donde el nivel bajo obtuvo la mayor concentración de estos compuestos. Esto puede explicarse para los tostados bajos a que al aumentar el nivel de tostado también lo hace la degradación y transformación de compuestos fenólicos como elagitaninos entre otros, por lo que el envejecimiento con maderas con tostados bajos tienden a presentar una mayor concentración de estos compuestos (Vivas, 2005).

En el caso de los Fenoles Totales, al igual que en los taninos totales, las concentraciones resultaron estar dentro de los parámetros establecidos por el estudio de García (2009), pero en este caso no se observó una dinámica clara entre este parámetro y los tratamientos estudiados. Solo se encontraron diferencias significativas entre las cervezas en que se utilizó maderas con tostados bajos de ambas especies de roble, donde fue el roble americano la especie que mostró una mayor concentración en relación al roble francés, contrario a lo descrito por Vivas (2005) quien establece que este último posee una mayor concentración de estos compuestos que el americano. Los compuestos fenólicos que se encuentran en la cerveza corresponden principalmente a ácidos fenólicos, flavanoles y flavonoles provenientes principalmente de la malta y en menor cantidad de los lúpulos (García, 2009). Se ha descrito en los trabajos de Vanderhaegen (2006) que producto de la crianza pueden generarse procesos de polimerización mediante catálisis ácida y oxidación por interacción con ROS dando origen a la formación de especies de alto peso molecular como taninos, donde la presencia de acetaldehído favorece esta reacción formando puentes entre flavanoles. Por otro lado, la interacción de compuestos fenólicos con proteínas puede generar compuestos insolubles aumentando así la turbidez.

La segunda parte de la discusión se enfocó en las dinámicas de concentración de las familias aromáticas encontradas mediante CG-SM (Anexo 1) donde la tendencia general mostró que en la medida que aumentó el nivel de tostado la concentración de todos los grupos encontrados disminuyó, con algunas excepciones como se observó en aldehídos para los tratamientos con roble francés y Compuestos Fenólicos con roble Americano. De esta manera, al evaluar las especies de roble utilizadas, los resultados muestran una clara tendencia en la que Cetonas y Compuestos Fenólicos presentan mayores concentraciones en los tratamientos con roble Francés, caso contrario a las demás familias como Alcoholes, Ésteres, Terpenos, Ácidos Carboxílicos y Aldehídos, los cuales presentaron mayores

concentraciones en los tratamientos con roble Americano. Estos resultados pueden compararse con los de Dumitriu (2017) quien describió las dinámicas de concentración de compuestos aromáticos en vinos de Fetsca negra sometidos a crianza con maderas de roble Francés (*Quercus robur*), indicando que tanto alcoholes como ácidos carboxílicos no presentaron diferencias sino hasta 3 meses en contacto con la madera. En el caso de los ésteres y terpenos si hubo diferencias, aumentando su concentración en la medida que los tostados eran más intensos. Por otro lado los resultados de García-Carpintero et al. (2012) quienes evaluaron el efecto de la crianza con chips de roble americano tostado medio en vinos españoles var. Moravia Agria, observaron un incremento en la concentración de ésteres, aldehídos y ácidos carboxílicos, a diferencia de lo alcoholes y terpenos, los cuales no registraron diferencias con el control.

Con respecto al análisis de los compuestos aromáticos encontrados en cada familia (Cuadros 11 y 12), el grupo de los alcoholes exhibió una clara tendencia al aumento en su concentración en los tratamientos con roble americano, donde el isobutanol, fenil etanol y metil butanol registraron un incremento en los tostados bajos, con excepción de este último el cual presentó este comportamiento también con el tostado medio. Por otro lado, el 2-nonanol incrementó solo en este último nivel de tostado. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Muñoz et al. (2012) quienes observaron un incremento de estos alcoholes con una mezcla de chips de Roble Americano y Francés con un tostado medio. Se hace necesario mencionar que la oxidación de algunos alcoholes superiores por su interacción con melanoidinas como aceptores de electrones permite la formación de metil butanol, metil propanol y fenil etanol aumentando su concentración en el tiempo, reacción regulada principalmente por las condiciones de almacenaje durante la guarda previamente mencionadas (Vanderhaegen, 2006).

Un comportamiento similar al descrito para los Alcoholes se registró en el grupo de los Ésteres, Terpenos y Aldehídos, donde en el primero de estos grupos de compuestos aromáticos se observó que los compuestos que presentaron un incremento en su concentración se registraron en los tratamientos con chips con roble Americano y tostado bajo, a excepción del etil undecanoato el cual no obtuvo diferencias en el nivel de tostado de los chips, afectando de igual manera exclusivamente a los tratamientos con Roble Americano. Al contrastar los resultados con los de Muñoz et al. (2012) se observó un incremento de los ésteres de etilo de ácidos grasos de cadena lineal como el etil hexanoato y etil decanoato. La formación de esterres ocurre inicialmente en la fermentación por acción de las levaduras, cuyos descriptores florales y frutales alcanzan una alta intensidad y son característico de cervezas frescas, siendo las principales moléculas responsables de esto isoamil acetato, etil acetato y etil hexanoato donde uno de los principales factores limitantes para su formación es la concentración de sus promotores, en este caso los ácidos orgánicos presente en el medio como lo son los iso- α -ácidos. También ha sido descrito que durante la crianza la concentración de estos disminuye rápidamente por el efecto hidrolítico de las esterres liberadas en la autólisis de las levaduras, generando que los aromas frutales-florales disminuyan su intensidad (Vanderhaegen, 2007). Por otro lado, también se ha registrado en los estudios de Gijs et al (2002) que en este periodo se observa un aumento en la concentración de ésteres volátiles como el metil butirato, metil propionato, lactato de etilo y cinamato de etilo entre otros, los cuales se asocian a descriptores de envejecimiento como vinoso, dulce y afrutado. Por último, los esterres cíclicos o lactonas tales como γ -nonalactona

y γ -hexolactona también tienden a aumentar su concentración durante la guarda, aportando perfiles aromáticos a durazno y afrutado, considerándose importantes para el flavor de cervezas envejecidas. La velocidad de síntesis depende tanto de las condiciones de almacenamiento como del grado alcohólico de la cerveza, por lo que se puede afirmar que las cervezas de fermentación Ale poseen una mayor concentración de estos compuestos que las Lager.

En el caso de los terpenos, se obtuvo la misma tendencia a su incremento en la concentración de sus compuestos para el tratamiento con roble Americano y tostado bajo a excepción del L- α -terpinenol el cual también experimentó un aumento para el mismo nivel de tostado, pero también para el roble Francés, no obstante los estudios de Muñoz et al., (2012) no obtuvieron diferencias significativas entre vinos tratados con las maderas estudiadas. Por otro lado Dumitriu (2017) ni siquiera detectó estos compuestos en tratamientos de similares características.

De igual manera, en el grupo de los aldehídos fue el benzaldehído el que presentó aumentos importantes en su concentración en los tratamientos de roble Americano con tostado bajo y medio. Estudios previos de Vanderhaegen et al. (2003) señalan que debido a la degradación de algunos aminoácidos como leucina, isoleucina y fenilalanina da lugar a la formación de aldehídos como metil butanal, metil propanal, benzaldehído y fenil acetaldehído, los que pueden ser identificados como marcadores de oxidación, esta reacción se denomina reacción de Strecker. Antecedentes similares aparecen en los estudios de Callejón et al. (2010) quienes observaron un incremento de estos compuestos en la crianza vinagre en barricas de roble, donde al parecer el contacto con la madera libera precursores que con el tiempo inducen a transformación de los mismos en benzaldehído. Se ha descrito que la formación de aldehídos lineares en crianza, siendo el acetaldehído el más importante, mostrando que el incremento de este se debe a la oxidación de etanol y su incremento presenta diferencias entre cervezas maduras en barriles con aquellas maduras con chips, ya que las barricas permiten un mayor ingreso de oxígeno al medio, generando un medio más oxidativo. Otro compuesto encontrado en este estudio corresponde al n-hexanal, obtenido a través de la oxidación de lípidos que interactúan con aminoácido o proteínas y otorga aromas añejos propios de la crianza como el descriptor “cartón” (Vanderhaegen, 2007).

Con respecto a los ácidos carboxílicos, se identificó que el ácido octanóico el cual presentó incrementos en los tratamientos con tostado bajo para ambas especies de Roble. Diferente fue el caso de los ácidos isovalérico y hexanóico, los cuales presentaron el incremento de su concentración en todos los tratamientos menos en el roble Americano con tostado alto. Cabe mencionar que los ácidos hexanóico y octanóico derivan de procesos metabólicos asociados a levaduras u otros microorganismos por lo que su presencia puede derivar de factores microbiológicos y no a la presencia de madera durante la crianza (Clarke y Bakker, 2004). Al evaluar los resultados de los compuestos pertenecientes a los grupos de los Compuestos Fenólicos y las Cetonas, fueron el ácido bencenopropanoico y el difurfuril éter correspondientemente aquellos que no presentaron un efecto relacionado a la especie de roble utilizada. No obstante, hubo efectos en cuanto al nivel de tostado, donde el primero registró un aumento en su concentración en los tostados bajos, y el segundo en los tostados medios. Por último, los estudios de (Muñoz et al., 2012; Gómez García-Carpintero, 2012) muestran que el ácido bencenopropanoico no sufrió cambios en su concentración en vinos tratados con

maderas de roble francés y americano de tostado medio, ni siquiera con crianzas con el doble de la dosis de chips de roble establecido en este estudio. En el caso de las cetonas, no se encontraron compuestos que pudiesen señalar un efecto de las maderas, donde difurfuril eter fue el único compuesto que incremento su concentración en los tratamientos de tostado bajo y medio de ambas especies de roble. Esta relación positiva entre el nivel de tostado y su concentración no se explica ya que todavía existe el debate entre su génesis y la relación directa con la degradación de ligninas_(Natali, 2006). Por otro lado, se ha descrito el aumento en la concentración de 4-metilpenta-2-ona, 3-penten-2-ona y diacetilo debido al aumento de sus precursores durante la crianza por la degradación de iso alfa ácidos, donde cervezas de fermentación Ale presentan un mayor potencial de formación de estos compuestos (Vanderhaegen, 2006).

Para un mayor entendimiento de los efectos de la guarda de cerveza y su efecto en los parámetros organolépticos es necesario mencionar algunas reacciones que generan un gran impacto en los parámetros de calidad de las mismas. Primero se puede mencionar a la Reaccion de Maillard, la cual permite la formación de melanoidinas y de compuestos aromáticos con descriptores de “añejos” como furfural y 5-hidroximetil furfural entre las más importantes, aumentando linealmente en el tiempo en función de las condiciones de guarda. Por otro lado, también se sintetiza 5-metil furfural, 2-acetil furano, furfuril alcohol y furfuril etil eter, donde este último aporta aromas a evolución como el descriptor de solvente y el resto son identificados como descriptores de deterioro térmico donde sus precursores son formados por el uso de altas temperaturas durante el proceso de elaboración como en el macerado y hervido. En segundo lugar, se puede mencionar la oxidación de ácidos grasos insaturados provenientes principalmente de las maltas como por ejemplo el ácido linoleico, la que puede ocurrir por interacción con ROS's o por acción de lipooxigenasas (LOX) dando origen a precursores del 2-nonenal el cual posee un descriptor a cartón pudiendo asociarse a un defecto del producto. En tercer lugar puede mencionarse la formación de β -damacenona, un carbonil carotenoide cuyo precursor corresponde al acetilenodiol el cual mediante hidrolisis de glucosidos da lugar a la formación de estos compuestos los cuales aportan aromas con un perfil frutal-floral (Vanderhaegen, 2003; 2006).

Por otro lado, para entender algunas reacciones que ocurren durante la crianza de cervezas con maderas es importante mencionar que durante el proceso de tostado de la madera hay polímeros estructurales como celulosa y lignina que son degradados debido a las altas temperaturas dando lugar a la formación de un gran espectro de fenoles, aldehídos, derivados de furfural y lactonas entre otros (Bozalongo, 2007), los que sumado a las diferencias fisiológicas y bioquímicas de las especies de Roble utilizadas (Vivas, 2005) es esperable encontrar diferencias en la composición de compuestos volátiles asociado a descriptores aromáticos en los tratamientos analizados. Sin embargo, se ha estudiado el efecto de la crianza de cervezas y vinos con diferentes maderas de roble y tostados, los cuales mostraron compuestos aromáticos como vainillina, eugenol, guaiacol y sus derivados. Por otro lado también se pueden encontrar derivados de celulosa o hemicelulosa como furfural, 5-metilfurfural y diferentes isómeros de whiskylactonas, donde esta últimas imparte un efecto considerable en el perfil aromático, aportando aromas a nuez de coco y madera (Muñoz et al., 2012). Es debido a la imposibilidad de determinar algunos de estos compuestos que se genera el cuestionamiento del efecto de los tratamientos en este estudio, donde la ausencia de estos compuestos podría deberse al tiempo de crianza o la dosis de chips empleada, los

cuales en estudios sobre esta misma temáticas fueron el doble a los empleados en el presente estudio, lo que sumado al bajo grado alcohólico y un periodo de 12 meses de crianza la cerveza pueden haber causado una baja extracción en comparación a los resultados de estudios en vinos, además de la degradación de algunos de estos compuestos durante la crianza (Femkle et al., 2012).

En tercer lugar, se realizó el análisis sensorial, iniciando con las dinámicas de percepción de los gustos básicos (Cuadro 11), donde el dulzor no presentó diferencias significativas en relación a la especie de roble utilizada. No obstante, los tratamientos con roble francés si presentaron diferencias entre los niveles de tostado, donde los niveles “bajo” y “medio” fueron evaluados como los más dulces para este parámetro. Al analizar el amargor, se identificaron diferencias en las especies de roble utilizadas, donde el tostado “alto” obtuvo una mayor calificación de este atributo en el tratamiento con roble francés. Se observó un comportamiento similar en el caso de la acidez dado que no se registraron diferencias significativas en relación al control, pero al comparar las especies de roble se puede observar que, para el nivel medio de tostado, el tratamiento con roble americano presentó una mayor expresión de este parámetro que el con roble francés. Estos resultados pueden ser evaluados desde dos puntos de vista. El primero consiste en el afecto del uso de maderas para crianza, donde Femke et al, (2012) mencionan el efecto en los perfiles gustativos, aumentando la percepción de amargor y dulzor, donde el primero disminuye y el segundo aumenta en la medida que lo hace el nivel de tostado. En cuanto a la especie de Roble, el Francés tiende aumentar más el amargor en relación al americano, esto debido a la propia concentración de taninos en función de su origen botánico, en cambio este último tiene un mayor potencial de formación de compuestos aromáticos que darán lugar a un aumento en la percepción de dulzor (Vivas, 2005).

También debe ser mencionado efecto del tiempo de crianza como se muestra en la Figura 4, donde Vanderhaegen, (2006) ha descrito la disminución y alteración del amargor producto de la degradación de iso-alfa-ácidos, donde al mismo tiempo ocurre la extracción de compuestos amargor por parte de las maderas utilizadas en crianza. Es así que los menores tostados registran el mayor aumento de este parámetro con respecto al dulzor observándose un aumento de este parámetro explicado por el efecto de la reacción de Strecker, permitiendo la formación de compuestos aromáticos asociados a maduración, aumentando de esta manera la intensidad de sabores dulces y así mismo la percepción general de dulzor. En el caso de la acidez, su aumento en crianza se encuentra relacionado principalmente a la presencia de microorganismos alterantes como del género *Lactobacilus*, *Brettanomyces* y *Pediococcus*, siendo considerado un defecto con excepción de cervezas ácidas de algunos estilos Belgas (Lentz, 2018). Esta información puede complementarse con los resultados obtenidos por Koussissi et al. (2009), quienes analizaron el efecto sensorial de la crianza de vinos del cv. Aghiorghitiko con barricas de roble americano con 3 niveles de tostado, donde se observó que para los tostados medio y alto existía una alta correlación con una mayor percepción de amargor, contrario al caso del tostado bajo donde no se registró un aumento en la percepción de amargor, mientras que la acidez no presentó diferencias significativas para ningún nivel de tostado, aun así, a este último parámetro se le correlacionó a tratamientos de tostado alto.

Se ha descrito de manera general la evolución sensorial en cervezas, tanto el efecto de crianza con maderas como el de la guarda en el tiempo, donde el color tiende a intensificarse debido

al aumento en la concentración de melanoidinas. Con respecto a la evolución aromática se puede mencionar una disminución en la intensidad de aromas frutales y un aumento de los descriptores de “añejos” como lo son el cartón, caramelo, alcohólico, quemado y rancidez producto de la síntesis de compuestos resultantes de la reacción de Maillard como se puede observar en la Figura 3. Es necesario mencionar que cervezas oscuras enmascaran descriptores a evolución, presentando un mayor potencial de guarda y estabilidad aromática, de esta manera, algunos estilos de pueden utilizar el desarrollo de estos aromas para dar complejidad, mientras que en otros son evaluados como indicadores de deterioro. Por último, debido al deterioro de iso-alfa-acidos el amargor se ve afectado disminuyendo su intensidad, al mismo tiempo desarrollando notas astringentes además de aumentar la concentración de precursores de diferentes compuestos aromáticos asociados a crianza mencionados anteriormente (Vanderhaegen, 2006).

Al evaluar los parámetros visuales (Cuadro 8) se realizó una comparación con los resultados de las pruebas de laboratorio, observándose diferencias entre ambas mediciones, tanto para espuma como para el color, donde el primero registro la mayor presencia de este atributo para los tratamientos de roble americano tostado bajo y roble francés tostado medio en relación al control para las pruebas sensoriales las cuales pueden ser contrastadas con los resultados de laboratorio, donde no se observaron diferencias significativas para altura ni retención de espuma. La discordancia de estos resultados pudo generarse debido a una carbonatación irregular de las cervezas al ser embotelladas después del periodo de crianza (Constant, 1992). En relación al color se puede observar que no hubo diferencias en la evaluación del panel para este atributo, tanto para la especie de roble como para los niveles de tostado. Esto se contrapone a los resultados obtenidos de IC y EBC, los cuales muestran diferencias entre el control y el resto de los tratamientos. Estos resultados son discutidos en el análisis del color mediante las pruebas de laboratorio de este estudio.

Posteriormente se dio lugar al análisis de los parámetros gustativos (Cuadro 12) donde el volumen en boca no presentó diferencias significativas entre las especies de roble ni el nivel de tostado de los chips. Por otro lado, si se comparan los valores obtenidos para la astringencia en relación al control, no hubo diferencias para el nivel de tostado de los chips, pero si los hubo entre especies, evidenciando que la mayor percepción de este atributo se detectó en el tratamiento de roble Francés tostado bajo y la menor en el tostado alto. Estos resultados pueden contrastarse con la información existente, donde es sabido que el roble Francés presenta una mayor concentración de elagitaninos que el Americano, y que al ser tostados estos son sometidos a procesos de termo degradación disminuyendo hasta en un 90% de estos compuestos (Vivas, 2005) afectando de esta manera tanto la astringencia como el volumen en boca (Navarro et al., 2016). Por último, en relación a la persistencia se observó que los mayores tostados registraron la menor percepción de este atributo, presentando su mayor expresión en los tratamientos de roble Americano tostado bajo y Francés tostado medio, y si estos resultados se comparan con los de Rubio (2014) es posible observar que no se encontraron diferencias para este parámetro en relación al origen de la madera para vinos Tempranillo envejecidos con chips de roble Americano y Francés tostado medio. Además, dentro se evaluó la persistencia entre dos niveles de tostado de roble Americano, donde no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Al avanzar en el análisis sensorial se procedió a evaluar los descriptores aromáticos (Cuadros 10 y 11) y sus dinámicas de percepción en los diferentes tratamientos, donde en ninguno se presentaron diferencias en relación al testigo, pero si en función de la especie de roble y el nivel de tostado, siendo el descriptor caramelo el que registró una mayor presencia de este atributo para el roble Francés tostado medio. Para el mismo nivel de tostado en el roble Americano presentó el menor nivel de percepción. De manera similar, el descriptor de madera presentó diferencias entre las especies utilizadas, donde para un nivel de tostado medio fue el roble Francés el cual expuso el máximo valor encontrado, que al compararse con el Americano presentó el valor más bajo. Estos resultados coinciden con los de Femke et al., (2012) quienes describen en su estudio los perfiles aromáticos de cervezas asociado al aporte de compuestos fenólicos aportados por tratamientos similares. Por último, el descriptor chocolate presentó la mayor expresión en el tratamiento de roble americano tostado alto en relación al francés tostado medio el cual obtuvo el menor valor para este descriptor, contrario a lo descrito por Koussissi et al. (2009), quienes atribuyen la mayor expresión de este atributo en vinos de la variedad Aghiorghitiko sometidos a crianza con maderas de tostado bajo para ambas especies de roble. El resto de los descriptores aromáticos analizados no presentaron ningún tipo de diferencia, tanto al evaluar las especies de roble como los niveles de tostado. Esta información puede contrastarse con los estudios de Ortega-Heras et al. (2010), quienes describen el efecto sensorial de las maderas y sus tostados mostrando un abanico más amplio que muestra diferencias entre las maderas utilizadas en vinos españoles de la variedad Mencía y Tinta del País.

Por último, se analizaron las pruebas del panel sensorial no entrenado, los cuales ayudaron a generar un ranking de los tratamientos siendo clasificados en función de la aceptabilidad (Cuadro 6) y preferencia (Cuadro 7) de los panelistas. En este estudio se registraron tendencias positivas en ambos test para los tratamientos asociados a la especie de roble Americano. Además se observó un claro aumento de los puntajes en la medida que aumentó el nivel de tostado, donde T3 obtuvo el mayor puntaje a pesar de no presentar diferencias significativas con el control. Por otro lado, el tratamiento con el menor puntaje resultó ser T4. Este comportamiento según Gonzalez et al. (2018), corresponde una tendencia de los consumidores por cervezas menos amargas al estandarizar los demás parámetros, lo que en este caso se cumple dado que T3 presentó un menor amagar que T4, reafirmando de esta manera la relación previamente establecida.

Con el objetivo de esclarecer las interacciones anteriormente mencionadas entre los parámetros sensoriales y compuestos de la fracción aromática analizados en este estudio se realizó un Análisis de Componentes Principales (Figura 4) donde en el gráfico Biplot el CP1 (explica el 42,2% de variación) ubicó las observaciones en función del nivel de tostado de los chips de roble. El CP2 (explica el 21,3% de variación) ubicó las observaciones en función de la especie de roble utilizada, por lo que el ACP explica un 63,5% de la variabilidad total. Se observó la relación entre estos factores estableciendo asociaciones positivas entre los tratamientos con un mismo nivel de tostado, con excepción del tostado medio el cual muestra una relación negativa entre las ambas especies de roble. Por otro lado, también se registró la correlación de los tratamientos que usaron la misma especie de roble en la crianza, en ambos casos se les asoció positiva y negativamente a ciertos parámetros que se analizarán a continuación;

El primer grupo a evaluar corresponde a los tratamientos con tostados bajos, el cual fue relacionado positivamente a un gran número de compuestos como; γ -nonalactona, linalol, benzaldehído, ácido bencenopropanoico, ácido isovalérico, fenil etanol y difurfuril eter entre otros, encontrándose todas las familias aromáticas estudiadas, donde su presencia ha sido ampliamente descrita en estudios anteriores (Vanderhaegen, 2003; 2006. Vivas, 2005), los que indican una mayor presencia de compuestos derivados de la degradación de polisacáridos en tostados bajos, permitiendo que estos no sean degradados por efecto de las altas temperaturas durante el tostado. Con respecto a los aspectos sensoriales, se le relacionó positivamente con descriptores de coco y flores, además de una presencia del amargor, producto de una mayor concentración de taninos suministrada por las maderas con bajo tostado y por lo tanto una menor degradación de estos compuestos. Cabe señalar que algunos de los compuestos mencionados han sido descritos en la literatura con descriptores como; frutos secos y tropical, madera y rancidez, los que si bien no han sido estudiados en este trabajo no se descarta que estos puedan pertenecer al perfil sensorial de dichas cervezas, atenuadas por su interacción con otros compuestos odorantes con un menor umbral de percepción. (Femkle ,2012; Wyler, 2013)

En el segundo grupo, correspondiente a los tratamientos con tostado medio y alto de roble francés, donde el primero de estos presentó un perfil similar al primer grupo, asociándose a compuestos como cetonas y ácidos carboxílicos ya mencionados, relacionados con descriptores como; coco, flores, caramelo y madera, además de una alta relación con el dulzor, astringencia y amargor. Se observó para ambos grupos una relación negativa con ciertos alcoholes, ésteres y terpenos como; 2-nonanol, etil undecanoato y metil nerolato (solo en tostado medio, también relacionado a primer grupo), asociándose a descriptores como café, tostado y chocolate (asociado también a segundo grupo), además de una alta relación positiva con la acidez, los que a su vez presentaron una relación positiva con el tercer grupo, correspondiente a los tostados altos más el control y el tostado medio para roble Americano. Estas relaciones cobran sentido ya que en este cambio de grupo se observan las diferencias más marcadas en cuanto a perfil de compuestos volátiles y su perfil aromático asociado (Dumitriu, 2017; Fernandez de Simon, 2010; Femkle, 2012)

Parece pertinente mencionar que este estudio ayuda a marcar pauta para posteriores investigaciones respecto a la crianza de cervezas con roble, donde se propone seguir con esta línea, modificando parámetros que nos permitan comprender mejor los manejos de este producto, tales como; especies de roble, dosis de chips, tiempo de crianza, factores ambientales, además de tecnologías y materias primas utilizadas.

CONCLUSIONES

De la presente investigación se obtienen las siguientes conclusiones;

- Se acepta la hipótesis planteada ya que a medida que aumenta el nivel de tostado en chips de roble americano y francés, utilizados en la crianza de cerveza, incrementa la composición fenólica, calidad aromática y sensorial de los productos elaborados.
- El uso de chips de roble americano, en relación al roble francés, en la crianza de cerveza presenta una mayor calidad aromática y sensorial.
- Los parámetros químicos estudiados no presentan diferencias importantes al evaluar las variables especie de roble y nivel de tostado, no obstante, existen diferencias entre los tratamientos sometidos a crianza en relación al control, para algunas variables.
- Los parámetros gustativos no presentan grandes diferencias al evaluar el efecto de las variables especie de roble y nivel de tostado. A pesar de esto existen diferencias entre los tratamientos sometidos a crianza, donde las mayores diferencias se le atribuyen al efecto especie de roble.
- Los atributos aromáticos no experimentan diferencias considerables entre los tratamientos sometidos a crianza y el control, no obstante, en análisis sensorial se observa que el factor especie de roble ejerce un efecto en los tratamientos sometidos a crianza, por otro lado, se asocia el nivel de tostado utilizado a el incremento de ciertos perfiles aromáticos propios de cada nivel.
- Las pruebas de aceptabilidad y preferencia ubican con los mejores resultados a los tratamientos sometidos a crianza con roble americano, relacionando a los tostados más intensos con una mayor afinidad por parte del panel evaluador.
- Sumado al efecto de la crianza con maderas en la evolución química y sensorial, se hace necesario mencionar el efecto de la guarda, donde ocurren reacciones de degradación y síntesis de compuestos que regulan alteraciones sensoriales como la disminución del amargor y la aparición de descriptores aromáticos propios del envejecimiento como; cartón, solvente, rancidez y un amplio espectro de sabores dulces.

BIBLIOGRAFÍA

Araya, E. 2012. Evaluación sensorial de alimentos. Guía de laboratorio. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile.

Bascur, G. 2013. Plan de negocios de una cervecería artesanal en la región Metropolitana. 101 p. Tesis Magister. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Santiago, Chile.

Bordeau, E; Scarpa, J. 1998. Análisis Químico del vino. Ediciones Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Santiago, Chile.

Bozalongo, R. 2007. Analysis of French and American oak chips with different toasting degrees by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography–mass spectrometry, Department of Chemistry, University of La Rioja, C/Madre de Dios, 51, E-26006 La Rioja, España.

Callejon, R. 2010. Changes of volatile compounds in wine vinegars during their elaboration in barrels made from different woods. Food Chemistry, 120(2): 561-571.

Callemien, D. 2008. Guyot, S. Collin, S. Use of thiolysis hyphernated to LP-HPLC-ESI(-) MS/MS for the analysis of flavonoids in fresh lager beers, Food Chemistry 110: 1012-1018.

Compañía de Cervecerías Unidas (CCU). 2019. Memorial Anual. Santiago, Chile. Disponible en <https://www.ccuinvestor.com/wp-content/uploads/CCU%202019%20-%2030%20marzov6%20EEFF%20completos.pdf>.

Ciappini, M. 2008, La cerveza: una bebida con todos los matices. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Rosario, Argentina.

Clarke, R. J, Bakker, J, 2004. Wine flavour chemistry. Ed. Blackwell Publishing Ltd. Oxford, UK.

Constant, M. 1992. A Practical Method for Characterizing Poured Beer Foam Quality. Miller Brewing Company, Milwaukee, EEUU.

De Cooman, L. 2000. Alterations of the profiles of Iso-a-acids During Beer ageing, Market Instability of Trans Iso-a-Acids and implications for beer bitterness Consistency in relation to tetrahydroiso-a-acids. KaHo St-Lieven, Laboratory of Enzymes and Brewing Technology, Ghent, Belgium.

Dumitriu, 2017. Volatile and phenolic composition of red wines subjected to aging in oak cask of different toast degree during two periods of time. University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine “Ion Ionescu de la Brad”, Viticulture and Oenology Department.

Agrifood Campus of International Excellence, University of Cordoba, Cordoba, Spain. Food Science and Technology 83: 643-651.

Economía y Negocios Online (EyN). 2017. Consumo de Cerveza Artesanal en Chile. Santiago, Chile. Disponible en <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=383960> (Consultado en Julio de 2020)

Femke, L. 2012. Wood Aging of Beer. Part I: Influence on Beer Flavor and Monophenol Concentrations. Centre for Malting and Brewing Science, Faculty of Bioscience Engineering, K.U. Leuven, Belgium.

Femke, L. 2012. Wood Aging of Beer. Part II: Influence of Wood Aging Parameters on Monophenol Concentrations. Centre for Malting and Brewing Science, Faculty of Bioscience Engineering, K.U. Leuven, Belgium.

Fernandez de Simon, B. 2010. Effect of size, seasoning and toasting in the volatile compound in toasted oak wood and in a red wine treated with them. Departamento de Productos Forestales, Centro de investigación Forestal (CIFOR), Instituto Nacional de investigación y tecnología agraria y alimentaria (INIA), Madrid, España. Analytica Chimica 660: 211-220.

Flanzy C. 2000. Enología: Fundamentos científicos y tecnológicos. Technique et documentation, Paris, Francia, 783 p.

García-Barceló J. 1990. Técnicas analíticas para vinos. P. 512-521. Análisis de laboratorio FAB. Barcelona, España.

García, S. 2009. Caracterización química y sensorial de cervezas comercializadas en el Mercado chileno. 12-19 p. Universidad de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Santiago, Chile.

Gómez García-Carpintero, E. 2012. Impact of alternative technique to ageing using oak chips in alcoholic or in malolactic fermentation on volatile and sensory composition of red wines. Food Chemistry. Volume 134, Issue 2: 851-863.

Gonzalez, C. 2018. Integration of non-invasive biometrics with sensory analysis techniques to assess acceptability of beer by consumers. Dunshea School of Agriculture and Food, Faculty of Veterinary and Agricultural Sciences, University of Melbourne, Australia.

Gijs, L. 2002. How low pH can intensify beta-damascenone and dimethyl trisulfide production through beer aging. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50: 5612–5616.

KIRIN. 2013. Consumo mundial de cerveza. Consultado en http://www.kirinholdings.co.jp/english/news/2014/1224_01.html#table3.

Koussissi, E. 2009. Influence of toasting of oak chips on red wine maturation from sensory and gas chromatographic headspace analysis. Department of Oenology and Beverage Technology, Technological Educational Institute (T.E.I.) of Athens, Athens, Greece

Kunze W. 2006. Tecnología para Cerveceros y Malteros. VLB, Berlín, Alemania.

Lentz, M. 2018. The Impact of Simple Phenolic Compounds on Beer Aroma and Flavor. Department of Biology, University of North Florida, Jacksonville, USA.

Martínez, J; Ojeda, S; Rubio, P. 2011. Aporte aromático del roble español *Quercus pireaica* durante la crianza en barrica de vinos tempranillo. Actualizaciones en Investigación Vitivinícola. XI Congreso Nacional de Investigación Enológica (GIENOL). 555-558. Andalucía, España.

MINAGRI. 1986. Fija normas sobre producción, elaboración y comercialización de alcoholes etílicos, bebidas alcohólicas y vinagres. Artículo 20. Chile.

Muñoz, 2012. Polyphenolic profile as a useful tool to identify the wood used in wine aging. *Analytica Chimica Acta*. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición, Madrid, Spain. 2012, 732 33-45.

Natali, N. 2006. Characterization of Volatiles in Extracts from Oak Chips Obtained by Accelerated Solvent Extraction (ASE). Department of Food Science, University of Bologna, Bologna, Italy. *J. Agric. Food Chem.* 2006, 54, 8190–8198.

Navarro, M. 2016. Influence of the botanical origin and toasting level on the ellagitannin content of wines aged in new and used oak barrels. *Food Research International*. 87: 197-203

Orellana, C. 2014. Rompiendo paradigmas en la experiencia del consumidor de cerveza en el punto de venta. Tesis para optar al grado de magíster en gestión y dirección de empresas. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago, Chile.

Ortega-Heras, M. 2010. Differences in the phenolic composition and sensory profile between red wines aged in oak barrels and wines aged with oak chips. Consejería de Agricultura y Ganadería, Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. Spain. *Food Science and Technology*. 43 1533-1541.

Rodríguez, C. 2003. Determinación de Parámetros Físico-Químicos para la Caracterización de Cerveza tipo Lager elaborada por la Compañía Cervecera Kunstmann S.A. Universidad Austral De Chile, Facultad de Ciencias Agrarias Escuela de Ingeniería en Alimentos, Valdivia, Chile.

Rubio, M. 2014, Utilización de fragmentos de roble en los procesos fermentativos y durante el envejecimiento de vinos tintos. Universidad de la Rioja. Facultad de Ciencias, estudios agroalimentarios e informática. Logroño. España.

Robichaud, L, 1990. Astringency and bitterness of selected phenolics in wine. *Journal of the science of food and agriculture*. 53; 343-353.

Sarneckis, C.J., R.G. Damberg, P. Jones, M. Mercurio, M.J. Herderich, and P.A. Smith. 2006. Quantification of condensed tannins by precipitation with methyl cellulose: Development and validation of an optimized tool for grape and wine analysis. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 12: 1-11.

Beer Judge Certification Program (BJCP), 2015. *Guía de Estilos de Cerveza*. Consultado en https://www.thebeertimes.com/wpcontent/uploads/2017/08/2015_Guidelines_Beer_Espa%C3%B1ol-final.pdf. (Consultado en Julio del 2020).

Vivas, N. 2005. *Manual de tonelería destinado a usuarios de toneles*. N°2. Editorial Mundi-Prensa. Barcelona. España.

Vanderhaegen, B. 2006. The chemistry of beer aging – a critical review. Centre for Malting and Brewing Science, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.

Vanderhaegen, B. 2017. Volatile and phenolic composition of red wines subjected to aging in oak cask of different toast degree during two periods of time. Centre for Malting and Brewing Science, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.

Vanderhaegen, B. 2003. Evolution of Chemical and Sensory Properties during Aging of Top-Fermented Beer. Centre for Malting and Brewing Science, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium *J. Agric. Food Chem.* 2003, 51, 6782–6790.

Wylter, P. 2013. Effect of oak wood on the quality of beer. *Journal of the Institute of Brewing*. 121(1) : 62-69.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de compuestos aromáticos obtenidos por Espectrofotometría SM-CG

	Control	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Alcoholes							
ethyl butanoate	405.8±15.5cb	498.1±35.7a	404.2±1.3cb	375±8.6c	439.7±2.7b	400.6±36.6c	383.9±12.3c
isobutanol	1688.7±131.9b	2190.7±224.4a	1569.9±296.7b	1424.6±23b	1594.2±10.1b	1616±53.2b	1587.5±19.8b
methyl butanol	8134.6±420.5c	10379.9±872a	9081.9±70.8b	8338.2±820.5bc	8850.7±48bc	8841.8±547.1bc	8278.1±149.3bc
isohexanol	27±0.9b	32.2±2.6a	27.7±1.1b	25.8±1.2cb	27.4±0.3b	26.7±1b	23.9±0.2c
hexanol	61.1±2c	72.4±2.9a	67.6±3.1ab	60.2±4.6c	62.9±1bc	63.2±3.1bc	54.6±1.6d
2-ethyl hexanol	284.1±23.8b	262.7±35.3b	242.6±31.3b	258.4±18.5b	343.8±5.4a	357.8±56.2a	265.6±16.5b
2-nonanol	30.5±11bc	21.5±1.2bc	94.7±41.4 ^a	57.5±4.4ab	45.9±35.6bc	32.8±12.5bc	17.1±1.5c
1-octanol	189.9±6.4bc	213.2±10.8a	192.7±4.5b	172.8±6cd	208.4±9.1ab	189.8±23bc	163.4±1.8d
2-decanol	17.1±1.1 ^a	17.3±1.4a	18.3±1.1 ^a	15.7±0.5a	17±3.1a	12±3.8b	11.3±0.3b
butane-2,3-diol	70.9±17.6c	101.6±17.6bc	78.2±6.4c	80.5±29c	80.7±8.3c	119.6±38.2ab	150.6±6.7 ^a
2-furanmethanol	103.2±5.5c	132.6±5.7ab	111.5±0bc	122.9±33.6abc	112.5±1bc	146.5±10a	116.3±0.7bc
2-undecanol	83±2 ^a	79.5±10.1ab	91.3±13.5 ^a	65.1±1.8abc	52.3±37.3bc	45.7±8.2c	48.2±5.5c
1-decanol	76.6±11.4ab	92±13.9a	77±8.4ab	60.4±3.4bc	78.7±6.7a	56.7±14.7c	50.6±0.8c
phenylethanol	21655.7±1611.9cd	26588±1937.1a	22246.7±11.2bc	19789±1247.6d	24269.6±84.7b	23057.7±1605bc	22116.2±666.4bc
4-viniyguaiacol	19.6±0.2 ^a	26.7±2.7ab	18.3±5b	14.8±1.2b	13.7±9.1b	15±0.4b	17.7±1.9b
cubenol	13.4±1.7 ^a	13.9±1.6a	10.5±1.5b	11.6±0.4ab	13.1±1.6ab	10.6±2.6b	11.4±0.8ab
cubenol	28.4±3.1ab	32.8±0.3a	25.7±2.4b	25.7±0.6b	32.3±5.1a	25.2±5.5b	25.9±2.1b
cadinol T	70±7.6 ^a	70.4±7.6a	57.3±6.6b	57.5±1.9b	72.2±7.8a	61.1±10.8ab	60.3±2.9ab
Total	32889.5±2237.9cd	40825.6±3111.7a	34416.1±296.1bc	30955.6±2077.2d	36315.1±168.2bc	35078.9±2330.4bc	33382.7±869.1bcd
Esteres							
isoamyl acetate	9154.4±245.3ab	11024.5±746.2a	8316.9±264.9ab	7118.8±1175bc	5466±3861.7c	8436.6±838.4ab	8161±24.4bc
ethyl isohexanoate	257.8±0.7 ^a	158.2±100.1ab	150.8±107.6ab	145.9±109ab	41.9±2.4b	147.2±107.5ab	34.8±1.6b
ethyl hexanoate	3741.8±250.4bc	4508.7±241.3a	3758.3±531.1bc	3299.7±103.2bc	3855.7±45.7ab	3064±713.8c	3405.3±480.5bc
ethyl 5							
methylhexanoate	115.7±1.4b	143.2±9.1a	114.5±14.1bc	101.4±7.4bc	118.2±3.5b	73.7±32d	87.1±6.8cd
ethyl 3-hexanoate	142.8±1.2b	172.7±3.7a	146.4±7.2b	135.2±6.1bc	143.7±7.5b	128.9±11.8cd	121.8±1.9d
ethyl 2-hexanoate	4.4±0.1b	7.1±0.9a	5.1±1.3b	3±0.4c	4.4±0.1b	3.8±0.7bc	4.9±0.8b
ethyl lactate	140.9±17.3b	157.8±7.7b	295.6±86.1 ^a	247.5±69a	165±29.8b	157.2±10.4b	124.8±6.4b
ethyl 6-heptenoate	5.5±0.6bc	9.3±0.7a	6.6±0.2b	5.2±0.5bc	4.9±1.9bc	3.6±2c	6.8±2.4ab
methyl octanoate	59.7±11c	149.5±30.7b	181.7±18.8b	249.3±61.5a	54.6±8.1c	43.6±28.3c	146±21.1b
ethyl octanoate	14914.3±666.9ab	18688.1±2777.7a	16850.4±1452.5ab	14596.2±2895.1bc	13777.8±1245.5bc	6749.4±3640d	10967.2±1437c
propil octanoate	6±1.1 ^a	0.1±0b	7±0a	5.7±1.7a	1.3±1.2b	5±4.9a	0±0b
ethyl nonanoate	225.6±9.2bc	368.9±98a	319.4±33.1ab	383.6±52.1a	200.9±0c	103.9±78.3d	179.1±37cd
isobutyl octanoate	25.2±0.9b	44.3±10.6 ^a	40.1±1.5 ^a	40.9±10.1a	21.7±2bc	13.7±3.7c	25.5±1.2b
methyl decanoate	34.7±7.3bc	84.7±19 ^a	97.8±14.1 ^a	88.1±8.3a	31.3±6.1bc	17.1±17c	66.6±48.3ab
ethyl decanoate	3445.6±221.8bc	5250.5±1227.8 ^a	4816.6±878ab	3456.4±473.4bc	2914.8±463.8c	1231±764.5d	3075.7±1268.9c
isoamyl octanoate	204.7±10.4b	363.4±81.2 ^a	349.4±1.1 ^a	362.8±80.4a	204.2±20.9b	101.6±62.3c	216.6±29.2b
ethyl trans-4-decenoate	38.3±9.2 ^a	25.8±25.3abc	28.7±0.6ab	19.3±4.2bc	9±7.7cd	0.3±0.2d	14.2±2.3bcd
ethyl trans-4-decenoate	21.3±20.7b	206.6±203.7 ^a	141.1±64ab	93.7±33.6ab	44.3±44.3ab	96.7±84.6ab	136.7±136.2ab
ethyl trans-4-decenoate	367.7±36.4ab	396.6±9 ^a	388.3±10.2 ^a	356.6±88.1ab	212.3±24.2c	110.3±69.4d	288.4±6bc
ethyl undecanoate	14.3±1.3c	29.2±4.8ab	36.1±10.5 ^a	30.6±5.6ab	10.5±8c	10.1±10.1c	21.7±10.9bc

ethyl trans-2-decenoate	42.8±6.1bc	42.7±1.9bc	49.6±1.3ab	26.6±11.8d	56.4±0.4ab	37.1±3.8c	33.4±4.4cd
ethyl benzene acetate	257.2±20.1c	327.2±28 ^a	279.4±25bc	247.6±9.6c	304.2±22.8ab	258.7±41c	248.5±15.7c
2 phenyl ethyl acetate	9955.3±973.8bc	11891.5±956.5 ^a	9257.5±75.6cd	8466.7±364.1d	10622.9±444.4ab	9103.8±1190.2cd	8617.3±545.5d
ethyl dodecanoate	509.2±62.4c	1313.9±478 ^a	1105.7±143.5ab	692±84.3bc	577.7±310.8bc	237.7±54.7c	751.9±534.1bc
ethyl myristate	98.5±22.5cd	198.3±31.8 ^a	145.3±4.6bc	134.1±12.7bc	184.5±32.6ab	80.1±12.3d	151.8±57.8ab
ethyl 9-tetradecenoate	398.8±354.8bc	815.7±57.4 ^a	60.3±7.3c	60.6±14.8c	376.5±301.4bc	355.7±318bc	606.2±9.7ab
palmitic acid	162.2±46.7b	295.3±35.9 ^a	244.3±18.7ab	209±31.6ab	284.6±72.9a	171.1±30.3b	237.8±95.6ab
ethyl 9-hexadecenoate	299.9±11.5 ^a	277±21.6 ^a	262.8±83.9 ^a	189.8±3.6a	200±137.7a	206.8±11.8a	193.2±59.8 ^a
jasmine lactone	55.1±7.1ab	64.1±13.6 ^a	54.2±3.2ab	46.2±8.8bc	46±5.7bc	25.7±12.8d	33.7±2.3cd
γ-nonalactone	234.5±24.4bc	286.6±27.6 ^a	229.6±20.9bc	193.2±10.9d	255.4±12.2ab	223.7±25.6bcd	213.5±11.5cd
Total	44934.2±2776.7bc	57301.5±6615.1a	47739.4±2906.8b	41005.9±3114.8bc	40190.4±1216.1bc	31197.8±7911.1d	38171.9±4847.3cd
Cetonas							
isobutil ketone	103.9±10.4 ^a	95.6±3.1ab	89±7.4ab	103.9±2.9a	103±11.6a	83±18b	87.6±2.2ab
difurfuryl ether	142.5±18.8d	173.6±6.5b	168.5±2.5bc	148.2±0cd	173.6±22.9b	202.2±12.5a	149.2±0.7cd
Total	246.4±8.3cd	269.2±3.4abc	257.4±9.9abcd	252.1±3bcd	276.6±26ab	285.2±30.4a	236.9±1.5d
Terpenos							
linalol	231.7±7.9bc	270.3±12.9 ^a	225.2±9bc	218.3±3c	248.2±13.9ab	215.6±35.5c	208.5±0.9c
4-terpinenol	5.4±0.4b	7.1±0.7 ^a	6±0.7ab	5.5±0.1b	4.7±1.8b	5.2±0.1b	5.1±0.4b
methyl nerolate	85.3±4.4b	111.7±11.2 ^a	70.4±1.6bc	59.8±9.2cd	48±23.4de	34.1±17.5e	44.4±5.1de
1-α-terpineol	38.8±2.7c	49.5±3.8 ^a	39.4±2.2cb	37.2±0.5c	45.4±3.7ab	42.2±5.5bc	38.7±2.2c
nerolidol trans	33.5±2.1ab	34.9±6.6 ^a	32.2±8.1ab	24.6±2.8b	30.1±6.8ab	26.1±5.5ab	27.3±5.2ab
Total	394.7±17.6b	473.6±35.3^a	373.1±3.7bc	345.5±15.5bc	376.3±49.6bc	323.1±64.1c	324.1±12c
Ácidos Carboxílicos							
heptanoic acid	414.7±31.9a	502.3±50.4 ^a	424.5±34.9 ^a	399.7±79.8ab	500.2±89.1a	214.4±105.2c	285.7±22.1bc
isobutyric acid	81.9±3.5d	111.4±7.4b	89.4±2.2cd	85.4±13.5d	104.2±10.2bc	131.1±13.6a	108.6±0.2b
isovaleric acid	226.6±2.3d	278.3±13.1ab	254.9±6bc	238±3.4cd	289.6±6a	276.8±32.7ab	273.7±14.4ab
hexanoic acid	614.6±29.3e	835±45.8 ^a	752.7±43.3b	655±41.3de	845.3±34.6a	738.2±25.4bc	683±22.2cd
octanoic acid	2151.1±114.7cd	2479.5±171.9ab	2300.6±320.7bc	1885.8±54e	2589.5±1.9a	2012±23.8de	1788±95.9e
decanoic acid	298.3±9 ^a	274.4±24.7ab	263.4±84.1abc	162.1±19.7e	277.3±56.3a	186.6±16.1cd	190.9±66.1bcd
1,2-dimethyl-cyclopent-2-enecarboxylic acid	123.6±10.2b	135.5±12.6b	163.7±0a	126.1±14.5b	177.2±18.8a	137.3±12.3b	99.4±0.9c
Total.	3910.9±180.5cd	4616.5±325.9ab	4249.3±474.8bc	3552.1±157.7de	4783.4±88.6a	3696.4±172.3de	3429.2±219.9e
Aldehídos							
benzaldehyde	18±3.6c	29.2±2 ^a	24.7±4.7ab	22.5±2.8bc	19±1.2c	21.7±0.5bc	19±1.1c
Total	18±3.6c	29.2±2^a	24.7±4.7ab	22.5±2.8bc	19±1.2bc	21.7±0.5bc	22.1±5.6bc
C. Fenólicos							
cis-5-dodecenoic acid	0.2±0.1b	0.1±0b	1±0.6 ^a	0.1±0b	0.1±0b	0.1±0.1b	0.2±0b
benzenepropanoic acid	85.2±8.3bc	109±8.6 ^a	83.7±6.3c	80.3±6.8c	112.6±2.4a	86.3±17.6bc	±0.5ab
Total	85.4±8.2bc	109.1±8.6^a	84.7±5.7cb	80.3±6.8c	112.7±2.4a	86.4±17.6bc	±0.5ab

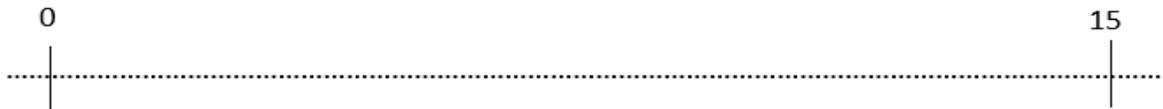
Anexo 2. Test de aceptabilidad

Nombre:..... Fecha:

Instrucciones

Indique con una **línea vertical**, la intensidad de su aceptabilidad en cada una de las muestras, basándose en el siguiente diagrama

N° Muestra XX



Me disgusta mucho

Me gusta mucho

N° Muestra



N° Muestra



N° Muestra



N° Muestra



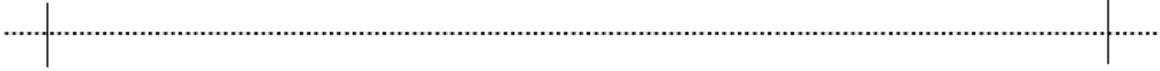
N° Muestra



N° Muestra

0

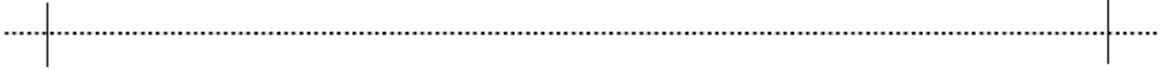
15



N° Muestra

0

15



Anexo 3. Test de preferencia

Nombre..... Sexo: Edad:
Fecha:

Instrucciones

Ubique según su preferencia las muestras analizadas, siendo 1 la que más gusto y 7 la que menos gusto.

- 1°
- 2°
- 3°
- 4°
- 5°
- 6°
- 7°

Comentarios

.....
.....

Anexo 4. Test de calidad técnica

Nombre.....Fecha.....
.....

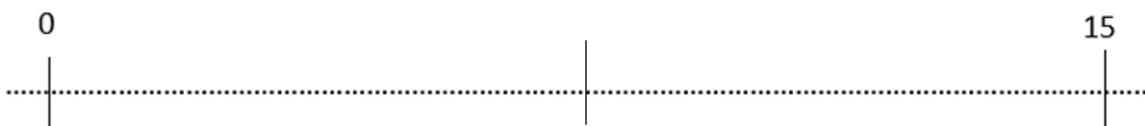
Muestra.....

Instrucciones: Indique con una línea vertical sobre la horizontal, el punto que mejor describa el atributo de la muestra.

Ejemplo

Ausente

Muy presente



Visual

Color



Pálida

Negra

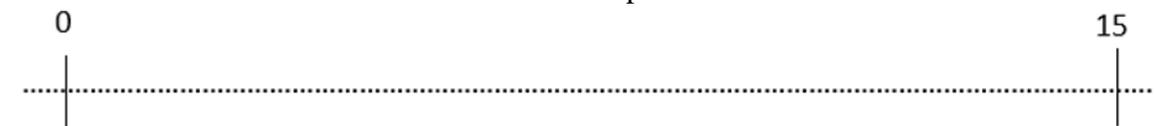
Persistencia Espuma



Poca persistencia

Mucha persistencia

Altura Espuma



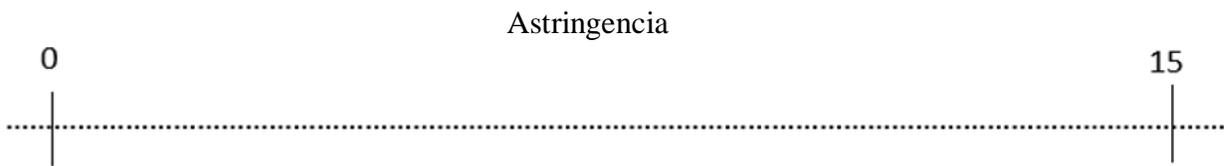
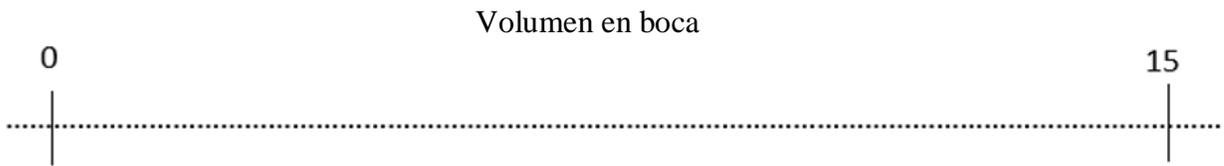
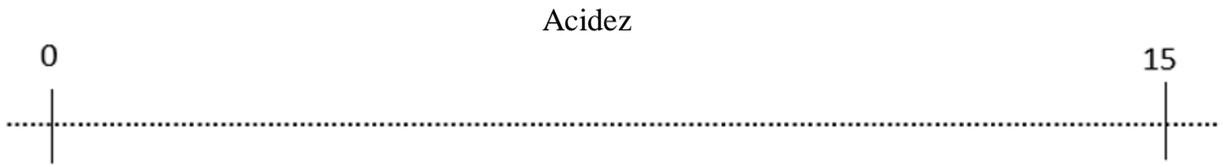
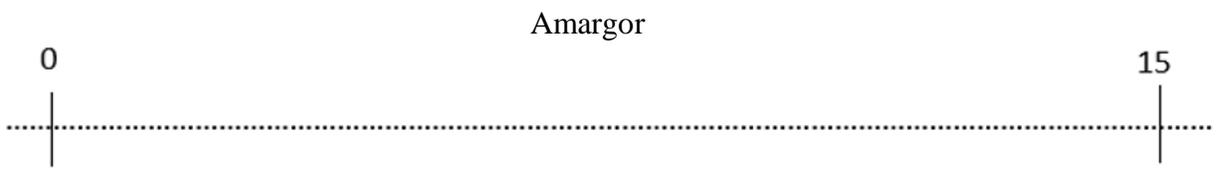
0 cm

1 cm

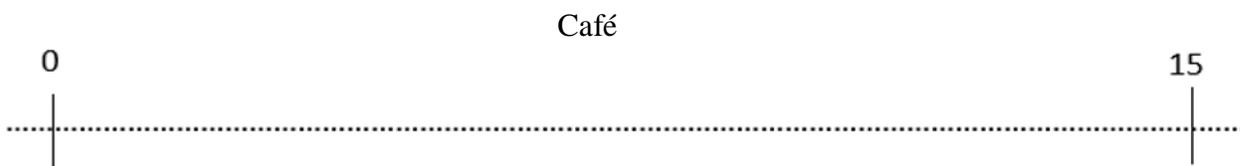
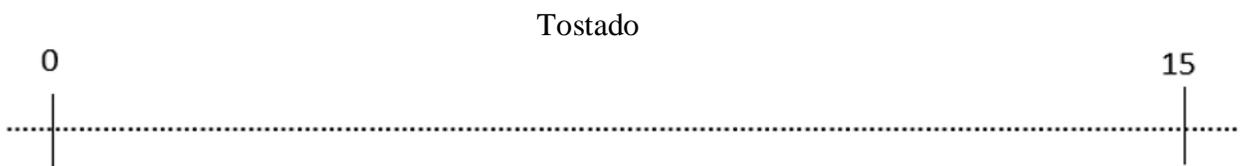
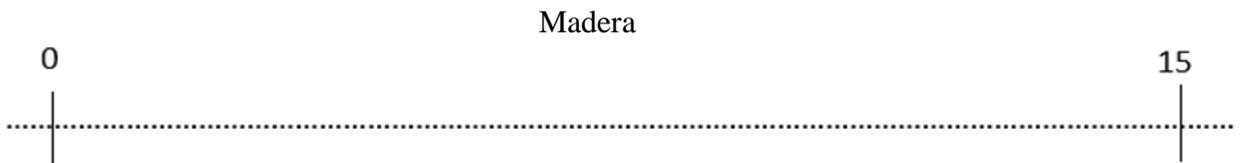
Gustativo

Dulzor



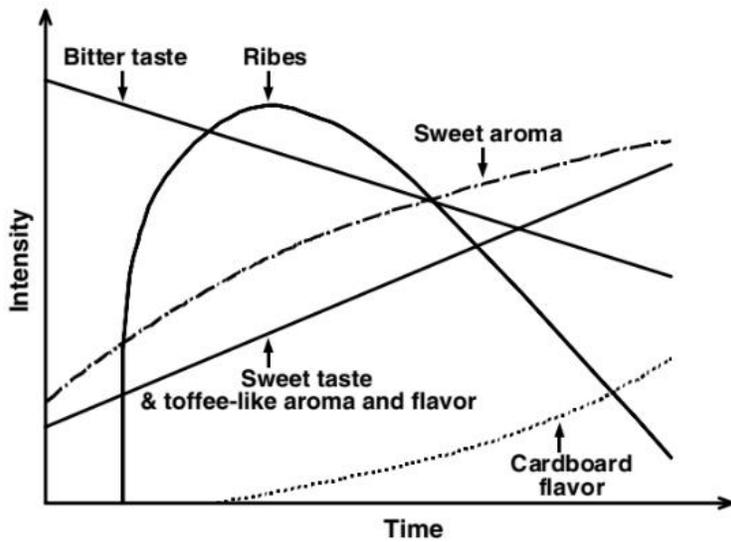


Retrogusto





Anexo 5. Grafico de la evolucion sensorial en cervezas de guarda.



Anexo 6. Biplot de análisis de componentes principales de principales grupos aromáticos de cervezas sometidas a crianza con chips de roble.

