



Universidad de Valladolid

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Grado en Enología

Elaboración y caracterización de una
bebida alcohólica derivada de uva y del
fruto del jerbo

ALUMNO: Emilio Espinosa Ventura

TUTOR/ES: Ana María Martínez Gil

Susana Luis del Río

Junio de 2025

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1. Fracciones del destilado.....	3
2.2. Compuestos volátiles	4
2.3. Materia prima	4
3. JUSTIFICACIÓN.....	6
4. OBJETIVOS	6
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
5.1. Vinos de partida	6
5.2. Destilación.....	7
5.3. Determinación del metanol.....	8
5.4. Determinación de metales.....	8
5.5. Determinación de aromas	8
5.6. Análisis sensorial.....	9
5.7. Análisis estadístico.....	10
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:	11
6.1. Análisis químico	11
6.2. Análisis sensorial.....	23
7. CONCLUSIÓN.....	28
8. BIBLIOGRAFÍA.....	29
9. ANEXOS.....	31

1. RESUMEN

En este trabajo se ha estudiado el impacto del jerbo (*Sorbus domestica*) como materia prima complementaria en la elaboración de aguardientes. En un contexto donde la diferenciación del producto y la valorización de materias primas locales resultan esenciales para la innovación en el sector de las bebidas espirituosas, se evaluó el impacto de distintas proporciones de jerbo con uva, utilizándose las siguientes proporciones de jerbo (0 %, 10 %, 20 % y 30 %). Estas materias primas se fermentaron juntas en estas proporciones y luego se destilaron. Se emplearon dos métodos de destilación, alambique y sistema Clevenger, evaluando su influencia sobre la composición química y sensorial de dos fracciones específicas del corazón del destilado (60 % v/v y 40 % v/v).

Los análisis químicos incluyeron la determinación de compuestos volátiles, metales pesados y metanol. A nivel sensorial, se realizó una cata escalar para caracterizar los perfiles olfativos y gustativos y una cata hedónica para determinar las preferencias de los catadores de cada tipo de destilado.

Los análisis mostraron que la fracción más alcohólica (60 % v/v) presentó una mayor concentración de compuestos volátiles, en particular ésteres y alcoholes, lo cual se tradujo en un perfil aromático más complejo, aunque también con mayores niveles de compuestos indeseables como metanol y acetaldehído. En cuanto al método de destilación, el alambique resultó más eficiente en la obtención de perfiles sensoriales agradables, mientras que el sistema Clevenger generó mayor cantidad de defectos y metanol. La incorporación de jerbo tuvo efectos significativos tanto en la composición química como en las características organolépticas, incrementando ciertos defectos sensoriales en los destilados con mayor proporción de esta fruta. A pesar de estas diferencias, la cata hedónica no reveló preferencias concluyentes entre los métodos ni entre los distintos niveles de jerbo. Estos resultados aportan información relevante sobre el potencial del jerbo en la diversificación de aguardientes, a la vez que evidencian la necesidad de optimizar la proporción de jerbo a utilizar y las condiciones del proceso para obtener productos de mayor calidad.

ABSTRACT

This study examined the impact of jerbo (*Sorbus domestica*) as a complementary raw material in the production of spirits. In a context where product differentiation and the valorisation of local raw materials are essential for innovation in the spirits sector, the impact of different proportions of jerbo with grapes was evaluated, using the following proportions of jerbo (0%, 10%, 20% and 30%). These raw materials were fermented together in these proportions and then distilled. Two distillation methods were used, alembic and Clevenger system, evaluating their influence on the chemical and sensory composition of two specific fractions of the heart of the distillate (60% v/v and 40% v/v).

Chemical analyses included the determination of volatile compounds, heavy metals and methanol. At the sensory level, a scalar tasting was carried out to characterise the olfactory and gustatory profiles, and a hedonic tasting was carried out to determine the preferences of the tasters for each type of distillate.

The analyses showed that the most alcoholic fraction (60% v/v) had a higher concentration of volatile compounds, particularly esters and alcohols, which resulted in a more complex aromatic profile, although also with higher levels of undesirable compounds such as methanol and acetaldehyde. In terms of the distillation method, the alembic still was more efficient in obtaining pleasant sensory profiles, while the Clevenger system generated more defects and methanol. The incorporation of jerbo had significant effects on both the chemical composition and the organoleptic characteristics, increasing certain sensory defects in distillates with a higher proportion of this fruit.

Despite these differences, the hedonic tasting did not reveal conclusive preferences between the methods or between the different levels of jerbo. These results provide relevant information on the potential of jerbo in the diversification of spirits, while highlighting the need to optimise the proportion of jerbo to be used and the conditions of the process in order to obtain higher quality products.

2. INTRODUCCIÓN

Una bebida espirituosa se define como una bebida alcohólica destinada al consumo humano, que posee cualidades organolépticas particulares y un grado volumétrico mínimo de 15 % (salvo excepciones concretas) según el Reglamento (UE) 2019/787. La producción de estas bebidas puede llevarse a cabo mediante destilación, maceración o por adición de aromas, colorantes, edulcorantes, otros productos agrícolas o alimentarios sobre alcohol etílico de origen agrícola, destilados o bebidas espirituosas. Asimismo, es posible elaborar bebidas espirituosas mediante la combinación de diferentes bebidas espirituosas, alcohol etílico y destilados de origen agrícola, junto con otros productos alimenticios. También, se permite añadir agua destilada, desmineralizada, permutada o suavizada, siempre y cuando, la calidad del agua y el grado alcohólico final se ajusten a lo estipulado por la normativa vigente.

Para comprender mejor el origen y la evolución de estas bebidas, es necesario conocer el desarrollo histórico de la destilación como técnica de producción. La destilación consiste en enfriar los vapores (condensación) generados al hervir (vaporización) un líquido con contenido alcohólico (o sin él), mezclado o no con materias sólidas. Este proceso se remonta a épocas anteriores al año 800 a.C., momento en el cual se documentó por primera vez un procedimiento de fermentación y destilación [1]. La destilación permaneció en China hasta los primeros siglos de nuestra era, cuando comenzó a estudiarse en Egipto. Posteriormente fue adoptada por los árabes, quienes desarrollaron el primer alambique eficaz, considerado antecesor del alambique moderno. Fueron ellos quienes introdujeron esta técnica en Europa Occidental, donde despertó gran interés entre alquimistas y monjes europeos, quienes la utilizaron para la fabricación de bebidas espirituosas, atribuyéndoles propiedades medicinales [2].

Durante los siglos siguientes, la destilación se consolidó en las regiones, dando lugar al desarrollo de nuevas bebidas, como el Brandy (año 1000, Italia) o el Vodka (año 1000, región de los Cárpatos), y se extendió por América con la colonización europea, surgiendo nuevas bebidas como el tequila (año 1650, México) [1]. Este proceso de destilación ha seguido evolucionando hasta nuestros días, mejorando los equipos tradicionales y dando lugar a nuevas tecnologías de destilación.

En este contexto, resulta pertinente introducir los principales equipos empleados para la destilación, en particular aquellos utilizados en el presente trabajo: el alambique y el Clevenger.

El alambique es uno de los equipos más antiguos y emblemáticos en la elaboración de bebidas espirituosas, especialmente aguardientes. Tradicionalmente fabricado en cobre para mejorar la transferencia de calor [3]. Este equipo se compone de una caldera para calentar la materia prima, un capitel que recoge los vapores, un cuello de cisne que conecta con el sistema de refrigeración y un condensador para convertir los vapores en líquido (**Anexos, Figura 1**). A pesar de su apariencia rudimentaria, el alambique sigue siendo ampliamente utilizado debido a su capacidad para producir destilados complejos que conservan características sensoriales distintivas y auténticas [3].

Por otro lado, el Clevenger es un equipo de destilación principalmente utilizado en laboratorios para la extracción de aceites esenciales, siendo especialmente adecuado para determinar el contenido total de aceite esencial en plantas aromáticas [4]. Su diseño incluye un matraz redondo o balón de vidrio, donde se recoge y calienta la

materia prima, la columna de destilación, que permite la conducción de los vapores hacia el condensador, un condensador, la trampa Clevenger, que permite la separación y cuantificación del aceite esencial (elemento que en este trabajo no será de utilidad) y un sistema de recolección del destilado final (**Anexo Figura 2**). Aunque no fue diseñado originalmente para la elaboración de bebidas espirituosas, este equipo se puede utilizar cuando se busca una alternativa innovadora, ya que podría contribuir a una mejora de la calidad del producto, especialmente en lo relativo a la fracción volátil, en un mercado cada vez más competitivo y orientado a productos diferenciados.

2.1. Fracciones del destilado

Durante el proceso de destilación, la composición del destilado varía progresivamente a medida que avanza la extracción. Por ejemplo, el etanol, que es más volátil que el agua (ambos principales componentes del proceso de obtención de aguardiente), se encuentra en mayores concentraciones al inicio de la destilación y disminuye hacia el final. De forma análoga, los congéneres (sustancias químicas producidas junto al etanol durante la fermentación y destilación de bebidas alcohólicas) pueden asociarse a determinadas fracciones de la destilación en las que su concentración es mayor, en función de sus características fisicoquímicas, como su punto de ebullición y su solubilidad en alcohol [3].

Tradicionalmente, el destilado se divide en tres fracciones sucesivas: cabeza, corazón y cola [3]. La fracción de cabeza contiene compuestos altamente volátiles como el acetaldehído, mientras que la fracción de cola (por debajo del 30 % v/v) se caracteriza por compuestos de mayor punto de ebullición como el 2-feniletanol. Ambas fracciones suelen incluir compuestos aromáticos no deseables, por lo que es habitual separarlas del corazón del destilado, que constituye la fracción más importante desde el punto de vista sensorial, al concentrar compuestos volátiles positivos para la calidad del producto [5].

El corazón es el principal producto del proceso, mientras que las fracciones de cabezas y colas pueden ser redestiladas o destinadas a otros usos no alimentarios [3]. Por esta razón se busca centrar los congéneres con características organolépticas positivas en la fracción del corazón, y los congéneres con características negativas en las fracciones de cabezas y colas [3]. Habitualmente, se considera que la fracción del corazón se encuentra entre concentraciones de etanol del 70 % al 30 % v/v, correspondiendo la fracción de cabezas a valores superiores al 70 % v/v y la de colas a valores inferiores al 30 % v/v.

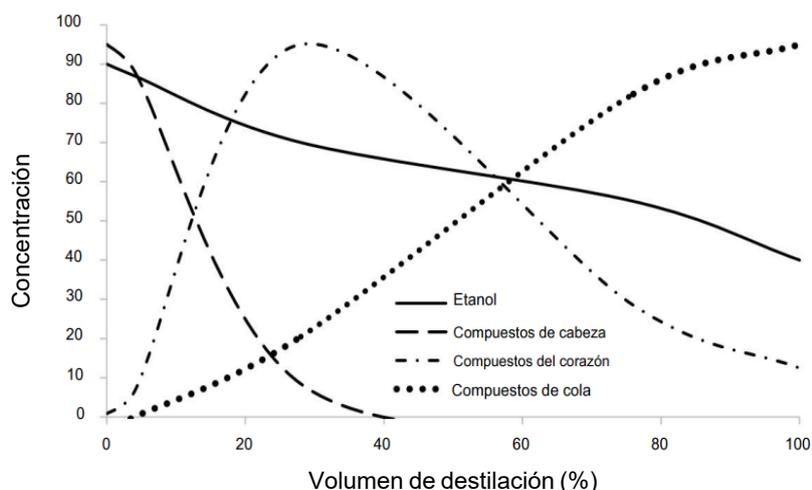


Figura 1 - Representación de la concentración del etanol (% v/v) y compuestos característicos de cada fracción (sin unidades) durante el proceso de la destilación [3].

2.2. Compuestos volátiles

La composición aromática de las bebidas espirituosas jóvenes proviene de la materia prima, la fermentación y del proceso de destilación utilizado. Entre los compuestos volátiles de interés en estas bebidas se encuentra alcoholes, ésteres, ácidos y aldehídos cuya distribución en las diferentes fracciones del destilado depende de sus propiedades fisicoquímicas, como el punto de ebullición, la solubilidad en agua y su interacción con otros compuestos.

Los alcoholes superiores (como el alcohol isoamílico, isobutanol, 1-butanol, 1-hexanol, alcohol bencílico, 2-metil-1-butanol, 1-nonanol, 2-feniletanol y metanol) suelen concentrarse mayoritariamente en la fracción del corazón con algunas excepciones. Por ejemplo, el 2-feniletanol, compuesto que huele a rosas y que suele ser muy agradable, tiende a aparecer en las fracciones de las **colas** debido a su alto punto de ebullición, o el metanol, compuesto altamente tóxico, debido a su alta volatilidad se encuentra en las fracciones de cabezas [5], lo que justifica la importancia de realizar cortes precisos para minimizar su presencia en el corazón.

En cuanto a los ésteres (como el hexanoato de etilo, octanoato de etilo, decanoato de etilo, acetato de etilo, nonanoato de etilo, dodecanoato de etilo, lactato de etilo, dietil succinato y benzoato de etilo), estos constituyen el grupo más abundante de compuestos responsables del sabor en las bebidas espirituosas, y suelen estar asociados con notas sensoriales agradables [5].

Particularmente relevantes son los ésteres etílicos de bajo punto de ebullición (como el hexanoato de etilo y el octanoato de etilo), y los acetatos (como el acetato de etilo) para el aroma de las bebidas espirituosas destiladas [5]. El acetato de etilo es el éster principal, contribuyendo con un olor desagradable cuando se encuentra en altas concentraciones. Sin embargo, este compuesto tiende a destilarse en la fracción de cabezas, por lo que es importante separarlo del resto de ésteres, los cuales se encuentran mayoritariamente en la fracción del corazón [3].

En cuanto a los ácidos grasos volátiles (como ácido hexanoico, ácido octanoico y ácido decanoico), estos se encuentran en concentraciones menores en comparación a otras bebidas fermentadas como el vino o la cerveza, debido a la esterificación y separación por destilación. Estos ácidos grasos tienen alto punto de ebullición y alta solubilidad en agua, por lo que presumiblemente debería destilarse durante las fracciones de colas, sin embargo, también hay ácidos presentes en las fracciones de cabeza y corazón debido a su equilibrio reversible con los ésteres [3, 5].

Por último, los aldehídos (principalmente el acetaldehído, pero también otros como benzaldehído y nonanal). El acetaldehído (etanal) es el principal aldehído de la fermentación alcohólica y puede encontrarse en altos niveles en aguardiente, teniendo una especial relevancia por su impacto sensorial y toxicidad. Este compuesto se encuentra principalmente en la fracción de cabezas, es potencialmente tóxico y a menudo definido como un olor acre, siendo una de las principales razones por las que es importante realizar un corte de cabeza óptimo, para evitar altas concentraciones en la fracción del corazón [3].

2.3. Materia prima

La calidad y características sensoriales de las bebidas espirituosas están estrechamente relacionadas con la materia prima utilizada para su obtención. Tradicionalmente se ha utilizado vino, orujos, cereales o frutas para la elaboración de aguardientes. En ese caso la materia prima utilizada fue la uva junto al jерbo.

❖ Uva

La uva es una de las materias primas más utilizadas para la elaboración de bebidas espirituosas, como el aguardiente de vino, el brandy, el pisco o el aguardiente de orujo, desempeñando un papel muy importante en la calidad final del destilado obtenido [6]. Su composición, rica en azúcares, ácidos y compuestos aromáticos, permite obtener destilados complejos y bien definidos [7]. Además, ofrece gran versatilidad, ya que factores como la variedad de uva, el grado de maduración o el tipo de vinificación influyen directamente en las características del producto final, dando lugar a una amplia diversidad de aguardientes.

❖ *Sorbus domestica* (jerbo)

La destilación ha sido fundamental en el desarrollo de distintas bebidas espirituosas a lo largo de la historia. En este contexto, resulta especialmente interesante explorar materias primas menos convencionales para la elaboración de nuevos productos destilados, lo que permite diversificar el mercado y, al mismo tiempo, revalorizar recursos tradicionales en riesgo de desaparición.

Numerosos recursos naturales, seleccionados y conservados por el hombre a lo largo de los siglos, han caído en desuso en tiempos recientes. Entre las causas destacan el abandono de muchas áreas agrícolas, el progresivo envejecimiento de las poblaciones rurales, la sustitución de los cultivos tradicionales por otros más rentables o favorecidos por las políticas agrarias, así como la globalización de los mercados.

Uno de estos recursos es el serbal (*Sorbus domestica*), un árbol caducifolio de la familia Rosaceae cuyo fruto es conocido como jerbo. Esta especie es originaria de Europa, Asia Menor y el Cáucaso, y hoy en día se encuentra en regiones del sur y centro de Europa, con mayor presencia en la Península Balcánica y en Italia, y de manera más puntual en la Península Ibérica y Francia [8].

Se considera un frutal “menor”, que junto a otras especies como el níspero (*Mespilus germánica*) o el acerolo (*Crataegus azarolus*), ha tenido históricamente un papel importante en el abastecimiento de fruta a pueblos con climas adversos, donde otras frutas no prosperaban [9]. Además, el jerbo permitía contar con fruta durante el invierno, debido a que es un fruto fuertemente astringente, por lo que no se puede consumir en fresco, sino en estado de sobremaduración [9]. El jerbo es un fruto carnoso de 2–3 cm de diámetro, con piel lisa y forma variable. Su color puede variar entre tonos verdes y rojizos según el estado de madurez [6, 8]. En cuanto a su composición, es rico en flavonoides, principalmente quercetina, así como en ácidos hidroxibenzoicos, ácidos hidroxicinámicos y sus derivados [11]. Este fruto además de usarse como alimento fresco también se ha empleado para elaborar mermeladas. Está es muy valorado en términos de salud humana, por sus propiedades nutricionales y funcionales, gracias a la presencia de polifenoles, antioxidantes y vitaminas [12]. En algunos países de Europa del Este, como Bulgaria o Eslovaquia, se ha utilizado para la elaboración de aguardientes [8, 9], aunque esta práctica es muy poco común en España.

En los últimos años, la presencia de *S. domestica* ha descendido considerablemente debido a la deforestación, la pérdida de hábitats y la implementación de otras frutas más comerciales. En consecuencia, se considera una especie en riesgo en países como Austria, Alemania y España [8]. Dado el retroceso que experimenta esta especie, tanto en España como en otros países europeos, y con el objetivo de contribuir a su recuperación y valorización, este trabajo plantea el desarrollo de un producto destilado a partir del jerbo, utilizando un proceso de fermentación previo. Esta propuesta busca no solo preservar un recurso olvidado, sino también generar valor mediante su transformación en un producto innovador.

3. JUSTIFICACIÓN

El mercado de los aguardientes es un mercado muy diversificado y competitivo, en el que la diferenciación del producto se convierte en un factor clave de éxito. Así, las estrategias basadas en la innovación, el uso de materias primas locales y la recuperación de especies olvidadas permiten aportar valor añadido y singularidad al producto final.

Los consumidores actuales muestran cada vez mayor interés por la recuperación de productos locales, artesanales y con identidad territorial propia. En este sentido, el jerbo representa un claro ejemplo de especie olvidada, con escasa presencia en el comercio frutícola, pese a su uso tradicional para consumo doméstico.

Por esta razón, en busca de explorar su viabilidad comercial y revalorizar su uso, el presente trabajo propone la elaboración experimental de aguardientes a partir de vino y jerbo. La utilización de vino como base no solo responde a su disponibilidad y tradición en la producción de bebidas espirituosas como el brandy, sino que también ofrece una matriz sensorial familiar sobre la que evaluar el impacto del jerbo.

En el proceso de destilación se utilizaron dos equipos distintos: el alambique tradicional y el equipo Clevenger. Este último permite una extracción más eficiente y específica de los compuestos volátiles responsables del aroma, lo que resulta muy útil para caracterizar el perfil aromático del jerbo como ingrediente novedoso en los destilados.

4. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es comprobar el comportamiento y viabilidad del jerbo en un destilado, elaborado mayoritariamente con vino y distintas concentraciones de jerbo, analizando química y sensorialmente cada aguardiente.

Los objetivos secundarios son:

- ❖ Evaluar las diferencias entre los equipos de destilación, alambique y Clevenger, a partir de la elaboración de destilados mediante ambos métodos. Estas diferencias se evaluarán a través de un análisis químico y sensorial.
- ❖ Comprobar las diferencias químicas entre la primera fracción del corazón (60 % v/v) y la segunda (40 % v/v).
- ❖ Conocer el porcentaje de jerbo más idóneo para las características químicas y sensoriales del destilado final.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Vinos de partida

Las bebidas fermentadas utilizadas en este estudio fueron elaboradas en la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia (ETSIAA), a partir de uva de la variedad Tempranillo de la bodega palentina Carreprado, correspondientes a la vendimia del 2023, y de pasta de fruto de jerbo, en estado modorro, procedente de la ETSIAA y recolectado en 2023.

Para la elaboración se partió de 160 kilos de uva, los cuales se prensaron para obtener el mosto. Todo el mosto se echó en un depósito de 100 L. 5 g/hL de SO₂ fueron añadidos al depósito. Se analizaron las características iniciales del mosto para decidir si era necesaria alguna corrección, llegando a la conclusión de acidificar con 1,5 g/L de ácido tartárico. Posteriormente, fueron adicionadas 30 g/hL de levadura, anteriormente acondicionadas rehidratándose a 37°C (Zymaflore Xarom, Laffort, Francia). El mosto se dejó en una sala a 18±1°C.

Para la obtención de la pasta de jerbo se descongelaron 10,5 kilos del fruto lentamente a temperatura de 6°C durante dos días anteriores a su machacado. Una vez descongelados, se estrujaron hasta obtener una pasta homogénea, se cogió muestra para su posterior caracterización química y se adicionaron 5 g/hL de SO₂ y 20 mL/hL de pectinasas (Lafase XL 6PX, Laffort, Francia). Después, se adicionaron 30 g/hL de levadura rehidratada a 37°C (Zymaflore Xarom, Laffort, Francia) y se dejó fermentar durante 48 horas, dejando esta pasta en la misma sala que el mosto (18±1°C).

Se hizo un seguimiento de la fermentación del mosto hasta el inicio de la fase tumultuosa, momento en el cual se dividió el mosto en 12 botes de 6 litros y se adicionaron los diferentes porcentajes de pasta de jerbo. Se elaboraron 3 réplicas por cada ensayo realizado. El ensayo fue el siguiente:

- ❖ Vino control, J-0% (sin jerbo): 4 Litros de mosto + 0 % de pasta de jerbo
- ❖ Bebida con un 10 % de jerbo, J-10%: por cada bote 4 kilos de mosto + 0.4 kg de pasta de jerbo
- ❖ Bebida con un 20 % de jerbo, J-20%: por cada bote 4 kilos de mosto + 0.8 kg de pasta de jerbo
- ❖ Bebida con un 30 % de jerbo, J-30%: por cada bote 4 kilos de mosto + 1.2 kg de pasta de jerbo

5.2. Destilación

Se realizó la destilación de la bebida de cada uno de los ensayos, es decir, del vino control (J-0%), de la bebida con 10 % de jerbo (J-10%), de la bebida con 20 % de jerbo (J-20%) y de la bebida con 30 % de jerbo (J-30%), utilizando dos métodos diferentes: alambique y Clevenger, con el objetivo de comparar química y sensorialmente las diferencias entre ambos métodos. A partir de estas destilaciones se obtuvieron los valores que se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1 – Volumen de destilados obtenidos y nomenclatura.

Destilado	Método de destilación	Volumen destilado de corazón	Nomenclatura
Control	Clevenger	336 mL	JC-0%
Control	Alambique	820 mL	JA-0%
10 % jerbo	Clevenger	330 mL	JC-10%
10 % jerbo	Alambique	815 mL	JA-10%
20 % jerbo	Clevenger	298 mL	JC-20%
20 % jerbo	Alambique	815 mL	JA-20%
30 % jerbo	Clevenger	240 mL	JC-30%
30 % jerbo	Alambique	740 mL	JA-30%

En ambos métodos se separó el destilado en tres fracciones. La primera fracción denominada “cabezas”, se estableció, tras varias pruebas preliminares, como los primeros 50 mL del destilado en el caso del Clevenger y los primeros 140 mL del destilado en el caso del alambique, con el objetivo de que, a partir de ese punto, el destilado recogido presentase una graduación alcohólica inferior a 70 % v/v, evitando la mayor concentración de compuestos volátiles de bajo punto de ebullición. Esta fracción no se utilizó para el destilado final, debido a su alto contenido en compuestos volátiles de bajo punto de ebullición, como el metanol o el acetaldehído, los cuales pueden resultar tóxicos o aportar aromas desagradables al producto final [3]. A nivel comercial esta fracción tampoco se utiliza para el destilado final. No obstante, antes de desechar estas fracciones, se realizó un análisis de metales pesados y del metanol. La segunda fracción, denominada “60 % v/v”, correspondió a la destilación entre 70 % v/v y 50 % v/v. La tercera y última fracción, denominada “40 % v/v”, abarcó desde 50 % v/v hasta 30 % v/v, punto en el cual se dio por finalizada la destilación. Para delimitar adecuadamente estas dos fracciones, el destilado se fue recogiendo en muestras de 50

mL, en el caso del Clevenger, y en muestras de 100 mL, en el caso del alambique, midiendo tanto el grado alcohólico como la temperatura de cada muestra recogida, pudiendo separar las fracciones cuando una muestra presentara una graduación inferior a 50 % v/v o inferior a 30 % v/v, según el caso. Las dos últimas fracciones una vez obtenidas han sido analizadas tanto química como sensorialmente.

Los parámetros operativos obtenidos en las destilaciones realizadas mediante alambique y sistema de Clevenger se muestran en la **Tabla 2**:

Tabla 2: Comparación de parámetros operativos entre alambique y Clevenger

Parámetro	Alambique	Clevenger
Volumen de materia prima destilada (L)	5,0	1,8
Volumen medio de destilado obtenido (mL)	797,5	301
Volumen excluido como fracción de cabezas en cada destilado (mL)	140	50
Duración media del proceso	2 h 21 min	1 h 45 min
Temperatura media de salida del destilado (°C)	17±2	22±1
Volumen de recogida por muestra (mL)	100	50

5.3. Determinación del metanol

Para la determinación del metanol de los aguardientes se enviaron a analizar por el método cromatográfico a la Estación Enológica de Haro. Este método consiste en la determinación del metanol por cromatografía de gases con detector de ionización de llama (FID) utilizando un patrón interno. Las muestras analizadas corresponden a las tres fracciones de la destilación (cabezas, 60 % v/v y 40 % v/v), obtenidas con las distintas concentraciones de jerbo (0 %, 10 %, 20 % y 30 %) y con los dos métodos de destilación (alambique y Clevenger).

El método utilizado está descrito por la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV) a través de la resolución OIV-OENO 480-2014. A pesar de ser un método originalmente descrito para vinos, también es utilizado para bebidas espirituosas, las cuales tienen una mayor concentración de metanol. En estos casos, para lograr unos análisis fiables se requiere ajustar el rango de calibración del equipo y realizar las diluciones necesarias.

5.4. Determinación de metales

Se han analizado las concentraciones de los metales cobre (Cu), hierro (Fe) y zinc (Zn) en el destilado mediante espectroscopía de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), utilizando un equipo Espectro Genesis. Estos análisis se han realizado sobre los mismos destilados que los empleados para la determinación del metanol (0 %, 10 %, 20 % y 30 %) y en las mismas fracciones (cabezas, 60 % v/v y 40 % v/v).

La medición de cada metal se ha realizado en dos de las longitudes de onda características, 324,754 y 327,396 nm para el cobre, 238,204 y 261,187 nm para el hierro, y 206,200 y 213,856 nm para el zinc. La calibración se preparó en cinco puntos (de 0 a 5 mg/L) utilizando un patrón comercial. La muestra se ha medido directamente sin tratamientos previos, únicamente un filtrado para evitar alguna impureza.

5.5. Determinación de aromas

Los compuestos aromáticos fueron determinados mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) en el Laboratorio de Técnicas

Instrumentales (LTI) de la Universidad de Valladolid (UVa). Las muestras analizadas correspondieron a dos fracciones de la destilación (60 % y 40 % v/v), obtenidas a partir de diferentes porcentajes de adición de jerbos (0 %, 10 %, 20 % y 30 %) y de dos tipos de equipos de destilación (alambique y Clevenger). Para la cuantificación, se preparó una recta de calibrado utilizando diferentes concentraciones de los analitos de interés. Se empleó además como patrón interno 50 µL de nonanoato de metilo (0.051 mg/L), el cual fue añadido en igual concentración tanto a las muestras como a los puntos de la curva de calibración, permitiendo así una cuantificación combinada mediante patrones interno y externo. De esta manera, se calcularon áreas relativas, correlacionando el área de cada compuesto con la del patrón interno correspondiente, lo que permitió corregir posibles variaciones derivadas del proceso de extracción y del análisis cromatográfico.

Aunque el análisis instrumental fue realizado por el personal del LTI, la preparación de la muestra, el calibrado y el tratamiento de los datos analíticos fue llevado a cabo en el marco de este trabajo. Los cromatogramas obtenidos fueron procesados con el software OpenLab CDS (Agilent Technologies), integrando los picos correspondientes a los compuestos tanto en las muestras como en los estándares de calibración. Para ello, se utilizó el ion más abundante de cada analito, permitiendo su identificación y cuantificación con alta sensibilidad y especificidad.

A partir de las áreas relativas obtenidas en los diferentes puntos de la recta de calibrado, se construyeron las curvas de calibración de cada uno de los compuestos analizados. Los compuestos incluidos en este estudio fueron los siguientes: hexanoato de etilo, octanoato de etilo, decanoato de etilo, acetato de etilo, nonanoato de etilo, dodecanoato de etilo, lactato de etilo, dietil succinato, benzoato de etilo, ácido hexanoico, ácido octanoico, ácido decanoico, benzaldehído, nonanal, acetaldehído, 2-feniletanol, 3-metil-1-butanol, isobutanol, 1-butanol, 1-hexanol, alcohol bencílico, 2-metil-1-butanol y 1-nonanol.

Posteriormente, las áreas relativas correspondientes a los analitos presentes en cada muestra fueron introducidas en dichas rectas, permitiendo calcular la concentración de cada compuesto en los distintos destilados.

5.6. Análisis sensorial

Se organizaron catas abiertas al público, sin requerir formación previa en cata ni experiencia específica en análisis sensorial, es decir, con consumidores habituales de destilados. Estas catas se llevaron a cabo en las instalaciones de la ETSIIA, en la sala de catas de la escuela, la cual cumple con la normativa UNE-EN ISO 8589:2010/A1:2014. Asimismo, las copas de cata utilizadas cumplen con la normativa ISO 87022:1992.

En el análisis sensorial se presentaron 8 bebidas a cada catador: JC-0%, JA-0% JC-10%, JA-10% JC-20%, JA-20%, JC-30% y JA-30%

Se realizaron dos tipos de análisis sensoriales: Un análisis escalar, para establecer el perfil olfativo y gustativo de cada destilado según la Técnica Sistemática de Cata de Espirituosos WSET® – Nivel 2s, empleando la ficha de cata mostrada en la **Figura 3 de Anexos**; y un segundo análisis basado en una metodología de ordenación por preferencia hedónica siguiendo la ficha de la **Figura 4 de Anexos**.

El análisis escalar se realizó tanto a nivel olfativo como gustativo, con el objetivo de caracterizar sensorialmente los ocho destilados elaborados. Para ello, se valoraron distintos atributos sensoriales previamente seleccionados mediante una cata preliminar. Cada atributo fue valorado con una puntuación que iba del 0 al 5, el 0 indicando que el descriptor no era perceptible y el 5 que el descriptor se percibía de forma muy fuerte. De esta manera se pudo establecer el perfil sensorial de cada destilado. En cuanto al análisis de ordenación por preferencia hedónica, este se estructuró en tres bloques: En

el primer bloque se evaluaron los destilados JC-0%, JC-10%, JC-20% y JC-30%, ordenando de mayor a menor preferencia según la percepción global, permitiendo saber qué concentraciones de jerbo resultaban más atractivas; En el segundo bloque se repitió el mismo proceso, pero en este caso con los destilados JA-0%, JA-10%, JA-20% y JA-30%, con el mismo objetivo que en el primer bloque pero en este caso con este método de destilación; En el último bloque se compararon los destilados elaborados mediante Clevenger frente a los elaborados mediante alambique, con el objetivo de saber cuál de los dos métodos de destilación era el preferido. Para ello, se escogieron al azar dos destilados con la misma concentración de jerbo, pero elaborados mediante diferentes métodos de destilación.

Para garantizar la objetividad de los análisis, cada copa fue identificada mediante códigos de tres dígitos obtenidos al azar y diferentes para cada muestra. Estas copas se llenaron con aproximadamente 15 mL de destilado.

Las catas fueron realizadas por un total de 27 catadores, de los cuales 17 eran hombres y 10 eran mujeres, con una edad comprendida entre los 18 y los 64 años. Previamente a las catas, los destilados se conservaron durante 9 meses en botes de vidrio cerrados con tapón, almacenados en una cámara frigorífica a 12°C.

Tres días antes de la cata, con el objetivo de ajustar el grado alcohólico para evitar que este interfiera en la percepción sensorial de los catadores y para disponer de un volumen suficiente para realizar los análisis, se mezclaron las dos porciones de los destilados (60 % v/v con 40 % v/v), como se realiza comúnmente a nivel comercial, donde el producto final es una mezcla de las fracciones de los corazones, y se corrigió el grado alcohólico a 30 % v/v, mediante la adición de agua destilada. Esta graduación es frecuentemente utilizada en aguardientes comerciales. Posteriormente, se embotellaron en botellas de 750 mL de color verde oscuro, y se conservaron nuevamente en la cámara a 12°C hasta el día de la cata.

Para los análisis sensoriales, las muestras fueron servidas a una temperatura de 16-18°C. En cada puesto de cata, el catador disponía de 2 fichas de cata (una con el análisis escalar y otra con el análisis de ordenación), 8 copas con el destilado marcadas con su código de identificación, y una copa más con agua.

5.7. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se trataron mediante el software STATGRAPHICS Centurion XIX, versión 19.6.05 (Statgraphics Technologies, Inc., The Plains, VA, USA). Para analizar los resultados obtenidos del análisis químico, se realizó un estudio estadístico multifactorial (MANOVA), con el objetivo de comprobar la influencia del porcentaje de jerbo añadido (0 % jerbo, 10 % jerbo, 20 % jerbo y 30 % jerbo), el método de destilación (alambique vs. Clevenger), y la fase del destilado (60 % v/v vs. 40 % v/v) sobre la concentración de metales y compuestos volátiles. Para analizar los resultados del análisis sensorial, se aplicó un estudio estadístico multifactorial (MANOVA), para comprobar cómo afecta cada factor sobre las características sensoriales del destilado, entre el porcentaje de jerbo (0 % jerbo, 10 %jerbo, 20 % jerbo y 30 % jerbo) y el método de destilación (alambique vs. Clevenger), y un análisis estadístico unifactorial (ANOVA), con el fin de comprobar si existían diferencias significativas entre los destilados en función del porcentaje de jerbo y del método de destilación (alambique vs. Clevenger) para cada descriptor sensorial evaluado.

Para determinar si existían diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, se aplicó la prueba de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, utilizando un nivel de confianza del 95 % ($\alpha = 0,05$).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

En esta sección se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir de las diferentes analíticas realizadas a los destilados. El estudio se estructura en dos bloques principales: por un lado, el análisis químico, que incluye la determinación de metales pesados y compuestos volátiles; y por otro, la evaluación sensorial, orientada a identificar posibles diferencias perceptibles entre los destilados en función del método de obtención y del contenido de jерbo. Esta aproximación integrada permite valorar de forma complementaria la calidad y las características diferenciales de los productos obtenidos.

6.1. Análisis químico

El análisis químico se centró en dos tipos de compuestos relevantes en la caracterización de bebidas espirituosas: los **metales pesados**, por su importancia en términos de seguridad alimentaria y trazabilidad del proceso, y los **compuestos volátiles**, por su influencia directa en el perfil aromático y, por tanto, en la calidad sensorial del destilado. En la **Tabla 1 de Anexos** se muestra el nivel de significancia de cada compuesto para cada factor (fracción del destilado, método de destilación, % jерbo).

❖ Metales pesados

Las concentraciones de metales en las diferentes fracciones de la destilación (incluyendo cabezas), con los diferentes % de jерbo y con los dos métodos de destilación se muestran en la **Tabla 2 de Anexos**. A partir de los resultados obtenidos, se elaboraron representaciones gráficas que reflejan los compuestos más significativos o aquellos que presentaron una tendencia clara respecto a los diferentes factores. Por lo tanto, la **Figura 2** muestra la concentración expresada en mg/L de los metales cobre, hierro y zinc en los destilados, en función de las fracciones del destilado (40 % v/v, 60 % v/v y cabezas), del método de destilación empleado (alambique y Clevenger) y del porcentaje de jерbo añadido (0 %, 10 %, 20 % y 30 %). El contenido de hierro en las bebidas espirituosas normalmente es inferior a 1 mg/L, mientras que las concentraciones de cobre suelen oscilar entre 1 y 3 mg/L en destilados de vino obtenidos a partir de dispositivos de destilación hechos de cobre (alambique de columna y alambique) [13]. De hecho, las superficies de cobre pueden liberar cobre en cantidades significativas, cantidad que aumenta con el tiempo de contacto y el grado alcohólico, este cobre se incorpora al destilado al ser arrastrado por la condensación del vapor a lo largo de los compartimentos del aparato de destilación [13].

Según el Real Decreto 1908/1984 (BOE-A-1984-24205), los límites legales establecidos para el contenido de cobre y zinc en el brandy son de 10 mg/L, sin hacer ninguna referencia al hierro. A pesar de que el aguardiente elaborado no es brandy, utilizaremos este límite como referencia, ya que no hay una regulación específica sobre otros tipos de aguardientes. En cuanto al hierro, su concentración debe mantenerse a niveles bajos por razones de calidad tecnológica y estabilidad del producto.

La mayoría de los metales analizados (cobre, hierro y zinc) no superaron los 10 mg/L. En el caso del hierro, en todos los destilados estudiados su concentración se encontró siempre a niveles traza (menores a 0,2 mg/L). Para el zinc, se registraron valores entre 0,03 y 1,81 mg/L, mientras que los niveles más elevados correspondieron al cobre, con concentraciones entre 0,01 y 21,84 mg/L, superando el límite legal el JA-0% y la fracción de 40% v/v del JA-20%.

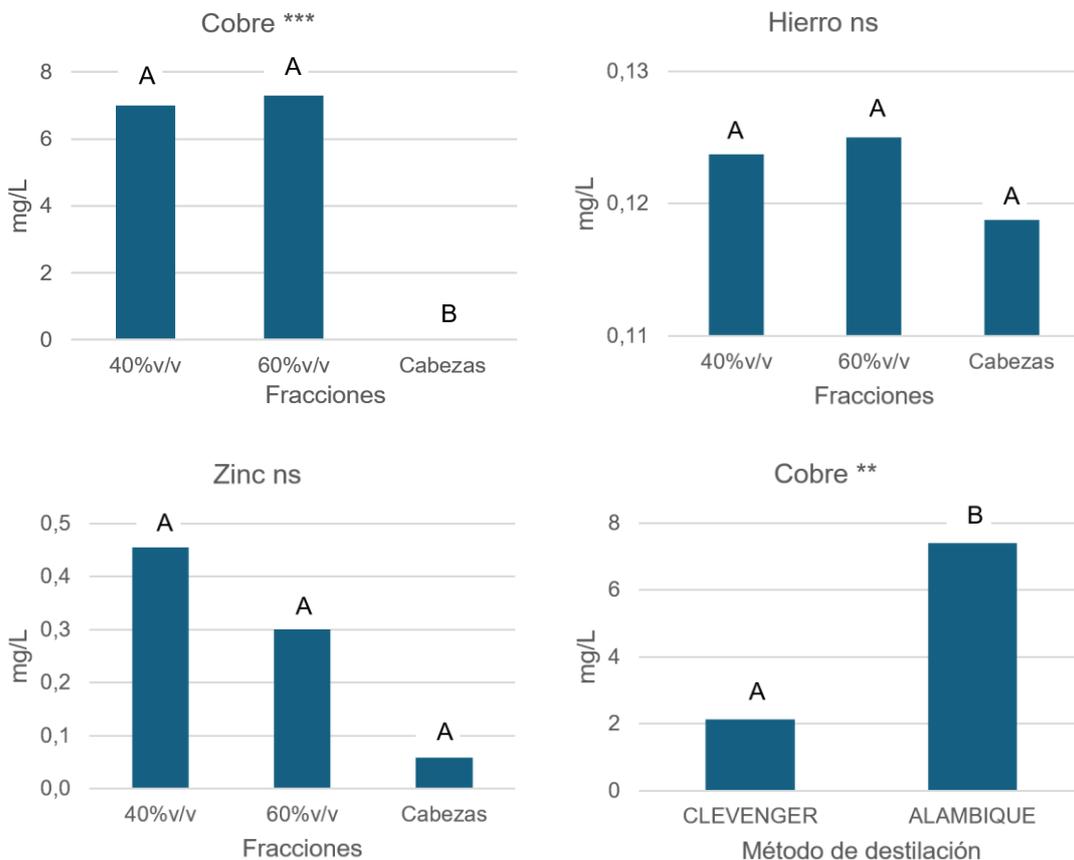
En relación con las fracciones del destilado (% v/v), la **Figura 2** muestra que, para el cobre, las concentraciones en las cabezas fueron significativamente menores que en las fracciones de 40 % y 60 % v/v, entre las cuales no se observaron diferencias

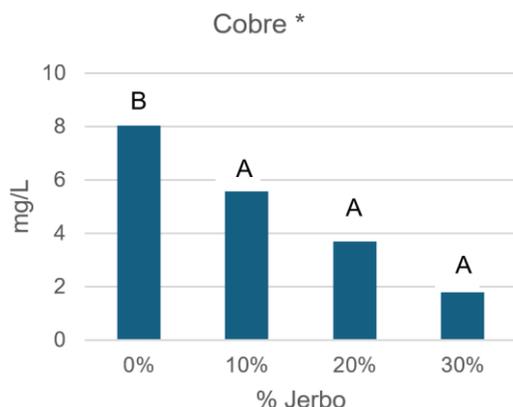
estadísticas. Para el zinc, aunque no se detectaron diferencias significativas, se observó una tendencia; a menor grado alcohólico se encontró un mayor contenido de zinc en los destilados. El hierro en los diferentes destilados, por su parte, no presentó variaciones ni tendencias respecto a las diferentes fracciones.

En cuanto al método de destilación, se puede observar en la **Figura 2** que el cobre tuvo diferencias muy significativas ($p < 0,01$), obteniéndose una concentración de cobre aproximadamente 3 veces mayor mediante alambique, encontrándose por encima de su rango habitual mediante este método. Esta diferencia resulta coherente con la naturaleza del equipo utilizado, ya que el alambique está fabricado en cobre y el Clevenger en vidrio. El zinc y el hierro no mostraron diferencias significativas entre ambos métodos

Respecto al % de jерbo, el cobre fue el único metal que presentó diferencias significativas: en el 0 % de jерbo se registró la concentración más alta, mientras que en los destilados con 10 %, 20 % y 30 % los valores fueron inferiores y no difirieron estadísticamente entre sí. Además, se observó una tendencia clara: a mayor % de jерbo, menor contenido de cobre en el destilado. En particular, el destilado elaborado con 30 % de jерbo mostró niveles de cobre dentro del rango habitual, lo que sugiere que la presencia de jерbo puede modular la solubilidad o el arrastre de este metal durante el proceso de destilación; no obstante, también es posible que esta disminución se deba a que la uva utilizada originalmente contenía una proporción mayor de cobre que el jерbo, de modo que, al aumentar el porcentaje de jерbo en la mezcla, la contribución relativa de cobre procedente de la uva se reduce.

Figura 2: Concentración de los metales cobre, hierro y zinc en los destilados según los factores % v/v (fracciones del destilado: 40 % v/v, 60 % v/v y cabezas), métodos de destilación (alambique y Clevenger) y % de jерbo (0 %, 10 %, 20 % y 30 %).





Letras distintas indican que existen diferencias significativas estadísticamente entre las muestras con un $p < 0,05$ según el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Ns: No significativo (valores- P mayores que 0,05). Asteriscos representan el nivel de significancia del compuesto con el factor, con un 95,0 % de nivel de confianza: * Diferencias significativas (valores- P menores que 0,05); ** Diferencias muy significativas (valores- P menores que 0,01); *** Diferencias altamente significativas (valores- P menores que 0,005)

❖ Compuestos volátiles

Los compuestos volátiles analizados se encuentran divididos en **ésteres** (hexanoato de etilo, octanoato de etilo, decanoato de etilo, acetato de etilo, nonanoato de etilo, dodecanoato de etilo, lactato de etilo, dietil succinato y benzoato de etilo), **ácidos** (ácido hexanoico, ácido octanoico y ácido decanoico), **aldehídos** (benzaldehído, nonanal y acetaldehído) y **alcoholes** (2-feniletanol, 3-metil-1-butanol, isobutanol, 1-butanol, 1-hexanol, alcohol bencílico, 2-metil-1-butanol y 1-nonanol).

- Ésteres:

La concentración de los ésteres en los diferentes destilados, según su % v/v, el método de destilación empleado y el % de jerbo se muestra en la **Figura 3**. En esta figura aparecen los compuestos que han sido significativos o que han seguido una tendencia.

En la **Figura 3** se observa que los ésteres estudiados, conocidos por aportar aromas agradables, principalmente afrutados [3], mostraron una gran dependencia de la fracción del destilado, alcanzando concentraciones significativamente mayores en el destilado de la fracción de 60 % v/v. Esta diferencia resultó altamente significativa ($p = 0,01$) para el octanoato de etilo y el decanoato de etilo. Para los demás ésteres que mostraron dependencia del grado alcohólico, la significancia estadística fue $p < 0,05$. En cambio, el dodecanoato de etilo, el lactato de etilo y el dietil succinato fueron los únicos ésteres que no se vieron afectados por el % v/v. A pesar de las diferencias entre las dos fracciones, las concentraciones de octanoato de etilo (umbral de percepción: 12,9 $\mu\text{g/L}$) y decanoato de etilo (umbral de percepción: 1122 $\mu\text{g/L}$) fueron siempre superiores en ambos grados alcohólicos a sus respectivos umbrales, aportando los aromas afrutados característicos de estos compuestos. [14, 15]. Los compuestos hexanoato de etilo, nonanoato de etilo, benzoato de etilo y acetato de etilo se encontraron en los destilados de las dos fracciones por encima de sus respectivos umbrales de percepción, aportando todos ellos aromas afrutados:

- Hexanoato de etilo (umbral 55 $\mu\text{g/L}$): contribuye con notas claramente afrutadas [14, 15, 16].
- Nonanoato de etilo (umbral 3150 $\mu\text{g/L}$): aporta igualmente aromas afrutados [14].
- Benzoato de etilo (umbral 1433 $\mu\text{g/L}$): proporciona matices frutales [14].

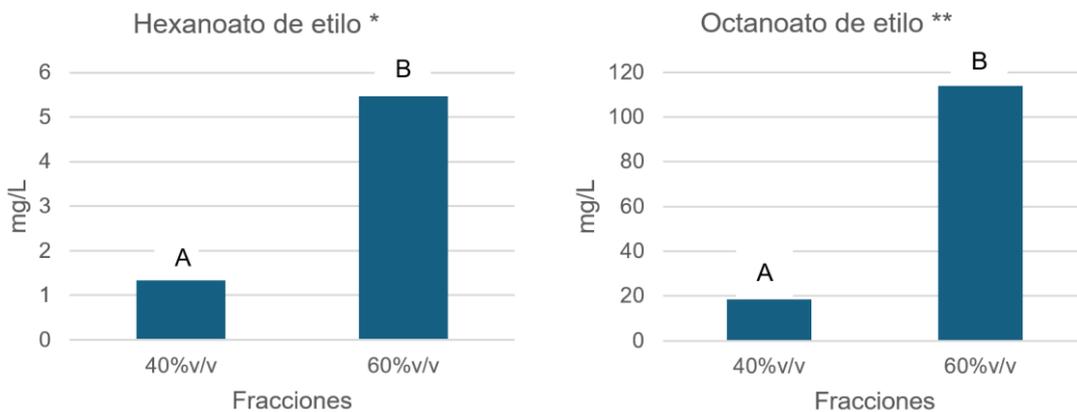
- Acetato de etilo (umbral 32551 $\mu\text{g/L}$): a bajas concentraciones ofrece aromas afrutados y a piña [14, 15]; sin embargo, a niveles más elevados puede generar notas desagradables, similares a pegamento [3]. Este último está asociado a la fracción de cabezas del destilado [3], siendo esta una de las razones clave para realizar un corte adecuado en dicha fracción.

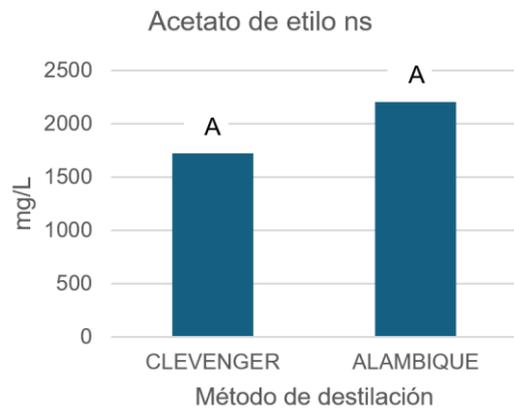
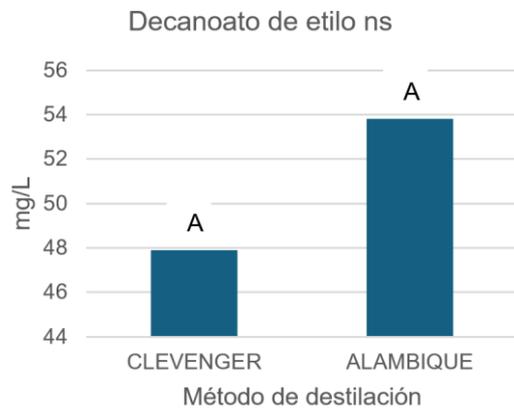
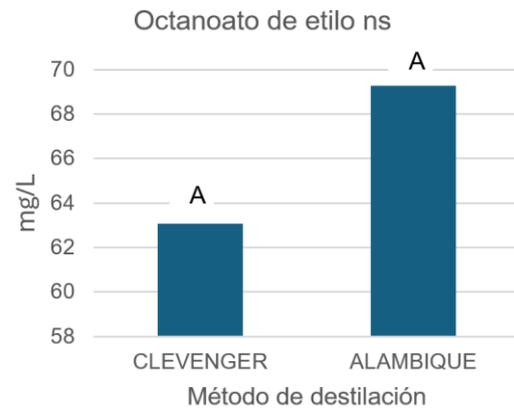
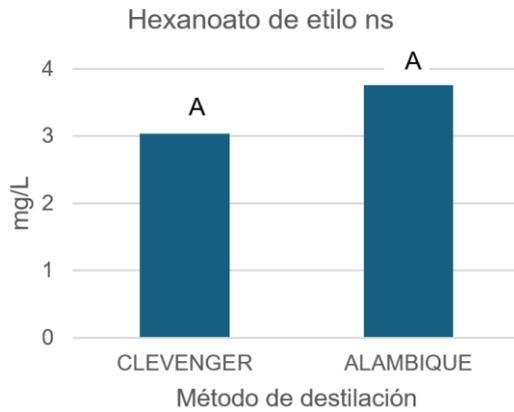
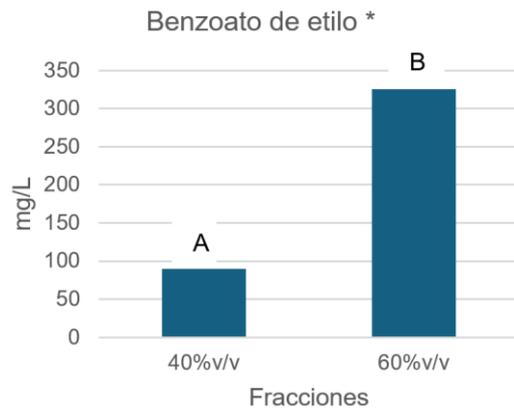
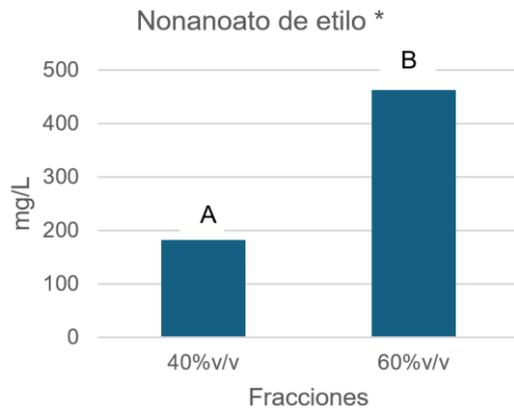
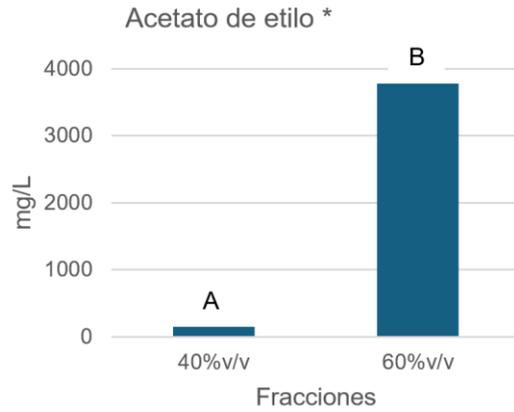
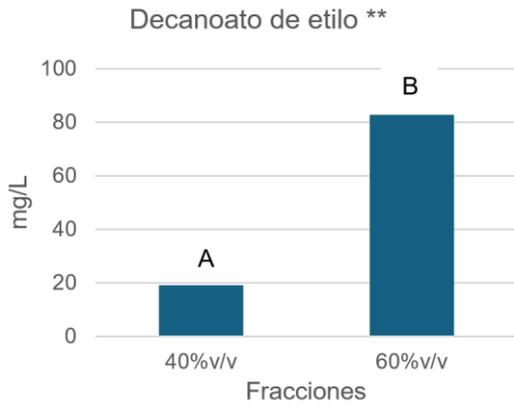
Cabe destacar que las diferencias estadísticamente significativas en concentraciones superiores al umbral de percepción pueden afectar de manera más notable a la intensidad e impacto del perfil aromático final del destilado.

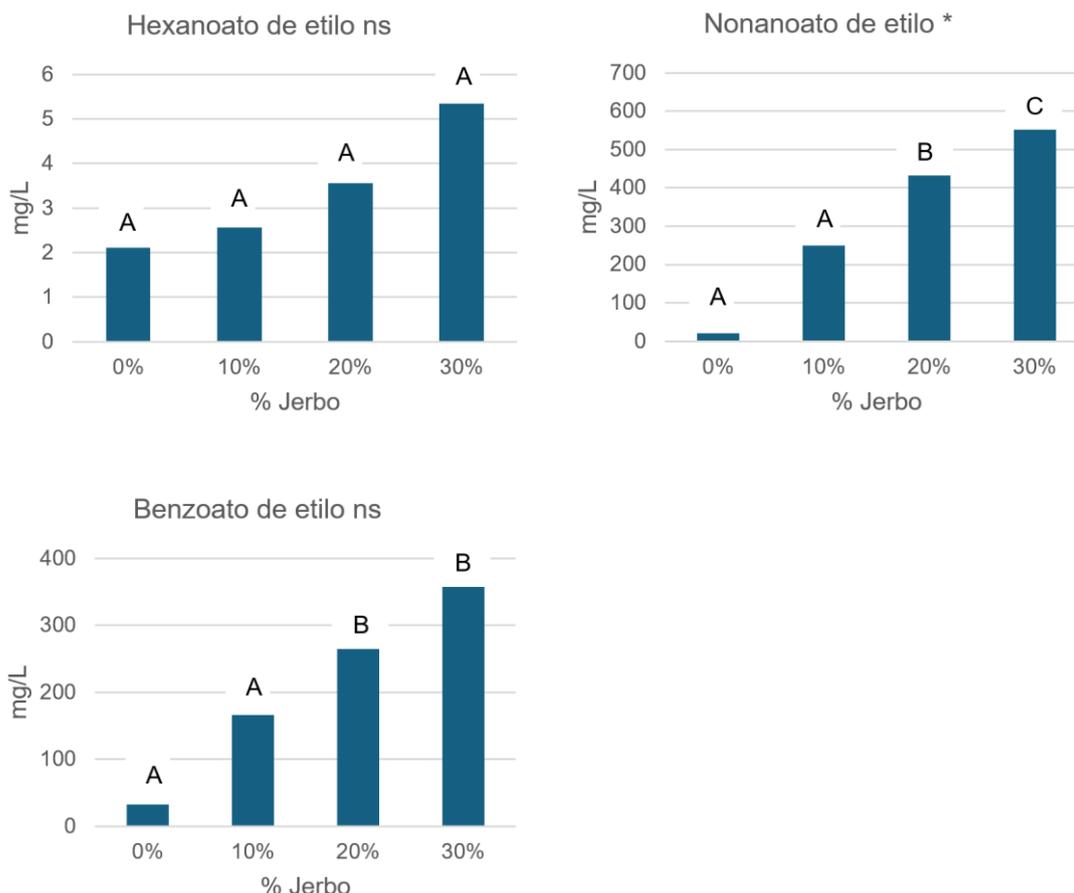
Respecto al método de destilación, si bien no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los destilados obtenidos con el alambique y el Clevenger, algunos ésteres mostraron una tendencia a presentar mayores concentraciones cuando se empleó el alambique. No obstante, en todos los casos, las concentraciones de estos compuestos en los destilados superaron sus respectivos umbrales de percepción [14, 15] en las fracciones analizadas, independientemente del equipo utilizado (**Figura 3**).

En cuanto al % de jерbo, no se observó un efecto significativo sobre la mayoría de ésteres analizados, con la excepción del nonanoato de etilo, cuya concentración aumentó en los destilados de forma estadísticamente significativa a medida que se incrementó la concentración de jерbo utilizada. Aunque este compuesto se mantuvo por encima de su umbral de percepción en todos los casos, estas diferencias son relevantes, ya que las variaciones por encima del umbral pueden influir directamente en la intensidad y el perfil aromático percibido del destilado. Por otra parte, compuestos como el hexanoato de etilo ($p=0,1708$) y el benzoato de etilo ($p=0,0636$) mostraron una tendencia ascendente con el aumento de jерbo, aunque sin alcanzar significancia estadística, encontrándose también por encima de sus umbrales en todos los destilados, pudiendo, por tanto, también influir en las características finales del destilado.

Figura 3: Concentración de los ésteres analizados en los destilados según los factores % v/v (fracciones del destilado: 40 % v/v, 60 % v/v), métodos de destilación (alambique y Clevenger) y % de jерbo (0 %, 10 %, 20 % y 30 %).







Letras distintas indican que existen diferencias significativas estadísticamente entre las muestras con un $p < 0,05$ según el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Ns: No significativo (valores- P mayores que 0,05). Asteriscos representan el nivel de significancia del compuesto con el factor, con un 95,0 % de nivel de confianza: * Diferencias significativas (valores- P menores que 0,05); ** Diferencias muy significativas (valores- P menores que 0,01); *** Diferencias altamente significativas (valores- P menores que 0,005).

- Ácidos:

En la **Figura 4** aparecen los ácidos analizados, que han sido significativos o han seguido una tendencia en los diferentes destilados elaborados, según su % v/v, el método de destilación empleado y el % de jerbo.

Los ácidos estudiados, en concentraciones por encima de su umbral de percepción, aportan aromas desagradables al destilado. En concreto, el ácido hexanoico se asocia con notas olfativas a queso y sudor [15, 16, 17], el ácido octanoico con olores grasos [17] y el ácido decanoico con olores tanto grasos como sudorosos [15, 17].

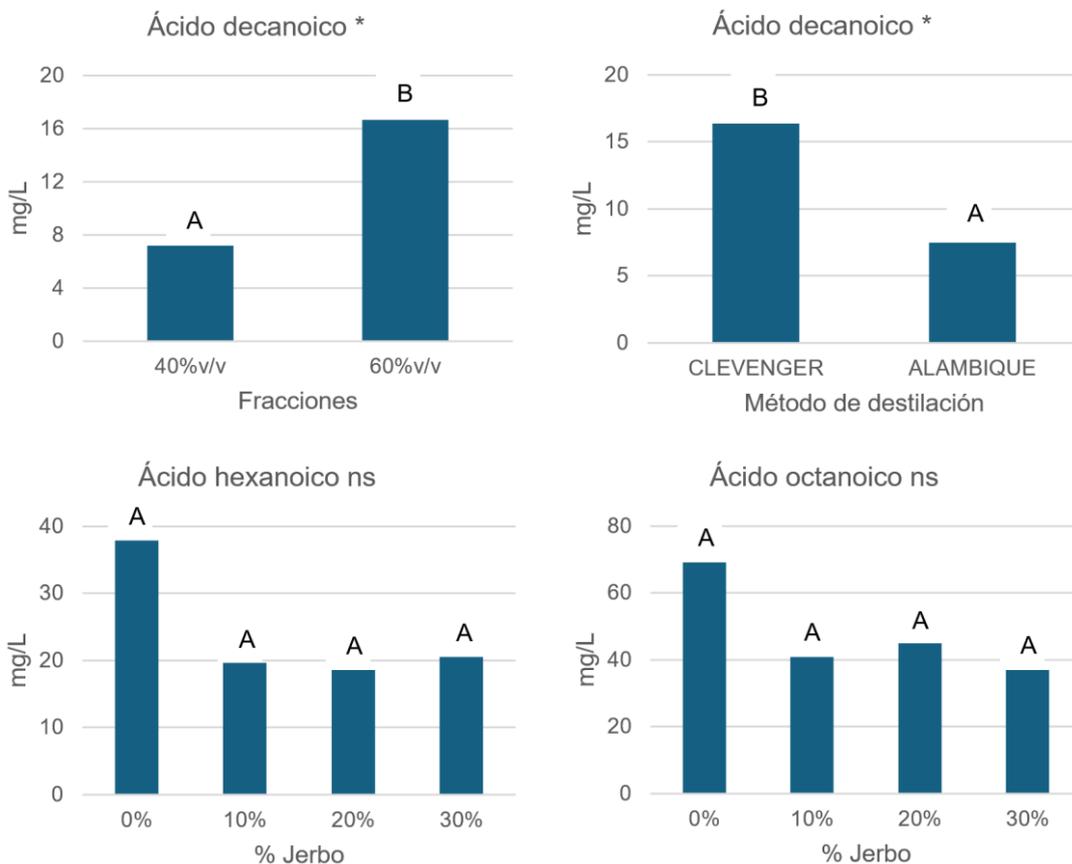
La **Figura 4** muestra que únicamente el ácido decanoico presentó diferencias estadísticamente significativas en función de la fracción del destilado. Este compuesto superó su umbral de percepción (13.736 $\mu\text{g/L}$) [15] únicamente en la primera fracción (60 %v/v), lo que indica una posible contribución directa al perfil sensorial en dicha fracción. No obstante, concentraciones por debajo del umbral no implican una ausencia total de efecto, ya que podrían ejercer una influencia sinérgica o moduladora en el perfil aromático final. Por otro lado, el ácido hexanoico y el ácido octanoico no mostraron diferencias significativas, presentando valores superiores a sus umbrales de percepción en ambos destilados, los cuales son 2520 y 2710 $\mu\text{g/L}$ [15, 17], respectivamente.

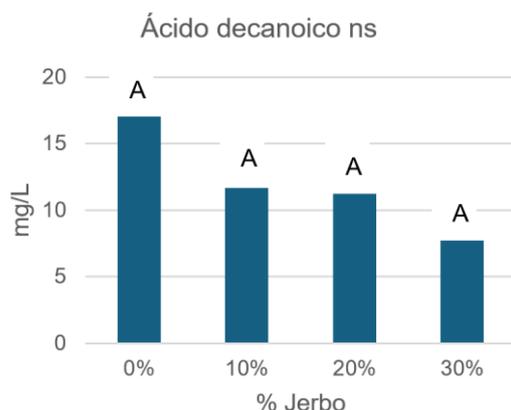
En relación con el método de destilación, de nuevo el ácido decanoico fue el único que presentó diferencias significativas, obteniendo mayor concentración mediante Clevenger, superando su umbral de percepción únicamente en este tipo de destilado.

En cambio, tanto el ácido hexanoico como el ácido octanoico alcanzaron concentraciones superiores a sus respectivos umbrales de percepción en todos los destilados, independientemente del método de destilación empleado, lo que sugiere una contribución directa de estos compuestos sobre el aroma del destilado.

Respecto al % de jerbo, a pesar de que ninguno de los ácidos analizados presentó diferencias significativas, todos los destilados mostraron una misma tendencia: una disminución en la concentración de estos compuestos a medida que aumentaba el porcentaje de jerbo incorporado. Esta reducción provocó que el ácido decanoico solo superara su umbral de percepción en el destilado elaborado sin adición de jerbo (0 %). En cambio, tanto el ácido hexanoico como el ácido octanoico mantuvieron concentraciones superiores a sus respectivos umbrales de percepción en todos los niveles de jerbo evaluados, contribuyendo potencialmente al perfil sensorial del destilado.

Figura 4: Concentración de los ácidos analizados en los destilados según los factores % v/v (fracciones del destilado: 40 % v/v, 60 % v/v), métodos de destilación (alambique y Clevenger) y % de jerbo (0 %, 10 %, 20 % y 30 %).





Letras distintas indican que existen diferencias significativas estadísticamente entre las muestras con un $p < 0,05$ según el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Ns: No significativo (valores- P mayores que 0,05). Asteriscos representan el nivel de significancia del compuesto con el factor, con un 95,0 % de nivel de confianza: * Diferencias significativas (valores- P menores que 0,05); ** Diferencias muy significativas (valores- P menores que 0,01); *** Diferencias altamente significativas (valores- P menores que 0,005).

❖ Aldehídos

En la **Figura 5** se muestran las concentraciones de los aldehídos analizados en los distintos destilados, que fueron significativos o siguieron una tendencia, según su % v/v, el método de destilación empleado y el % de jерbo.

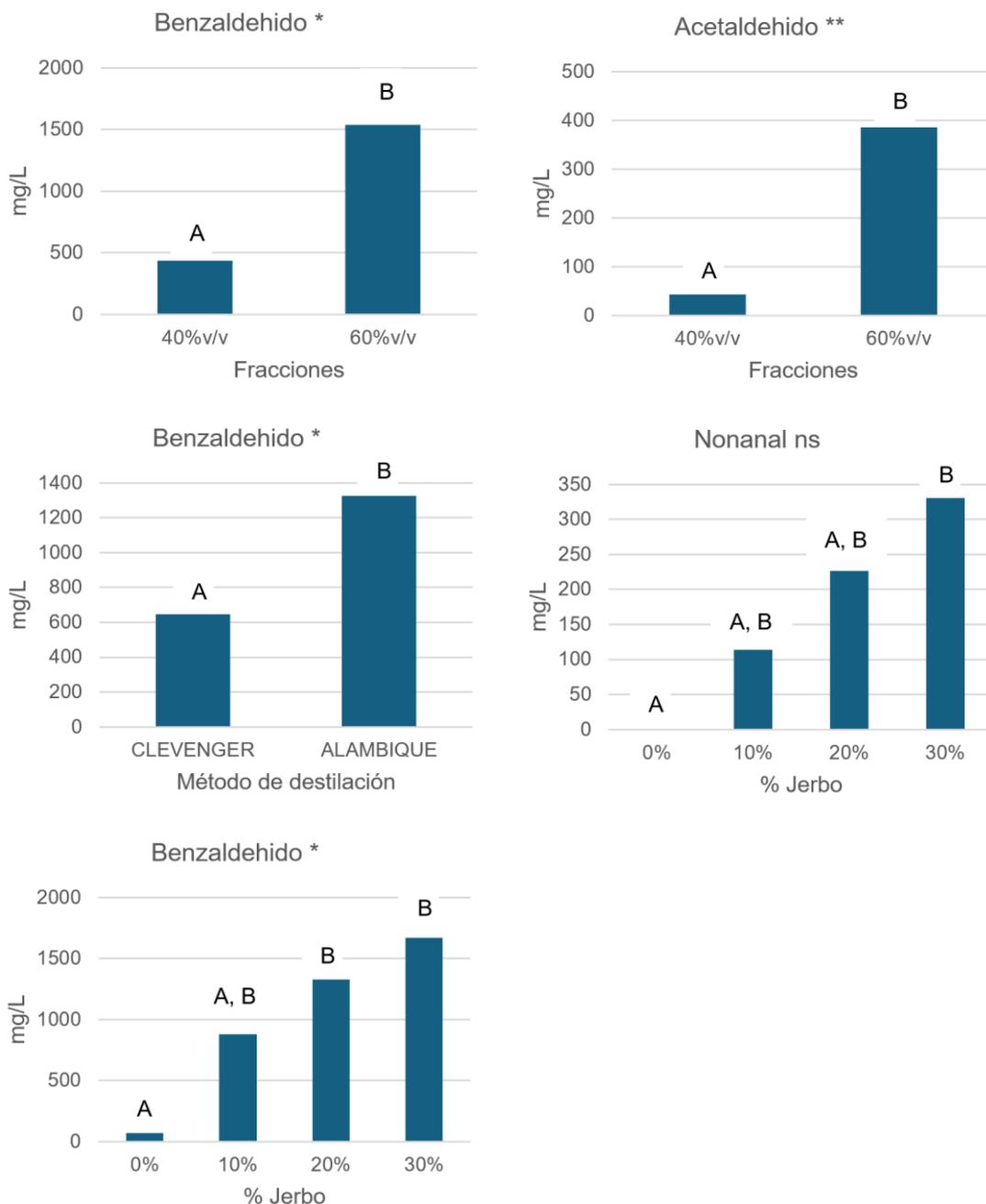
El acetaldehído es el principal aldehído de la fermentación alcohólica y puede encontrarse en altos niveles en aguardientes. En la **Figura 5** se observa que este compuesto se encuentra principalmente en la primera fracción del destilado, lo que justifica la necesidad de realizar un corte de cabezas preciso, con el objetivo de evitar su impacto negativo en el perfil aromático. A nivel sensorial, el acetaldehído se asocia con un olor acre, especialmente perceptible a concentraciones elevadas, teniendo un umbral de percepción de 250 mg/L [3].

En relación con las dos fracciones del destilado, los aldehídos analizados presentaron, en general, concentraciones más elevadas en la fracción correspondiente al 60 % v/v. Se observaron diferencias significativas tanto en la concentración del benzaldehído como en la del acetaldehído. En particular, el acetaldehído mostró diferencias estadísticamente muy significativas ($p < 0,01$), con una concentración aproximadamente cinco veces superior en dicha fracción en comparación con la última. Además, solo en la fracción del 60 % v/v el acetaldehído superó su umbral de percepción, por lo que influye directamente en el perfil sensorial. Por su parte, el benzaldehído asociado a aromas de cereza y con un umbral de percepción de 4.200 $\mu\text{g/L}$ [17], presentó diferencias significativas ($p < 0,05$), aunque sus concentraciones estuvieron por encima de dicho umbral en los destilados de ambas fracciones. En cuanto al nonanal, no mostró diferencias estadísticamente significativas entre fracciones, manteniéndose por encima de su umbral de percepción (1,1 $\mu\text{g/L}$) [18] en ambos destilados, aportando notas aromáticas descritas como verdes y cítricas a bajas concentraciones, pudiendo aportar notas grasas y jabonosas en altas concentraciones [18].

En relación con el método de destilación, solo el benzaldehído presentó diferencias significativas, mostrando concentraciones mayores en el alambique, aunque en ambos métodos los niveles en los destilados se mantuvieron por encima de su umbral de percepción. Por otro lado, tanto el acetaldehído como el nonanal mantuvieron concentraciones similares en ambos métodos; el nonanal siempre superó su umbral de percepción, mientras que el acetaldehído no alcanzó dicho umbral en ninguno de los casos.

Con respecto al % de jерbo, únicamente el benzaldehído mostró diferencias significativas, mostrando un incremento progresivo en su concentración a medida que aumentaba el contenido de jерbo, pero siempre con una concentración superior a su umbral de percepción. En el caso del nonanal, se observó una tendencia similar, cercana a la significancia estadística ($p = 0,0646$). La comparación múltiple indicó que el destilado con 0 % de jерbo difiere estadísticamente del grupo con 20 % y 30 % de jерbo, mientras que el destilado con 10 % de jерbo mostró un comportamiento intermedio. En el caso del acetaldehído, aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas, su concentración también aumentó a partir de la adición de jерbo, superando su umbral de percepción únicamente en el destilado con un 20 % de jерbo.

Figura 5: Concentración de los aldehídos analizados en los destilados según los factores % v/v (fracciones del destilado: 40 % v/v, 60 % v/v), métodos de destilación (alambique y Clevenger) y % de jерbo (0 %, 10 %, 20 % y 30 %).



*Letras distintas indican que existen diferencias significativas estadísticamente entre las muestras con un $p < 0,05$ según el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Ns: No significativo (valores-P mayores que 0,05). Asteriscos representan el nivel de significancia del compuesto con el factor, con un 95,0 % de nivel de confianza: * Diferencias significativas (valores-P menores que 0,05); ** Diferencias muy significativas (valores-P menores que 0,01); *** Diferencias altamente significativas (valores-P menores que 0,005).*

- Alcoholes:

Los alcoholes que se muestran en la **Figura 6** son aquellos que fueron analizados y mostraron diferencias significativas o una tendencia, según su % v/v, el método de destilación empleado y el % de jerbo. Además, en la **Tabla 3** de **Anexos**, debido a la importancia del metanol, se muestran las concentraciones de metanol de los distintos destilados según las fracciones, método de destilación y % de jerbo.

Estos alcoholes analizados pueden aportar aromas agradables cuando se encuentran en pequeñas cantidades, sin embargo, en altas concentraciones, pueden tornar a ser desagradables [3].

En este estudio, como se observa en la **Figura 6**, los alcoholes analizados se encontraron principalmente en la primera fracción del destilado (60 % v/v). Se encontraron diferencias estadísticamente muy significativas ($p < 0,01$) en el 1-hexanol, compuesto que aporta notas verdes y cuyo umbral de percepción es de 8000 $\mu\text{g/L}$ [17]. Además, se detectaron diferencias significativas en otros alcoholes, como el 3-metil-1-butanol, que aporta notas afrutadas y de malta, con un umbral de percepción de 179000 $\mu\text{g/L}$ [15, 17]; el isobutanol, asociado a notas de disolvente y fusel, con un umbral de percepción de 28300 $\mu\text{g/L}$ [17]; el 1-butanol, de carácter alcohólico y disolvente, cuyo umbral es de 2730 $\mu\text{g/L}$ [15]; y el 1-noanol, al cual se le describe como verde en bajas concentraciones y graso cuando se encuentra en altas concentraciones, con un umbral de percepción de 50 $\mu\text{g/L}$ [18]. Todos estos compuestos se encontraron por encima de sus respectivos umbrales de percepción en ambas fracciones del destilado, lo que indica su influencia sensorial en el destilado final. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas en el 2-feniletanol, asociado a aromas a rosas [3, 16] y con un umbral de percepción de 28900 $\mu\text{g/L}$ [15]; en el alcohol bencílico, que aporta notas florales y con un umbral de 40900 $\mu\text{g/L}$ [15], y en el 2-metil-1-butanol, caracterizado por un olor a fusel y con un umbral de 750000 $\mu\text{g/L}$ [3]. Estos alcoholes se encuentran por encima de sus respectivos umbrales de percepción, con la excepción del 2-metil-1-butanol, que solo superó su umbral en la fracción del 60 % v/v, presentándose por debajo del umbral en la última fracción del destilado y siendo, por tanto, perceptible únicamente en la fracción de 60 % v/v.

Por otro lado, aunque el metanol también es un alcohol, no contribuye significativamente al aroma final del destilado, pero sí reviste importancia desde el punto de vista sanitario debido a su toxicidad [19]. Los aguardientes analizados en este estudio fueron el resultado de destilar una mezcla de vino y jerbo, con la excepción del destilado elaborado con 0 % de jerbo. Debido a esta composición, estos no entran en ninguna categoría específica definida por la normativa, pudiendo considerarse una bebida espirituosa sin categoría específica. En este caso, no existe un límite legal establecido sobre el contenido de metanol. Sin embargo, por razones de seguridad alimentaria y calidad del producto, se ha tomado como referencia el límite establecido para los aguardientes de vino, fijado en 200 g/hL de alcohol a 100 % v/v, lo que es igual a 2000 mg/L a 100 % v/v, conforme a lo establecido en el Reglamento (UE) 2019/787. Por esta razón, es fundamental garantizar que su concentración se encuentre siempre por debajo del límite legal. Además, el metanol es un compuesto asociado a las fracciones de cabezas y colas, siendo esta una de las razones por las que se debe realizar un corte óptimo en la separación de las fracciones [3]. En este estudio, el metanol presentó diferencias estadísticas altamente significativas entre las distintas fracciones del destilado ($p < 0,001$), observándose una disminución progresiva de su concentración a

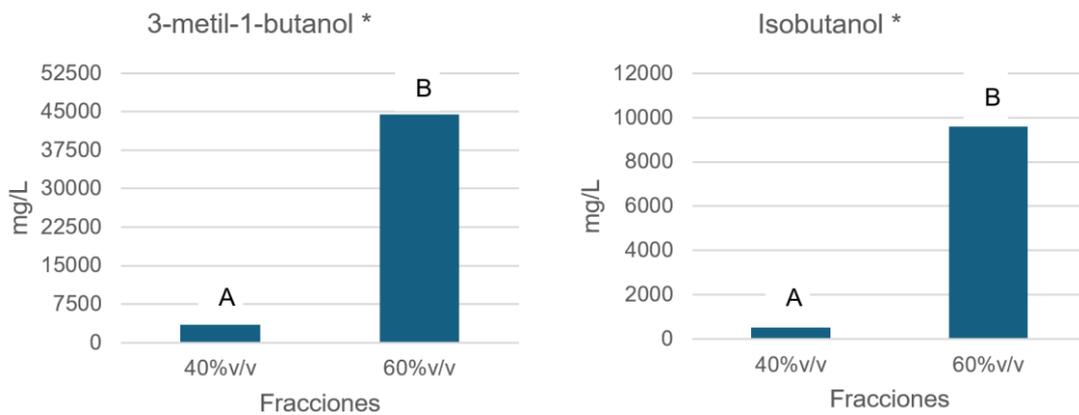
medida que avanzaba la destilación. No obstante, en todas las fracciones analizadas, los niveles de metanol se mantuvieron por debajo del límite legal establecido.

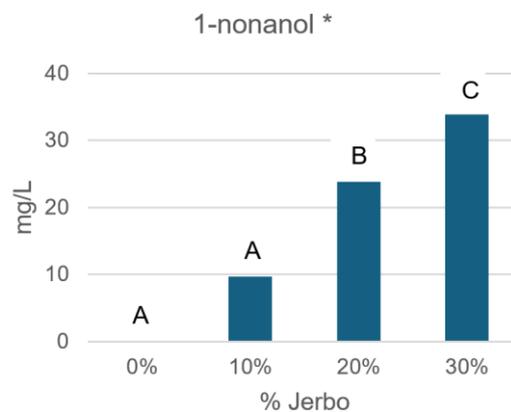
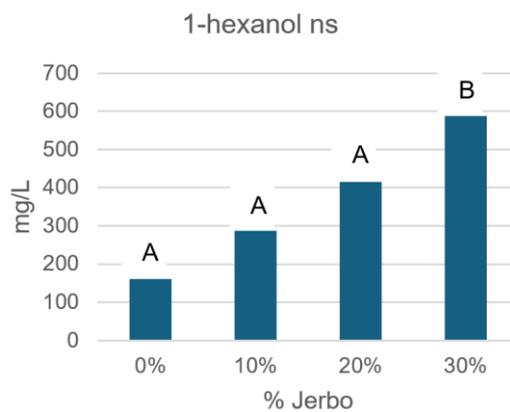
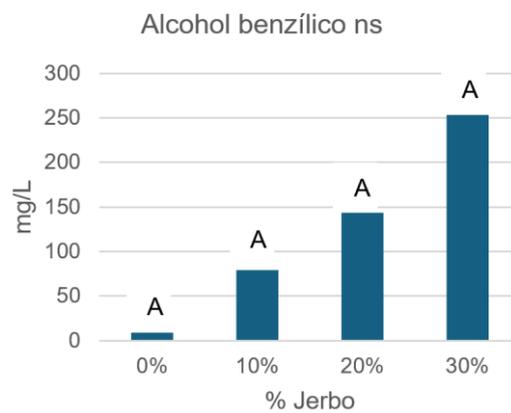
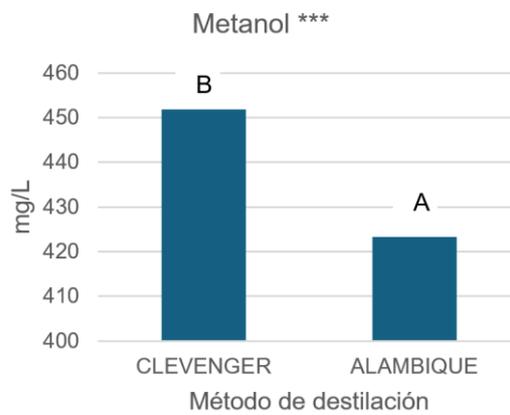
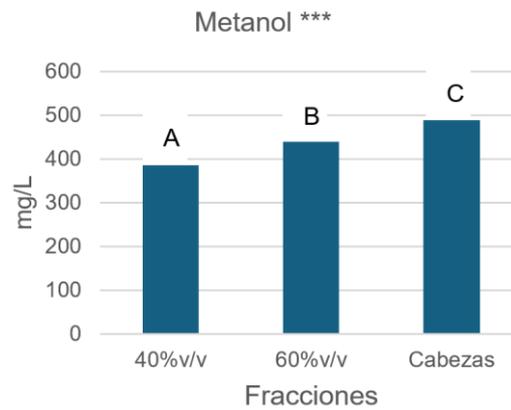
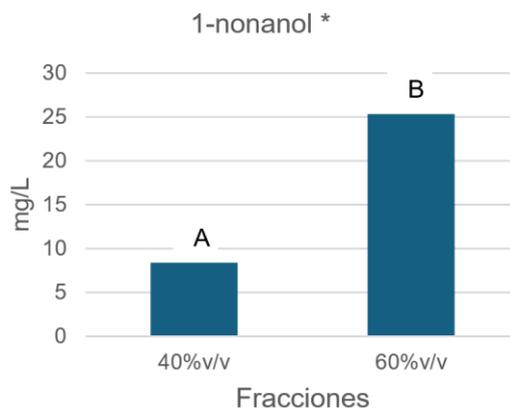
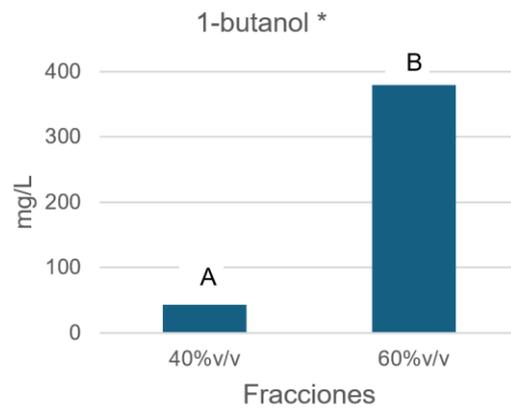
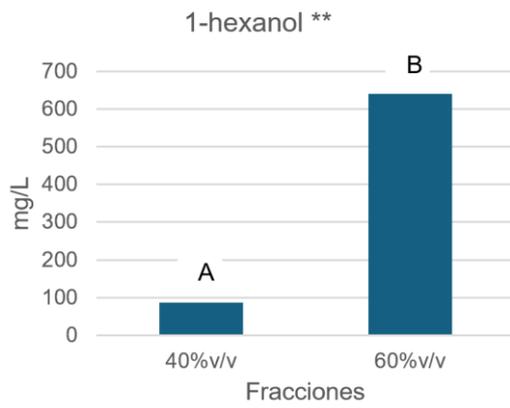
Respecto al método de destilación, este factor no mostró un efecto significativo sobre la concentración de los alcoholes analizados, con la excepción del metanol, que presentó diferencias estadísticas altamente significativas entre ambos métodos ($p < 0,001$), obteniéndose concentraciones más elevadas en el destilado obtenido mediante el sistema Clevenger. A pesar de esta diferencia, en todos los casos la concentración de metanol siempre permaneció por debajo del límite legal establecido.

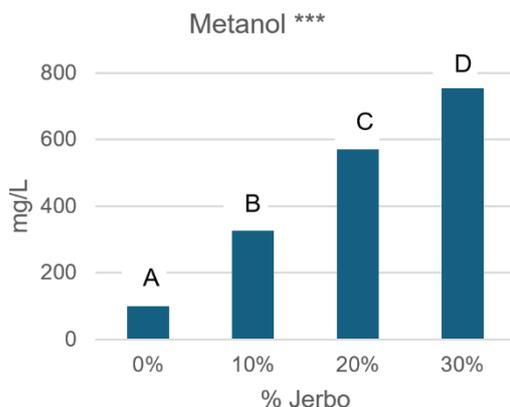
En cuanto al % de jерbo, el 1-nonanol y el metanol fueron los únicos alcoholes, entre los estudiados, que presentaron diferencias estadísticamente significativas. El 1-nonanol fue detectable únicamente en los destilados que contenían jерbo, observándose un aumento progresivo en su concentración a medida que se incrementaba el porcentaje de jерbo, siendo perceptible a partir del 10 % de jерbo. Además, se observó una tendencia similar en el alcohol bencílico, el cual aporta notas florales, cuyo umbral de percepción es de 40900 $\mu\text{g/L}$ [15] y el 1-hexanol, aunque no tuvieron diferencias significativas. Estos compuestos se encontraban en bajas concentraciones en los destilados sin jерbo, pero su concentración fue aumentando a medida que se incrementaba el porcentaje de jерbo. De los alcoholes estudiados, la mayoría se encontraron por encima de sus umbrales de percepción en todos los destilados, con la excepción del 1-nonanol y del alcohol bencílico, cuyas concentraciones permanecieron por debajo de su umbral en el destilado sin jерbo (0 %), superando su umbral a partir del 10 % de jерbo, lo que sugiere una influencia directa del jерbo en el aumento en la concentración de estos compuestos.

El metanol mostró diferencias altamente significativas, incrementando su concentración a medida que aumentaba el porcentaje de jерbo, alcanzando su valor más alto en el destilado con un 30 % de jерbo. A pesar de la elevada concentración de metanol, este siempre permaneció por debajo del límite legal en todos los destilados, asegurando la seguridad del producto final.

Figura 6: Concentración de los alcoholes analizados en los destilados según los factores % v/v (fracciones del destilado: 40 % v/v, 60 % v/v), métodos de destilación (alambique y Clevenger) y % de jерbo (0 %, 10 %, 20 % y 30 %).







Letras distintas indican que existen diferencias significativas estadísticamente entre las muestras con un $p < 0,05$ según el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Ns: No significativo (valores- P mayores que 0,05). Asteriscos representan el nivel de significancia del compuesto con el factor, con un 95,0 % de nivel de confianza: * Diferencias significativas (valores- P menores que 0,05); ** Diferencias muy significativas (valores- P menores que 0,01); *** Diferencias altamente significativas (valores- P menores que 0,005).

En resumen, la fracción del destilado (% v/v) fue el factor que mostró mayor influencia, afectando de forma significativa a numerosos compuestos volátiles, especialmente ésteres y alcoholes, destacando el metanol. El método de destilación tuvo un impacto significativo en un número reducido de compuestos; no obstante, tanto el metanol como el cobre se vieron claramente afectados por esta variable. Por su parte, el porcentaje de jerbo influyó en compuestos aromáticos concretos, especialmente en algunos aldehídos, alcoholes y también en el metanol.

6.2. Análisis sensorial

Se propusieron dos análisis, uno con el fin de establecer el perfil sensorial de los aguardientes y observar las diferencias entre estos, y otro para poder ordenar las bebidas en base a las preferencias sensoriales de los catadores.

En la **Figura 7** se muestran los resultados obtenidos en la cata escalar utilizados para definir los perfiles de los aguardientes, mostrando, en el caso de la fase olfativa, solo los atributos que fueron diferentes estadísticamente entre alguno de ellos. Para determinar estas diferencias se llevó a cabo un análisis estadístico de la varianza (ANOVA simple), cuyos resultados se exponen en la **Tabla 4** de **Anexos**. Además, en busca de conocer que factor era más significativo sobre las características sensoriales de los destilados, se realizó un análisis estadístico multifactorial (MANOVA), resultados los cuales se muestran en las **Tabla 5/6** de **Anexos**. Los factores analizados fueron el % de jerbo y el método de destilación. En este caso, el factor "fracción" no se evaluó, debido a que se mezclaron las dos fracciones del destilado con el fin de evitar que el grado alcohólico interfiriera en la percepción sensorial de los catadores y para disponer de un volumen suficiente para realizar los análisis.

Los atributos de la fase olfativa que no aparecen en la **Figura 7** (la intensidad olfativa, el aroma vegetal y a plátano, en el caso de aromas positivos, y el olor a disolvente fuerte y a queso, en el caso de los defectos) no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los aguardientes, al haber recibido puntuaciones similares en todos los casos. Por esta razón, incluir el jerbo junto al vino en la destilación mediante dos métodos diferentes, no afectó ni a la intensidad olfativa, aroma vegetal y aroma a plátano, ni a los olores a disolvente fuerte y a queso. Estos parámetros obtuvieron valores promedios de 3,1-3,3 para la intensidad olfativa, lo que indica una intensidad moderada. Para los aromas vegetal y plátano, los valores fueron de 0.9-1.5 y 0.8-1.5,

respectivamente, es decir, que empezaron a ser perceptibles. El olor a disolvente fuerte y queso no llegó a ser perceptibles por los catadores, obteniendo valores promedios de 0,5-1,0 y 0,2-0,5, respectivamente.

Sin embargo, si hay otros descriptores de la fase olfativa en los que se vieron diferencias significativas. La incorporación del jerbo al destilado provocó una disminución general de atributos positivos en el aroma del destilado, a pesar de tener mayores concentraciones de compuestos aromáticos favorables como el hexanoato de etilo o el benzoato de etilo, pero posiblemente tapados por otros compuestos desfavorables como el nonanal o el 1-nonanol. Los valores de frutos rojos fueron estadísticamente superiores en los destilados sin jerbo (0 %), en los cuales fueron débilmente percibidos por los catadores (puntuación entre 2 y 3), al igual que para los frutos negros, en los que su percepción fue estadísticamente superior en los destilados sin jerbo (0 %), destacando las diferencias estadísticas entre el JA-0% (puntuación de 1,6) y los JC-10%, JA-10% y JC-30% (puntuaciones de 0,8-0,9). Nuevamente para la fruta de hueso los destilados con mayor puntuación fueron los que no tenían jerbo, habiendo diferencias estadísticas entre el JA-0% (puntuación de 2,8) y los destilados con jerbo (puntuación de 1,0-1,4), como ocurrió con el aroma a chuchería, el cual fue estadísticamente superior en el JA-0% frente al resto de los destilados, siendo este débilmente percibido por los catadores. En el caso del descriptor floral, los destilados que obtuvieron una mayor puntuación, siendo significativamente superiores, fueron los elaborados a partir del alambique (1,4), empezando a ser perceptible en estos destilados y sin llegar a ser perceptible en los destilados mediante Clevenger (0,8), habiendo, además, diferencias significativas entre el JA-0% y los destilados mediante Clevenger. En cuanto al aroma a almendra, el destilado en el que mayor percepción se pudo observar fue en el JA-20% (1,7), siendo significativamente superior al JC-0% (0,6), en el cual no fue perceptible. La complejidad aromática de los destilados elaborados fue significativamente inferior en los destilados con un 30 % de jerbo (1,8), obteniendo la mayor puntuación a través del JA-0% (2,6), el cual fue estadísticamente superior al JA-10%, JA-30% y JC-30% (1,7-2,0).

Los defectos olfativos fueron estadísticamente superiores en los destilados elaborados a partir del Clevenger (1,1), siendo los destilados sin jerbo (0,5) los valorados con menos defectos. Presentaron diferencias significativas los destilados mediante Clevenger y el JA-10%, con el JA-0% (0,2), destacando el JC-30% (1,2) como el destilado con mayores defectos, posiblemente debido a las altas concentraciones de nonanal y 1-nonanol en los destilados con un 30 % de jerbo. Los destilados sin jerbo fueron los valorados con menor puntuación respecto a los olores a sudor y goma quemada. Los destilados con jerbo elaborados mediante Clevenger fueron los que obtuvieron mayor puntuación respecto al olor a sudor, aumentando su puntuación a mayor concentración de jerbo, y siendo significativamente mayores frente al JA-0% (0,1). En relación con el olor a goma quemada los destilados con mayor puntuación fueron el JA-10% (0,7) seguido del JC-30% (0,6), los cuales fueron significativamente superiores al JA-0% (0,14).

En la fase gustativa los destilados presentaron perfiles sensoriales similares entre sí. Los descriptores evaluados obtuvieron puntuaciones entre 1,6 a 3, es decir, que se encontraron entre empezando a ser percibidos, débilmente percibidos y moderadamente percibidos por los catadores. Con relación al dulzor, amargor y textura, no hubo ninguna diferencia estadística entre ninguno de los destilados, empezando a ser percibido y débilmente percibido en el caso del dulzor (los 0 % jerbo obtuvieron las mejores puntuaciones de 1,8-2,3) y el amargor (los 0 % jerbo obtuvieron las peores puntuaciones) (1,6-2,1), y siendo débilmente percibido en el caso de la textura (el JA-0% obtuvo la mejor puntuación). Si que hubo diferencias estadísticas sobre la calidad del alcohol, entre el JA-0% (que era superior) y el JC-30%, y en relación con el equilibrio, obteniendo una puntuación estadísticamente superior el JA-0% sobre el JC-30% y el JA-10%.

Los resultados de la cata hedónica realizada mediante la ordenación de los destilados elaborados se muestran en la **Figura 8**. En esta figura se puede observar como el JC-0% fue el destilado mejor valorado del grupo del Clevenger (media 2,8), seguido del JC-20% y JC-10%, aunque estos tres con puntuaciones muy similares. El destilado peor valorado de este grupo fue el JC-30%, con una puntuación inferior a 2. En el caso del grupo del alambique, de nuevo tres destilados obtuvieron puntuaciones muy similares, pero en este caso estos fueron el JA-20%, JA-0% Y JA-30% (2,6), siendo el JA-10% el que peor valoración obtuvo con un 2,1. Estos resultados reflejan que el Clevenger funcionó mejor con las muestras sin jerbo o con bajas proporciones, empeorando claramente con un 30 % de jerbo, mientras que el alambique permitió mayores proporciones, obteniendo los peores resultados con un 10 % de jerbo.

Tras la cata hedónica realizada para conocer que destilados eran los preferidos según su concentración de jerbo, se realizó una cata hedónica para conocer que destilado era el preferido según su método de destilación, cuyos resultados se muestran en la **Figura 9**. En esta figura se observa que ambos métodos fueron igualmente valorados por los catadores, sin ninguna preferencia clara por uno u otro. Estos resultados sugieren que, desde el punto de vista sensorial, las diferencias en el método de destilación no fueron lo suficientemente marcadas como para influir significativamente en la aceptación global de los destilados.

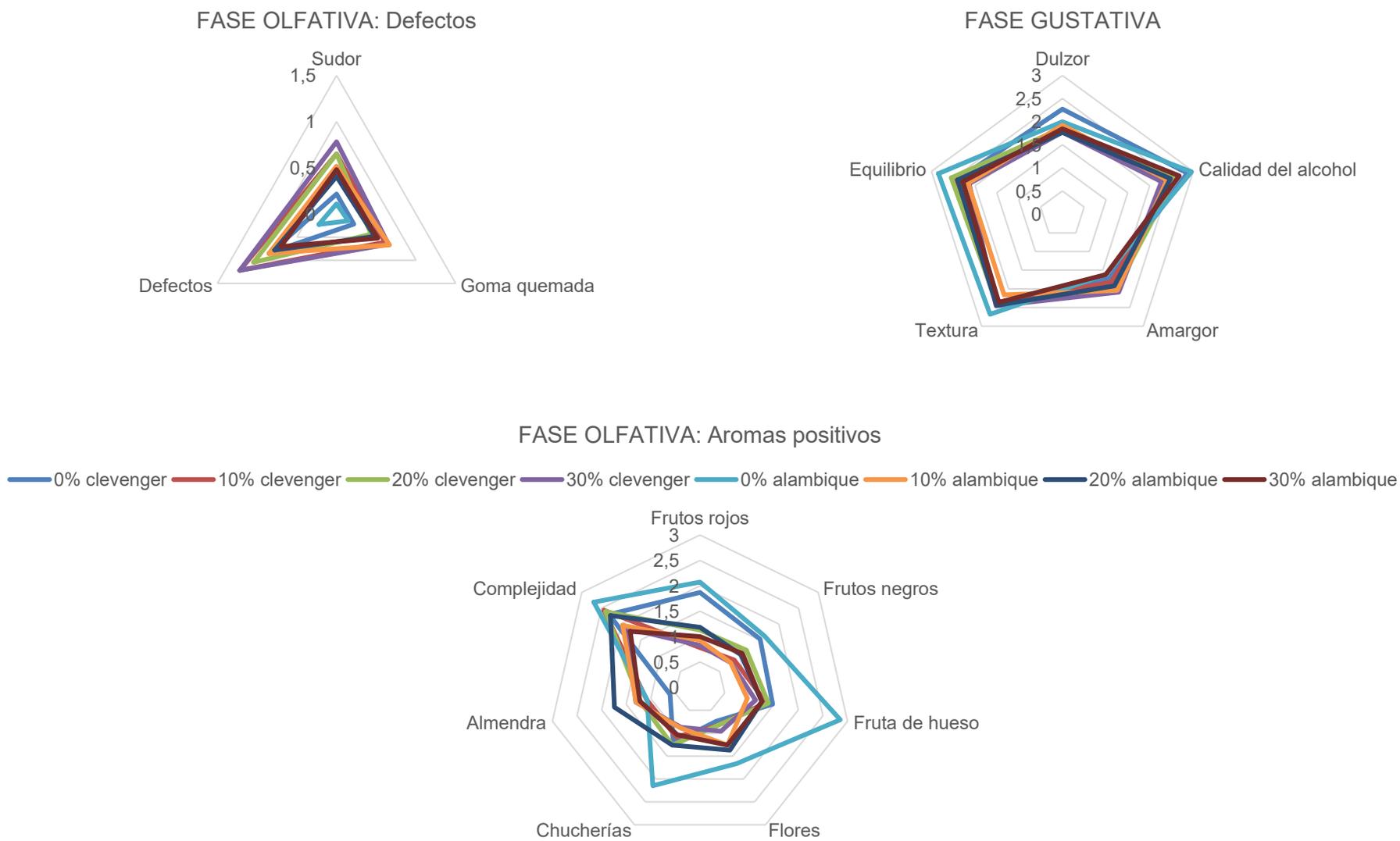


Figura 7: Perfil sensorial de los destilados. Las diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) se exponen en la **Tabla 4** de los **Anexos**.

Figura 8: Resultados de la cata de preferencia global entre todos los destilados.

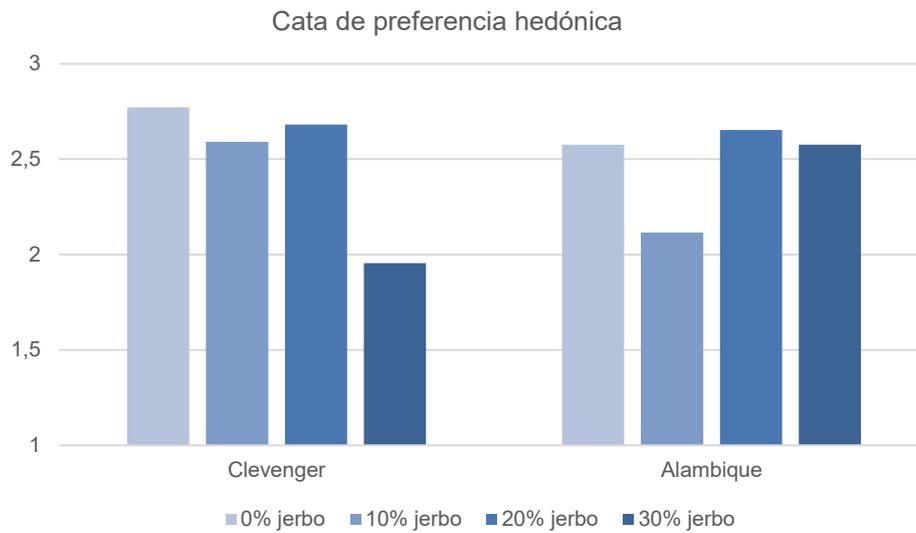
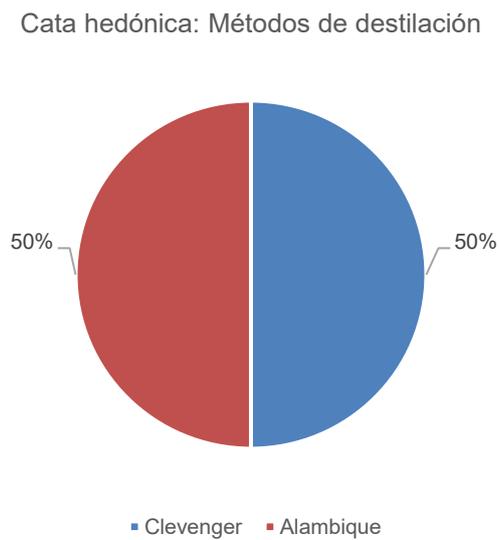


Figura 9: Resultado de la cata de preferencia global entre los métodos de destilación Clevenger y Alambique.



7. CONCLUSIÓN

El estudio ha permitido evaluar la viabilidad del jerbo como materia prima complementaria en la elaboración de aguardientes a base de vino, analizando su impacto químico y sensorial. Los principales hallazgos pueden resumirse del siguiente modo:

❖ **Influencia de la fracción del destilado (40 y 60 % v/v):**

- Fue el factor más influyente en la composición química, en especial en la composición volátil del destilado.
- La primera fracción del corazón (60 % v/v) presentó mayor riqueza en compuestos volátiles, especialmente ésteres y alcoholes, con concentraciones por encima de sus umbrales de percepción indicando la influencia de estos en el destilado.
- La fracción 60 % v/v también mostró niveles más altos de compuestos indeseables como metanol y acetaldehído, lo que subraya la necesidad de realizar un corte adecuado de cabezas.

❖ **Efecto del método de destilación (alambique y Clevenger):**

- El método de destilación tuvo un impacto significativo en ciertos compuestos químicos.
- El método tradicional (alambique) generó destilados con perfiles aromáticos más agradables y menor presencia de defectos sensoriales, a pesar de un mayor contenido en cobre.
- El método con el sistema de Clevenger concentró más metanol y más defectos sensoriales.
- Sin embargo, en la cata hedónica no se detectaron diferencias significativas entre ambos métodos.

❖ **Impacto de la proporción de jerbo (0, 10, 20 y 30 % de jerbo):**

- La adición de jerbo al destilado influyó tanto a nivel químico como sensorial.
- A nivel químico, se detectó un aumento progresivo de metanol y una disminución de cobre con el incremento de jerbo.
- Sensorialmente, su incorporación redujo la presencia de notas frutales positivas (frutos rojos, frutos negros y fruta de hueso) y favoreció la aparición de atributos defectuosos (sudor y goma quemada), especialmente en concentraciones elevadas (30 %) cuando se empleó el alambique.
- En la cata hedónica los destilados sin jerbo o con bajo contenido fueron ligeramente mejor valorados, aunque sin grandes diferencias.

En conjunto, los resultados sugieren que el jerbo presenta un potencial limitado como ingrediente en aguardientes, siendo necesario ajustar su proporción y optimizar las condiciones de destilación para maximizar la calidad sensorial del producto final.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Muñoz de Cote Orozco, “Las bebidas alcohólicas en la historia de la humanidad,” *AAPAUNAM Academia, Ciencia y Cultura*, pp. 42–45, 2010.
- [2] A. H. Varnam and J. P. Sutherland, “Alcoholic Beverages: III. Distilled Spirits,” in *Beverages*, Boston, MA: Springer US, 1994, pp. 400–448. doi: 10.1007/978-1-4615-2508-0_9.
- [3] P. Matias-Guiu Martí, “Distillation strategies: a key factor to obtain spirits with specific organoleptic characteristics,” Doctoral thesis, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, 2018. Accessed: May 21, 2025. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10803/663374>
- [4] J. Leonardo. Bohórquez Cuello, “Optimización del proceso de fabricación de aceites a base de plantas, mediante la implementación de un equipo de destilación asistido por microondas, en el laboratorio de microbiología de investigación de la universidad de sucre.” 2014.
- [5] N. Christoph and C. Bauer-Christoph, “Flavour of Spirit Drinks: Raw Materials, Fermentation, Distillation, and Ageing,” in *Flavours and Fragrances*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007, pp. 219–239. doi: 10.1007/978-3-540-49339-6_10.
- [6] A. Tsakiris, S. Kallithraka, and Y. Kourkoutas, “Grape brandy production, composition and sensory evaluation,” *J Sci Food Agric*, vol. 94, no. 3, pp. 404–414, Feb. 2014, doi: 10.1002/jsfa.6377.
- [7] P. Carbonell Bejerano and J. M. Martínez Zapater, “Estructura y composición de la uva y su contribución al vino.”, *Revista de Enología Científica y Profesional*, vol. 139, 2013.
- [8] M. D. Raigón Jiménez, M. D. García-Martínez, P. Esteve Ciudad, and T. Fukalova Fukalova, “Nutritional, Bioactive, and Volatile Characteristics of Two Types of Sorbus domestica Undervalued Fruit from Northeast of Iberian Peninsula, Spain,” *Molecules*, vol. 29, no. 18, p. 4321, Sep. 2024, doi: 10.3390/molecules29184321.
- [9] M. Pardo-De-Santayana, J. Tardío, and R. Morales, “The gathering and consumption of wild edible plants in the Campoo (Cantabria, Spain),” *Int J Food Sci Nutr*, vol. 56, no. 7, pp. 529–542, Jan. 2005, doi: 10.1080/09637480500490731.
- [10] M. Galabova, N. Stoyanov, and P. Mitev, “Primary studies of the composition of distillate beverages produced from Sorbus Domestica fruits,” *BIO Web Conf*, vol. 45, p. 01012, Feb. 2022, doi: 10.1051/bioconf/20224501012.
- [11] O. Vyviurska, S. Pysarevska, N. Jánošková, and I. Špánik, “Comprehensive two-dimensional gas chromatographic analysis of volatile organic compounds in distillate of fermented Sorbus domestica fruit,” *Open Chem*, vol. 13, no. 1, Dec. 2015, doi: 10.1515/chem-2015-0007.
- [12] E. Gür, M. A. Gündoğdu, and T. Başaran, “Determination of the variation in volatile components during the ripening of Sorbus domestica L. fruit,” *Horticultural Science*, vol. 52, no. 1, pp. 53–60, Mar. 2025, doi: 10.17221/157/2023-HORTSCI.
- [13] S. Canas *et al.*, “Behaviour of low molecular weight compounds, iron and copper of wine spirit aged with chestnut staves under different levels of micro-oxygenation,” *Molecules*, vol. 25, no. 22, Nov. 2020, doi: 10.3390/molecules25225266.

- [14] Y. Niu, Z. Yao, Z. Xiao, G. Zhu, J. Zhu, and J. Chen, "Sensory evaluation of the synergism among ester odorants in light aroma-type liquor by odor threshold, aroma intensity and flash GC electronic nose," *Food Research International*, vol. 113, pp. 102–114, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.foodres.2018.01.018.
- [15] Y. Niu, Z. Yao, Q. Xiao, Z. Xiao, N. Ma, and J. Zhu, "Characterization of the key aroma compounds in different light aroma type Chinese liquors by GC-olfactometry, GC-FPD, quantitative measurements, and aroma recombination," *Food Chem*, vol. 233, pp. 204–215, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.103.
- [16] , Laura Culleré, A. Escudero, J. Cacho, and V. Ferreira, "Gas Chromatography–Olfactometry and Chemical Quantitative Study of the Aroma of Six Premium Quality Spanish Aged Red Wines," *J Agric Food Chem*, vol. 52, no. 6, pp. 1653–1660, Mar. 2004, doi: 10.1021/jf0350820.
- [17] X. F. Xiang *et al.*, "Characterization of odor-active compounds in the head, heart, and tail fractions of freshly distilled spirit from Spine grape (*Vitis davidii* Foex) wine by gas chromatography-olfactometry and gas chromatography-mass spectrometry," *Food Research International*, vol. 137, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.foodres.2020.109388.
- [18] J. Zhang *et al.*, "Characterization of key aroma compounds in melon spirits using the sensomics concept," *LWT*, vol. 161, p. 113341, May 2022, doi: 10.1016/j.lwt.2022.113341.
- [19] C. López Vázquez, "Estudio del comportamiento de columnas de destilación en la elaboración de aguardientes de orujo: características analíticas y sensoriales de los destilados.," 2011.

9. ANEXOS

Figura 1 - Imagen del alambique utilizado en la destilación.



Figura 2 - Imagen del Clevenger utilizado en la destilación.



Figura 3 - Ficha de cata escalar.

CATA ESCALAR: PERFIL OLFATIVO Y GUSTATIVO

NOMBRE DEL CATADOR:

EDAD:

FECHA:

0=no perceptible; 1=comienzo a ser perceptible; 2=débil; 3=moderado; 4=fuerte; 5=muy fuerte

MUESTRA																								
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
Olfativo																								
Intensidad olfativa																								
Frutos rojos (fresa, cereza...)																								
Frutos negros (moras, grosellas...)																								
Fruta de hueso (melocotón, ciruela...)																								
Vegetal (hierba cortada, heno...)																								
Flores																								
Chucherías (gominolas, piruleta...)																								
Plátano																								
Almendra																								
Complejidad																								
Disolvente fuerte (picor en nariz)																								
Queso																								
Sudor (rancio)																								
Goma quemada																								
Defectos																								
Gustativo																								
Dulzor																								
Calidad del alcohol																								
Amargor																								
Textura (densidad, estructura)																								
Equilibrio (armonía)																								

Figura 4 - Ficha de cata de preferencia hedónica.

CATA DE PREFERENCIA HEDÓNICA

NOMBRE DEL CATADOR:

EDAD:

FECHA:

Ordena de mayor a menor según la preferencia

--	--	--	--

Ordena de mayor a menor según la preferencia

--	--	--	--

Ordena de mayor a menor según la preferencia

--	--

COMENTARIOS:

Tabla 1 – Nivel de significancia de cada compuesto analizado por cada factor.

Compuesto	Valor-P		
	% v/v	Método de destilación	% jерbo
cobre	0,0031	0.0051	0.0374
hierro	0,5997	0,7556	0,8121
zinc	0,1482	0,2474	0,4922
hexanoato de etilo	0,0131	0,4242	0,1708
octanoato de etilo	0,0021	0,5608	0,3625
decanoato de etilo	0,0023	0,4305	0,6393
acetato de etilo	0.0360	0.6632	0.5353
nonanoato de etilo	0.0191	0.9005	0.0243
dodecanoato de etilo	0.1453	0.9270	0.2580
lactato de etilo	0.1855	0.5337	0.3056
dietil succinato	0.3600	0.9633	0.7740
benzoato de etilo	0.0193	0.0863	0.0636
ácido hexanoico	0.2155	0.7397	0.4480
ácido octanoico	0.4524	0.1010	0.4833
ácido decanoico	0.0411	0.0482	0.2978
benzaldehido	0.0127	0.0457	0.0380
nonanal	0.4767	0.5408	0.0646
acetaldehido	0.0038	0.5593	0.4421
2-feniletanol	0,1957	0,6648	0,9649
3-metil-1-butanol	0,0118	0.7181	0.6906
isobutanol	0.0410	0.8273	0.5169
1-butanol	0.0293	0.8678	0.9950
1-hexanol	0.0040	0.5261	0.0715
alcohol benzilico	0.8117	0.6898	0.1616
2-metil-1-butanol	0.0793	0.9965	0.7507
1-nonanol	0.0372	0.7906	0.0444
metanol	0,0000	0,0007	0.0000

Color rojo = Compuesto significativo para dicho factor (% v/v, método de destilación, % jерbo).

Tabla 2 – Concentración de los metales pesados en los diferentes destilados.

Análisis químico	% jerbo	% vol.	Alambique	Clevenger
Cobre (mg/l)	0 %	Cabeza	< 0.01	< 0.01
		60 % v/v	21,84	4,24
		40 % v/v	16,92	5,2
	10 %	Cabeza	< 0.01	< 0.01
		60 % v/v	9,72	4,92
		40 % v/v	8,44	10,36
	20 %	Cabeza	< 0.01	< 0.01
		60 % v/v	9,6	0,8
		40 % v/v	11,6	0,07
	30 %	Cabeza	< 0.01	< 0.01
		60 % v/v	7,32	< 0.01
		40 % v/v	3,46	< 0.01
Hierro (mg/l)	0 %	Cabeza	0,12	0,12
		60 % v/v	0,12	0,13
		40 % v/v	0,11	0,12
	10 %	Cabeza	0,12	0,11
		60 % v/v	0,11	0,12
		40 % v/v	0,12	0,15
	20 %	Cabeza	0,11	0,12
		60 % v/v	0,14	0,13
		40 % v/v	0,14	0,12
	30 %	Cabeza	0,14	0,11
		60 % v/v	0,12	0,13
		40 % v/v	0,11	0,12
Zinc (mg/l)	0 %	Cabeza	0,04	0,04
		60 % v/v	0,09	0,27
		40 % v/v	0,53	0,1
	10 %	Cabeza	0,04	0,01
		60 % v/v	0,14	0,38
		40 % v/v	0,31	1,81
	20 %	Cabeza	0,19	0,02
		60 % v/v	0,21	0,64
		40 % v/v	0,32	0,43
	30 %	Cabeza	0,04	0,09
		60 % v/v	0,23	0,44
		40 % v/v	0,03	0,11

Tabla 3 – Concentración de metanol en los diferentes destilados.

Análisis químico	% jerbo	% vol.	Alambique	Clevenger
METANOL (mg/l)	0 %	Cabeza	123	126
		70-50 % vol.	93	96
		50-30 % vol.	79	88
	10 %	Cabeza	288	420
		70-50 % vol.	266	385
		50-30 % vol.	241	355
	20 %	Cabeza	648	623
		70-50 % vol.	576	580
		50-30 % vol.	513	481
	30 %	Cabeza	849	834
		70-50 % vol.	753	761
		50-30 % vol.	650	673

Tabal 5 - Análisis estadístico (ANOVA) de los datos de la cata escalar.

DESTILADOS	FASE OLFATIVA: Aromas positivos										FASE OLFATIVA: Defectos					FASE GUSTATIVA				
	Int. Olf.	Frut roj.	Frut. neg.	Frut. de hue.	Veg.	Flor.	Chuch.	Plát.	Alm.	Comp.	Disolv. fuerte	Ques.	Sud.	Goma quem.	Defec.	Dulz.	Calid. del alcohol.	Amar.	Text.	Equil.
JC - 0%	A	B	BC	AB	A	A	A	A	A	ABC	A	A	AB	AB	B	A	AB	A	A	AB
JC - 10%	A	A	AB	A	A	A	A	A	AB	BC	A	A	BC	AB	B	A	AB	A	A	AB
JC - 20%	A	A	ABC	A	A	A	A	A	AB	ABC	A	A	BC	AB	B	A	AB	A	A	AB
JC - 30%	A	A	A	A	A	A	A	A	AB	AB	A	A	C	B	B	A	A	A	A	A
JA - 0%	A	B	C	B	A	B	B	A	AB	C	A	A	A	A	A	A	B	A	A	B
JA - 10%	A	A	A	A	A	AB	A	A	AB	AB	A	A	ABC	B	B	A	AB	A	A	A
JA - 20%	A	A	ABC	A	A	AB	A	A	B	ABC	A	A	ABC	AB	AB	A	AB	A	A	AB
JA - 30%	A	A	ABC	A	A	AB	A	A	AB	A	A	A	ABC	AB	AB	A	AB	A	A	AB

Int. Olf.: Intensidad olfativa. Frut roj.: Frutos rojos. Frut. neg.: Frutos negros. Frut. de hue.: Fruta de hueso. Veg.: Vegetal. Flor.: Floral. Chuch.: Chuchería.
 Plát.: Plátano. Alm.: Almendra. Comp.: Complejidad. Disolv. Fuerte: Disolvente fuerte. Ques.: Queso. Sud.: Sudor. Goma quem.: Goma quemada.
 Defec.: Defectos. Dulz.: Dulzor. Calid. del alcohol.: Calidad del alcohol. Amar.: Amargor. Text.: Textura. Equil.: Equilibrio.

Tabla 6/7 - Análisis estadístico (MANOVA) de los datos de la cata escalar.

DESCRIPTORES	Destilación	
	Clevenger	Alambique
Intensidad olfativa	A	A
Frutos rojos	A	A
Frutos negros	A	A
Fruta de hueso	A	A
Vegetal	A	A
Floral	A	B
Chuchería	A	A
Plátano	A	A
Almendra	A	A
Complejidad	A	A
Disolvente fuerte	A	A
Queso	A	A
Sudor	A	A
Goma quemada	A	A
Defectos	B	A
Dulzor	A	A
Calidad del alcohol	A	A
Amargor	A	A
Textura	A	A
Equilibrio	A	A

DESCRIPTORES	% jерbo			
	0 %	10 %	20 %	30 %
Intensidad olfativa	A	A	A	A
Frutos rojos	B	A	A	A
Frutos negros	B	A	A	A
Fruta de hueso	A	A	A	A
Vegetal	A	A	A	A
Floral	A	A	A	A
Chuchería	B	A	AB	A
Plátano	A	A	A	A
Almendra	A	A	A	A
Complejidad	B	AB	B	A
Disolvente fuerte	A	A	A	A
Queso	A	A	A	A
Sudor	A	A	A	A
Goma quemada	A	A	A	A
Defectos	A	A	A	A
Dulzor	A	A	A	A
Calidad del alcohol	A	A	A	A
Amargor	A	A	A	A
Textura	A	A	A	A
Equilibrio	A	A	A	A