



Universidad de Valladolid

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS AGRARIAS

GRADO EN ENOLOGÍA

**ANÁLISIS DEL PERFIL
AROMÁTICO EN VINOS TINTOS**

SEPTIEMBRE, 2024

ALUMNO: JAVIER MACÍAS GONZÁLEZ

TUTORAS: ENCARNACIÓN FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ

VIOLETA RUIPÉREZ PRÁDANOS

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	3
1- INTRODUCCIÓN	4
2- OBJETIVOS	7
3- MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	8
3.1- Muestras	8
3.2- Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.....	8
3.3- Análisis sensorial	9
3.4- Análisis estadístico.....	10
4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
4.1- Compuestos orgánicos volátiles (VOCs)	11
4.2- Análisis sensorial descriptivo cuantitativo	20
5- CONCLUSIONES	24
6- BIBLIOGRAFÍA	25

RESUMEN

Con el paso de los años y el conocimiento respecto al mundo del vino se ha ido avanzando hacia la elaboración de vinos de calidad. Las labores realizadas en el viñedo, la elección de la uva y todo el proceso de vinificación son factores primordiales a la hora de elaborar vinos con determinados aromas. La fermentación maloláctica (FML) se realiza en la mayoría de los vinos tintos, en algunos vinos blancos y, en general, en los vinos con elevada acidez. En los vinos en los que ha tenido lugar la FML se modifica su perfil sensorial y se caracterizan por un aroma a mantequilla, a nuez, más afrutados y con menos aromas vegetales y herbáceos. Por ello, el objetivo del presente trabajo es estudiar mediante análisis sensorial y análisis instrumental los diferentes aromas encontrados en vinos tintos de la añada 2022. Para ello, se ha realizado un análisis de los compuestos aromáticos mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, y con un panel de catadores seleccionado y entrenado se ha llevado a cabo un análisis sensorial descriptivo cuantitativo. En estos vinos se ha detectado una baja cantidad de diacetilo y una alta cantidad de ésteres etílicos, lo que indica que no todos los aromas lácticos o de mantequilla provienen del diacetilo. Esto se puede contrastar con el análisis sensorial, donde el panel de catadores ha detectado diferencias estadísticamente significativas en varios atributos, entre ellos los aromas a mantequilla y láctico. Cabe destacar la importancia de realizar ambos análisis dado que los resultados pueden ser complementarios.

Palabras clave: Vino, aromas, comparación, diacetilo, fermentación maloláctica, análisis sensorial

ABSTRACT

With the passing of the years and knowledge of the world of wine, progress has been made in the production of quality wines. The work carried out in the vineyard, the choice of grapes and the entire winemaking process are essential factors the production of wines with specific aromas. Malolactic fermentation (MLF) is carried out in most red wines, in some white wines and, in general, in wines with high acidity. Wines that have undergone MLF change, their sensory profile and they are characterized by a buttery, nutty aroma, fruitier and with less vegetal and herbaceous aromas. Therefore, the aim of this work is to study, through sensory analysis and instrumental analysis, the different aromas present in the red wines from the 2022 vintage. For this purpose, an analysis of the aromatic compounds will be carried out using gas chromatography coupled to mass spectrometry, and a quantitative descriptive sensory analysis will be carried out with a panel of trained tasters. A low amount of diacetyl and a high amount of ethyl esters have been detected in these wines, indicating that not all lactic or buttery aromas come from diacetyl. This can be contrasted with the sensory analysis, where the panel of tasters has detected statistically significant differences in several attributes, including butter and lactic aromas. It is worth highlighting the importance of carrying out both analyzes given that the results can be complementary.

Key words: Wine, aromas, comparison, diacetyl, malolactic fermentation, sensory analysis.

1- INTRODUCCIÓN

La Organización Internacional de la Viña y el Vino (O.I.V.) define el vino como, exclusivamente, la bebida resultante de la fermentación alcohólica, completa o parcial, de uvas frescas, estrujadas o no, o de mosto de uva cuyo contenido en alcohol adquirido no puede ser inferior a 8,5 % vol. (O.I.V., 2024).

En la actualidad, el vino es una de las bebidas más populares en las festividades junto con los destilados o las cervezas. Hoy en día, el vino es consumido a diario por un amplio público, registrando en España un aumento del 0,6 % del consumo de vino recogido en el interanual a noviembre de 2023 (Tecnovino, 2024).

La actual inflación también afecta al sector del vino, y una subida del precio del producto ha disparado el valor de las exportaciones a los niveles más altos nunca registrados. Tal es el efecto de la inflación y de las diferentes guerras y discrepancias registradas entre países, que el transporte se ha visto altamente afectado y ralentizado, provocando así una caída en la cantidad de producto exportado, pero haciéndolo a un precio medio mayor (en torno al 15 % comparado con el año 2021). De este modo se explica que, aun exportando una menor cantidad de producto, se hable de un valor de 37 600 millones de euros en exportaciones, registrándose así el valor más alto hasta la actualidad (O.I.V., 2023).

Con el paso de los años, el producto se ha ido mejorando y limando, con el fin de llegar a diferenciarse entre las diferentes bodegas. Una de las cualidades que se busca a la hora de elaborar vinos, es que estos sean capaces de estimular nuestra percepción sensorial a través de olores y aromas agradables que se pueden encontrar en ellos. Hay que tener en cuenta que, cabe la posibilidad de que estos olores y aromas sean desagradables, considerándolos como defectos o imperfecciones del vino. La apariencia, el sabor, la sensación en boca y el aroma son características sensoriales claves de la percepción del consumidor para juzgar la calidad del vino. La amplia gama de características aromáticas típicas de vinos tanto afrutados como terrosos, florales, herbáceos, minerales y amaderados están determinados por la composición, el contenido y los umbrales de percepción de una gran variedad de compuestos volátiles con puntos de ebullición bajos, que se detectan por los receptores olfativos situados en la cavidad nasal (Liu et al., 2023).

Estos aromas provienen directamente de la uva (aromas primarios) o del proceso de fermentación (aromas secundarios), aunque también se pueden encontrar aromas terciarios los cuales se dan en procesos de envejecimiento. Los aromas primarios por lo general son aromas afrutados, vegetales o florales (Carlin et al., 2022). Los aromas secundarios aparecen en los procesos de fermentación y dependen en gran medida de las levaduras empleadas a la hora de llevar a cabo la fermentación alcohólica. Aunque cabe destacar que la mayor parte de la fermentación alcohólica la llevan a cabo levaduras del género *Saccharomyces*, se ha comprobado que aromáticamente tienen un papel fundamental las cepas no-*Saccharomyces* que se pueden encontrar al principio de la fermentación y algunas cepas muy aisladas son capaces de mantenerse activas ante grandes concentraciones de etanol (López-Enríquez et al., 2023). Durante el proceso de elaboración del vino, estas levaduras no-*Saccharomyces* compiten con las levaduras *Saccharomyces* por nutrientes y producen sustancias y metabolitos secundarios complejos, que a su vez pueden afectar la calidad del aroma del vino (Liu et al., 2023). Los estudios sobre levaduras no-*Saccharomyces* en vino han demostrado que estas levaduras pueden contribuir beneficiosamente a la calidad del vino,

especialmente debido a la liberación de enzimas que inciden positivamente en la composición analítica y en el perfil sensorial del vino (Liu et al., 2023).

Otro de los procesos capaces de modular las características de los vinos y realizar cambios sensoriales es la fermentación maloláctica (FML) realizada en vinos tintos y en general en vinos con una elevada acidez. Este proceso consta de una transformación bioquímica del ácido málico al ácido láctico. De esta forma se reducen los niveles del ácido málico presente en la fruta que proporcionan una elevada acidez y se transforma en ácido láctico, aumentando los niveles de pH del vino y disminuyendo la acidez de este. En la FML dirigida se emplean bacterias de la especie *Oenococcus oeni*, anteriormente denominadas *Leuconostoc oeni*, dada su capacidad de adaptación al medio con bajo pH y alto contenido en alcohol (Bartowsky & Henschke, 2004). Estas bacterias tienen que ser resistentes a altos niveles de alcohol, dado que la FML se puede realizar seguida a la fermentación alcohólica (de forma inoculada o espontánea) o a la vez que esta (Bartowsky et al., 2002).

Una de las características aromáticas producida por esta FML es la presencia de aromas a caramelo o mantequilla producidos por el diacetilo (2,3-butanodiona) entre otros compuestos. La presencia de diacetilo viene dada por muchos factores, como pueden ser la naturaleza de las cepas bacterianas que llevan a cabo la FML, la tasa de inoculación de las bacterias, el pH o el tiempo de contacto entre el vino y sus lías (Bartowsky et al., 2002). El diacetilo se produce durante la FML a través del metabolismo del ácido cítrico presente en el vino en concentraciones entre 0,1 y 0,7 g/L (Figura 1). La concentración de diacetilo aumenta según se va catabolizando el ácido cítrico, pero posteriormente disminuye al degradarse el diacetilo en 2,3-butanodiol (Bartowsky et al., 2002). Este compuesto aporta a los vinos un aroma mantecoso u olor a crema cuando está presente en una concentración inferior a 4 mg/L, mientras que a una concentración superior a 5 mg/L puede considerarse como un defecto (Liu et al., 2023). Este compuesto es de especial importancia dado que a niveles bajos puede presentar aromas a nueces, frutos secos, pero en dosis más elevadas, como se ha indicado anteriormente, puede proporcionar un abundante aroma graso a mantequilla, lo que podría definirse como un defecto en el vino.

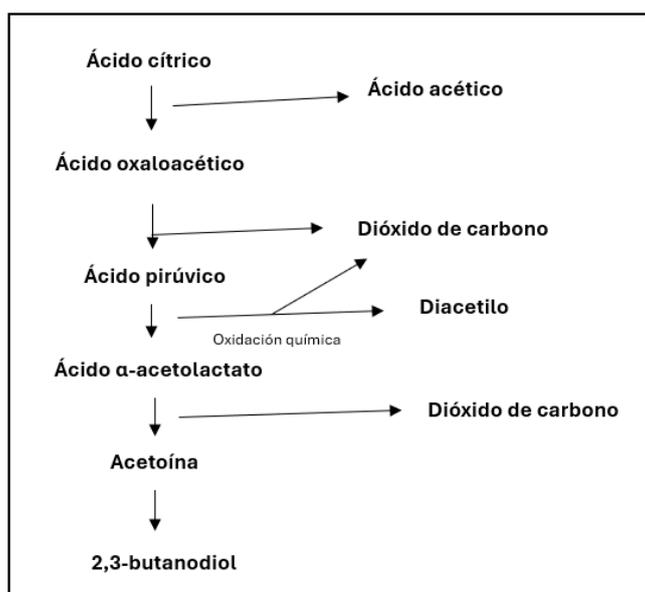


Figura 1: Proceso de degradación del ácido cítrico. Recuperado de (Cabello Pasini, 2012)

Cabe destacar que los niveles de percepción del diacetilo varían en relación con el tipo de vino. Ciertos estudios han demostrado que los niveles de percepción de diacetilo en vino producido con uvas Chardonnay es de aproximadamente 0,2 mg/L, mientras que es de 0,9 mg/L en Pinot Noir y 2,8 mg/L en Cabernet Sauvignon (Martineau et al., 1995). Esto quiere decir que se requiere menor cantidad de diacetilo para que sea detectado en vinos más ligeros como por ejemplo los elaborados a partir de uva Chardonnay, mientras que se requiere mayor concentración de esta molécula para que sea detectado en vinos que son más corpulentos o intensos como los de Cabernet Sauvignon.

2- OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo de fin de grado es realizar un análisis del perfil aromático en vinos tintos de la añada 2022, centrado principalmente en la detección de compuestos que conllevan un aumento en la percepción sensorial de aroma a mantequilla y/o lácteo en los vinos.

Para ello, se comparan los perfiles aromáticos de las diferentes muestras utilizando análisis sensorial con un panel de catadores seleccionado y entrenado previamente en la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia (ETSIIAA), y el análisis de los compuestos presentes en estos vinos mediante un método instrumental, la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.

3- MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1- Muestras

Para la realización del ensayo se ha contado con la colaboración de una bodega que ha suministrado 15 muestras de sus vinos (codificados del 1 al 15), los cuales se detallan a continuación, así como sus datos fisicoquímicos (Tabla 1). Estas muestras corresponden a vinos tintos de la añada 2022, donde tanto la fermentación alcohólica como la fermentación maloláctica se llevó a cabo de forma espontánea.

Tabla 1: Datos fisicoquímicos de los vinos empleados en el estudio

MUESTRA	% VOL	AV	pH	AT	IPT	AZ. RED.	ÁC. MÁLICO	ÁC. LÁCTICO
1	14,11±0,00	0,38±0,01	3,9±0,0	4,5±0,0	100±1	2,4±0,1	0,1±0,0	1,3±0,0
2	13,68±0,00	0,30±0,01	3,9±0,0	4,3±0,0	98±0	2,3±0,0	0,1±0,0	1,4±0,0
3	13,14±0,02	0,30±0,01	3,9±0,0	4,4±0,0	93±1	2,5±0,0	0,2±0,0	1,3±0,0
4	13,56±0,01	0,35±0,01	4,0±0,0	4,5±0,0	105±0	2,4±0,1	0,2±0,0	1,5±0,0
5	12,60±0,00	0,32±0,00	3,9±0,0	4,4±0,0	82±0	2,5±0,0	0,3±0,0	1,4±0,0
6	13,14±0,02	0,31±0,00	4,0±0,0	4,3±0,0	104±1	2,6±0,0	0,3±0,0	1,5±0,1
7	14,07±0,02	0,31±0,01	3,8±0,0	4,7±0,0	102±1	2,5±0,0	0,2±0,0	1,3±0,1
8	12,74±0,02	0,37±0,01	3,9±0,0	4,6±0,0	95±1	2,5±0,1	0,4±0,0	1,9±0,0
9	14,37±0,01	0,39±0,00	3,8±0,0	4,5±0,0	108±1	1,9±0,1	n.d	1,2±0,0
10	14,51±0,01	0,41±0,00	3,9±0,0	4,5±0,0	112±1	1,9±0,0	0,1±0,0	1,1±0,0
11	13,85±0,02	0,44±0,00	3,9±0,0	4,5±0,0	103±1	2,2±0,1	0,2±0,0	1,2±0,0
12	13,58±0,02	0,40±0,01	3,9±0,0	4,5±0,0	103±1	2,5±0,0	0,2±0,0	1,3±0,0
13	13,43±0,01	0,40±0,00	3,9±0,0	4,5±0,0	102±1	2,7±0,2	0,3±0,0	1,2±0,0
14	14,10±0,01	0,39±0,00	3,8±0,0	4,5±0,0	109±0	2,6±0,0	0,2±0,0	0,9±0,0
15	13,86±0,00	0,59±0,00	3,8±0,0	4,6±0,1	91±1	2,3±0,0	0,4±0,0	1,3±0,0

Leyenda: Datos proporcionados por la empresa

- % VOL: Grado alcohólico expresado en porcentaje en volumen
- AV: acidez volátil expresada en g/L de ácido tartárico
- pH: potencial de hidrógeno
- AT: acidez total expresada en g/L de ácido tartárico
- IPT: polifenoles totales expresado en IPT (índice de polifenoles totales)
- AZ. RED.: azúcares reductores expresados en g/L
- ÁC. MÁLICO: ácido málico expresado en g/L
- ÁC. LÁCTICO: ácido láctico expresado en g/L

3.2- Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas

La cromatografía de gases-masas (GC-MS) es una técnica que combina la separación que presenta la cromatografía de gases con la capacidad selectiva del detector de masas. Esta combinación permite analizar y cuantificar compuestos trazas en mezclas complejas con un alto grado de efectividad. Esta técnica está indicada para la separación de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles (Universidad de Valladolid, n.d.).

Para llevar a cabo esta técnica instrumental las muestras se enviaron al Laboratorio de Técnicas Instrumentales (LTI) de la Universidad de Valladolid. El análisis de los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) se realizó mediante cromatografía de gases de espacio de cabeza (*headspace-solid-phase gas chromatography*) acoplada a espectrometría de masas. Para ello se empleó un autoanalizador CombiPal RSI 120

(CTC Analytics AG, Zwingen, Switzerland) conectado con un cromatógrafo de gases 7890A (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) y un detector selectivo de masas 5977 (Agilent Technologies) (Blanco-Huerta et al., 2023).

La identificación de los compuestos se realizó por comparación de sus espectros de masas con estándares puros y/o con las bases de datos NIST08 v. 2.4 y Wiley7 libraries. La cuantificación se llevó a cabo usando el método basado en el patrón interno 2-octanol (Ayestarán et al., 2019) expresando los resultados como equivalentes de 2-octanol en mg/L \pm la desviación estándar. El análisis de los VOCs en cada una de las muestras de vino se realizó por duplicado.

3.3- Análisis sensorial

El panel de catadores empleado para la realización de los ensayos está formado por 13 catadores, seleccionados y entrenados según la norma UNE-EN ISO 8586:2014 (Asociación Española de Normalización, 2014) en la ETSIIAA, concretamente por 4 mujeres y 9 hombres, con una edad media de 25 años. Previamente se comprobó estadísticamente que los 13 catadores estaban capacitados para llevar a cabo un análisis sensorial descriptivo y cuantitativo evaluando su eficacia, es decir, su capacidad discriminativa y su reproducibilidad individual, así como la concordancia del grupo.

Para realizar el estudio se utilizó una ficha de cata formada por 13 descriptores cuya intensidad se evalúa en una escala lineal no estructurada de 10 cm, en donde el 0 indica la menor intensidad y el 10 mucha intensidad. Esta ficha se divide en tres grandes grupos: fase visual, fase olfativa y fase gustativa (Tabla 2).

Tabla 2: Descriptores y códigos empleados en la ficha de cata

	DESCRIPTORES	CÓDIGOS
Fase Visual	Tonalidad	D1
	Intensidad de la capa	D2
Fase Olfativa	Intensidad del olor	D3
	Afrutado	D4
	Mantequilla (Diacetilo)	D5
	Láctico	D6
Fase Gustativa	Alcohólico	D7
	Amargo	D8
	Ácido	D9
	Astringente	D10
	Volumen en boca	D11
	Intensidad	D12
	Persistente	D13

Los vinos tintos de la añada 2022 se presentaron por duplicado a cada catador, para ello se sirvieron aleatoriamente 30 muestras (15 x 2), siguiendo un diseño de bloques completo, previamente marcadas con un código numérico de tres cifras, en diferentes sesiones.

Las diferentes sesiones se llevaron a cabo en la sala de catas de la ETSIIAA de Palencia, la cual reúne todos los requisitos legales según la norma UNE-EN ISO 8589:2010 (Asociación Española de Normalización, 2010). Para realizar correctamente las catas, se emplearon copas normalizadas según la Norma UNE 87022:1992 (Asociación Española de Normalización, 1992) en las que se servían aproximadamente 25 mL de vino a una temperatura de $16\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.4- Análisis estadístico

Los datos obtenidos se trataron con diferentes programas estadísticos: IBM SPSS Statistics (Version 29) y Statgraphics Centurion XIX (Statpoint Technologies, Inc., Warrenton, USA). Se realizó un análisis estadístico univariante (análisis de la varianza-ANOVA) y multivariante (análisis de componentes principales-ACP) de los VOCs representativos de las muestras de vino, así como de sus características sensoriales. Para los VOCs se utilizó como prueba de comparación de medias la prueba de Tukey ($p < 0,05$), para ver si existían diferencias estadísticamente significativas entre las muestras. En las características sensoriales se empleó la prueba de Duncan de comparación de medias ($p < 0,05$).

4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1- Compuestos orgánicos volátiles (VOCs)

Se han identificado 92 VOCs en las diferentes muestras. Con los 92 VOCs se realizó un ANOVA, encontrando diferencias estadísticamente significativas entre las muestras en 40 de ellos (Tabla 3). Entre los compuestos detectados se encuentran acetatos, ésteres, ácidos, alcoholes, fenoles, lactonas y furanonas y nitrocompuestos. Cabe destacar la amplia variedad de ésteres etílicos con diferencias estadísticamente significativas, 14 de los 40 VOCs.

Tabla 3: VOCs con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) y códigos empleados

CÓDIGOS		CÓDIGOS	
ACETATOS		ÁCIDOS	
Acetato de etilo	AC1	Ácido acético	A1
Acetato de isobutilo	AC2	Ácido butanoico	A2
Acetato de isoamilo	AC3	Ácido decanoico	A3
Acetato de fenetilo	AC4	Ácido decenoico	A4
ÉSTERES ETÍLICOS		ALCOHOLES	
Lactato de etilo	EE1	Propanol	AL1
Butanoato de etilo	EE2	Isopentanol	AL2
Crotonoato de etilo	EE3	3-metil-1-pentanol	AL3
Hexanoato de etilo	EE4	Octanol	AL4
Butanodiato de dietilo	EE5	Decanol	AL5
Heptanoato de etilo	EE6	Alcohol bencílico	AL6
Octanoato de etilo	EE7	Alcohol feniletílico	AL7
Succinato butílico etílico	EE8	Metionol	AL8
Pelargonato de etilo	EE9	ALCOHOLES C6	
Decanoato de etilo	EE10	Hexanol	ALC6-1
9-decanoato de etilo	EE11	3-hexenol	ALC6-2
Undecanoato de etilo	EE12	FENOLES	
Succinato de isopentil etilo	EE13	Fenol	F1
Cinamato de etilo	EE14	LACTONAS Y FURANONAS	
OTROS ÉSTERES		Butirolactona	LF1
Octanoato de isoamilo	OE1	Trans-whisky lactona	LF2
Decanoato de isobutilo	OE2	Cis-whisky lactona	LF3
Lactato de amilo	OE3	NITROCOMPUESTOS	
		4-nitroftalamida	N1

- Acetatos:

Dentro de la familia de los acetatos se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de vino en la concentración de cuatro de ellos (AC1, AC2, AC3 y AC4).

De estos cuatro acetatos se pueden destacar dos de ellos, el AC1 (acetato de etilo) y el AC3 (acetato de isoamilo) por presentarse en una mayor cantidad en las diferentes muestras de vino. El AC1 varía entre concentraciones de 3,788 mg/L en la muestra 9 hasta valores de 6,303 mg/L en la muestra 4, siendo esta muestra de vino la que presenta una cantidad significativamente superior a las demás. Con respecto al AC3 es la muestra 2 la que presenta una concentración significativamente superior, 6,956 mg/L, mientras que la muestra 15 la que presenta un valor significativamente más bajo, 1,445 mg/L (Tabla 4).

Tabla 4: Concentración (mg/L) de acetatos en los vinos

MUESTRA	AC1	AC2	AC3	AC4
1	4,663±0,333abc	nd	5,439±0,304g	1,102±0,212e
2	5,332±0,189c	0,052±0,003c	6,956±0,605h	1,143±0,207e
3	4,849±0,809bc	0,017±0,024ab	4,130±0,239f	0,363±0,068abc
4	6,303±0,304d	0,019±0,027ab	3,394±0,325cde	0,248±0,002ab
5	4,105±0,410ab	0,051±0,005bc	4,054±0,651ef	0,453±0,007abc
6	4,102±0,030ab	nd	2,092±0,022ab	0,564±0,053cd
7	4,967±0,485bc	0,018±0,026ab	4,836±0,037g	0,752±0,160d
8	4,139±0,292ab	nd	1,912±0,246a	0,233±0,021a
9	3,788±0,285a	nd	1,902±0,278a	0,546±0,008cd
10	4,827±0,055bc	nd	2,707±0,161bc	0,729±0,060d
11	4,413±0,397abc	nd	1,708±0,131a	0,350±0,012abc
12	4,807±0,504bc	0,014±0,020a	3,575±0,338def	0,458±0,000bc
13	5,006±0,385bc	0,018±0,025ab	2,939±0,125cd	0,411±0,007abc
14	4,854±0,492bc	nd	3,307±0,200cd	0,545±0,024cd
15	4,798±0,238bc	nd	1,445±0,089a	0,406±0,012abc

*Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de vino ($p < 0,05$). Test de Tukey. nd: compuesto no detectado

En la producción de acetato de etilo en los procesos biológicos intervienen dos tipos de enzimas, el alcohol acetil transferasas y las lipasas, dependiendo de la ruta de síntesis llevada a cabo (Park et al., 2009). El acetato de etilo tiene un umbral de olor de 7 500 µg/L (Zhao et al., 2019) y es un compuesto que podría considerarse negativo en los vinos dado que aporta aromas químicos que recuerdan a pegamento o quitaesmalte (Szcurek & Maclejewska, 2005). Otros autores han estudiado en un vino modelo los umbrales de olor del acetato de etilo y su interacción con otros compuestos aromáticos como el diacetilo y han concluido que, incluso cuando los dos compuestos se encuentran en concentraciones significativamente inferiores a sus umbrales individuales en el vino, puede percibirse un olor como resultado de dicha sinergia, dependiendo de las proporciones de concentración (Selfridge & Amerine, 1978).

Sin embargo, el acetato de isoamilo se caracteriza por aportar a los vinos aromas frutales, concretamente a plátano (Rodríguez & Devora, 2017). Cabe destacar que hay estudios que han demostrado que varias cepas de levaduras no-*Saccharomyces* son capaces de aumentar la cantidad de dicho acetato, destacando las cepas del género *Pichia*, pudiendo llegar a producir valores cercanos a 3 g/L (Rojas et al., 2001).

- **Ácidos:**

En la siguiente tabla (Tabla 5) se representan los ácidos en los que se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras estudiadas.

Tabla 5: Concentración (mg/L) de ácidos en los vinos

MUESTRA	A1	A2	A3	A4
1	4,975±1,319c	0,089±0,004abcd	2,459±0,094bcde	0,042±0,020a
2	2,756±0,367ab	0,085±0,010abc	2,397±0,267bcd	0,134±0,023c
3	2,276±0,308ab	0,082±0,009abc	2,177±0,325abcd	0,180±0,032d
4	3,21±0,120b	0,188±0,003cd	2,317±0,143abcd	0,085±0,008ab
5	1,827±0,246a	0,066±0,012abc	2,658±0,070de	0,065±0,006ab
6	2,302±0,157ab	0,116±0,031bcd	2,526±0,689cde	0,100±0,014bc
7	2,672±0,850ab	0,115±0,039bcd	3,024±0,219ef	0,096±0,022bc
8	2,447±0,252ab	0,140±0,012d	3,557±0,195f	0,242±0,037e
9	2,347±0,104ab	0,105±0,015bcd	2,104±0,139abcd	0,096±0,005bc
10	2,472±0,174ab	0,085±0,000abc	1,841±0,153ab	0,094±0,019bc
11	2,364±0,318ab	0,111±0,018bcd	1,721±0,305a	0,059±0,012ab
12	2,393±0,189ab	0,077±0,004abc	1,909±0,091abc	0,076±0,019ab
13	2,537±0,115ab	0,062±0,002ab	2,356±0,238abcd	0,106±0,028bc
14	2,961±0,488ab	,068±0,013abc	2,020±0,238abcd	0,064±0,000ab
15	2,968±0,007ab	0,043±0,060a	2,025±0,058abcd	0,044±0,000a

*Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de vino ($p < 0,05$). Test de Tukey.

Se observa que el A1 (ácido acético) y el A3 (ácido decanoico) son los que presentan mayores concentraciones.

Respecto al ácido acético (A1), el umbral por el que se puede considerar sensorialmente incorrecto un vino varía entre 0,4 g/L y 1,5 g/L dependiendo del tipo de vino y el consumidor (Parra et al., 2023). Es complicado evitar la presencia de bacterias acéticas en los vinos, ya que todos ellos contienen una cantidad residual de dichas bacterias (Bartowsky & Henschke, 2008), aunque este peligro se acentúa cuando los vinos se encuentran mal conservados o en contacto con el oxígeno, incrementándose de manera muy desfavorable los niveles de bacterias acéticas (Joyeux et al., 1984). En este caso concreto observamos que la muestra 1 es la que presenta una concentración significativamente superior de A1 (4,975 mg/L) (Tabla 5).

El ácido decanoico (A3) o ácido cáprico es uno de los marcadores aromáticos que indican que la fermentación no se ha llevado a cabo correctamente pudiendo haber sufrido paradas fermentativas, puesto que altas concentraciones de este compuesto indican que pudo haber defectos tecnológicos durante la elaboración del vino. En vinos de calidad, se considera que este límite se encuentra en 5 mg/L (Csutoras et al., 2022). En las muestras analizadas, observamos que todas ellas tienen valores inferiores a 5 mg/L (Tabla 5), lo que nos indica que en estas muestras no lo consideraríamos como un marcador aromático defectuoso. Únicamente las muestras 7 y 8 cuentan con un nivel más elevado de dicho ácido con valores de 3,024 y 3,555 mg/L respectivamente, pero encontrándose aun así por debajo de los niveles para considerarse como aroma defectuoso.

- **Alcoholes:**

Respecto a los VOCs identificados como alcoholes (Tablas 6 y 7) destacan la presencia de dos: el isopentanol (AL2) y el alcohol fenilietílico (AL7).

Tabla 6: Concentración (mg/L) de los alcoholes en los vinos

MUESTRA	AL1	AL2	AL3	AL4	AL5
1	nd	29,401±3,124d	0,070±0,002d	0,441±0,036d	0,151±0,002bcd
2	0,052±12,754abcd	19,156±0,297bc	0,0470±0,001ab	0,422±0,019d	0,187±0,039cde
3	0,128±0,032efg	20,263±2,136ab	0,045±0,000ab	0,527±0,007e	0,264±0,032ef
4	0,159±0,023efg	22,863±0,270abc	0,048±0,001ab	0,544±0,048e	0,258±0,071ef
5	0,110±0,002defg	19,183±1,093a	0,049±0,007ab	0,535±0,056e	0,254±0,058ef
6	0,094±0,032cdef	23,859±1,018bc	0,051±0,003bc	0,259±0,028a	0,093±0,026ab
7	0,020±0,028ab	23,394±2,952c	0,060±0,002cd	0,532±0,050e	0,224±0,004de
8	0,094±0,004cdef	20,276±0,173ab	0,049±0,004ab	0,563±0,045e	0,323±0,070f
9	0,101±0,018cdef	23,284±0,796bc	0,049±0,000abc	0,258±0,016a	0,052±0,074a
10	0,107±0,017cdefg	24,179±0,429c	0,051±0,000abc	0,250±0,008a	0,061±0,010ab
11	0,165±0,015fg	22,054±1,417abc	0,044±0,008ab	0,276±0,002ab	0,092±0,004ab
12	0,089±0,019bcde	23,403±1,526bc	0,051±0,012bc	0,395±0,006cd	0,079±0,006ab
13	0,176±0,012g	20,235±0,195ab	0,039±0,003a	0,280±0,014ab	0,104±0,007abc
14	0,037±0,053abc	23,801±1,489bc	0,048±0,002ab	0,333±0,002bc	0,057±0,003a
15	0,098±0,007cdef	23,438±1,009bc	0,043±0,002ab	0,386±0,027cd	0,076±0,004ab

*Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de vino ($p < 0,05$).
Test de Tukey. nd: compuesto no detectado

Tabla 7: Concentración (mg/L) de los alcoholes en los vinos (continuación)

MUESTRA	AL6	AL7	AL8	ALC6-1	ALC6-2
1	0,205±0,070d	28,758±8,090d	0,099±0,016bc	1,209±0,153abc	0,183±0,001fg
2	0,145±0,011c	22,373±4,192abcd	0,087±0,007abc	1,168±0,048abc	0,157±0,019cdef
3	0,142±0,022c	14,123±3,664a	0,064±0,009ab	1,065±0,142ab	0,120±0,015b
4	0,220±0,029d	16,574±3,748abc	0,104±0,021c	1,261±0,093bc	0,128±0,004bc
5	0,334±0,007e	14,739±0,164ab	0,063±0,004ab	1,006±0,009ab	0,134±0,012bcd
6	0,065±0,003a	20,701±0,802abc	0,059±0,016a	1,558±0,045bcd	0,228±0,014hi
7	0,140±0,016bc	23,380±5,422cd	0,072±0,001abc	1,189±0,019abc	0,160±0,000def
8	0,220±0,059d	14,046±0,770a	0,086±0,038abc	1,132±0,088abc	0,082±0,019a
9	0,059±0,016a	20,034±1,197abc	0,061±0,019a	1,583±0,043bcd	0,216±0,012hi
10	0,068±0,010a	19,883±0,548abc	0,051±0,002a	1,541±0,014bcd	0,207±0,000gh
11	0,077±0,007ab	15,224±2,086abc	0,054±0,011a	1,726±0,053cd	0,173±0,007ef
12	0,075±0,001a	18,261±0,845abc	0,085±0,014abc	1,471±0,092bc	0,145±0,024bcde
13	0,095±0,000ab	15,659±0,820abc	0,063±0,004ab	1,277±0,017bc	0,128±0,004bc
14	0,085±0,016ab	22,976±4,934bcd	0,078±0,014abc	0,630±0,891a	0,114±0,004b
15	0,080±0,009ab	19,876±0,572abc	0,050±0,005a	2,110±0,160d	0,245±0,019i

*Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de vino ($p < 0,05$).
Test de Tukey.

El isopentanol (AL2) se caracteriza por ser un alcohol de cadena corta. Un contenido alto de alcoholes de cadena corta en los vinos puede impactar de forma negativa en su

aroma (Ebeler & Thorngate, 2009). Se considera que dicho compuesto se puede considerar negativo a partir de los 300 mg/L (Bakker & Clarke, 2012). Estos alcoholes de cadena corta son formados por las levaduras durante la fermentación alcohólica a través del catabolismo de aminoácidos (Mauricio et al., 1997). Tanto el isopentanol (AL2) como los compuestos C6 (hexanol y 3-hexenol), pueden originarse tanto en las uvas como provenir de las levaduras empleadas en la fermentación alcohólica (Ilc et al., 2016). Estos compuestos se caracterizan por aportar aromas “verdes” los cuales recuerdan a hierba recién cortada. Es la muestra 1 la que presenta una concentración de 29,401 mg/L significativamente superior a las demás muestras de vino analizadas de isopentanol (AL2) (Tabla 6).

El alcohol feniletílico (AL7) es un derivado de los aminoácidos aromáticos presentes en la uva. Aunque tras la fermentación alcohólica el etanol es el mayor alcohol producido, se forman otros alcoholes aromáticos como el caso del alcohol feniletílico, los cuales son formados bajo condiciones limitantes de nitrógeno. Este alcohol aromático se caracteriza por tener un aroma que recuerda a rosas, por lo que además de aparecer en los vinos y otorgarles un aroma floral, es muy comúnmente usado en cosmética (Hazelwood et al., 2008). Su rango de detección como aroma no deseado es a partir de los 10 mg/L por cada 10 % de etanol (Bakker & Clarke, 2012). De las muestras analizadas en este trabajo es también la muestra 1 la que presenta una concentración significativamente superior en este compuesto aromático (28,758 mg/L) (Tabla 7).

Se denominan alcoholes C6, a aquellos alcoholes que contienen 6 átomos de carbono (Oliveira et al., 2006). En el presente estudio el alcohol C6 que más relevancia tiene es el hexanol (ALC6-1), el cual se observa en la Tabla 7 que se encuentra en las muestras de vino en una cantidad próxima a 1,5 mg/L. El hexanol, se caracteriza por aportar a los vinos aromas y sabores verdes grasos (Bakker & Clarke, 2012). La muestra 15 es la que presenta una concentración de 2,11 mg/L que es significativamente superior a las demás muestras (Tabla 7). La muestra 14 es la única muestra que presentó valores inferiores a 1 mg/L de dicho alcohol con una concentración significativamente inferior a las otras muestras de vino (0,630 mg/L).

- Ésteres:

Como se ha comentado al inicio de este apartado, en el estudio de los diferentes VOCs identificados en las muestras, destaca el alto número de ésteres etílicos (Tablas 8, 9 y 10). Los ésteres son uno de los componentes principales en el perfil aromático de los vinos, dado que una variabilidad alta en las fracciones de los ésteres puede tener un efecto significativo sobre el perfil afrutado de los vinos (Belitz et al., 2009). Estos ésteres son formados durante la fermentación del vino y aportan aromas a fruta roja o moras a los vinos tintos (Escudero et al., 2007).

Tabla 8: Concentración (mg/L) de los ésteres etílicos en los vinos

MUESTRA	EE1	EE2	EE3	EE4	EE5
1	1,445±0,298fg	0,463±0,030ab	nd	13,297±0,822de	23,790±6,390e
2	1,213±0,069defg	0,522±0,000bcd	nd	14,092±1,908e	18,284±3,144bcde
3	1,353±0,135efgh	0,498±0,077abc	nd	12,108±0,327bcde	18,327±3,907bcde
4	1,511±0,016g	0,572±0,038cd	nd	13,022±1,298cde	20,249±2,307cde
5	1,190±0,075def	0,440±0,053ab	nd	11,108±1,789abcd	11,846±5,849ab
6	0,887±0,045abc	0,450±0,076ab	0,012±0,017ab	11,655±0,493abcde	9,903±0,500a
7	1,421±0,165fgh	0,519±0,024bcd	nd	13,966±0,612e	23,156±5,125de
8	1,139±0,011cde	0,605±0,005d	0,032±0,000c	14,089±1,439e	16,404±0,321abcd
9	0,919±0,038abc	0,440±0,028ab	nd	10,845±1,472abcd	10,922±0,540ab
10	0,877±0,040ab	0,473±0,007abc	nd	11,237±0,965abcd	11,632±1,021ab
11	0,935±0,101abc	0,492±0,047abc	0,026±0,001bc	10,503±1,088abc	11,270±0,527ab
12	1,030±0,050bcd	0,433±0,068ab	0,024±0,003bc	10,896±1,243abcd	13,935±0,306abc
13	0,909±0,035abc	0,402±0,012a	nd	9,375±0,260a	11,266±0,445ab
14	0,84±0,022ab	0,413±0,009a	0,013±0,018ab	9,518±0,224ab	17,521±2,144bcde
15	0,729±0,004a	0,399±0,036a	0,030±0,006c	9,553±0,512ab	13,268±0,774abc

*Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de vino ($p < 0,05$).
Test de Tukey. nd: compuesto no detectado

Tabla 9: Concentración (mg/L) de los ésteres etílicos en los vinos (continuación)

MUESTRA	EE6	EE7	EE8	EE9
1	0,062±0,005abc	68,115±7,863bcd	0,159±0,022d	0,497±0,090a
2	nd	77,537±14,457d	0,081±0,020abc	0,834±0,292ab
3	nd	63,548±2,501abcd	0,068±0,020a	0,900±0,266ab
4	nd	72,557±17,237cd	0,078±0,010ab	1,568±0,403bc
5	0,029±0,041ab	53,902±12,674abcd	0,082±0,012abc	0,920±0,309ab
6	nd	57,324±9,646abcd	0,062±0,000a	0,266±0,086a
7	0,019±0,026ab	68,323±8,370bcd	0,111±0,019c	0,771±0,681ab
8	nd	70,891±18,967cd	0,066±0,007a	2,058±1,258c
9	0,51±0,072abc	51,838±10,813abc	0,073±0,012a	0,274±0,031a
10	0,087±0,029bc	53,740±9,277abcd	0,075±0,010ab	0,286±0,023a
11	0,050±0,070abc	41,886±8,623a	0,075±0,002ab	0,348±0,037a
12	nd	47,652±8,086abc	0,084±0,001abc	0,368±0,033a
13	0,024±0,033ab	43,087±2,497ab	0,063±0,000a	0,385±0,055a
14	nd	45,433±5,180ab	0,104±0,000bc	0,578±0,002a
15	0,104±0,001c	38,822±0,028a	0,092±0,009abc	0,270±0,213a

*Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de vino ($p < 0,05$).
Test de Tukey. nd: compuesto no detectado

Tabla 10: Concentración (mg/L) de los ésteres etílicos en los vinos (continuación)

MUESTRA	EE10	EE11	EE12	EE13	EE14
1	32,476±1,729ab	2,859±0,509a	0,070±0,000abc	1,247±0,318b	nd
2	39,418±0,474ab	8,287±0,701cd	0,086±0,012bcd	0,715±0,223a	nd
3	34,457±2,328ab	10,459±0,282de	0,089±0,009bcd	0,659±0,208a	nd
4	55,181±22,397b	6,556±2,291bc	0,131±0,061d	0,708±0,079a	nd
5	34,580±6,899ab	3,509±0,792ab	0,089±0,007bcd	,625±0,050a	nd
6	24,890±6,665a	4,120±1,152ab	0,039±0,014ab	0,622±0,049a	nd
7	42,339±16,471ab	4,719±1,360ab	0,084±0,023bcd	1,086±0,253b	nd
8	55,567±21,037b	13,089±4,213e	0,095±0,031cd	0,717±0,043a	nd
9	22,019±5,876a	3,800±0,994ab	0,041±0,011abc	0,647±0,012a	nd
10	24,521±3,542a	4,978±0,763ab	0,043±0,017abc	0,717±0,085a	nd
11	20,323±3,604a	2,701±0,567a	0,046±0,010abc	0,552±0,022a	nd
12	26,978±5,457a	3,542±0,424ab	0,060±0,000abc	0,689±0,041a	0,013±0,018b
13	21,981±1,842a	3,428±0,023ab	0,075±0,005abc	0,520±0,004a	dn
14	29,410±5,687a	2,745±0,014a	0,088±0,014bcd	0,791±0,016a	0,028±0,000c
15	21,447±4,093a	1,542±0,229a	0,024±0,033a	0,771±0,040a	0,027±0,000c

*Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de vino ($p < 0,05$). Test de Tukey. nd: compuesto no detectado

De los ésteres, el que mayor concentración tiene es el octanoato de etilo (EE7) con valores entre 38 mg/L y 77 mg/L (Tabla 9). El octanoato de etilo se caracteriza por aportar aromas afrutados, más concretamente aromas que recuerdan a la piel de la manzana o aporta aromas cerosos (Lorrain et al., 2013). Se observa que las muestras 1 a 8 son las que presentan mayor concentración en este éster (EE7) con valores aproximadamente entre 53 mg/L y 77 mg/L por lo que serán las muestras con aromas más frutales, siendo las muestras 2 y 4 en las que se observan concentraciones más elevadas en este compuesto (77,537 y 72,557 mg/L, respectivamente) (Tabla 9).

Otro de los ésteres que destaca es el decanoato de etilo (EE10), con valores de entre 20 mg/L y 55 mg/L (Tabla 10). Al igual que el anterior éster, este se encuentra muy ligado al perfil frutal de los vinos (Belitz et al., 2009). En este caso se observa que las muestras 4 y 8 tienen valores significativamente más altos (55,181 y 55,567 mg/L, respectivamente) que el resto de las muestras analizadas.

Finalmente, respecto a los ésteres etílicos se observa que tanto el hexanoato de etilo (EE4) y el butanodiato de dietilo (EE5) se encuentran valores inferiores a los ésteres anteriormente citados, pero con concentraciones superiores a los demás ésteres etílicos identificados, con cantidades entre 9 mg/L y 23 mg/L (Tabla 8). El éster EE4 (hexanoato de etilo), es uno de los mayores ésteres presentes en el vino que presenta aromas frutales (Bakker & Clarke, 2012).

Por último, con respecto a los ésteres con diferencias estadísticamente significativas, en la siguiente tabla (Tabla 11) aparecen recogidos otros ésteres con cantidades muy inferiores a los anteriores.

Tabla 11: Concentración (mg/L) de otros ésteres

MUESTRA	OE1	OE2	OE3
1	0,607±0,040ab	0,445±0,028ab	0,137±0,031f
2	0,750±0,038abc	0,426±0,115ab	0,089±0,057abcdef
3	0,610±0,103ab	0,391±0,095ab	0,117±0,002cdef
4	1,089±0,579bc	0,848±,579bc	0,132±0,003ef
5	0,638±0,118abc	0,549±0,060abc	0,122±0,009def
6	0,249±0,094a	0,255±0,066ab	0,068±0,005abcd
7	0,788±0,601abc	0,782±0,478abc	0,057±0,080ab
8	1,269±0,572c	1,036±0,483c	0,111±0,012bcdef
9	0,253±0,093a	0,231±0,052a	0,069±0,007abcd
10	0,258±0,045a	0,220±0,002a	0,061±0,007abc
11	0,223±0,045a	0,245±0,024	0,074±0,019abcde
12	0,446±0,127ab	0,504±0,121abc	0,074±0,017abcde
13	0,237±0,024a	0,268±0,096ab	0,0565±0,007ab
14	0,378±0,064a	0,498±0,143abc	0,044±0,003a
15	0,256±0,087a	0,446±0,114ab	0,0465±0,002a

*Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de vino ($p < 0,05$). Test de Tukey.

- **Fenoles, lactonas, furanonas y nitrocompuestos:**

En la Tabla 12 se presentan las concentraciones de los fenoles, lactonas y furanonas, así como los compuestos nitrogenados con diferencias significativas entre las muestras.

Tabla 12: Concentración (mg/L) de los fenoles, lactonas y furanonas y los nitrocompuestos en los vinos

MUESTRA	F1	LF1	LF2	LF3	N1
1	0,094±0,033b	0,356±0,047c	nd	nd	0,814±0,006e
2	0,058±0,007a	0,127±0,009ab	nd	nd	0,673±0,052cde
3	0,053±0,000a	0,071±0,000a	nd	nd	0,580±0,086abcd
4	0,058±0,001a	0,126±0,043ab	nd	nd	0,687±0,106de
5	0,039±0,007a	0,095±0,035a	nd	nd	0,410±0,000a
6	0,054±0,009a	0,179±0,007b	0,046±0,009b	0,037±0,052a	0,601±0,098bcd
7	0,057±0,016a	0,093±0,036a	nd	nd	0,562±0,007abcd
8	0,050±0,000a	0,104±0,018ab	nd	0,033±0,002a	0,499±0,147abc
9	0,048±0,002a	0,142±0,069ab	0,047±0,000b	0,032±0,045a	0,469±0,020ab
10	0,049±0,000a	0,138±0,011ab	0,113±0,018a	0,091±0,002ab	0,474±0,000ab
11	0,043±0,002a	0,108±0,050ab	0,075±0,006c	0,032±0,045ba	0,432±0,085ab
12	0,042±0,000a	0,138±0,020ab	nd	0,092±0,004b	0,455±0,097ab
13	0,046±0,007a	0,097±0,027a	0,108±0,010d	0,130±0,000bc	0,464±0,031ab
14	0,055±0,010a	0,118±0,020ab	0,098±0,009d	0,157±0,020c	0,513±0,132abcd
15	0,045±0,001a	0,116±0,001ab	0,226±0,014e	0,150±0,003c	0,430±0,036ab

*Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de vino ($p < 0,05$). Test de Tukey. nd: compuesto no detectado

Una alta concentración de fenoles volátiles puede proporcionar aromas no deseados a los vinos. Estos fenoles se pueden ver alterados dependiendo de la levadura empleada a la hora de realizar la fermentación alcohólica (du Plessis et al., 2021). En la Tabla 12 se puede observar como el fenol (F1) tiene valores próximos a 0 mg/L en todas las muestras siendo la muestra 1 la que presenta un valor significativamente más elevado (0,094 mg/L).

Respecto a las lactonas y furanonas son generadas a partir de hidroxiácidos alifáticos conteniendo el grupo hidroxilo en la posición 4 o 5 (Bakker & Clarke, 2012), destacando las whisky lactonas, tanto la cis (LF3) como la trans (LF2). Las whisky lactonas son dos de los compuestos volátiles más presentes en las maderas tostadas de las barricas, las cuales proporcionan aromas a coco, vainillas o tostados (Setzer, 2016). Cabe señalar que entre estas whisky lactonas se encuentran diferencias aromáticas entre ellas. El isómero trans aporta aromas especiados y de madera, mientras que el isómero cis proporciona aromas a coco, tanto coco dulce como coco verde (Bakker & Clarke, 2012).

En las muestras de vino analizadas, estas lactonas se encuentran en valores entre 0,01 mg/L y 0,2 mg/L, lo que nos indica que no son valores demasiado altos. Como estas lactonas aportan aromas a vainilla, pueden aportar aromas o recuerdos lácticos a los vinos.

Con el objetivo de sintetizar toda la información, o de reducir el número de variables a continuación, se muestran los diferentes VOCs junto con las diferentes muestras de vino, en un análisis de componentes principales (ACP). El componente principal 1 (CP1) y el componente principal 2 (CP2) explican el 40,19 % y el 21,71 % de la varianza total, respectivamente (Figura 2).

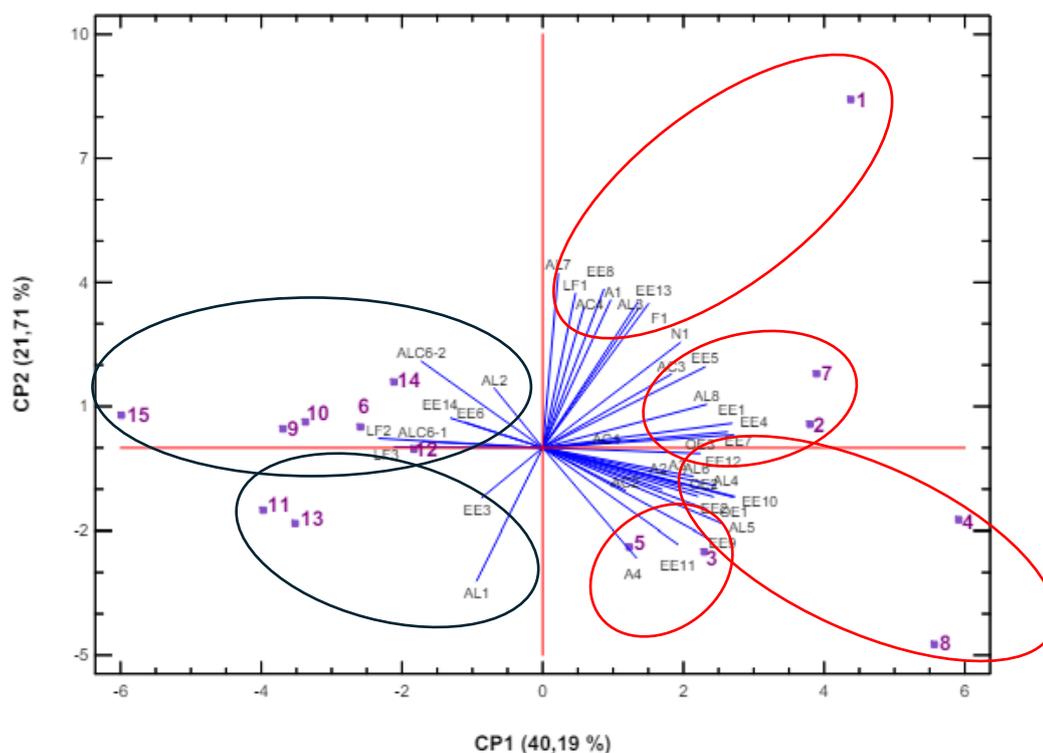


Figura 2: ACP de las 15 muestras de vino y de los VOCs

Como se puede observar en la Figura 2 las muestras aparecen representadas fundamentalmente en dos mitades, positiva y negativa respecto al eje x. En la parte positiva se diferencian cuatro grupos de muestras: el grupo uno que incluye la muestra 1, el grupo dos con las muestras 2 y 7, grupo tres con las muestras 4 y 8 y el grupo cuatro con las muestras 3 y 5.

Respecto al grupo uno, este incluye la muestra 1 la cual se caracteriza principalmente por dos ésteres etílicos: el succinato butílico etílico (EE8) y el succinato de isopentil etilo (EE13). Además, dicho grupo se encuentra influenciado por el ácido acético (A1) y el alcohol feniletílico (AL7). En el grupo dos podemos encontrar las muestras 2 y 7, caracterizadas principalmente por varios ésteres etílicos como son el hexanoato de etilo (EE4), el butanodiato de dietilo (EE5) y el octanoato de etilo (EE7), siendo estos ésteres algunos de los que se localizan en mayor concentración en las muestras de vino como se puede observar en las tablas 8 y 9. El grupo tres, compuesto por las muestras 4 y 8 son influenciadas principalmente por el decanoato de etilo (EE10), siendo este, otro de los ésteres con mayor concentración en los vinos analizados (Tabla 10). Finalmente, el grupo cuatro está compuesto por las muestras 3 y 5 y se caracterizan por el ácido decenoico (A4) y el 9-decanoato de etilo (EE11).

En el margen izquierdo del eje x o margen negativo localizamos principalmente dos grupos, un grupo en la parte superior, formado por las muestras 6, 9, 10, 12, 14 y 15, y un grupo en la parte inferior, formado por las muestras 11 y 13.

Las muestras situadas en la parte superior se encuentran mayormente influenciadas por las whisky lactonas, tanto cis como trans (LF2 y LF3). Y el grupo de muestras situadas en la parte inferior se caracterizan por un alcohol y un éster, como son el propanol (AL1) y el crotonoato de etilo (EE3), respectivamente.

4.2- Análisis sensorial descriptivo cuantitativo

En las Tablas 13 y 14 se presentan los valores medios y la desviación estándar de cada uno de los descriptores para cada una de las muestras de vino evaluadas por el panel de catadores entrenado, además de los resultados del ANOVA. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras en cinco descriptores de los trece evaluados, uno de la fase visual D2-Intensidad de la capa, y cuatro de la fase olfativa: D3-Intensidad del olor, D4-Afrutado, D5-Mantequilla (Diacetilo) y D6-Láctico.

Tabla 13: Valores medios y desviación estándar de las muestras en cada uno de los descriptores evaluados

MUESTRA	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	7,98±1,13	6,62±1,13 ^{abc}	4,70±1,45 ^{abc}	3,69±1,55 ^{ab}	3,22±1,93 ^{ab}	2,83±1,33 ^{ab}
2	7,93±1,09	6,46±2,33 ^{ab}	4,87±1,54 ^{abcd}	4,13±1,84 ^b	2,79±1,71 ^{ab}	2,37±1,37 ^a
3	8,02±0,95	6,82±12,02 ^{bcd}	4,48±1,26 ^a	3,71±1,81 ^{ab}	2,69±1,45 ^{ab}	2,58±1,53 ^{ab}
4	7,94±1,24	7,16±1,97 ^{bcd}	4,97±1,68 ^{abcd}	3,59±1,63 ^{ab}	2,78±1,61 ^{ab}	3,07±1,49 ^{ab}
5	7,80±1,14	6,11±1,97 ^a	4,62±1,67 ^a	4,00±1,92 ^b	3,00±1,38 ^{ab}	2,84±1,19 ^{ab}
6	8,01±1,10	7,17±1,72 ^{bcd}	5,53±0,99 ^d	4,27±1,54 ^b	4,40±2,28 ^c	3,43±1,59 ^b
7	8,00±1,08	7,02±1,99 ^{bcd}	4,55±1,58 ^a	4,16±1,86 ^b	2,62±1,26 ^a	3,02±1,62 ^{ab}
8	7,92±1,19	6,69±2,28 ^{abcd}	4,44±1,65 ^a	3,86±1,80 ^b	3,07±1,64 ^{ab}	3,09±1,53 ^{ab}
9	8,22±0,97	7,03±1,79 ^{bcd}	5,44±1,32 ^{cd}	3,67±1,18 ^{ab}	3,41±2,12 ^{ab}	3,36±1,59 ^b
10	7,94±0,99	6,98±1,87 ^{bcd}	5,38±1,06 ^{bcd}	4,10±1,42 ^b	4,64±2,14 ^c	3,18±1,33 ^{ab}
11	8,02±1,21	7,40±1,38 ^d	4,90±1,44 ^{abcd}	3,77±1,66 ^b	3,31±1,79 ^{ab}	3,35±1,48 ^b
12	7,66±1,68	7,43±1,70 ^d	4,89±1,63 ^{abcd}	3,70±1,60 ^{ab}	2,68±1,56 ^{ab}	3,13±1,38 ^{ab}
13	7,82±1,37	7,43±1,54 ^d	5,32±1,48 ^{bcd}	3,48±1,61 ^{ab}	3,21±1,70 ^{ab}	2,90±1,28 ^{ab}
14	7,97±1,33	7,30±1,63 ^{cd}	5,18±1,65 ^{abcd}	2,97±1,49 ^a	3,24±1,42 ^{ab}	2,49±1,41 ^a
15	7,12±1,53	7,02±1,48 ^{bcd}	4,86±1,43 ^{abcd}	4,02±1,48 ^b	3,74±1,85 ^{bc}	3,35±1,25 ^b

*Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de vino ($p < 0,05$). Test de Duncan

Tabla 14: Continuación de los valores medios y desviación estándar de las muestras en cada uno de los descriptores evaluados

MUESTRA	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13
1	4,30±1,69	3,73±1,56	3,42±1,86	3,96±2,12	3,37±1,44	4,52±1,70	4,45±1,87
2	4,45±1,56	3,83±1,16	3,43±1,61	4,15±1,84	3,64±1,52	4,19±1,55	4,22±1,73
3	3,70±1,52	3,58±1,49	3,09±1,64	3,18±1,74	3,53±1,41	3,96±1,54	4,24±1,88
4	4,38±1,44	3,83±1,21	3,32±1,37	3,69±1,96	3,85±1,59	4,49±1,46	4,57±1,84
5	4,03±1,57	3,26±1,13	3,40±1,57	3,10±1,59	3,07±1,23	3,71±1,49	3,94±1,71
6	4,70±1,35	3,62±1,30	3,24±1,20	4,10±1,54	3,86±1,33	4,09±1,49	4,34±1,59
7	4,50±1,22	3,84±1,20	3,50±1,35	4,13±1,58	3,82±1,05	4,56±1,29	4,61±1,64
8	3,98±1,76	3,56±1,35	3,39±1,28	3,28±1,40	3,52±1,53	3,87±1,58	3,77±1,58
9	4,24±1,58	3,88±1,54	3,12±1,51	4,24±1,99	3,65±1,55	4,43±2,00	4,34±2,09
10	4,20±1,63	3,45±1,47	3,39±1,69	3,63±1,72	3,58±1,52	4,47±1,65	3,99±1,75
11	4,18±1,62	4,19±1,51	3,19±1,56	3,94±1,91	3,76±1,54	4,10±1,68	4,07±2,02
12	5,34±5,69	4,01±1,42	2,82±1,23	3,99±1,99	4,66±5,52	4,07±1,24	3,97±1,58
13	3,98±1,67	3,69±1,81	3,52±1,51	3,77±2,02	3,60±1,62	4,07±1,59	4,35±1,73
14	4,11±1,75	4,32±1,23	2,97±1,30	4,07±2,09	3,62±1,37	4,54±1,52	4,52±1,84
15	4,41±1,53	3,97±1,34	3,56±1,50	3,19±1,63	3,65±1,49	4,01±1,40	3,98±1,23

*Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de vino ($p < 0,05$). Test de Duncan

Como en el apartado de los VOCs, para resumir la información obtenida, a continuación, en la Figura 3 se presenta un gráfico en donde se representan conjuntamente los descriptores en los que se han encontrado diferencias estadísticamente significativas junto con las diferentes muestras de vino, después de realizar un ACP. El componente

principal 1 (CP1) y el componente principal 2 (CP2) explican el 46,50 % y el 30,32 % de la varianza total, respectivamente (Figura 3). Se observa que todos los atributos significativos se encuentran situados en la parte positiva del eje x, así como algunas de las muestras de vino caracterizadas principalmente por estos atributos en los que se han encontrado diferencias estadísticamente significativas.

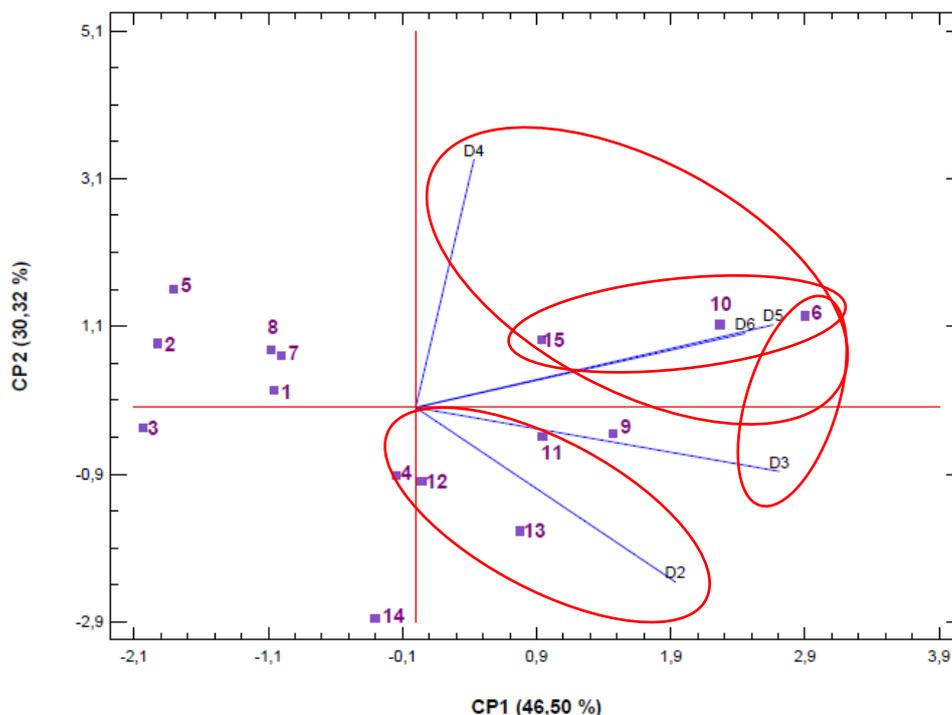


Figura 3: ACP de los descriptores significativos de las 15 muestras de vino

Con respecto al descriptor de la fase visual, se observa en la Tabla 13 que la muestra 5 es la que presenta un menor valor en la intensidad de capa (D2), y las muestras 11, 12 y 13 son las que presentan valores significativamente superiores para este atributo. Así se puede ver en la Figura 3 que las muestras 11, 12 y 13 se caracterizan por ese atributo.

En la intensidad del olor (D3) se puede ver en la Tabla 13 que las muestras 5, 7 y 8 son las que presentan menos intensidad con valores inferiores a 5, y la muestra de vino que presenta mayor intensidad de olor es la 6, como se puede ver también en la Figura 3.

Para el descriptor D4 (afrutado) la muestra 14, presenta valores inferiores a 3, y las muestras 2, 6, 7, 10 y 15 se caracterizan por valores superiores a 4 (Tabla 13). En la Figura 3 se observa que, principalmente, las muestras 6, 10 y 15 se asocian con el descriptor D4 (afrutado).

Para el descriptor D5 (mantequilla) se encuentran las muestras 6, 10 y 15 que presentan valores significativamente más elevados (Tabla 13).

Por último, para el descriptor D6 (láctico), también se han encontrado diferencias estadísticamente significativas siendo las muestras 6, 9, 11 y 15 las que presentan mayor intensidad en este atributo, por otra parte, las muestras 2 y 14 son las que menor intensidad de olor láctico presentan.

En la Figura 3, con respecto a estos dos atributos o descriptores, se puede observar que las muestras 6 y 10 se caracterizan fundamentalmente por los descriptores olfativos

D5 (mantequilla) y D6 (láctico), así como la muestra 15, que también presentaba una intensidad alta en estos dos atributos (Tabla 13). Muestras todas ellas (6, 10 y 15) que se encuentran muy influenciadas por las whisky lactonas como se observó en el análisis de los VOCs (Figura 2)

El diacetilo no ha sido señalado en los VOCs, ya que no se ha identificado en la totalidad de las muestras de vino analizadas. No obstante, sí se ha detectado su presencia en algunas de ellas (muestras 6, 10, 11 y 15), tal como se muestra en la Tabla 15. Estas muestras se corresponden con aquellas en las que, desde el punto de vista sensorial, presentan una mayor intensidad en el atributo D5 (mantequilla): muestras 6, 10 y 15; y en las que la intensidad del atributo D6 (láctico) también era más elevada: 6, 11 y 15.

Tabla 15: Muestras en las que se ha identificado el diacetilo expresado en mg/L

MUESTRA	DIACETILO
6	0,109±0,077
10	0,086±0,060
11	0,093±0,066
15	0,061±0,043

Hay que indicar que en la Tabla 15 se observa que el diacetilo aparece con concentraciones muy cercanas a 0 mg/L, siendo la muestra 6 la que presenta una concentración más elevada (0,109 mg/L), muestra de vino que desde el punto de vista sensorial presenta mayor intensidad de olor (D3) (Tabla 13 y Figura 3).

5- CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el siguiente trabajo se extraen las siguientes conclusiones:

- Los vinos analizados presentan diferencias estadísticamente significativas en 40 compuestos aromáticos, entre los que se encuentran acetatos, ésteres, ácidos, alcoholes, fenoles, lactonas y furanonas y nitrocompuestos. Cabe destacar la amplia variedad de ésteres etílicos con diferencias estadísticamente significativas, 14 de los 40 VOCs.
- Las muestras que se caracterizaron por la presencia de aromas lácticos son en las que se detecta menor cantidad de aromas afrutados.
- En el análisis sensorial de los vinos se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras en cinco descriptores de los trece evaluados, intensidad de la capa, intensidad del olor, afrutado, mantequilla (diacetilo) y láctico, todos ellos menos uno de la fase olfativa.
- La presencia de whisky lactonas puede influir en la identificación de aromas a mantequilla o lácticos desde el punto de vista del análisis sensorial. Las muestras 6, 10 y 15 son las que se caracterizan por los descriptores láctico y de mantequilla desde el punto de vista sensorial, siendo las muestras influenciadas por las whisky lactonas detectadas en el análisis de VOCs.
- La identificación de VOCs mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas y el análisis sensorial descriptivo cuantitativo, son dos técnicas complementarias para el estudio del perfil aromático de los vinos.

6- BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Española de Normalización, Pub. L. No. 87022, Análisis sensorial. Utensilios. Copa para la degustación de vinos (1992).
- Asociación Española de Normalización, Análisis sensorial. Guía general para el diseño de salas de cata (2010).
- Asociación Española de Normalización, Pub. L. No. 8586, Guía general para la selección, entrenamiento y control de catadores y catadores expertos (2014).
- Ayestarán, B., Martínez-Lapiente, L., Guadalupe, Z., Canals, C., Adell, E., & Vilanova, M. (2019). Effect of the winemaking process on the volatile composition and aromatic profile of Tempranillo Blanco wines. *Food Chemistry*, 276, 187–194. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.013>
- Bakker, J., & Clarke, R. J. (2012). *Wine Flavour Chemistry Second edition*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/>
- Bartowsky, E. J., Francis, I. L., Bellon, J. R., & Henschke, P. A. (2002). Is buttery aroma perception in wines predictable from the diacetyl concentration? *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8(3), 180–185. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2002.tb00254.x>
- Bartowsky, E. J., & Henschke, P. A. (2004). The “buttery” attribute of wine - Diacetyl - Desirability, spoilage and beyond. In *International Journal of Food Microbiology* (Vol. 96, Issue 3, pp. 235–252). <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.05.013>
- Bartowsky, E. J., & Henschke, P. A. (2008). Acetic acid bacteria spoilage of bottled red wine-A review. *International Journal of Food Microbiology*, 125(1), 60–70. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.10.016>
- Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). Food chemistry. In *Food Chemistry*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7>
- Blanco-Huerta, C., Fernández-Fernández, E., Vila-Crespo, J., Ruipérez, V., Moyano, R., & Rodríguez-Nogales, J. M. (2023). Impact of Ageing on Ultrasound-Treated Lees on Volatile Composition and Sensory Properties of Red Sparkling Base Wine. *Beverages*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/beverages9010023>
- Cabello Pasini, A. (2012, December 2). *¿Mantequilla en el vino?*
- Carlin, S., Piergiovanni, M., Pittari, E., Tiziana Lisanti, M., Moio, L., Piombino, P., Marangon, M., Curioni, A., Rolle, L., Segade, S., Versari, A., Ricci, A., Parpinello, G. P., Luzzini, G., Ugliano, M., Perenzoni, D., Vrhovsek, U., & Mattivi, F. (2022). The contribution of varietal thiols in the diverse aroma of Italian monovarietal white wines. *Food Research International*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111404>
- Csutoras, C., Bakos-Barczi, N., & Burkus, B. (2022). Medium chain fatty acids and fatty acid esters as potential markers of alcoholic fermentation of white wines. *Acta Alimentaria*, 51(1), 33–42. <https://doi.org/10.1556/066.2021.00129>

- du Plessis, H. W., Hoff, J. W., Mokwena, L., van der Rijst, M., & Jolly, N. P. (2021). Impact of yeast selection on volatile phenol levels of wines produced from smoked-exposed juice. *Fermentation*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/fermentation7040240>
- Ebeler, S. E., & Thorngate, J. H. (2009). Wine chemistry and flavor: Looking into the crystal glass. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(18), 8098–8108. <https://doi.org/10.1021/jf9000555>
- Escudero, A., Campo, E., Fariña, L., Cacho, J., & Ferreira, V. (2007). Analytical characterization of the aroma of five premium red wines. Insights into the role of odor families and the concept of fruitiness of wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(11), 4501–4510. <https://doi.org/10.1021/jf0636418>
- Hazelwood, L. A., Daran, J. M., Van Maris, A. J. A., Pronk, J. T., & Dickinson, J. R. (2008). The Ehrlich pathway for fusel alcohol production: A century of research on *Saccharomyces cerevisiae* metabolism. In *Applied and Environmental Microbiology* (Vol. 74, Issue 8, pp. 2259–2266). <https://doi.org/10.1128/AEM.02625-07>
- Ilc, T., Werck-Reichhart, D., & Navrot, N. (2016). Meta-analysis of the core aroma components of grape and wine aroma. *Frontiers in Plant Science*, 7(September2016). <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01472>
- Joyeux, A., Lafon-Lafourcade, S., & Ribereau-Gayon, P. (1984). Evolution of Acetic Acid Bacteria During Fermentation and Storage of Wine. In *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY* (Vol. 48, Issue 1). <https://journals.asm.org/journal/aem>
- Liu, S., Lou, Y., Li, Y., Zhao, Y., Laaksonen, O., Li, P., Zhang, J., Battino, M., Yang, B., & Gu, Q. (2023). Aroma characteristics of volatile compounds brought by variations in microbes in winemaking. In *Food Chemistry* (Vol. 420). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136075>
- López-Enríquez, L., Vila-Crespo, J., Rodríguez-Nogales, J. M., Fernández-Fernández, E., & Ruipérez, V. (2023). Modulation of the Aromatic Profile of Verdejo Wine through Sequential Inoculation of *Wickerhamomyces anomalus* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Fermentation*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/fermentation9110977>
- Lorrain, B., Tempere, S., Iturmendi, N., Moine, V., De Revel, G., & Teissedre, P. L. (2013). Influence of phenolic compounds on the sensorial perception and volatility of red wine esters in model solution: An insight at the molecular level. *Food Chemistry*, 140(1–2), 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.048>
- Martineau, B., Acree, T. E., & Henick-Kling, T. (1995). Effect of wine type on the detection threshold for diacetyl. In *Food Research International* (Vol. 28, Issue 2).
- Mauricio, J. C., Moreno, J., Zea, L., Ortega, J. M., & Medina, M. (1997). The effects of grape must fermentation conditions on volatile alcohols and esters formed by *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 75(2), 155–160. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199710\)75:2<155::AID-JSFA853>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199710)75:2<155::AID-JSFA853>3.0.CO;2-S)
- O.I.V. (2023, April 20). *La subida de los precios del vino afectó al consumo y elevó el valor de las exportaciones a los niveles más altos nunca registrados*. La Subida de Los

- Precios Del Vino Afectó al Consumo y Elevó El Valor de Las Exportaciones a Los Niveles Más Altos Nunca Registrados. <https://www.oiv.int/es/prensa/la-subida-de-los-precios-del-vino-afecto-al-consumo-y-elevo-el-valor-de-las-exportaciones>
- O.I.V. (2024, January 31). *12 meses, 12 resoluciones: la definición del vino*. <https://www.oiv.int/es/press/12-meses-12-resoluciones-la-definicion-del-vino>
- Oliveira, J. M., Faria, M., Sá, F., Barros, F., & Araújo, I. M. (2006). C6-alcohols as varietal markers for assessment of wine origin. *Analytica Chimica Acta*, 563(1-2 SPEC. ISS.), 300–309. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.12.029>
- Park, Y. C., Shaffer, C. E. H., & Bennett, G. N. (2009). Microbial formation of esters. In *Applied Microbiology and Biotechnology* (Vol. 85, Issue 1, pp. 13–25). <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2170-x>
- Parra, A., Ovejas, A., González-Arenzana, L., Gutiérrez, A. R., & López-Alfaro, I. (2023). Development and Validation of a New Method for Detecting Acetic Bacteria in Wine. *Foods*, 12(20). <https://doi.org/10.3390/foods12203734>
- Rodríguez, C., & Devora, Y. (2017). Universidad de Oriente. *Tecnología Química, XXXVII*, 442–452. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445552858004>
- Rojas, V., Gil, J. V., Pinaga, F., & Manzanares, P. (2001). Studies on acetate ester production by non-Saccharomyces wine yeasts. In *International Journal of Food Microbiology* (Vol. 70). www.elsevier.com/locate/ijfoodmicro
- Selfridge, T. B., & Amerine, M. A. (n.d.). *ODOR THRESHOLDS AND INTERACTIONS OF ETHYL ACETATE AND DIACETYL IN AN ARTIFICIAL WINE MEDIUM*.
- Setzer, W. N. (2016). Volatile components of oak and cherry wood chips used in aging of beer, wine, and sprits. In *~ 37 ~ American Journal of Essential Oils and Natural Products* (Vol. 4, Issue 2).
- Szczurek, A., & Maclejewska, M. (2005). Relationship between odour intensity assessed by human assessor and TGS sensor array response. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 106(1 SPEC. ISS.), 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2004.05.031>
- Tecnovino. (2024, February). *Sube un 0,6% el consumo de vino en España en el interanual a noviembre de 2023*. <https://www.tecnovino.com/sube-un-06-el-consumo-de-vino-en-espana-en-el-interanual-a-noviembre-de-2023/>
- Universidad de Valladolid. (n.d.). *Laboratorio de técnicas instrumentales*. Retrieved June 29, 2024, from <https://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos>
- Zhao, T., Wu, J., Meng, J., Shi, P., Fang, Y., Zhang, Z., & Sun, X. (2019). Harvesting at the Right Time: Maturity and Its Effects on the Aromatic Characteristics of Cabernet Sauvignon Wine. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 24(15). <https://doi.org/10.3390/molecules24152777>