



UNIVERSIDAD
DE MURCIA

Escuela
de Doctorado

TESIS DOCTORAL

*Estrategias enológicas para mitigar el
impacto negativo del cambio climático en la
calidad de los vinos tintos*

AUTOR/A Ana Leticia Pérez Mendoza
DIRECTOR/ES D^a. Ana Belén Bautista Ortín
D. Alejandro Martínez Moreno

2025



UNIVERSIDAD
DE MURCIA

Escuela
de Doctorado

TESIS DOCTORAL

*Estrategias enológicas para mitigar el
impacto negativo del cambio climático en la
calidad de los vinos tintos*

AUTOR/A Ana Leticia Pérez Mendoza
DIRECTOR/ES D^a. Ana Belén Bautista Ortín
 D. Alejandro Martínez Moreno

2025



**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS PRESENTADA PARA
OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR/A**

Aprobado por la Comisión General de Doctorado el 19 de octubre de 2022.

Yo, D^a. Ana Leticia Pérez Mendoza, habiendo cursado el Programa de Doctorado Tecnología de los Alimentos, Nutrición y Bromatología de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad de Murcia (EIDUM), como autor/a de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor/a titulada:

Estrategias enológicas para mitigar el impacto negativo del cambio climático en la calidad de los vinos tintos

y dirigida por:

D^a.: Ana Belén Bautista Ortín
D.: Alejandro Martínez Moreno
D.:

DECLARO QUE:

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la Ley de Propiedad Intelectual (R.D. legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

Del mismo modo, asumo ante la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis presentada, en caso de plagio, de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

Murcia, a 9 de noviembre de 2025

(firma)

Información básica sobre protección de sus datos personales aportados:	
Responsable	Universidad de Murcia. Avenida teniente Flomesta, 5. Edificio de la Convalecencia. 30003; Murcia. Delegado de Protección de Datos: dpd@um.es
Legitimación	La Universidad de Murcia se encuentra legitimada para el tratamiento de sus datos por ser necesario para el cumplimiento de una obligación legal aplicable al responsable del tratamiento. art. 6.1.c) del Reglamento General de Protección de Datos
Finalidad	Gestionar su declaración de autoría y originalidad
Destinatarios	No se prevén comunicaciones de datos
Derechos	Los interesados pueden ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación, oposición, limitación del tratamiento, olvido y portabilidad a través del procedimiento establecido a tal efecto en el Registro Electrónico o mediante la presentación de la correspondiente solicitud en las Oficinas de Asistencia en Materia de Registro de la Universidad de Murcia

Esta DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD debe ser insertada en la quinta hoja, después de la portada de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor/a.

La realización de esta Tesis Doctoral ha sido posible gracias al proyecto de Unión Europea Next Generation EU: PRTR (TED2021-129998B-C21) financiado por MCIU/AEI/10.13039/50110001133

Agradecimientos

Hacer una tesis doctoral ya es complicado, hacerla lejos de casa es el doble de complicado, por ello quiero dar las gracias brevemente a cada uno de los que formaron parte de este caminar. Primero, quiero agradecer al gran equipo de investigación del que he sido parte, a sus grandes pilares Encarna y Belén. Desde que las conocí quería formar parte de su equipo, siempre han sido un ejemplo para mí en todas las áreas. La dedicación que tienen al trabajo, la visión, compromiso y cariño que tienen con cada uno de los que las rodea es algo admirable. Gracias por permitirme formar parte de su maravilloso grupo, me han enseñado mucho y llevo esas enseñanzas para mi futuro. Gracias también a sus familias que siempre nos han dado seguimiento y han tenido las puertas abiertas de sus casas y corazones. Gracias también a Alejandro por tu supervisión en esta tesis doctoral.

En segundo lugar, quiero dar las gracias a mis chicas, no sé cómo escribir esto sin lágrimas en los ojos, las que empezaron como compañeras en el laboratorio en las prácticas de grado, hasta mis compañeras de doctorado. Se han convertido en mi familia, en el lazo más grande que tengo aquí en Murcia y desde luego son ustedes la razón por la que me quedo aquí. Andrea gracias por enseñarme el mundo del vino, enseñarme la maravillosa cultura española y por esa amistad que compartíamos cada día en el laboratorio y post-laboratorio, gracias por animarme a hacer el doctorado, eres una amiga maravillosa. A mi Lu, que puedo decirte; la vida nos ha unido tanto de diferentes maneras y agradezco muchísimo poder formar parte de tu vida, me has enseñado tanto y estoy orgullosa de tenerte como amiga, además de feliz de verte crecer junto a mí. Paula (POL), sólo de pensar en que escribirte me pone muy feliz, mejor amiga, maestra, consejera y ejemplo de dedicación. El regalo más bonito que me ha dado la vida es tu amistad, (tus chistes también), por más años juntas. María José (MJ), muchísimas gracias por tu paciencia, acompañamiento, seguimiento y ser esa guía en este camino. Me has enseñado la verdadera amistad, en las buenas y en las malas, eres una persona maravillosa, gracias por ser mi brazo derecho, que la vida nos siga uniendo (ya te digo yo, que lo hará). Pao, llegaste para quedarte, gracias por apoyarme, formar parte de mi tesis y por tu amistad sincera. Pili, gracias por abrirme las puertas de tu casa y familia, por enseñarme todo en el laboratorio.

Gracias a todos los chicos de prácticas, TFG, alumnos internos e investigadores, todos los que formaron gran parte de mi trabajo experimental. Por su disposición, alegría y energía por querer aprender y echar un cable, (Genco, Fer, Chío, Apolinne, Ilaria, mi Karen, Rocío, Marcos, Andrea, Carlos). También quiero dar las gracias a Sami, por tomar la decisión de venirte 1 año, por tu amistad y por los ánimos, nos vemos en Puebla. Gracias a los de la Universidad de La Rioja y su gran equipo de investigación; Belén Ayestarán, Leti, Ekhiñe y Mikel por recibirme con tanto cariño. Gracias al personal de la estación enológica, que trabajamos codo a codo, son un equipo increíble, gracias por compartir conmigo la pasión por el vino y compartir buenos congresos (JuanDA, María José, Diego). Desde luego gracias también a Rocío por compartir todas las novedades con las que se trabaja en el IMIDA y hacer un gran equipo con nosotros.

Gracias a mis amigos que también se convirtieron en familia (los de la costera sur) siempre con una cerveza fría después del trabajo duro. En especial gracias a ti Chema por animarme a seguir en el doctorado, y en el mundo de la investigación, gracias por compartir amistad. Antonio-ANTON que estás en todos lados y da gusto verte, compañero maravilloso. Gracias a esas amistades que encontré en el camino y grandes investigadores; Cris, Rafa, Diego, Liudis, Marissa y Paco. Gracias Sandra, porque sin ti llegar hasta el final de este camino hubiera sido imposible, las enseñanzas más grandes me las llevo de ti.

Quiero dar un agradecimiento especial a la que empezó todo esto, a mi querida maestra, tutora, gran doctora y amiga. Te agradezco tanto por haberme enviado a Murcia y por enseñarme el mundo de la investigación y de la dedicación. Gracias por la oportunidad, te dedico esta tesis Anita y a tu maravillosa familia (Dani, Sofi y Santi), los quiero mucho.

Por último, a mi impulso principal, **mi familia**. Por ser valientes y enviarme lejos para seguir mis sueños, por apoyarme en todo momento y por estar tan cerca a pesar de la distancia. Este logro es de ustedes. Los amo.

Adri, cariño, no puedo expresar todo el agradecimiento que tengo para ti, gracias por levantarme tantas veces durante este camino, por animarme cuando ya no podía, por ayudarme de tantas maneras posibles, y hacerme sentir en casa. Gracias por tu amor, por cuidarme tantísimo y por hacerme creer esto. Sin ti hubiera sido imposible terminar la tesis, gracias por estar a mi lado, te amo.

Índice



<u>Introducción y Marco Teórico</u>	<u>21</u>
1.1 Importancia económica del sector vitivinícola	23
1.2 La variedad Monastrell	24
1.3 Compuestos fenólicos en la uva y en el vino.....	26
1.3.1 Antocianos	26
1.3.2 Taninos.....	28
1.4. Compuestos aromáticos en la uva y el vino	30
1.4.1 Terpenos.....	31
1.4.2 Alcoholes	32
1.4.3 Noroisoprenoides	33
1.4.4 Pirazinas.....	33
1.4.6 Ácidos.....	34
1.4.7 Compuestos carbonilados	35
1.4.8 Compuestos azufrados	35
1.5 Transferencia de compuestos de interés (fenólicos y aromáticos) de la uva al vino	36
1.6. Importancia de los compuestos fenólicos en la calidad del vino tinto	38
1.7 Técnicas enológicas para mejorar la extracción de compuestos fenólicos y aromáticos de la uva al vino.....	41
1.8 Impacto del cambio climático en la calidad del vino tinto en zonas áridas y semiáridas	44
Referencias	46
<u>Objetivos.....</u>	<u>59</u>
<u>Resultados.....</u>	<u>63</u>
Capítulo 1. Equilibrio entre la madurez fenólica y el grado alcohólico: Impacto de la eliminación total de semillas en los vinos tintos	65
Capítulo 2. Vinificación de uvas tintas inmaduras: impacto de la eliminación parcial de semillas, ultrasonidos y raspón en la calidad del vino.....	93
Capítulo 3. Impacto del tratamiento de resinas de intercambio catiónico en la acidificación y calidad del vino tinto Monastrell.....	133
<u>Discusión General.....</u>	<u>171</u>
<u>Conclusiones Generales.....</u>	<u>185</u>

Resumen

El cambio climático está modificando profundamente las condiciones de cultivo de la vid, especialmente en regiones cálidas y semiáridas como el sureste español. Estas alteraciones se traducen en una maduración acelerada de la uva tinta, generando desequilibrios entre la maduración tecnológica (azúcares) y fenólica (taninos, antocianos), lo que repercute directamente en la calidad del vino. Como consecuencia, se obtienen vinos con elevada graduación alcohólica, menor acidez y mayor pH, características que comprometen a su frescura, estabilidad y capacidad de envejecimiento, además de alejarse de las preferencias actuales del consumidor, que demanda vinos más equilibrados y con menor contenido alcohólico.

En este contexto, la presente Tesis Doctoral aborda diferentes técnicas enológicas orientadas a mitigar los efectos del calentamiento global en la vinificación de la variedad Monastrell. Por un lado, para reducir el desequilibrio entre la maduración tecnológica y fenólica y poder obtener vinos de calidad y con un menor contenido de alcohol se probó el efecto de la eliminación total de semillas en uvas inmaduras antes de la etapa de maceración. Esta estrategia enológica permitió reducir la astringencia y el amargor, aumentar la intensidad del color mediante la formación de pigmentos poliméricos y vitisinas, y potenciar los aromas frutales gracias al incremento de ésteres, acercando su perfil sensorial al de vinos obtenidos con uvas completamente maduras, pero con menor contenido de alcohol. Pero esta práctica enológica no puede ser aplicada en bodega todavía debido a la falta de equipamiento específico, por lo que se planteó estudiar también el efecto de la eliminación parcial de semillas durante los primeros días de maceración fermentativa a uva inmadura como una solución a la eliminación total, complementada también con la aplicación de ultrasonidos y la adición de raspón. En este caso, la eliminación parcial de semillas mostró una reducción significativa en la concentración de taninos totales y ciertos antocianos, lo que produjo una disminución en la intensidad de color, aunque también descendió la percepción de amargor en el perfil sensorial del vino. Además, cuando fue combinada con ultrasonidos, mejoró la extracción de taninos del hollejo y la formación de vitisinas, y junto con la adición de raspón, especialmente en dosis moderadas, favoreció la formación de pigmentos poliméricos y ésteres, mejorando la intensidad aromática, aunque también incrementó la percepción de

astringencia y la presencia de compuestos herbáceos. Todo ello pone de manifiesto el potencial de la aplicación de estas técnicas, aunque la elección y combinación de estas estrategias deben alinearse con el estilo de vino objetivo, ya sea un vino joven, afrutado y equilibrado, o uno con mayor estructura, persistencia y capacidad de envejecimiento.

Por otro lado, para mitigar el problema asociado a la reducción en los valores de acidez y el incremento en los niveles de pH en la uva se estudió el efecto del uso de resinas de intercambio catiónico, como método de acidificación de bajo coste y con menor riesgo de precipitación tartárica frente al aporte tradicional de ácido tartárico. En este caso, la acidificación parcial del mosto mediante resinas de intercambio catiónico o la adición de ácido tartárico tras la etapa de estrujado y despalillado permitieron una reducción efectiva del pH y un aumento de la acidez total del vino, sin afectar significativamente a la concentración total de compuestos fenólicos, aunque sí modificaron su composición, especialmente en el caso de antocianos y taninos. Ambas estrategias de acidificación mejoraron parámetros clave de calidad en el vino tinto, como la intensidad cromática, la frescura en boca y la percepción aromática, especialmente cuando se sustituyó el 30% del mosto con mosto acidificado, debido a una mayor presencia de ésteres frutales y terpenos florales, y una menor astringencia a nivel sensorial. Además, el uso de resinas de intercambio iónico podría mejorar la estabilidad del vino frente a la oxidación al reducir cationes metálicos pro-oxidantes, convirtiéndose en una alternativa tecnológica viable y rentable frente a la acidificación tradicional.

Abstract

Climate change is profoundly altering the conditions for vine cultivation, especially in warm and semi-arid regions such as southeastern Spain. These changes result in accelerated ripening of red grapes, creating imbalances between technological ripening (sugars) and phenolic ripening (tannins and anthocyanins), which directly affect wine quality. Consequently, wines with high alcohol content, lower acidity, and higher pH are obtained, characteristics that compromise freshness, stability, and aging potential, while also diverging from current consumer preferences, which favor more balanced wines with lower alcohol content.

In this context, the present Doctoral Thesis addresses different winemaking techniques aimed at mitigating the effects of global warming on the vinification of the Monastrell variety. On one hand, to reduce the imbalance between technological and phenolic ripening and to produce quality wines with lower alcohol content, the effect of total seed removal in unripe grapes before the maceration stage was tested. This winemaking strategy reduced astringency and bitterness, increased color intensity through the formation of polymeric pigments and vitisins, and enhanced fruity aromas thanks to the increase in esters, bringing its sensory profile closer to that of wines made from fully ripe grapes, but with lower alcohol content. However, this winemaking practice cannot yet be applied in wineries due to the lack of specific equipment, so the effect of partial seed removal during the first days of fermentative maceration of unripe grapes was also studied as an alternative to total removal, complemented by the application of ultrasound and the addition of stems. In this case, partial seed removal significantly reduced the concentration of total tannins and certain anthocyanins, which led to a decrease in color intensity, although bitterness perception in the wine's sensory profile also decreased. Furthermore, when combined with ultrasound, it improved tannin extraction from the skins and the formation of vitisins, and together with stem addition especially at moderate doses it favored the formation of polymeric pigments and esters, enhancing aromatic intensity, although it also increased the perception of astringency and the presence of herbaceous compounds. All this highlights the potential of applying these techniques, although the choice and combination of these strategies must align

with the target wine style, whether a young, fruity, and balanced wine, or one with greater structure, persistence, and aging capacity.

On the other hand, to mitigate the problem associated with reduced acidity and increased pH levels in grapes, the effect of using cation exchange resins was studied as a low-cost acidification method with lower risk of tartaric precipitation compared to the traditional addition of tartaric acid. In this case, partial acidification of the must using cation exchange resins or the addition of tartaric acid after crushing and destemming allowed for an effective reduction in pH and an increase in the wine's total acidity, without significantly affecting the total concentration of phenolic compounds, although their composition was modified, especially in the case of anthocyanins and tannins. Both acidification strategies improved key quality parameters in red wine, such as color intensity, mouthfeel freshness, and aromatic perception, particularly when 30% of the must was replaced with acidified must, due to a greater presence of fruity esters and floral terpenes, and lower astringency at the sensory level. Additionally, the use of ion exchange resins could improve wine stability against oxidation by reducing pro-oxidant metallic cations, making it a viable and cost-effective technological alternative to traditional acidification.

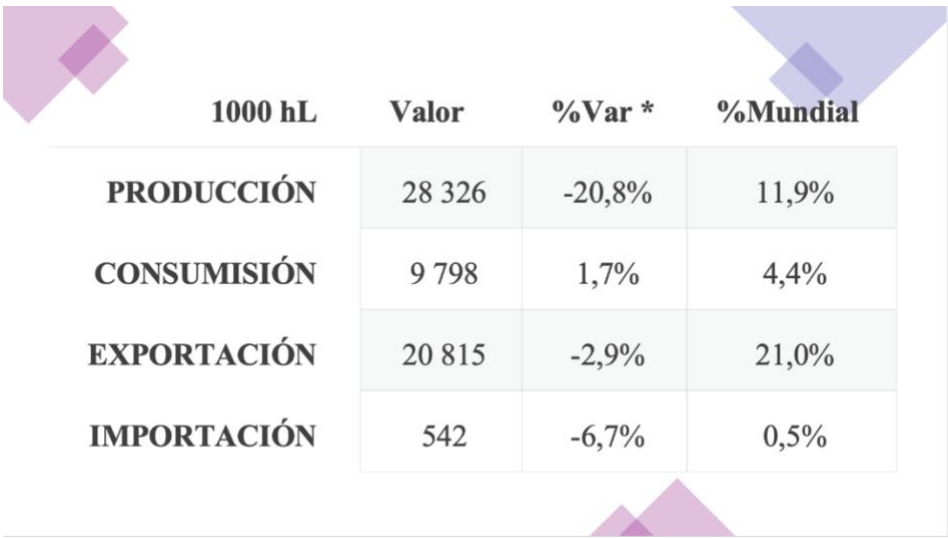
Introducción y Marco Teórico



1.1 Importancia económica del sector vitivinícola

La vid *Vitis vinifera* L. es un cultivo frutal de gran impacto económico debido a su importante producción y exportación a nivel mundial. Según los datos más recientes de la organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV, 2024), actualmente se cultivan 7,2 millones de hectáreas de viñedo en el mundo. Esta producción generó una producción de 258 millones de hectolitros de vino (OIV, 2024). En este contexto, Europa es líder mundial en producción de vino, representando el 63% de la producción durante el año 2020 (Organización Internacional de la Viña y el Vino, 2020). Países como Francia, Italia y España son algunos de los mayores productores del mundo, y la industria vitivinícola europea sigue siendo un pilar fundamental en la economía agrícola y en el comercio internacional. De acuerdo con los datos más recientes de la OIV (2023; 2024), España ocupa el tercer lugar en la producción de vino a nivel mundial, un logro que refleja la importancia y el alcance de esta industria en el país. También es el país con mayor superficie de viñedo del mundo, con 954.724 hectáreas, lo que representa el 13% de la superficie mundial dedicada a la viticultura. Además, el sector vitivinícola en España es de gran relevancia, no solo desde el punto de vista económico, sino también sociocultural, siendo parte fundamental de la cultura mediterránea. España se sitúa en el segundo lugar a nivel mundial de exportación de vino y en sexto lugar como consumidor (Figura 1). En este sentido, comprender tanto la producción como el consumo de vino en España es esencial para apreciar la complejidad y la riqueza de esta industria, así como su impacto en la sociedad.

Figura 1. Datos del sector vitivinícola en España (Organización Internacional de la Viña y el vino, 2023).



	1000 hL	Valor	%Var *	%Mundial
PRODUCCIÓN	28 326		-20,8%	11,9%
CONSUMISIÓN	9 798		1,7%	4,4%
EXPORTACIÓN	20 815		-2,9%	21,0%
IMPORTACIÓN	542		-6,7%	0,5%

1.2 La variedad Monastrell

Una de las principales zonas de cultivo en el mundo de la variedad Monastrell es el sureste Español (Figura 2), siendo la región de Murcia y sus tres denominaciones de origen (Jumilla, Bullas, Yecla), una de las áreas más destacadas en la elaboración de vinos de calidad con esta variedad. Jumilla comprende unas 22.700 hectáreas de viñedos repartida entre las provincias de Murcia y Albacete. El clima se caracteriza por tener más de 3000 horas de sol anuales y escasas precipitaciones con alrededor de 300 mm anuales (Martínez-Cutillas et al., 2018). En invierno las temperaturas pueden ser inferiores a 0°C, mientras que en verano las temperaturas pueden superar los 40°C. Por otro lado, la D.O. Bullas ampara diversos municipios de la región de Murcia (Bullas, Mula, Pliego, Ricote y Cehegín) y cuenta con 5.500 hectáreas de viñedos, mientras que la D.O. Yecla se encuentra en la parte más nororiental de la Región de Murcia y cuenta con 6.500 hectáreas de viñedo.



Figura 2. Mapa Denominaciones de Origen de la Región de Murcia (Murcia, 2024).



La variedad Monastrell está adaptada a las extremas condiciones de clima y suelo en la zona mediterránea. Las cepas tienen un porte erguido, se caracterizan por tener bayas con piel gruesa, forma esférica, tamaño pequeño-medio, color negro-azulado intenso y pulpa incolora y carnosa (Figura 3). Las semillas son de tamaño pequeño, encontrándose unas 3 o 4 semillas por baya. Con sus mostos se obtienen vinos de buen contenido alcohólico, ricos en color y en extracto. Las características de los vinos obtenidos de la variedad Monastrell, se identifican por la intensidad de color, gran sabor, aromas frutales y acidez media-baja.

Figura 3. Racimos de uva Monastrell.



1.3 Compuestos fenólicos en la uva y en el vino

Los compuestos fenólicos en la vid se pueden encontrar desde las raíces hasta los frutos, mostrando estructuras químicas variadas. En la uva, los compuestos fenólicos están localizados sobre todo en las semillas y el hollejo. Estos compuestos son responsables del color y de las sensaciones de astringencia y amargor de los vinos tintos. Además, son los principales compuestos de las diferencias entre vinos blancos, rosados y tintos dotando a la uva y por tanto al vino, de propiedades antioxidantes con potenciales efectos sobre la salud humana.

Los compuestos fenólicos en la uva se clasifican en dos grandes grupos; los flavonoides y los no flavonoides. Los flavonoides incluyen antocianos, flavonoles y taninos y están localizados mayoritariamente en el hollejo, semillas y raspón, mientras que los no flavonoides incluyen estilbenos y ácidos fenólicos y se localizan en el hollejo y en la pulpa (Monagas et al., 2005).

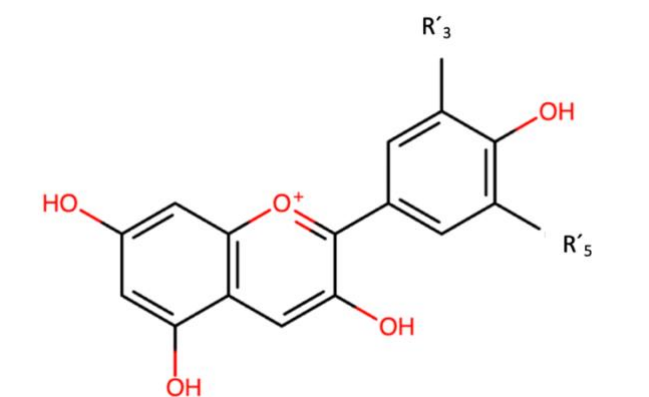
1.3.1 Antocianos

Los antocianos son pigmentos de color rojo localizados en las 3 o 4 primeras capas de células de la epidermis de la baya, aunque en variedades tintoreras también se localizan en la pulpa. Su estructura molecular se caracteriza por un esqueleto básico de carbono (C6-C3-C6), e incluye 2 anillos bencénicos unidos por un heterociclo insaturado y oxigenado catiónico, derivado de un ion flavilio (Ribereau-Gayón et al., 2000). En las uvas, se han identificado 5 tipos de antocianos principales (cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina y malvidina) en función del número de grupos hidroxilo y metoxi en el anillo B (Figura 4). Entre estos antocianos, la malvidina es la que se encuentra en mayor concentración tanto en el hollejo de la uva como en el vino. Estas moléculas son más estables si están unidas a un azúcar (glicosiladas), denominándose en este caso antocianinas. Por el contrario, cuando los antocianos no están ligados a una molécula de azúcar se denominan antocianidinas. Asimismo, las antocianinas pueden presentarse aciladas con diferentes ácidos orgánicos,



tales como los ácidos acético, p-cumárico y cafeico, lo que aumenta su estabilidad y modifica su tonalidad de color.

Figura 4. Estructura de las antocianidinas.



R'3	R'5	NOMBRE
OH	H	Cianidina
OCH3	H	Peonidina
OH	OH	Delfinidina
OH	OCH3	Petunidina
OCH3	OCH3	Malvidina

El color de estos pigmentos en el vino depende de diferentes factores como el pH, ya que, en función del valor de este parámetro, estos pigmentos pueden encontrarse en forma de cuatro estructuras básicas: catión flavilio (A⁺) de color rojo, base anhidra quinoidal (AO) de color azul violáceo, pseudo-base carbinol o hemiacetal (AOH) incolora y base calcona (C) de color amarillo (Furtado et al. 1993) y también de la concentración de SO₂. El contenido total de antocianos en la uva varía de 0,5 a 3 g/Kg (Blouin & Guimberteau, 2004a), mientras que, en el vino, la concentración de estos compuestos puede oscilar entre 200 y 500 mg/L, aunque



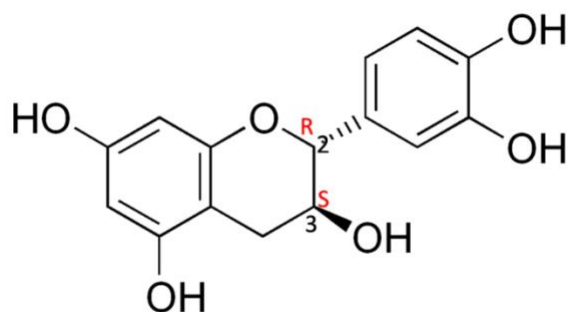
para variedades muy coloreadas los antocianos pueden alcanzar valores de 750 mg/L (Blouin & Guimberteau, 2004b).

1.3.2 Taninos

Los taninos condensados o proantocianidinas son responsables en el vino de las sensaciones de astringencia, amargor, estructura y cuerpo y de la estabilización del color por su unión a los antocianos. Están constituidos por cadenas formadas por un diferente número de unidades de flavanoles, unidos mediante enlaces C4-C6 o C4-C8 (Hanlin et al., 2010). La estructura base está compuesta por dos carbonos asimétricos por lo que existen 4 isómeros: (+)/(-)-catequina y epicatequina. Además, el anillo aromático externo puede presentar un tercer grupo hidroxílico dando lugar a las correspondientes (+)/(-)-galocatequina y epigalocatequina. Por otra parte, el grupo OH en la posición 3 del heterociclo puede estar galoilado, es decir, puede estar esterificado con una molécula de ácido gálico dando los 3-galato (+)/(-) de (galo)catequina y epi(galo)catequina (Figura 5). En la uva, los flavanoles mayoritarios son (+)-catequina, (-)-epicatequina, (-)-epigalocatequina y (-)-epicatequinagalato (Busse-Valverde, 2013; Ricardo-Da-Silva, 1991). Dichos compuestos están localizados en el hollejo y en las semillas de la uva. En el hollejo, están distribuidos en tres zonas: en las vacuolas, ligados a los polisacáridos de la pared celular y unidos fuertemente a la membrana proteofosfolipídica (Osete-Alcaraz, 2022). En las semillas se pueden encontrar taninos en la epidermis, la parte media del tegumento externo y la capa media del tegumento interno (Cadot et al., 2006). Además, en función de su localización, estos compuestos muestran diferencias a nivel de su composición, así, los taninos del hollejo se caracterizan por presentar altos grados medios de polimerización, bajo porcentaje de galoilación y contener (-)-epigalocatequina en su estructura, mientras que los taninos de las semillas muestran bajos grados medios de polimerización y altos porcentajes de galoilación y ausencia de (-)-epigalocatequina (Busse-Valverde, 2013; Prieur et al., 1994; Souquet et al., 1996).



Figura 5. Estructura de los flavan-3-oles.



Posición	Posición	Nombre
2R	3S	(+)-Catequina
2S	3R	(-)-Catequina
2S	3S	(+)-Epicatequina
2R	3R	(-)- Epicatequina
2R	3R	(-)-Epigallocatequina
2R	3R	(-)-Epicatequina Galato

En términos generales, los taninos del hollejo se encuentran en menor concentración que en la semilla, encontrándose valores que oscilan entre 282-721 mg/kg y 1562-2105 mg/kg respectivamente en función de la variedad en el momento de vendimia (Busse-Valverde et al., 2010). El contenido de taninos en el vino es inferior al mostrado en la uva. Así Busse-Valverde et al. (2010) reportaron rendimientos de extracción del 55,3% y 9,2% a partir del hollejo y las semillas de uvas Monastrell, del 59,6% y 7,2% en Cabernet Sauvignon, y del 74,1% y 8,7% en Syrah, respectivamente. La fracción de taninos que se transfiere al vino no solo es menor, sino que también varía en su grado de polimerización, lo que influye directamente en sus propiedades sensoriales. Por ello, tanto la cantidad como la calidad de los taninos extraídos durante la vinificación son determinantes en la percepción final del vino. Esta baja transferencia de taninos desde la uva al vino se ha atribuido no solo a la limitada extracción de estos compuestos debido a las paredes celulares de la uva que actúan como una barrera difusional, sino también a pérdidas adicionales provocadas por sus interacciones con



paredes celulares que permanecen en suspensión durante las primeras etapas de la vinificación. Estos complejos formados precipitan posteriormente, reduciendo aún más la cantidad de taninos en el vino (Osete-Alcaraz et al., 2019).

1.4. Compuestos aromáticos en la uva y el vino

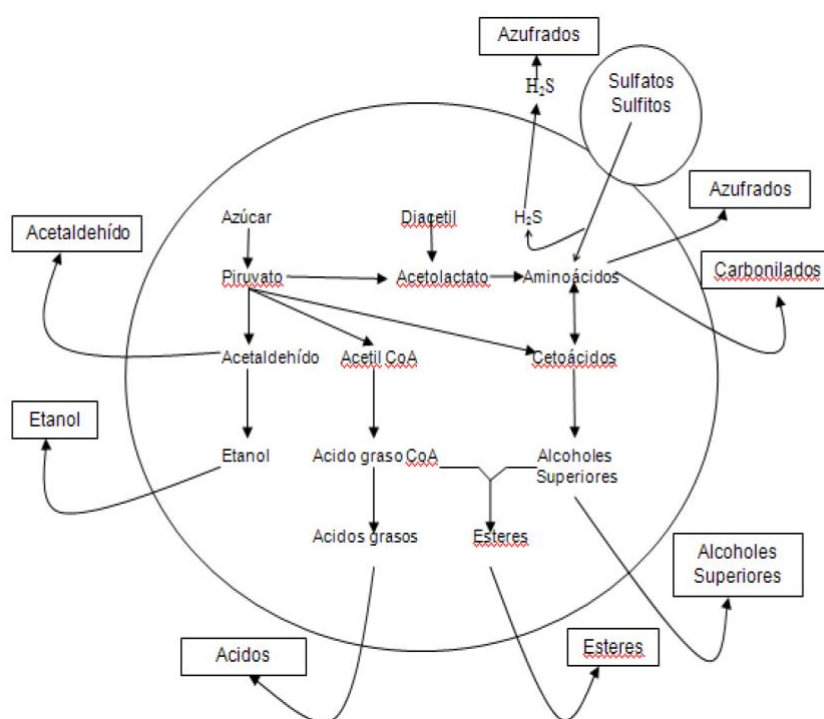
Los aromas del vino están formados por numerosos compuestos volátiles, cuyas concentraciones varían desde varios mg/L hasta unos pocos ng/L (Styger et al., 2011). La complejidad de estos compuestos aromáticos hace que su estudio sea especialmente difícil debido a los diversos procesos involucrados en su síntesis (Ribéreau-Gayón et al., 2000). El aroma final de un vino va a depender en gran medida de la variedad de uva, sin embargo, factores como el tipo de suelo, el clima, la luz solar, y las técnicas de manejo del viñedo y vinificación (tipo de levadura, condiciones de fermentación y tipo de maceración) también juegan un papel importante en la formación de los aromas (Blouin & Guimberteau, 2004b; He et al., 2023). Además, los procesos bioquímicos que ocurren durante la maduración de la uva en la síntesis de compuestos aromáticos, junto con los procesos enológicos posteriores como la fermentación, la oxidación, la hidrólisis, envejecimiento, así como la intervención de diferentes microorganismos durante la fermentación maloláctica, influirán en el perfil aromático final del vino (Boido et al., 2002).

En el vino, los compuestos aromáticos se pueden englobar en 3 categorías:

- Los aromas primarios, varietales, ubicados en el hollejo y en menor medida en la pulpa de la uva, son productos secundarios del metabolismo vegetal y están constituidos fundamentalmente por terpenos, C13-noroidoprenoides, alcoholes, aldehídos y metoxipirazinas.
- Los aromas secundarios, formados por las levaduras durante la fermentación alcohólica y por las bacterias lácticas en el caso de la fermentación maloláctica. Los compuestos que constituyen esta categoría son alcoholes, ésteres, aldehídos y ácidos, siendo los alcoholes superiores y los ésteres los más abundantes (Figura 6).

- Los aromas terciarios, los cuales se forman tras la fermentación, durante el periodo de crianza o envejecimiento en botella, a partir de hidrólisis, oxidaciones, sulfuraciones y descarboxilaciones.

Figura 6. Compuestos aromáticos durante la fermentación alcohólica (Rojas, 2002).



1.4.1 Terpenos

Los terpenos son compuestos clave del aroma varietal en el vino, especialmente en variedades de carácter terpénico, como las moscateles. Aunque su concentración suele ser baja, su bajo umbral de percepción olfativa les confiere un impacto predominante en el perfil aromático, predominando sobre otras familias de compuestos aromáticos. Su concentración y composición en la uva están influenciados por el grado de maduración y por las condiciones de cultivo, especialmente por las altas temperaturas y elevada exposición a la luz (Li et al.,



2019). Los alcoholes monoterpénicos son los terpenoles más abundantes y pueden ser encontrados en la uva en forma libre (con aroma) o glicosilada (precursores de aroma), aumentando el contenido de las formas glicosiladas con la maduración de la uva (Fenoll et al., 2009). Durante el proceso de vinificación, los precursores aromáticos pueden transformarse en compuestos olorosos por liberación de las agliconas. Sin embargo, este proceso es lento, y se desarrolla principalmente durante el envejecimiento. Las formas glicosiladas son relativamente estables (Gunata et al., 1988) y tras su hidrólisis, presentan un umbral de percepción olfativo comprendido entre unas decenas y varias centenas de $\mu\text{g/L}$ (Aubert & Chalot, 2018). Los monoterpenos más importantes en el vino son el linalol, el nerol, el geraniol y el citronelol, los cuales desarrollan aromas a flores. El α -terpineol presenta una nota a pino y lirio, la β -ionona a violeta y la β -damascenona a manzana y miel (Aubert & Chalot, 2018; Wu et al., 2019; Labrador Fernández et al., 2023).

1.4.2 Alcoholes

Los alcoholes superiores, también conocidos como alcoholes alifáticos superiores, poseen tres o más átomos de carbono en su estructura. Generalmente se consideran las moléculas aromáticas con mayor impacto en el aroma global del vino. Los precursores de estos compuestos son los aminoácidos existentes en el mosto y los que sintetizan las levaduras a partir de los azúcares (Gutiérrez et al., 2001). El control de los valores de pH del vino, junto con la temperatura durante el proceso de fermentación puede reducir significativamente la concentración de alcoholes en el vino (Ganigué et al., 2016; Bagheri et al., 2020). En cuanto a compuestos individuales pertenecientes a esta familia se podría destacar el 3-metil-1-butanol caracterizado por notas a quemado y el 1-hexanol y 2,3-hexen-1-ol con notas herbáceas (Gómez-Plaza et al., 1999; Moreno-Olivares et al., 2020). Sin embargo, algunos alcoholes superiores pueden enmascarar el aroma afrutado del vino cuando su concentración es superior a 111 mg/L (He et al., 2023). En general, cuando la concentración alcanza los 300 mg/L producen un aroma agradable, pero, cuando supera los 400 mg/L, producen un aroma desagradable y una sensación áspera y, es fácil que provoque dolor de cabeza. Este olor desagradable puede dominar el aroma e inhibir la percepción de otros componentes volátiles del vino. Por lo tanto, para obtener vino de alta calidad la concentración de alcoholes

superiores más adecuada se mantiene por debajo de los 300 mg/L (He et al., 2023). Durante el proceso de envejecimiento del vino los alcoholes pueden interactuar con los ésteres y los ácidos para formar compuestos más complejos que contribuyen positivamente al aroma del vino.

1.4.3 Noroisoprenoides

Los noroisoprenoides son una familia de compuestos volátiles presentes en el vino que derivan de la degradación oxidativa de los carotenoides (pigmentos naturales de las uvas). Este proceso puede ser estimulado por factores como la madurez de la uva. Entre estos compuestos destacan la β -ionona, β -damascenona, β -damascona y el β -ionol, que presentan notas a violeta, frutas exóticas, rosa y flores respectivamente. Aparecen durante el proceso de envejecimiento del vino incrementando su calidad aromática, especialmente cuando este procede de variedades no aromáticas (Winterhalter et al., 1990).

1.4.4 Pirazinas

Las pirazinas poseen un aroma vegetal muy característico. Estos compuestos aromáticos se producen principalmente del catabolismo de los aminoácidos en el tejido vegetal y su síntesis está influenciada por la ecología del viñedo. La concentración de pirazinas se reduce en presencia de luz solar, y durante la maduración (Zhao et al., 2019). Entre todas las metoxipirazinas se puede destacar la 2-metoxi-3-isobutilpirazina, reconocida por su impacto en el perfil aromático de ciertos vinos, especialmente en variedades como la Cabernet Sauvignon (Lacey et al., 1991), con aromas a pimiento morrón y pimiento verde. Las pirazinas, cuando se encuentran en concentraciones superiores a 15 ng/L en vinos blancos y 25 ng/L en vinos tintos pueden conferir al vino notas herbáceas o verdes intensas, consideradas defectuosas o desagradables desde el punto de vista sensorial.



1.4.5 Ésteres

Los ésteres se forman fundamentalmente durante la fermentación alcohólica como resultado del metabolismo de las levaduras por una combinación de un ácido orgánico y un alcohol (Pérez Magariño & González San José, 2006), y una pequeña parte durante el proceso de envejecimiento del vino (Cadot et al., 2006). Se consideran uno de los componentes más importantes del aroma del vino, superados sólo por los alcoholes superiores. Se pueden detectar más de 150 ésteres diferentes en el vino, entre los que se incluyen principalmente acetato de isoamilo, hexanoato de etilo y butirato de etilo con aroma a plátano, pera y fresa respectivamente. Algunos ésteres, cuando están presentes en altas concentraciones, pueden afectar negativamente al aroma del vino, como la presencia de acetato de metilo con un aroma a barniz y esmalte de uñas. Además, a medida que aumenta la longitud de la cadena de carbono, los ésteres pueden producir un olor similar al jabón, y cuando la longitud de la cadena de carbono alcanza C16- C18, puede haber un olor similar a la manteca de cerdo (Ribéreau-Gayon et al., 2006).

1.4.6 Ácidos

Estos compuestos son ácidos saturados de cadena lineal con longitudes de cadena que van de 2 a 18 átomos de carbono y desempeñan un papel importante en la complejidad del aroma, ya que interactúan con ésteres y alcoholes para formar compuestos más complejos. Los ácidos grasos se forman durante el estrujado de la uva donde se produce una liberación de compuestos precursores presentes en las células del fruto. Estos ácidos también se pueden formar durante la fermentación maloláctica por la biosíntesis del acetilcoenzima-A (Giménez-Bañón et al., 2022) y especialmente cuando el proceso fermentativo tiene lugar bajo condiciones anaeróbicas estrictas y a baja temperatura (Gutiérrez et al., 2001).

Algunos ácidos grasos, como el ácido propiónico, el ácido butírico, el ácido isobutírico, el ácido valérico, el ácido 2-metilbutírico, el ácido caproico, el ácido octanoico, el ácido nonanoico y el ácido cáprico, tienen un olor desagradable, descrito como agrio, picante, graso

o parecido al queso. Si la concentración total de ácidos grasos se mantiene por debajo de 50-100 mg/L, se puede conservar el carácter afrutado del vino.

1.4.7 Compuestos carbonilados

Los compuestos carbonilados derivan del aroma de fermentación, y están asociados a la oxidación. Entre los aldehídos, el más común es el acetaldehído que procede de la fermentación alcohólica, pero también se puede formar por oxidación del etanol en presencia de oxígeno dando lugar a un aroma desagradable (manzana oxidada o rancio). En el vino puede presentar una concentración de 75 mg/L después de finalizar fermentación alcohólica. Además, durante la fermentación también se pueden formar acetonas como subproductos del metabolismo de los azúcares por parte de las levaduras (Ribéreau-Gayon et al., 2006) y de la fermentación maloláctica. Entre ellas destaca el diacetilo, del cual se cree que agrega complejidad al vino, pero en concentraciones altas (por encima de 5 mg/L) puede impartir un sabor a mantequilla no deseado (Tufariello et al., 2021). Por otro lado, los aldehídos C6 (como el hexanal o el (E)-2-hexenal) se originan principalmente por la acción enzimática sobre los ácidos grasos insaturados de la uva durante el estrujado o el prensado, antes de la fermentación alcohólica. Estos compuestos son responsables de notas verdes y herbáceas que pueden aportar frescura en bajas concentraciones, aunque en exceso se asocian a uvas poco maduras o a vinos con carácter vegetal. (Tufariello et al., 2021).

1.4.8 Compuestos azufrados

Entre los compuestos azufrados se encuentran tioles, sulfuros y tioésteres, estos se forman como intermedios de reducción durante la síntesis de los aminoácidos. Estos compuestos pueden influir tanto positiva como negativamente en el aroma del vino. En algunos casos, especialmente los tioles varietales, aportan aromas frutales y tropicales, que contribuyen significativamente a la tipicidad de ciertas variedades como Sauvignon blanc. Sin embargo, otros compuestos azufrados, como ciertos sulfuros volátiles o tioésteres, influyen negativamente en el aroma del vino, con caracteres de reducción (descriptores de huevo

podrido o verdura cocida). Presentan un umbral de percepción bajo que disminuye según aumenta el peso molecular. Entre estos compuestos destaca el sulfuro de hidrógeno. Su formación tiene lugar durante la síntesis de los aminoácidos cisteína y metionina, donde actúa como intermedio de reducción de los sulfatos y sulfitos presentes en el mosto añadidos por el viticultor. En situaciones de carencia de nitrógeno asimilable durante la fermentación no puede combinarse para formar aminoácidos y se acumula en la matriz del vino.

1.5 Transferencia de compuestos de interés (fenólicos y aromáticos) de la uva al vino

La transferencia de compuestos fenólicos y aromáticos de la uva al vino tiene lugar durante la etapa de maceración. La maceración fermentativa favorece la permeabilidad de las membranas celulares de la uva y permite la migración de parte de los compuestos de interés al mosto/vino contribuyendo a mejorar las características finales del vino. Este proceso puede iniciarse antes de que comience la fermentación alcohólica (maceración prefermentativa) o extenderse después de que finalice esta (maceración postfermentativa). Además, el tipo de compuesto, su localización en la uva, así como la temperatura y la técnica enológica aplicada van a condicionar la velocidad y su grado de extracción.

La extracción de compuestos aromáticos se ve incrementada con el aumento de la etapa de maceración (Sánchez-Palomo et al., 2007; Hjelmeland y Ebeler., 2015), aunque unas condiciones de maceración inadecuadas pueden producir efectos sensoriales negativos en el vino (Ramey et al., 1986; Cheynier et al., 1989). El descenso de temperatura durante la maceración (crio-maceración) favorece la extracción de monoterpenos, mientras que el aumento de temperatura durante la etapa de maceración fermentativa produce una degradación de precursores aromáticos, incrementando el contenido de ésteres, ácidos y ácidos grasos, así como la degradación de terpenos, debido posiblemente a la desnaturalización de enzimas endógenas (Tartian et al., 2017; Geffroy et al., 2018; Oliver-Simancas et al., 2021).

Figura 7. Maceración de vino tinto.



En el caso de los compuestos fenólicos, se ha observado que los antocianos y en menor proporción los taninos del hollejo se difunden al inicio de la maceración. La extracción de estos compuestos es de forma exponencial, para después estabilizarse e incluso descender en la etapa final de la fermentación (Boulton, 1995; Casassa et al., 2013). Por el contrario, los taninos de las semillas difunden más lentamente, ya que requieren de la presencia de alcohol que solubilice la capa lipídica externa de las mismas (Glories y Saucier, 2000; Romero-Cascales, 2008). Por ello, en general, tiempos cortos de maceración (4-8 días) son usados para la elaboración de vinos tintos jóvenes, mientras que tiempos más prolongados de maceración (8-15 días) son necesarios para la obtención de vinos tintos que van a ser sometidos a un proceso de envejecimiento en bodega.

La velocidad de difusión va a depender de la variedad de la uva, condicionada por la composición de sus paredes celulares y su estructura (Bautista-Ortín et al., 2016; Ortega-Regules et al., 2008). En este sentido, la variedad Monastrell, aun presentando una alta concentración de antocianos, ha mostrado una menor extracción y difusión de compuestos fenólicos durante el proceso de elaboración comparada con otras variedades como Cabernet Sauvignon, Syrah e incluso Merlot (Romero-Cascales, 2005), lo que puede estar asociado al mayor grosor y densidad de las paredes celulares de las células del hollejo de dicha variedad (Ortega-Regules et al., 2006).



El grado de maduración de la uva también va a condicionar la extracción de los compuestos de interés durante la etapa de maceración. Así, un incremento del estado de maduración va asociado a una mayor despectinización de las paredes celulares del hollejo favoreciendo una mayor difusión de los compuestos presentes en éste al mosto/vino (Garrido-Bañuelos et al., 2019a; 2019b; 2022), ocurriendo lo contrario en el caso de compuestos de las semillas por un incremento en el estado de lignificación de la cutícula (Bautista-Ortín et al., 2012; Casassa, 2017).

1.6. Importancia de los compuestos fenólicos en la calidad del vino tinto

Los compuestos fenólicos son responsables de color del vino, tanto al inicio, cuando son extraídos de la uva, como a través de reacción de estabilización que ocurren ya en el vino. La estabilidad del color del vino tinto va a depender de la protección de la estructura de catión flavilio de los antocianos y para ello, estos compuestos sufren diferentes tipos de reacción durante el proceso de vinificación y de envejecimiento: reacciones de copigmentación, así como condensación y polimerización.

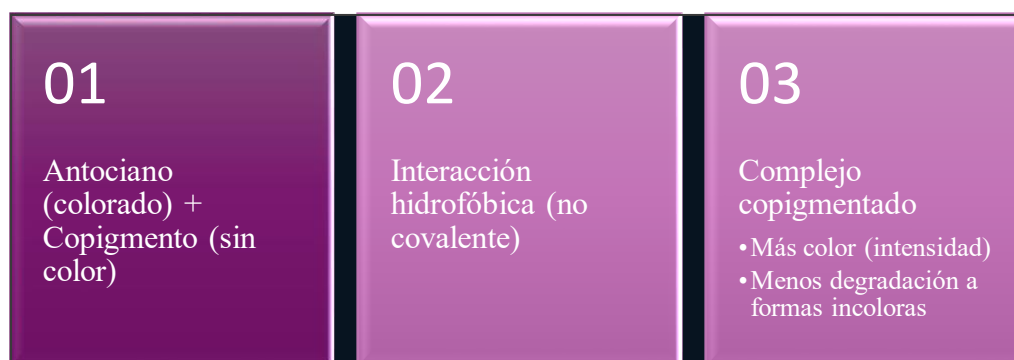
-Copigmentación:

Es un fenómeno en el que los antocianos se unen con otros compuestos fenólicos, llamados copigmentos (que no tienen color por sí mismos) a través de interacciones hidrofóbicas (enlaces no covalentes) formando estructuras en capas lo cual produce un incremento en la intensidad de color del vino (efecto hipercrómico) y también un cambio de tonalidad hacia el color púrpura (efecto batocrómico) (Vivar-Quintana et al., 2002). Según la naturaleza del copigmento, la copigmentación se clasifica en intermolecular, donde el copigmento es una molécula distinta al antociano (flavanoles, flavonoles o derivados hidroxicinámicos, principalmente), intramolecular, con ausencia de copigmento, donde la asociación tiene lugar entre el antociano y una porción de su propia molécula, como puede ser el caso del sustituyente cumarilo de un antociano cumarílico y la autoasociación, donde el copigmento es otra molécula de antociano monomérico. La copigmentación es uno de los principales



mecanismos de estabilización del color en los vinos tintos jóvenes al proteger a los antocianos de la decoloración que generan los cambios de pH y la adición de sulfuroso. Además, también protege a los antocianos de la oxidación permitiendo que permanezcan estables en disolución hasta que formen nuevos pigmentos mucho más estables (Berké & de Freitas, 2005; He et al., 2012).

Figura 8. Esquema de la copigmentación de antocianos.



- Polimerización de antocianos

Las reacciones de polimerización entre antocianos y taninos permite explicar la evolución y estabilización del color de los vinos tintos durante su envejecimiento. Estas pueden ser de forma directa formando pigmentos de color rojo más estable o bien mediada por acetaldehído, donde los pigmentos son de color violeta y más resistentes a la decoloración.

En la condensación Antociano-Tanino (A-T), el tanino reacciona con el antociano en forma de catión generando un flaveno incoloro (A-T) que puede ser oxidado, dando lugar a un pigmento rojo (A⁺-T), manteniéndose un equilibrio entre ambas formas. Estos compuestos presentan resistencia a la decoloración por SO₂. En el caso de la condensación Tanino-Antociano (T-A), los taninos pueden actuar como agentes electrofílicos por la ruptura de los enlaces C-C que sufren en medio ácido, uniéndose al antociano en estado hemiacetal, generando un intermedio incoloro (T-AOH) que se deshidrata en T-A⁺, el cual presenta una tonalidad roja que puede variar en función de la naturaleza del carbocatión y el grado de polimerización. Esta unión es susceptible a la decoloración por SO₂ y a la hidratación



(Ribereau-Gayón et al., 2000) lo que afecta negativamente a su estabilidad y color. Esta condensación se favorece en ausencia de oxígeno y a temperaturas elevadas, lo que explica el cambio de color en los vinos almacenados en botella.

También se ha demostrado que, en el vino, tanto los antocianos como los taninos pueden unirse por medio de una reacción en la que interviene el acetaldehído, dando lugar a productos enlazados por puente de etilo (tanino-etil-tanino; tanino-etil-antociano o antociano-etil-antociano). Estos pigmentos de color púrpura presentan mayor resistencia a la decoloración por SO₂ e hidratación que los antocianos en forma libre. Los antocianos también pueden unirse de una manera similar al acetaldehído, mediante un puente donde el etanal es reemplazado por otro aldehído o bien con el ácido glioxálico procedente de la oxidación del ácido tartárico catalizada por hierro. De estas uniones se forman compuestos incoloros, que rápidamente evolucionan hacia colores amarillos (Fulcrand et al., 1996).

-Polimerización de taninos

En la matriz compleja del vino los taninos son muy reactivos y con el tiempo se producen reacciones de polimerización que tienden a incrementar el tamaño medio de la fracción procianidínica. Esta polimerización puede ser lineal, la cual ocurre en ausencia de oxígeno y a altas temperaturas, donde las procianidinas se hidrolizan y forman enlaces C4-C8 o C4-C6 entre sí, generando polímeros de mayor peso molecular. Estos compuestos son de color amarillo y pueden precipitar según su complejidad. También la polimerización puede ser cruzada, se da a baja temperatura y en presencia de oxígeno, el cual oxida el etanol a etanal favoreciendo la unión entre moléculas. Estos complejos también son de color amarillo, aunque son menos reactivos y con menor astringencia, contribuyendo más a la sensación de volumen en boca (Zamora, 2003).

- Formación de piranoantocianos

Son pigmentos derivados de los antocianos y participan en la estabilización del color del vino tinto. Se forman por reacción de cicloadición de antocianos con metabolitos de bajo peso molecular como el ácido pirúvico, acetaldehído o vinilfenol (Morata et al., 2007) e incluso con compuestos de mayor peso molecular como los taninos (Francia-Aricha et al., 1997). Esto hace que estos pigmentos presenten menor reactividad ante la variación de pH o la

presencia de SO₂, mostrando absorbancias a longitudes de onda menores que los antocianos, contribuyendo al color del vino con una tonalidad roja-anaranjada.

Dentro de estos derivados de los antocianos, las carboxipiranoantocianinas, las cuales son obtenidas por cicloadición del antociano con ácido pirúvico, representan el grupo mayoritario, predominando especialmente la vitisina A (Morata et al., 2003). Las vitisinas de tipo B, formadas por cicloadición con acetaldehído, se encuentran en menor cantidad, destacando entre ellas la vitisina B (Morata et al., 2003). Entre las pinotinas, formadas por la unión con ácidos hidroxicinámicos o 4-vinilfenoles, predomina la pinotina A (Schwarz et al. 2003), mientras que las portisinas, las cuales se constituyen como vinilpiranoantocianinas unidas a flavanoles, solo han sido encontradas en vino de Oporto (Mateus et al., 2005; Oliveira et al., 2007).

1.7 Técnicas enológicas para mejorar la extracción de compuestos fenólicos y aromáticos de la uva al vino

Las técnicas enológicas de las que dispone el enólogo para controlar el proceso de extracción de los compuestos de interés durante la vinificación pueden dividirse en tradicionales y emergentes.

Las técnicas tradicionales implican principalmente un control del tiempo y la temperatura en la etapa de maceración. Durante esta etapa, el aumento del contenido de etanol, CO₂ y la presencia de SO₂, en combinación con la temperatura, incrementan la degradación de las paredes celulares y la difusión de los compuestos fenólicos y aromáticos (Sacchi et al., 2005). Ya que el aumento de temperatura incrementa la permeabilidad celular favoreciendo la extracción, técnicas como la termovinificación y flash-release han sido ampliamente usadas en bodega (Morel-Salmi et al., 2006). La termovinificación implica calentar la uva estrujada y despalillada a una temperatura de 60-70 °C durante un breve periodo de tiempo para posteriormente prensarla y enfriarla (Sacchi et al., 2005). La técnica de Flash-release, consiste en someter la uva a un aumento rápido y controlado de temperatura mediante una inyección de vapor de agua, alcanzando una temperatura de 85-95 °C, siendo después enfriada rápidamente. La aplicación de calor ha mostrado una alta extracción de antocianos



(Geffroy et al., 2015; 2018) y una baja extracción de taninos debido a la ausencia de etanol, obteniendo vinos con bajo potencial para su envejecimiento (Maza et al., 2019a) y un descenso en la concentración de los compuestos aromáticos especialmente debido a una degradación de los compuestos varietales (Geffroy et al., 2015).

Otras técnicas tradicionales implican el uso de baja temperatura (4 °C -10 °C) durante algunos días en la uva estrujada y despalillada, antes del inicio de la fermentación alcohólica (Sacchi et al., 2005). Esto, junto con la adición de SO₂ ha resultado en un incremento en el contenido de antocianos en vinos de variedad Barbera d'Asti (Casassa et al., 2016), en una mayor extracción de proantocianidinas en variedades Aglianico, Primitivo y Nero di Troia (Gambacorta et al., 2019) e incluso un aumento en la formación de ésteres (Gambacorta et al., 2019). Otra forma para descender la temperatura durante la maceración prefermentativa es mediante la adición de nieve carbónica, la cual produce la congelación del líquido intracelular en la uva estrujada y despalillada, incrementando su volumen y alterando la estructura de las paredes celulares favoreciendo la difusión de compuestos de interés al vino (Sacchi et al., 2005; Busse-Valverde, 2013; Casassa et al., 2015).

Otra técnica muy usada en bodega en el proceso de vinificación es la adición de enzimas comerciales según las actividades (poligalacturonasa, pectinmetilesterasa, pectín liasa, celulasa, hemicelulasa y proteasa) presentes en estos cócteles enzimáticos su finalidad en el proceso de elaboración puede ser de extracción de compuestos de interés (Osete-Alcaraz et al., 2019a; Osete-Alcaraz et al., 2022), facilitar la clarificación del vino (Osete-Alcaraz et al., 2019b; Osete-Alcaraz et al., 2022) o incluso intervenir en la crianza sobre lías (Espejo, 2021) al degradar las paredes celulares de la uva o de las levaduras.

Por otro lado, entre las técnicas emergentes usadas en el proceso de elaboración del vino se encuentran la aplicación de altas presiones hidrostáticas, dicha técnica está basada en la aplicación de presiones que oscilan entre 400-600 MPa durante 3-10 minutos (Morata et al., 2017). La aplicación de altas presiones han mostrado ser eficaces para la esterilización microbiana sin aplicar altas temperaturas, no produciendo grandes cambios en sus características organolépticas (Kentish et al., 2011). También pueden favorecer la difusión de compuestos de interés (polifenoles y aromas) al degradar las paredes celulares cuando son aplicadas a la uva. Otra técnica emergente es la aplicación de ultrasonidos (US) de alta



potencia o baja frecuencia, basada en el fenómeno de la cavitación (Chemat y Khan, 2011), es decir, la formación de microburbujas que colapsan e implosionan generando puntos calientes de alta temperatura y presión (~5000 K y más de 10 MPa) con capacidad para formar radicales libres OH (Krasulya et al., 2014) e incluso emitir ondas de alta energía u ondas de choque capaces de degradar las paredes celulares de la uva. Numerosos trabajos llevados a cabo por nuestro grupo de investigación desde el año 2017, como los realizados por Bautista-Ortín et al. (2017), permitieron la aprobación de esta técnica por parte de la OIV en el año 2019 (Organización Internacional de la Viña y el Vino, 2019). Además, la colaboración en los últimos años con grupos de investigación de la Universidad de la Rioja y de la Universidad de Castilla La Mancha han permitido demostrar que esta técnica no solo reduce los tiempos de maceración (Bautista-Ortín et al., 2017; Pérez-Porras et al., 2021, 2022) o incluso sustituir la etapa de maceración en la elaboración de vinos blancos y rosados al favorecer una extracción más rápida de los compuestos fenólicos (Labrador Fernández et al., 2022; 2023; Pérez-Porras et al., 2023a), sino que también incrementa la estabilidad del color los vinos tintos al favorecer una mayor formación de pigmentos estables (Pérez-Porras et al., 2025), también aumenta el contenido de polisacáridos (Martínez-Lapiente et al., 2021, 2022, 2023; Pérez-Porras et al., 2023b) y mejora el perfil aromático del vino (Oliver Simancas et al., 2021; Labrador Fernández et al., 2022, 2023), traducándose en una mayor calidad del vino final.

Para incrementar la transferencia de compuestos de interés desde la uva al vino y mejorar las características cromáticas del vino, se puede utilizar también la técnica de los campos eléctricos pulsados. Esta tecnología se basa en la aplicación de corrientes eléctricas de alto voltaje (kV) de forma intermitente durante cortos periodos de tiempo (ms o μ s) mediante pulsos de tipo exponencial o cuadrado (Álvarez et al., 2006). et al., 2006), lo cual genera un campo eléctrico entre 0,1-50 kV/cm. A partir de un determinado umbral, se produce una alteración en la estructura de las membranas celulares por la polarización dieléctrica y reorientación de los fosfolípidos, produciéndose la formación de poros (electroporación) en la matriz del producto tratado (Tsong, 1991). En el caso de la aplicación de esta técnica a la uva, la electroporación tiene que ser irreversible para que tenga lugar la difusión de los compuestos de interés al mosto-vino durante la etapa de maceración (Maza et al., 2019a, 2019b).



1.8 Impacto del cambio climático en la calidad del vino tinto en zonas áridas y semiáridas

El cambio climático está modificando las condiciones ambientales en todas las zonas vitivinícolas del mundo. Sus efectos pueden ser positivos para los viñedos ubicados en áreas frías, pero para aquellos situados en zonas cálidas y secas, como en la Región de Murcia, las consecuencias pueden ser negativas tanto para el volumen de producción como para la composición de las uvas y la calidad de los vinos.

El aumento de las temperaturas ya ha producido, en muchas regiones vitivinícolas (especialmente en el Mediterráneo), un adelanto en la fenología de la vid, tanto en la brotación, como en el envero y maduración (Jones, 2008). Este adelanto en la cosecha puede causar que la maduración de las uvas se produzca en un periodo más cálido de lo habitual, pudiendo tener efectos negativos sobre la calidad de las uvas y el vino (Webb et al., 2008). Las altas temperaturas hacen que las uvas almacenen azúcares y degraden los ácidos más rápido que en condiciones normales (Jones, 2008; Mira de Orduña, 2010; Fraga et al., 2012), y un desequilibrio entre la madurez industrial y la madurez fenólica como consecuencia de este cambio climático. Por lo tanto, el vino obtenido de estas uvas alcanza un mayor grado alcohólico, menor contenido de antocianos y por ende menor color (Resco et al., 2016; Van Leeuwen & Destrac-Irvine, 2017), ya que las pieles permanecen fenólicamente inmaduras. De hecho, el contenido alcohólico de los vinos ha aumentado de manera constante desde los años ochenta, y hoy en día es normal encontrar vinos tintos con un 15% vol. de etanol.

Otro efecto del cambio climático es el aumento del pH en los vinos por una menor concentración de ácidos orgánicos, fenómeno que en las zonas áridas suele ir acompañado de una elevada concentración de potasio K^+ . Los valores bajos de pH son claves en la estabilidad microbiológica y en el color de los vinos tintos. Mientras que los valores más altos de pH en el vino, pueden poner en riesgo la seguridad microbiana y la estabilidad del vino. Además, Kudo et al. (1998) demostraron que niveles altos de potasio son un factor directo en la causa de paradas de fermentación, especialmente si los niveles de pH son altos.



Por lo tanto, los desafíos derivados del cambio climático representan un reto para los enólogos, quienes buscan estrategias para elaborar vinos equilibrados, con un grado alcohólico y un pH adecuados que permitan mantener un contenido moderado de etanol. Para ello, se están desarrollando tanto prácticas vitivinícolas orientadas a equilibrar el contenido de azúcares, el pH y la madurez fenólica, como técnicas enológicas que faciliten el manejo de uvas menos maduras e incluso descendan los valores de pH en uvas maduras.



Referencias

- Álvarez, I., Condón, S., & Raso, J. (2006). Microbial Inactivation by Pulsed Electric Fields. En J. Raso & V. Heinz (Eds.), *Pulsed Electric Fields Technology for the Food Industry. Food Engineering Series*, 97-129. Springer Science & Business Media.
- Aubert, C., & Chalot, G. (2018). Chemical composition, bioactive compounds, and volatiles of six table grape varieties (*Vitis vinifera* L.). *Food Chemistry*, 240, 524–533.
- Bagheri, B., Bauer, F. F., Cardinali, G., & Setati, M. E. (2020). Ecological interactions are a primary driver of population dynamics in wine yeast microbiota during fermentation. *Scientific Reports*, 10(1), 1–12.
- Bautista-Ortín, A. B., Rodríguez-Rodríguez, P., Gil-Muñoz, R., Jiménez-Pascual, E., Busse-Valverde, N., Martínez-Cutillas, A., López-Roca, J. M., & Gómez-Plaza, E. (2012). Influence of berry ripeness on concentration, qualitative composition and extractability of grape seed tannins. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18(2), 123–130.
- Bautista-Ortín, A. B., Martínez-Cutillas, A., Ros-García, J. M., López-Roca, J. M., & Gómez-Plaza, E. (2016). Improving colour extraction and stability in red wines: The use of maceration enzymes and enological tannins. *International Journal of Food Science and Technology*, 40(8), 867–878.
- Bautista-Ortín, A. B., Jiménez-Martínez, M. D., Jurado, R., Iniesta, J. A., Terrades, S., Andrés, A., & Gómez-Plaza, E. (2017). Application of high-power ultrasounds during red wine vinification. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(6), 1314–1323.
- Berké, B., & De Freitas, V. A. P. (2005). Influence of procyanidin structures on their ability to complex with oenin. *Food Chemistry*, 90(3), 453–460.
- Blouin, J., & Guimberteau, G. (2004a). Principales componentes de la uva y evolución durante la maduración. En J. Vidal (Ed.), *Maduración y Madurez de la uva*, 72-78. Mundi-Prensa.
- Blouin, J., & Guimberteau, G. (2004b). Principales componentes de la uva y evolución



- durante la maduración. En J. Vidal (Ed.), *Maduración y Madurez de la uva*, 88–95. Mundi-Prensa.
- Boido, E., Lloret, A., Medina, K., Carrau, F., & Dellacassa, E. (2002). Effect of β -glycosidase activity of *Oenococcus oeni* on the glycosylated flavor precursors of Tannat wine during malolactic fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(8), 2344–2349.
- Busse-Valverde, Naiara. (2013). Proantocianidinas de Uvas y Vinos de las variedades Monastrell, Cabernet Sauvignon y Syrah. *Tesis Doctoral Universidad de Murcia*. <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/30287/1/Tesis.pdf>
- Busse-Valverde, N. (2013). Proantocianidinas de uvas y vinos de las variedades Monastrell, Cabernet Sauvignon y Syrah. *Tesis Doctoral Universidad de Murcia*. <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/30287/1/Tesis.pdf>
- Busse-Valverde, Naiara, Gómez-Plaza, E., López-Roca, J. M., Gil-Muñoz, R., Fernández-Fernández, J. I., & Bautista-Ortín, A. B. (2010). Effect of different enological practices on skin and seed proanthocyanidins in three varietal wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(21), 11333–11339.
- Cadot, Y., Miñana-Castelló, M. T., & Chevalier, M. (2006). Anatomical, histological, and histochemical changes in grape seeds from *Vitis vinifera* L. cv Cabernet franc during fruit development. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(24), 9206–9215.
- Casassa, L. F., Larsen, R. C., Beaver, C. W., Mireles, M. S., Keller, M., Riley, W. R., Smithyman, R., & Harbertson, J. F. (2013). Impact of extended maceration and regulated deficit irrigation (RDI) in Cabernet Sauvignon wines: characterization of proanthocyanidin distribution, anthocyanin extraction, and chromatic properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(26), 6446–6457.
- Casassa, L. F., Bolcato, E. A., & Sari, S. E. (2015). Chemical, chromatic, and sensory attributes of 6 red wines produced with prefermentative cold soak. *Food Chemistry*, 174, 110–118.
- Casassa, L. F., Bolcato, E. A., Sari, S. E., Fanzone, M. L., & Jofré, V. P. (2016). Combined



- effect of prefermentative cold soak and SO₂ additions in Barbera D'Asti and Malbec wines: Anthocyanin composition, chromatic and sensory properties. *LWT Food Science and Technology*, 66, 134-142.
- Casassa, L. F. (2017). Flavonoid phenolics in red winemaking. En M. Soto-Hernández, M. Palma-Tenango, M. R. García-Mateos (Eds.) *Phenolic Compounds-Natural Sources, Importance and Applications*, 153-196. IntechOpen.
- Chemat, F., & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813-835.
- Cheyrier, V., Rigaud, J., Souquet, J. M., Barillere, J. M., & Moutounet, M. (1989). Effect of pomace contact and hyperoxidation on the phenolic composition and quality of Grenache and Chardonnay wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 40(1), 36-42.
- Ricardo Da-Silva, J., Cheyrier, V., Souquet, J. M., & Moutounet, M. (1991). Procyanidin composition of Chardonnay, Mauzac and Grenache blanc grapes. *Vitis*, 30(4), 245–252.
- Espejo, F. (2021). Role of commercial enzymes in wine production: A critical review of recent research. *Journal of Food Science and Technology*, 58(1), 9-21.
- Fenoll, J., Manso, A., Hellín, P., Ruiz, L., & Flores, P. (2009). Changes in the aromatic composition of the *Vitis vinifera* grape Muscat Hamburg during ripening. *Food Chemistry*, 114(2), 420–428.
- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J. A. (2012). An overview of climate change impacts on European viticulture. *Food and Energy Security*, 1(2), 94–110.
- Francia-Aricha, E. M., Guerra, M. T., Rivas-Gonzalo, J. C., & Santos-Buelga, C. (1997). New anthocyanin pigments formed after condensation with flavanols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(6), 2262-2266.
- Fulcrand, H., Cameira dos Santos, P. ., Sarni-Manchado, P., Cheyrier, V., & Favre, J. (1996). Strucutre of new anthocyanin-derived wine pigments. *Royal Society of Chemistry*, 1,

- Furtado, P., Figueiredo, P., Chaves das Neves, H., & Pina, F. (1993). Photochemical and thermal degradation of anthocyanidins. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 75(1), 113–118.
- Gambacorta, G., Trani, A., Fasciano, C., Paradiso, V. M., & Faccia, M. (2019). Effects of prefermentative cold soak on polyphenols and volatiles of Aglianico, Primitivo and Nero di Troia red wines. *Food Science and Nutrition*, 7(2), 483-491.
- Ganigué, R., Sánchez-Paredes, P., Bañeras, L., & Colprim, J. (2016). Low fermentation pH is a trigger to alcohol production, but a killer to chain elongation. *Frontiers in Microbiology*, 1–11.
- Garrido, M., Sánchez, S., & Bravo, J. (2020). Effect of different winemaking techniques on the aromatic and phenolic composition of red wines. *Food Research International*, 134.
- Geffroy, O., Lopez, R., Serrano, E., Dufourcq, T., Gracia-Moreno, E., Cacho, J., & Ferreira, V. (2015). Changes in analytical and volatile compositions of red wines induced by pre-fermentation heat treatment of grapes. *Food Chemistry*, 187, 243–253.
- Geffroy, O., Lopez, R., Feilhes, C., Violleau, F., Kleiber, D., Favarel, J. L., & Ferreira, V. (2018). Modulating analytical characteristics of thermovinified Carignan musts and the volatile composition of the resulting wines through the heating temperature. *Food Chemistry*, 257, 7-14.
- Giménez-Bañón, M. J., Moreno-Olivares, J. D., Paladines-Quezada, D. F., Bleda-Sánchez, J. A., Fernández-Fernández, J. I., Parra-Torrejón, B., Delgado-López, J. M., & Gil-Muñoz, R. (2022). Effects of methyl jasmonate and nano-methyl jasmonate treatments on Monastrell wine volatile composition. *Molecules*, 27(9)2878.
- Glories, Y., & Saucier, C. (2000). Tannin evolution from grape to wine. Effects on wine taste. En: Proceedings of the ASEV 50th Anniversary Annual Meeting JM Rantz, 353-355, Seattle, WA, USA.
- Gómez-Plaza, E., Gil-Muñoz, R., Carreño-Espín, J., Fernández-López, J. A., & Martínez-



- Cutillas, A. (1999). Investigation on the aroma of wines from seven clones of Monastrell grapes. *European Food Research and Technology*, 209(3–4), 257–260.
- Guaita, M., Petrozziello, M., Panero, L., Tsolakis, C., Motta, S., & Bosso, A. (2017). Influence of early seeds removal on the physicochemical, polyphenolic, aromatic and sensory characteristics of red wines from Gaglioppo cv. *European Food Research and Technology*, 243(8), 1311–1322.
- Gunata, Z., Bitteur, S., Brillouet, J.-M., Bayonove, C., & Cordonnier, R. (1988). Sequential enzymatic hydrolisis of potentially aromatic glycosides from grape. *Carbohydrate Research*, 184, 139–149.
- Gutiérrez, A. R., Epifanio, S., Garijo, P., López, R., & Santamaría, P. (2001). Killer yeasts: incidence in the ecology of spontaneous fermentation. *American Journal of Enology and Viticulture*, 52(4), 352–356.
- Hanlin, R. L., Hrmova, M., Harbertson, J. F., & Downey, M. O. (2010). Review: Condensed tannin and grape cell wall interactions and their impact on tannin extractability into wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(1), 173–188.
- Hjelmeland, A. K., & Ebeler, S. E. (2015). Glycosidically bound volatile aroma compounds in grapes and wine: A Review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 66(1), 1–11.
- Jones, G. V. (2008). Cambio climático: observaciones, pronósticos e implicaciones generales en viticultura y producción vinícola. *ACE: Revista de Enología*, 93, 1–19.
- Kentish, S., & Ashokkumar, M. (2011). The physical and chemical effects of ultrasound. En H. Feng, G. V. Barbosa-Cánovas, & J. Weiss (Eds.), *Ultrasound technologies for food and bioprocessing*, 1–12. Springer.
- Krasulya, O., Shestakov, S., Bogush, V., Potoroko, I., Cherepanov, P., & Krasulya, B. (2014). Applications of sonochemistry in Russian food processing industry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(6), 2112–2116.
- Labrador Fernández, L., Pérez-ç, P., Díaz-Maroto, M. C., Gómez-Plaza, E., Pérez-Coello, M. S., & Bautista-Ortín, A. B. (2023). The technology of high-power ultrasound and

- its effect on the color and aroma of rosé wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(13), 6616–6624.
- Labrador Fernández, L., Díaz-Maroto, M. C., Pérez Porras, P., Bautista-Ortín, A. B., Alañón, M. E., Gómez-Plaza, E., & Pérez-Coello, M. S. (2022). Power ultrasound treatment of Viognier grapes as a tool to increase the aromatic potential of wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(7), 3613–3620.
- Lafon-Lafourcade, S., Baudoin, C., & Péchier, P. (2017). The impact of grape stem inclusion on the aroma profile and astringency of wine. *Vitis*, 56(3), 161–168.
- Lee, J., Kennedy, J. A., Devlin, C., Redhead, M., & Rennaker, C. (2008). Effect of early seed removal during fermentation on proanthocyanidin extraction in red wine: A commercial production example. *Food Chemistry*, 107(3), 1270–1273.
- Li, Y., Héloir, M. C., Zhang, X., Geissler, M., Trouvelot, S., Jacquens, L., Henkel, M., Su, X., Fang, X., Wang, Q., & Adrian, M. (2019). Surfactin and fengycin contribute to the protection of a *Bacillus subtilis* strain against grape downy mildew by both direct effect and defence stimulation. *Molecular Plant Pathology*, 20(8), 1037–1050.
- Martínez-Cutillas, A., Ruiz García, L., & Fernández-Fernández, J. I. (2018). Material vegetal de Monastrell. In Cofradía del Vino REino de la Monastrell (Ed.), *El libro de la Monastrell*, 45–49.
- Martínez-Lapuente, L., Guadalupe, Z., Ayestarán, B., Pérez-Porras, P., Bautista-Ortín, A. B., & Gómez-Plaza, E. (2021). Ultrasound treatment of crushed grapes: Effect on the must and red wine polysaccharide composition. *Food Chemistry*, 356, 129669. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129669>
- Martínez-Lapuente, L., Guadalupe, Z., Ayestarán, B., Pérez-Porras, P., Bautista-Ortín, A. B., & Gómez-Plaza, E. (2022). Effects of combining high power ultrasound and enological enzymes on the composition of polysaccharides in red wine. *LWT - Food Science and Technology*, 170, 114060. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114060>
- Martínez-Lapuente, L., Guadalupe, Z., Higuera, M., Ayestarán, B., Pérez-Porras, P., Bautista-Ortín, A. B., & Gómez-Plaza, E. (2023). Effect of pre-fermentative



- treatments on polysaccharide composition of white and rosé musts and wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(7), 1928–1937.
- Mateus, N., Oliveira, J., González-Paramás, A. M., Santos-Buelga, C., & de Freitas, V. (2005). Screening of portisins (vinylpyranoanthocyanin pigments) in Port Wine by LC/DAD-MS. *Food Science and Technology International*, 11(5), 353–358.
- Maza, M. A., Martínez, J. M., Hernández-Orte, P., Cebrián, G., Sánchez-Gimeno, A. C., Álvarez, I., & Raso, J. (2019b). Influence of pulsed electric fields on aroma and polyphenolic compounds of Garnacha wine. *Food and Bioproducts Processing*, 116, 249-257.
- Maza, M., Álvarez, I., & Raso, J. (2019a). Thermal and non-thermal physical methods for improving polyphenol extraction in red winemaking. *Beverages*, 5(3), 47.
- Mira de Orduña, R. (2010). Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International*, 43(7), 1844–1855.
- Monagas, M., Bartolomé, B., & Gómez-Cordovés, C. (2005). Updated knowledge about the presence of phenolic compounds in wine. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(2), 85–118.
- Morata, A.; Gómez-Cordovés, M.C.; Suberviola, J.; Bartolomé, B.; Colomo, B.; Suárez, J.A. (2003). Adsorption of anthocyanins by yeast cell walls during the fermentation of red wines. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 51, 4084-4088.
- Morata, A., Gómez-Cordovés, C., Colomo, B., & Suárez, J. A. (2007). Formation of vinylphenolic pyranoanthocyanins by selected yeasts fermenting red grape musts supplemented with hydroxycinnamic acids. *International Journal of Food Microbiology*, 116(1), 144–152
- Morata, A., Loira, I., Vejarano, R., González, C., Callejo, M. J., & Suárez-Lepe, J. A. (2017). Emerging preservation technologies in grapes for winemaking. *Trends in Food Science and Technology*, 67, 36–43.
- Morel-Salmi, C., Souquet, J. M., Bes, M., & Cheynier, V. (2006). Effect of flash release treatment on phenolic extraction and wine composition. *Journal of Agricultural and*



Food Chemistry, 54(12), 4270–4276.

Moreno-Olivares, J. D., Giménez-Bañón, M. J., Paladines-Quezada, D. F., Gómez-Martínez, J. C., Cebrián-Pérez, A., Fernández-Fernández, J. I., Bleda-Sánchez, J. A., & Gil-Muñoz, R. (2020). Aromatic characterization of new white wine varieties made from Monastrell grapes grown in South-Eastern Spain. *Molecules*, 25(17).

Murcia, C. A. de la R. de. (2024). *Región de Murcia: Agricultura, Ganadería y Pesca*. Dop.Vinos.

[https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=34701&IDTIPO=100&RASTRO=c214\\$m1185](https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=34701&IDTIPO=100&RASTRO=c214$m1185)

Oliveira, J., de Freitas, V., Silva, A. M., & Mateus, N. (2007). Reaction between hydroxycinnamic acids and anthocyanin– pyruvic acid adducts yielding new portisins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(15), 6349–6356.

Oliver Simancas, R., Díaz-Maroto, M. Moleculesn Pardo, M. E., Pérez Porras, P., Bautista-Ortín, A. B., Gómez-Plaza, E., & Pérez-Coello, M. S. (2021). Effect of power ultrasound treatment on free and glycosidically-bound volatile compounds and the sensorial profile of red wines. *Molecules*, 26(4), 1193. <https://doi.org/10.3390/molecules26041193>

Organización Internacional de la Viña y el Vino. (2019). Resumen de las resoluciones aprobadas en 2019 por la 17. *Asambles general de la OIV en Ginebra*. 1–5.

Organización Internacional de la Viña y el Vino. (2023a). Acidification by cation exchanger treatment II.3.1.1.5 Acidification by cation exchange treatment Definition : Objectives : In *International code of oenological practices*, 134–135.

Organización Internacional de la Viña y el Vino. (2023b). *Base de Datos (OIV)*. <https://www.oiv.int/es/what-we-do/data-discovery-report?oiv>

Organización Internacional de la Viña y el Vino. (2023c). *Estadística de Los Países*. <https://www.oiv.int/es/what-we-do/country-report?oiv>

Organización Internacional de la Viña y el Vino. (2020). Producción de vino en 2020. *Informe, Primeras Estimaciones*, 1–8.



- Ortega-Regules, A., Romero-Cascales, I., Ros-García, J. M., López-Roca, J. M., & Gómez-Plaza, E. (2006). A first approach towards the relationship between grape skin cell-wall composition and anthocyanin extractability. *Analytica Chimica Acta*, 563(1-2), 26-32.
- Ortega-Regules, A., Romero-Cascales, I., Ros-García, J. M., Bautista-Ortín, A. B., López-Roca, J. M., Fernández-Fernández, J. I., & Gómez-Plaza, E. (2008). Anthocyanins and tannins in four grape varieties (*Vitis vinifera* L.). Evolution of their content and extractability. *OENO One*, 42(3), 147-156.
- Osete-Alcaraz, A. (2022). Compuestos fenólicos del vino: origen e importancia. En Técnicas bioquímicas y físicas para limitar la interacción o promover la desorción de polifenoles ligados a las paredes celulares de la uva. *Tesis Doctoral Universidad de Murcia*.
<https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/124485/1/ANDREA%20OSETTE%20TESIS%20CDfirmada.pdf>
- Payan, C., Gancel, A. L., Jourdes, M., Christmann, M., & Teissedre, P. L. (2023). Wine acidification methods: a review. *Oeno One*, 57(3), 113–126.
- Pérez-Porras, P. (2023). Aplicación de tecnologías no térmicas (ultrasonidos y microondas) en Enología. *Tesis Doctoral Universidad de Murcia*.
<https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/135932>
- Pérez-Porras, P., Gómez-Plaza, E., García, R., Hidalgo, M., Moreno Olivares, J.D., Bautista-Ortín, A.B. (2022). PrefermentativeGrape Microwave Treatment as a Tool for Increasing Red Wine Phenolic Content and Reduce Maceration Time. *Applied Sciences*. 12. 8164. 10.3390/app12168164.
- Pérez-Porras, P., Gómez-Plaza, E., Osete-Álcaraz, A., Martínez-Pérez, P., Jurado, R., & Bautista-Ortín, A. B. (2023). The effect of ultrasound on Syrah wine composition as affected by the ripening or sanitary status of the grapes. *European Food Research and Technology*, 249(3), 641-651.
- Pérez-Porras, P., Bautista-Ortín, A.B., Osete-Alcaraz, L., Carrasco-Palazón, M.J., Jurado, R., Gómez-Plaza, E. (2025). High-power ultrasounds as a tool for the formation of stable



- pigments during the aging of red wines. *Food and Bioprocess Technology*, 18, 7749–7761.
- Pérez Magariño, S. G., & González San José, M. L. (2006). Formation of ethyl esters during alcoholic fermentation: Their role in wine aroma. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 22(54), 8737–8746.
- Prieur, C., Rigaud, J., Cheynier, V., & Moutounet, M. (1994). Oligomeric and polymeric procyanidins from grape seeds. *Phytochemistry*, 36(3), 781–784.
- Ramey, D., Bertrand, A., Ough, C. S., Singleton, V. L., & Sanders, E. (1986). Effects of skin contact temperature on Chardonnay must and wine composition. *American Journal of Enology and Viticulture*, 37(2), 99-106.
- Resco, P., Iglesias, A., Bardají, I., & Sotés, V. (2016). Exploring adaptation choices for grapevine regions in Spain. *Regional Environmental Change*, 16(4), 979–993.
- Ribéreau-Gayón, P., Glories, Y., Maujean, A., & Dubourdie, D. (1999). *HandBook of Enology Volume 2*. Wiley Editorial.
- Ribereau-Gayón, P., Glories, Y., Maujean, A., & Dubourdieu, D. (2000). Phenolic Compounds. In *Hanbook of Enology Volume 2* (129–183). John Wiley and Sons Ltd.
- Ribéreau-Gayón, P., Glories, Y., Maujean, A., & Dubourdieu, D. (2000). Varietal aroma. In *Hanbook of Enology Volume 2* (187–203). Wiley Editorial.
- Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., & Dubourdieu, D. (2006). Alcohol and Other Volatile Compounds. In *Handbook of Enology Volume 2* (51–65). John Wiley and Sons Ltd.
- Romero Cascales, M. I. (2008). Extracción de compuestos fenólicos de la uva al vino. Papel de los enzimas de maceración. *Tesis Doctoral, Universidad de Murcia*. <https://hdl.handle.net/10201/2117>
- Romero-Cascales, I., Ortega-Regules, A., López-Roca, J. M., Fernández-Fernández, J. I., & Gómez-Plaza, E. (2005). Differences in anthocyanin extractability from grapes to wines according to variety. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56(3), 212-



- Sacchi, K. L., Bisson, L. F., & Adams, D. O. (2005). A Review of the Effect of Winemaking Techniques on.pdf. *American Journal of Enology and Viticulture*, 48(November 2004), 197–206. <http://www.ajevonline.org/content/56/3/197.short>
- Sánchez-Palomo, E. S., González-Viñas, M. A., Díaz-Maroto, M. C., Soriano-Pérez, A., & Pérez-Coello, M. S. (2007). Aroma potential of Albillo wines and effect of skin-contact treatment. *Food Chemistry*, 103(2), 631–640. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.033>
- Schwarz, M., Jerz, G., & Winterhalter, P. (2003). Isolation and structure of Pinotin A, new anthocyanin derivative from Pinotage wine. *VITIS-Journal of Grapevine Research*, 42(2), 105–106.
- Souquet, J. M., Cheynier, V., Brossaud, F., & Moutounet, M. (1996). Polymeric proanthocyanidins from grape skins. *Phytochemistry*, 43(2), 509–512.
- Styger, G., Prior, B., & Bauer, F. F. (2011). Wine flavor and aroma. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 38(9), 1145–1159.
- Tartian, A. C., Cotea, V. V., Niculaua, M., Zamfir, C.-I., Colibaba, C. L., & Moroşanu, A.-M. (2017). The influence of the different techniques of maceration on the aromatic and phenolic profile of the Busuioacă de Bohotin wine. *BIO Web of Conferences*, 9, 02032. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20170902032>
- Torchio, F., Giacosa, S., Vilanova, M., Río Segade, S., Gerbi, V., Giordano, M., & Rolle, L. (2016). Use of response surface methodology for the assessment of changes in the volatile composition of Moscato bianco (*Vitis vinifera* L.) grape berries during ripening. *Food Chemistry*, 212, 576–584.
- Tsong, T. Y. (1991). Electroporation of cell membranes. *Biophysical Journal*, 60(2), 297–306.
- Tufariello, M., Fragasso, M., Pico, J., Panighel, A., Castellarin, S. D., Flamini, R., & Grieco, F. (2021). Influence of *non-saccharomyces* on wine chemistry: A focus on aroma-related compounds. *Molecules*, 26(3), 1–22.



- Van Leeuwen, C., & Destrac-Irvine, A. (2017). Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. *Oeno One*, 51(2), 147–154.
- VanderWeide, J., Del Zozzo, F., Nasrollahiazar, E., Kennedy, J. A., Peterlunger, E., Rustioni, L., & Sabbatini, P. (2022). Influence of freezing and heating conditions on grape seed flavan-3-ol extractability, oxidation, and galloylation pattern. *Scientific Reports*, 12(1), 1–9.
- Vivar-Quintana, A. M., Santos-Buelga, C., & Rivas-Gonzalo, J. C. (2002). Anthocyanin derived pigments and colour of red wines. *Analytica Chimica Acta*, 458(1), 147–155.
- Webb, L. B., Whetton, P. H., & Barlow, E. W. R. (2008). Climate change and winegrape quality in Australia. *Climate Research*, 36(2), 99–111.
- Winterhalter, P., Sefton, M. A., & Williams, P. J. (1990). Volatile C13 Norisoprenoid compounds in riesling wine are generated from multiple precursors. *American Journal of Enology and Viticulture*, 41(4), 277–283.
- Wu, Y., Zhang, W., Yu, W., Zhao, L., Song, S., Xu, W., Zhang, C., Ma, C., Wang, L., & Wang, S. (2019). Study on the volatile composition of table grapes of three aroma types. *Lwt Food Science and Technology*, 115, 108450. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108450>
- Zamora, F. (2003). Elaboración y crianza del vino tinto: aspectos científicos y técnicos. AMV & Mundi-Prensa: Madrid.
- Zhao, H., Ju, Y., Jiang, J., Min, Z., Fang, Y., & Liu, C. (2019). Downy mildew resistance identification and SSR molecular marker screening of different grape germplasm resources. *Scientia Horticulturae*, 252, 212–221. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.025>



Objetivos



El objetivo general de esta Tesis Doctoral ha sido evaluar diferentes técnicas enológicas orientadas a la obtención de vinos tintos jóvenes de la variedad Monastrell. de alta calidad y bajo grado alcohólico, elaborados en zonas áridas y semiáridas bajo un contexto de cambio climático. Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de la eliminación total de semillas en vinos elaborados con uvas inmaduras de Monastrell con el fin de obtener vinos con menor grado alcohólico, pero manteniendo una calidad organoléptica comparable a la de vinos procedentes de uvas con un nivel de madurez óptimo.
- Estudiar el efecto de la eliminación parcial de semillas en uvas inmaduras, evaluando asimismo su combinación con la aplicación de ultrasonidos y la adición de raspón con el fin de incrementar la calidad final del vino y reducir su contenido alcohólico.
- Determinar el efecto del tratamiento de mostos con resinas de intercambio catiónico como método físico de acidificación alternativo al uso de ácido tartárico, analizando su impacto en la composición, estabilidad y calidad del vino.

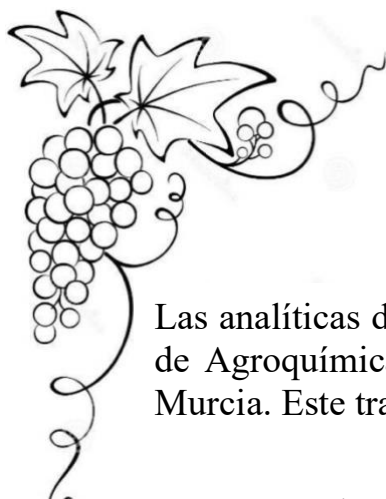


•

Resultados



Capítulo 1. Equilibrio entre la madurez fenólica y el grado alcohólico: Impacto de la eliminación total de semillas en los vinos tintos



Las analíticas de los vinos fueron realizadas en el laboratorio del grupo de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos de la Universidad de Murcia. Este trabajo fue publicado en la revista **Oeno one**.

Pérez Mendoza, A. L., Martínez-Moreno, A., Gómez-Plaza, E., & Bautista-Ortín, A. B. (2025). Balancing phenolic maturity and alcohol content: The impact of seed removal on red wines. *OENO One*, 59(1), 169–181. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2025.59.1.8348>

Resumen

El cambio climático está afectando significativamente la maduración de la uva tinta en regiones de clima cálido, provocando un desequilibrio entre la maduración tecnológica y la fenólica, debido al retraso en la acumulación de compuestos fenólicos. Esto obliga a las bodegas a vendimiar uvas con una alta concentración de azúcares, obteniendo vinos con un elevado contenido de compuestos fenólicos, pero también con un alto grado alcohólico. Sin embargo, la demanda actual de los consumidores es de vinos con menor contenido de alcohol.

Una solución para reducir el grado alcohólico podría ser la elaboración de vinos a partir de uvas menos maduras, aunque en este caso la presencia de semillas inmaduras podría aumentar la astringencia y el amargor del vino. La eliminación de las semillas en estas uvas inmaduras podría ser una buena alternativa, aunque no debe olvidarse que los taninos son fundamentales para asegurar la estabilidad del color del vino mediante la polimerización con antocianos, y la reducción de la concentración de estos compuestos podría afectar el potencial de envejecimiento del vino.

Por ello, el objetivo de este trabajo es evaluar cómo afecta la eliminación total de las semillas en uvas inmaduras de la variedad Monastrell a la concentración de compuestos fenólicos y aromáticos, al color y a la calidad sensorial de los vinos tras seis meses de envejecimiento en botella. Los resultados mostraron que la eliminación de las semillas en uvas inmaduras redujo significativamente la astringencia y mejoró la calidad sensorial del vino sin afectar negativamente la intensidad del color. Estos hallazgos sugieren que la eliminación total de semillas en uvas inmaduras puede ser una estrategia enológica valiosa para mitigar los desafíos que plantea el cambio climático y elaborar vinos Monastrell con menor contenido alcohólico sin comprometer su calidad, ofreciendo al mercado el tipo de vino demandado por el consumidor.

Introducción

El cambio climático está modificando las condiciones ambientales en todas las zonas vitivinícolas del mundo. Sus efectos pueden ser positivos para los viñedos situados en zonas frías, pero para aquellos ubicados en zonas cálidas y secas, como en la Región de Murcia, las consecuencias pueden ser negativas, tanto en el volumen de producción como en la calidad de las uvas y los vinos.

Las altas temperaturas aceleran la acumulación de azúcares y la degradación de los ácidos en las uvas en comparación con las tasas observadas bajo condiciones climáticas mediterráneas típicas (Mira de Orduña, 2010; Martínez-Moreno et al., 2023). Además, dichas temperaturas provocan un desequilibrio entre la madurez tecnológica y la madurez fenólica de las uvas. En consecuencia, los vinos resultantes tienden a presentar mayor grado alcohólico, menor contenido de ácidos orgánicos (principalmente málico), un pH más elevado y una concentración inferior de antocianos, con la consiguiente reducción de la intensidad colorante, ya que los hollejos, y especialmente las semillas, permanecen fenólicamente inmaduros (Resco et al., 2016; Van Leeuwen & Destrac/Irvine, 2017).

De hecho, el contenido alcohólico medio de los vinos tintos ha aumentado de forma constante desde los años ochenta, siendo hoy en día normal encontrar vinos tintos con un 15% de etanol. La concentración de alcohol en el vino es un factor clave en la calidad de este, ya que el etanol es esencial para la crianza, la estabilidad y las propiedades organolépticas del vino (Pickering et al., 1998). Sin embargo, un alto contenido de etanol también presenta una serie de inconvenientes técnicos en la elaboración de vinos de calidad como: i) posibles paradas de la fermentación alcohólica, con un desarrollo lento de la actividad, ii) inhibición o complicaciones en la fermentación maloláctica, debido a la menor actividad de *Oenococcus oeni*. Lo que retrasa la estabilización de los vinos y aumenta algunas características sensoriales desfavorables, iii) menor volatilidad de algunos compuestos aromáticos, pudiendo conducir a una menor complejidad aromática de estos vinos. A esto se suman numerosos inconvenientes para el consumidor, como una sensación excesiva de calor durante la cata, falta de sabor afrutado y frescura (posiblemente debido a la mayor solubilidad de los componentes volátiles del vino, que afecta al umbral de detección y a la distribución en la fase gaseosa (Robinson et al., 2009), un contenido calórico excesivo, efectos negativos del

alcohol sobre la salud humana, controles estrictos para la conducción de vehículos y aumentos de precio en aquellos países cuyos impuestos están vinculados al contenido de etanol en la bebida.

Por todas estas razones, los consumidores de vino demandan cada vez con mayor frecuencia vinos con un menor contenido alcohólico. Mora et al. (2021) concluyeron que, los consumidores jóvenes mostraron una preferencia por vinos tintos suaves (descritos como con una menor relación entre el índice de polifenoles totales/polisacáridos), con aromas florales y afrutados y bajo contenido alcohólico. Los estudios de Deroover et al. (2021), junto con el informe sectorial de Alimarket Gran Consumo (2020), identificaron una serie de tendencias emergentes en el sector vitivinícola, entre las cuales destaca el incremento en la demanda de vinos con menor graduación alcohólica. Esta preferencia se enmarca en un cambio de comportamiento del consumidor, motivado por una creciente preocupación por la salud y la búsqueda de opciones percibidas como más saludables dentro del segmento de bebidas alcohólicas.

Una estrategia enológica potencial para disminuir el contenido alcohólico en el vino es cosechar uvas con un menor contenido de azúcar (y por tanto menos maduras). No obstante, producir vino de alta calidad con estas uvas requiere resolver el problema de la inmadurez fenólica, especialmente en las semillas, que aportarán al vino una alta astringencia y amargor (Keller, 2020). Sin embargo, es importante considerar que los taninos desempeñan un papel clave en la estabilización del color del vino a través de su capacidad para formar complejos estables con los antocianos mediante reacciones de polimerización (Singleton & Trousdale, 1992), y esta reducción en su concentración puede afectar al potencial de envejecimiento del vino.

En un estudio previo, Bautista-Ortín et al. (2014) elaboraron un vino Monastrell a partir de uvas completamente maduras eliminando la totalidad de las semillas antes de la maceración fermentativa. Los resultados mostraron que la ausencia de taninos de semillas no afectó a la concentración de antocianos, y la concentración de taninos fue un 40% inferior a la de un vino control elaborado con semillas. El estudio de copigmentación (CA) reveló que ambos vinos exhibieron una magnitud comparable de fenómenos de copigmentación; sin embargo, la intensidad colorante fue superior en el vino que contenía taninos de semillas, lo que sugiere



que dichos compuestos contribuyen de manera significativa a la estabilización y expresión del color en el vino. Además, el panel sensorial evaluó los vinos elaborados sin semillas como más afrutados, menos astringentes y con una calidad general superior a los vinos control. Sin embargo, estos vinos presentaban un alto contenido de alcohol, lo cual no se ajusta a las preferencias actuales de los consumidores por vinos con menor graduación alcohólica (Sekhon & Sun, 2024). Por ello, en este trabajo se elaboraron vinos tintos variedad Monastrell a partir de uvas inmaduras con eliminación total de semillas, se evaluaron y compararon sus características fenólicas, cromáticas y sensoriales respecto a los vinos elaborados con uvas inmaduras y maduras en presencia de semillas tras 6 meses de envejecimiento en botella, para verificar si esta práctica enológica puede ser una alternativa para mitigar los desafíos que plantea el cambio climático y producir vinos de Monastrell con menor grado alcohólico sin comprometer su calidad.

Materiales y Métodos

1. Sitio del viñedo y muestras de uva

Las uvas tintas Monastrell fueron cosechadas de un viñedo en el Valle del Aceniche, situado dentro de la D.O Bullas, en la región de Murcia, España. Las cepas de Monastrell, plantadas en 1990, están espaciadas a 2,5 por 3,0 metros (1333 cepas por hectárea). El viñedo se encuentra a una altitud de 850 metros sobre el nivel del mar y experimenta veranos calurosos e inviernos muy fríos, con nevadas ocasionales. La temperatura anual promedio fue de 15,9 °C y la precipitación anual de 336 mm. Las cepas se cultivan utilizando un sistema de conducción en vaso y se cultivan bajo condiciones de secano (un método de cultivo en el que las cepas dependen exclusivamente de la lluvia natural, sin ningún tipo de riego).

2. Vinificaciones

Se utilizaron uvas Monastrell con diferentes grados de madurez (12 y 14 °Bé) de la misma parcela. Una vez cosechadas, las uvas fueron transportadas a la bodega experimental de la Universidad de Murcia y se guardaron en una cámara frigorífica durante 12 horas.



Posteriormente, las uvas fueron estrujadas, despalilladas y distribuidas en depósitos de acero inoxidable de 10 litros. El tratamiento de eliminación de semillas (SS12) se realizó manualmente solo en uvas inmaduras. Los otros dos procesos de vinificación que implicaban la presencia de semillas se llevaron a cabo con uvas inmaduras (C12) y maduras (C14). Todas las vinificaciones se realizaron por triplicado. La fermentación de todos los vinos tuvo lugar a 22 °C utilizando la levadura de fermentación Viniferm CT007 (Agrovin SA, Alcázar de San Juan, Ciudad Real, España) a una dosis de 25 g/hL. También se adicionaron Actimax Plus, 25 g/hL, (Agrovin SA, Alcázar de San Juan, Ciudad Real, España) y Actimax Natura 25 g/hL, (Agrovin SA, Alcázar de San Juan, Ciudad Real, España) para evitar paradas de fermentación.

Durante los 7 días de maceración, el sombrero se sumergió dos veces al día. Transcurrido este tiempo, el vino fue descubado y la pasta prensada. Los mostos flor y prensa se mezclaron y se reintrodujeron en el mismo depósito. Después de completar la fermentación alcohólica (FA), los vinos fueron trasegados, sulfitados y estabilizados en frío durante un mes. Tras este período, los vinos fueron trasegados nuevamente, sulfitados y embotellados en botellas de 375 mL. Los análisis de los parámetros cromáticos, compuestos fenólicos y aromáticos y sensoriales se realizaron después de 6 meses de envejecimiento en botella.

3. Determinaciones analíticas

3.1 Parámetros físico-químicos

Los vinos fueron caracterizados midiendo el contenido alcohólico, pH y acidez según los métodos de la Comunidad Europea (Regulation Commission, 1990).

3.2 Análisis espectrofotométricos

Los parámetros cromáticos fueron evaluados utilizando un espectrofotómetro UV/visible (modelo Helios Alpha de Thermo Spectronic, Cambridge, Reino Unido). La intensidad de color (IC) del vino no diluido se determinó como la suma de las absorbancias a 620 nm, 520 nm y 420 nm según Glories (1984).



3.3 Determinación de taninos por HPLC

La determinación de la concentración y composición de taninos (grado medio de polimerización, porcentaje de galoilación y porcentaje de epigallocatequina) se realizó mediante el método de fluoroglucinolisis según Busse-Valverde et al. (2010). El equipo utilizado fue un sistema de HPLC Waters 2695 (Waters, Milford, MA) acoplado a un detector diodo array 2996 Waters y una columna Atlantis dC18 (250 x 4,6 mm, 5 μ m) protegida con una pre-columna del mismo material (250 x 4,6 mm, 5 μ m). El volumen de inyección fue de 10 μ L. Se utilizó una mezcla de agua/ácido fórmico (98:2 v/v) como disolvente A y acetonitrilo/disolvente A (80:20 v/v) como disolvente B, a flujo de 0,8 mL/min y una temperatura en el horno de 30 °C. Las condiciones de elución fueron las siguientes: 100% A durante 5 min, gradiente lineal de 100 a 90% A en 30 min y gradiente de 90 a 80% en 30 min, seguido de lavado y reequilibrado de la columna.

3.4 Determinación de compuestos fenólicos por HPLC

La separación de antocianos y vitisinas en vino se llevó a cabo en un cromatógrafo líquido Waters Acquity Arc (Waters, Milford, MA, EE.UU.) equipado con un detector diodo-array Waters 2998 (Waters, Milford, MA, EE.UU.). La columna utilizada fue Poroshell120 EC-C18 (150 mm x 2,1 mm, 2,7 μ m, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EE.UU.). La composición de las fases móviles fue 1% de ácido fórmico en Agua (A) y 1% de ácido fórmico en una mezcla 1:1 (v/v) de metanol:acetonitrilo (B). El gradiente de elución comenzó con 100% A durante 2 min, aumento lineal de 0 a 15% B en 33 min, de 15 a 21% B en 15 min y de 21 % a 30% B en 20 min seguido de lavado y reequilibrado de la columna. El horno de la columna se mantuvo a 55 °C, el flujo fue de 0,3 mL/min y el volumen de inyección fue de 5 μ L. La identificación y cuantificación de los compuestos se realizó a 520 nm utilizando cloruro de malvidina-3-glucósido como estándar externo.



3.5 Determinación de compuestos volátiles

Para el análisis de los compuestos volátiles se añadieron 10 mL de vino a un vial de vidrio de 30 mL. A este vial se le añadieron 4 gramos de cloruro de sodio y 25 μ L de un estándar interno (2-octanol, Sigma-Aldrich). El vial fue sellado herméticamente con una tapa recubierta de PTFE. La solución se homogenizó con un agitador vórtex (IKA, Königswinter, Alemania). La determinación cromatográfica de los compuestos volátiles se realizó utilizando un sistema de cromatografía de gases HP 5890 GC acoplado a un espectrómetro de masas simple cuadrupolar HP 5972 (Agilent Technologies, Palo Alto, CA). En total, se inyectaron 2 μ L del extracto en modo Split. Para el análisis se utilizó una columna capilar HP InnoWax (50 m x 0,32 mm, 0,25 μ m Agilent Technologies, Palo Alto, CA). La temperatura del inyector se programó a 40 °C durante 5 min, se incrementó hasta 225 °C a una velocidad de 3 °C/min y luego se mantuvo a esta temperatura durante 5 min. El detector funcionó en modo de ionización por impacto electrónico (70 eV), con un rango de adquisición (m/z) de 50 a 200 uma. La identificación de los picos se realizó comparando los espectros de masas con una librería (Wiley 6.0, Chichester, Reino Unido) y comparando los índices de retención calculados con los publicados en la bibliografía. Los datos semicuantitativos se obtuvieron calculando el área relativa del pico (señal total de iones o la de fragmentos seleccionados en el caso de algunos compuestos coeluidos) en relación con la de estándar interno.

3.6 Análisis sensorial

Los vinos fueron sometidos a una evaluación sensorial utilizando un análisis descriptivo. Antes de realizar el análisis sensorial, los vinos procedentes de las tres réplicas independientes de cada tratamiento fueron homogeneizados mediante mezclado, con el fin de obtener una muestra representativa y minimizar posibles variaciones entre replicaciones. Participaron 12 miembros del personal con amplia experiencia en análisis sensorial de vinos. Estos realizaron varias sesiones de formación para establecer y definir descriptores adecuados para la evaluación formal de los vinos. Las muestras de vino se presentaron en alícuotas de 40 mL codificadas y servidas en copas estándar de vino. Las

evaluaciones se realizaron en una sala controlada mantenida a 20 °C libre de olores, ruidos, distracciones y con la cabina iluminada con luz blanca.

4. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el paquete Statgraphics Centurion XVI.3 (Statpoint Technologies, Inc., The Plains, Va, EE.UU.). Los parámetros físico-químicos, los compuestos fenólicos y aromáticos, y los datos sensoriales fueron procesados mediante análisis de varianza (ANOVA) ($p < 0,05$). Las diferencias entre medias fueron comparadas mediante el método de TUKEY.



Resultados y Discusión

1. Parámetros físico-químicos

Las características fisicoquímicas (porcentaje de alcohol, pH y acidez total) de los vinos elaborados se muestran en la Tabla 1. Los vinos elaborados con uvas de 12°Bé, tanto con semillas (C12) como sin semillas (SS12), no presentaron diferencias significativas en sus parámetros físico químicos. Ambos vinos tuvieron un contenido alcohólico promedio de 12,4% vol, mientras que los vinos elaborados con uvas de 14° Bé (C14), mostraron un mayor contenido alcohólico de 14,6%. Los valores de pH fueron 3,43 en el (C12) y 3,58 en (C14). En cuanto a la acidez total, los vinos (C12) y (SS12) presentaron una acidez promedio de 5,90 g/L, mientras que el vino (C14) tuvo una acidez total de 5,59 g/L.

Tabla 1. Características físico-químicas de vinos tintos Monastrell.

Tratamiento	Alcohol (%vol)	pH	Acidez total (g/L)
C12	12,3 a	3,43 a	5,87 b
SS12	12,5 a	3,42 a	5,94 b
C14	14,6 b	3,58 b	5,59 a

C12: vino elaborado con uvas de 12 °Bé con semillas, SS12: vino elaborado con uvas de 12 °Bé sin semillas, C14: vino elaborado con uvas de 14 °Bé con semilla. Letras diferentes en de la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

2. Concentración y composición de taninos

La concentración total de taninos y su composición fueron determinadas mediante el método de fluoroglucinolisis. La tabla 2 muestra el contenido de taninos condensados (TT), el grado medio de polimerización (GPm), el porcentaje de subunidades de (-)-epigallocatequina (%EGC) y grado de galoilación (%Gal). Los vinos C14 presentaron la mayor concentración de taninos y GPm, con valores de 539 mg/L y 7,57 respectivamente. Como era de esperar, la menor concentración de taninos se encontró en el vino SS12. Este vino mostró el mayor



porcentaje de EGC (18,9%), mientras que el vino C12 obtuvo el porcentaje más bajo de esta subunidad EGC (15,2%). Además, el vino C12 presentó un mayor porcentaje de galoilación (proporción de subunidades flavanólicas galoiladas con respecto a las subunidades flavanólicas totales) en comparación con los vinos C14 y SS12 con valores de 3,43%, 2,61% y 1,87% respectivamente. Estos resultados indican que hay una mayor difusión de taninos procedentes de las semillas en el vino C12 que en el C14, probablemente debido a la menor lignificación de las semillas inmaduras, lo que facilita una mejor difusión de los taninos desde las semillas al mosto/vino. Por el contrario, la mayor lignificación en semillas maduras dificulta más su liberación (Cadot et al., 2006).

Estos resultados coinciden con la diferente composición de taninos en el hollejo y en las semillas, previamente reportadas en la bibliografía (Busse-Valverde et al., 2010; Rodríguez Montealegre et al., 2006). La elevada concentración de taninos en el vino C14 probablemente se debe al mayor contenido de etanol, lo que puede potenciar la solubilización de las paredes celulares del hollejo y la cutícula de las semillas, facilitando la difusión de taninos al vino. Canals et al. (2005) también observaron un incremento de compuestos fenólicos y taninos en vinos elaborados con uva más madura. Además, los taninos derivados de semillas poseen un menor grado medio de polimerización (GPm) comparado con aquellos procedentes del hollejo (Guaita et al., 2017). Por tanto, la eliminación de semillas en el vino SS12 resultó en una reducción en el contenido de taninos y un aumento en el GPm en comparación con el vino C12. Este aumento significativo en él también ha sido reportado previamente en vinos elaborados con una eliminación temprana de semillas en variedades tintas como Merlot (Lee et al., 2008) o Galioppo (Guaita et al., 2017). Además, los taninos de semillas suelen presentar un mayor grado de galoilación en comparación con los taninos procedentes del hollejo (Souquet et al., 1996), por lo que su eliminación durante la vinificación dio lugar a una reducción significativa en el porcentaje de galoilación en los taninos presentes en los vinos SS12.

Es importante destacar que la concentración y composición de los taninos juegan un papel crucial en las características sensoriales de los vinos tintos (Gawel, 1998), influyendo significativamente en su calidad (Gómez-Plaza et al., 2016). Sin embargo, una alta concentración de taninos, junto con elevados niveles de galoilación y valores bajos de GPm

puede acentuar las percepciones de astringencia y amargor (Vidal et al., 2003). No obstante, estos efectos pueden verse atenuados por la presencia de (-)-epigallocatequina en la estructura de los taninos, ya que este flavanol influye en sus propiedades químicas y sensoriales, modulando su reactividad y percepción organoléptica (Chira et al., 2009; Fernández et al., 2007).

Tabla 2. Concentración y composición de taninos determinados por el método de fluoroglucinolisis en vinos tintos Monastrell.

Tratamiento	TT (mg/L)	GPm	%EGC	%Gal
C12	334 b	3,69 a	15,2 a	3,43 c
SS12	203 a	4,31 b	18,9 b	1,87 a
C14	539 c	7,57 c	16,3 ab	2,61 b

TT: taninos totales, GPm: grado medio de polimerización, % EGC: porcentaje de (-)-epigallocatequina, %Gal: porcentaje de galoilación. C12: vino elaborado con uvas de 12 ºBé con semillas, SS12: vino elaborado con uvas de 12 ºBé sin semillas, C14: vino elaborado con uvas de 14 ºBé con semilla. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

3. Concentración de antocianos y vitisinas

La Tabla 3 muestra la concentración de antocianos libres y poliméricos, así como vitisinas en los vinos elaborados de forma tradicional con uvas vendimiadas en diferentes etapas de maduración C12, C14 y vinos elaborados sin semilla SS12 determinados mediante HPLC. En cuanto al contenido total de antocianos, no se observaron diferencias significativas entre los vinos C12 y SS12, mientras que el vino C14 presentó la mayor concentración de estos compuestos. Estudios previos tampoco observaron diferencias significativas en la concentración de antocianos cuando se eliminaron las semillas en vinos de la variedad Gaglioppo (Guaita et al., 2017) o Monastrell (Bautista-Ortín et al., 2014) respecto a cuando éstas estuvieron presentes. Sin embargo, en vinos de la variedad Merlot se observó un aumento en el contenido de antocianos tras la eliminación de las semillas (Lee et al., 2008), aunque en este caso dicha eliminación se realizó cuando el contenido de azúcar durante la

fermentación estaba cerca de los 10° Brix. La mayor acumulación de antocianos en el hollejo, junto con una degradación progresiva de las paredes celulares a medida que la uva madura, explicaría la mayor presencia de antocianos en los vinos (C14). Este patrón también ha sido reportado en estudios previos realizados por Bautista-Ortín et al. (2005) en la variedad Monastrell.

El vino C14 exhibió el mayor contenido de antocianos libres 92,1 mg/L, seguido de C12, mientras que el SS12 presentó la concentración más baja. En todos los vinos analizados, la malvidina-3-glucósido fue el antociano predominante. No obstante, otros antocianos, como la malvidina-(6-acetil)-3-glucósido, peonidina-(6-cumaril)-3-glucósido y malvidina-(6-cumaril)-3-glucósido no fueron detectados en el vino SS12, aunque estaban presentes en los vinos C12 y C14, lo que sugiere que la eliminación de semillas podría haber influido en la extracción o estabilización de estos compuestos minoritarios.

En relación con las vitisinas, la eliminación total de semillas incrementó significativamente la concentración de estos compuestos en el vino, duplicando casi los valores mostrados por el vino C12 y superando en un 32% la concentración de vitisinas encontradas en el vino C14. En todos los vinos, la malvidina-3-glucósido-pirúvico (Vitisina A) fue la vitisina predominante, alcanzando valores de 10,1 mg/L para SS12, 7,2 mg/L para C14 y 5,5 mg/L para C12. Además, se observó una mayor formación de vitisina B en el vino C12 en comparación con el C14, aunque fue el vino elaborado sin semillas (SS12) el que obtuvo la mayor concentración de este compuesto. Por último, el vino SS12 tuvo la mayor concentración de antocianos poliméricos no observándose diferencias significativas entre los otros dos vinos elaborados C14 y C12.

La ausencia de taninos procedentes de las semillas en el vino SS12, en comparación con C12 y C14, podría favorecer una mayor disponibilidad de antocianos libres para participar en reacciones de condensación, tanto con otros compuestos fenólicos como entre ellos mismos, promoviendo la formación de pigmentos de bajo peso molecular, como las vitisinas, así como de pigmentos poliméricos.



Tabla 3. Antocianos y vitisinas (mg/L) medidos por HPLC en vinos tintos Monastrell.

Compuestos	C12	SS12	C14
Antocianos Libres			
Del-3-glucósido	6,16 b	3,75 a	5,66 b
Cian-3-glucósido	2,58 c	0,98 a	2,05 b
Pet-3-glucósido	9,22 b	5,71 a	9,48 b
Peond-3-glucósido	7,35 b	3,63 a	8,02 d
Malv-3-glucósido	46,10 b	26,77 a	58,31 c
Malv-(6-acetil)-3-glucósido	2,43 b	0 a	2,95 c
Peond-(6-coumaril)-3-glucósido	0,39 b	0 a	0,64 c
Malv-(6-coumaril)-3-glucósido	3,72 b	0 a	5,02 c
Σ Antocianos Libres	77,98 b	40,87 a	92,16 c
Vitisinas			
Del-3- glucósido -ácido pirúvico	0,19 a	0,50 b	0,14 a
Cian-3- glucósido - ácido pirúvico	0,15 a	0,18 a	0,12 a
Pet-3- glucósido - ácido pirúvico	0,84 a	1,48 b	0,92 b
Peond-3- glucósido - ácido pirúvico	0,55 a	1,08 b	0,63 a
Malv-3- glucósido - ácido pirúvico (Vitisina A)	5,55 a	10,11 c	7,29 b
Malv-3- glucósido-acetaldehído (Vitisina B)	0,89 b	1,08 c	0,57 a
Malv-6-acetil-3-glucósido-ácido pirúvico	0,10 a	0,33 c	0,23 b
Malv-6-coumaril-3-glucósido-ácido pirúvico	0,97 a	1,75 c	1,30 b
Σ Vitisinas	9,2 a	16,5 c	11,3 b
Antocianos Poliméricos	25,5 b	41,8 c	24,1 a
Σ Antocianos	112,8 a	99,3 a	127,5 b

Delf: delfinidina, Cian: cianidina, Pet: petunidina, Peond: peonidina, Malv: malvidina. C12: vino elaborado con uvas de 12 °Bé con semillas, SS12: vino elaborado con uvas de 12 °Bé sin semillas, C14: vino elaborado con uvas de 14 °Bé con semilla. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

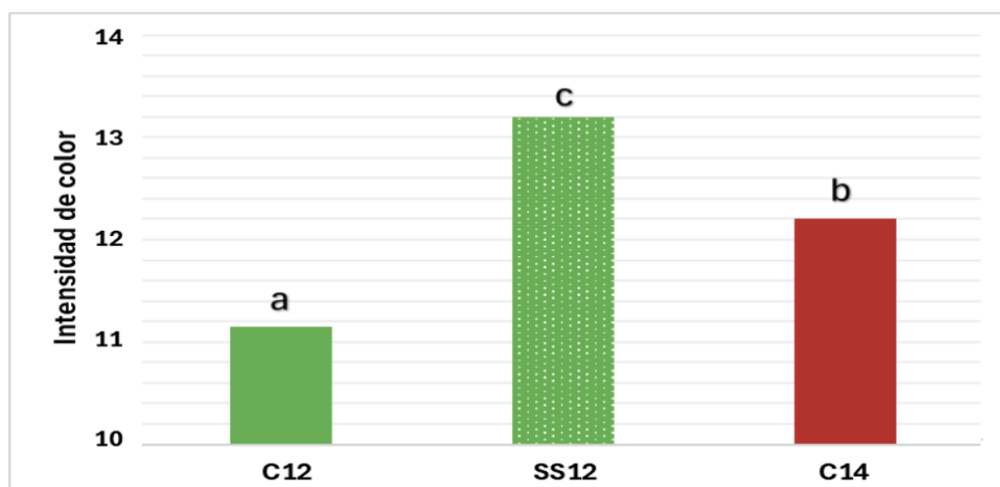
Este comportamiento ha sido previamente descrito por Bindon et al. (2014a). Estos autores indicaron que, si bien, estos pigmentos formados exclusivamente por antocianos son más susceptibles a su decoloración por bisulfito que aquellos que incluyen taninos en su estructura, contribuyen de manera significativa a la absorbancia a 520 nm al pH del vino y además, podrían ser intermediarios importantes la formación de pigmentos poliméricos en el vino, lo cual incluye reacciones de condensación posteriores con taninos y/o otros polifenoles. Bindon et al. (2014b) reportaron que la cinética de formación de pigmentos poliméricos durante el envejecimiento no depende necesariamente de la concentración de taninos, ya que la evolución de la pigmentación por taninos fue similar en los vinos con bajas y altas de antocianos y taninos. Sin embargo, algunos estudios sugieren que una mayor extracción de taninos del hollejo de la uva durante la vinificación puede conducir a una concentración más alta de taninos en el vino y favorecer la formación de pigmentos poliméricos (Cortell et al., 2005; Cortell et al., 2007; Ristic et al., 2010). Por tanto, más estudios habría que llevar a cabo para entender la influencia de la ausencia de taninos de semillas en la incorporación de taninos del hollejo en los pigmentos poliméricos.

4. Intensidad de color

La intensidad de color de los vinos se muestra en la figura 1. El vino elaborado con eliminación de semillas antes de la maceración SS12 mostró la mayor intensidad de color (13,2), seguido por el vino obtenido a partir de uvas más maduras C14. En cambio, la menor intensidad de color se observó en el vino control producido con semillas de uvas menos maduras C12. El aumento en la intensidad de color en el vino SS12 podría atribuirse a su mayor contenido en pigmentos de baja y alta polimerización, los cuales contribuyen significativamente en el color del vino, mejorando su intensidad de color (Cheng *et al.*, 2023). Aunque Lee et al. (2008) no encontraron diferencias visuales notables en el color entre los vinos control y aquellos con eliminación de semillas, si observaron que los vinos control eran ligeramente más claros (mayor valor de L*) y más anaranjados. Sin embargo, los resultados del presente estudio demuestran diferencias claras en la intensidad de color, destacando el

efecto combinado de la eliminación de semillas y del grado de madurez de las uvas en la elaboración del vino.

Figura 1. Intensidad de color medida espectrofotométricamente en vinos tintos Monastrell.



C12: vino elaborado con uvas de 12 °Bé con semillas, SS12: vino elaborado con uvas de 12 °Bé sin semillas, C14: vino elaborado con uvas de 14 °Bé con semilla. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

5. Compuestos aromáticos

Hasta la fecha, son pocos los estudios publicados sobre el perfil aromático de los vinos tintos con eliminación de semillas. Los compuestos volátiles identificados fueron clasificados en 5 grupos químicos: alcoholes, ésteres, aldehídos, cetonas, terpenos y ácidos (Tabla 4).

La concentración de compuestos volátiles en todos los vinos estudiados fue más alta para los grupos de alcoholes y ésteres, seguida por los ácidos. El vino C14, elaborado con uvas más maduras, presentó concentraciones más altas de alcoholes, ésteres y terpenos, mientras que el vino C12, elaborado con uvas menos maduras, tuvo concentraciones más altas de aldehídos cetonas y ácidos. Como era de esperar, el vino de uvas más maduras C14 mostró concentraciones más altas de compuestos aromáticos, ya que la maduración de la uva conlleva un incremento en el contenido de alcoholes, ésteres y terpenos (Torchio et al., 2016).



Estos resultados son muy similares a aquellos reportados por Gu et al. (2022), quienes observaron incrementos similares en la concentración de alcoholes, ésteres y terpenos a medida que uvas tintas de diferentes variedades maduraban. Además, aunque el vino C14 mostró un aumento significativo de ésteres en comparación con el vino C12, el vino sin semillas SS12 presentó una concentración aún mayor de ésteres que su control C12 y se asemejó estrechamente al vino C14 de uvas más maduras. Los ésteres, conocidos por sus aromas frutales, se producen durante la fermentación mediante la esterificación de alcoholes y ácidos grasos por el metabolismo de las levaduras (Yilmaztekin et al., 2015). El aumento observado en los ésteres en el vino SS12 puede atribuirse a la mayor concentración de ácidos grasos presentes en este vino. Los ácidos grasos son precursores bien establecidos de los ésteres aromáticos, y concentraciones más altas de ácidos grasos conducen a una mayor formación de ésteres (Bertrand, 1981). Además, la eliminación manual de semillas durante el tratamiento SS12 probablemente facilitó la liberación de ácidos grasos en el vino, promoviendo aún más la síntesis de ésteres. Investigaciones previas han demostrado que diferentes técnicas enológicas pre-fermentativas influyen significativamente en las concentraciones de ácidos grasos en el mosto (Chen et al., 2023). En particular, estos estudios reportaron un aumento notable en los niveles de ácidos grasos cuando se emplearon técnicas enológicas como el despalillado y estrujado. Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que la eliminación de semillas durante la vinificación de uvas menos maduras (caracterizadas por un menor contenido de azúcares y, por tanto, un menor potencial alcohólico) pueden mejorar los aromas afrutados, lo que a su vez mejora la calidad del vino. La mayor concentración de ácidos en los vinos C12 en comparación con los vinos C14 puede deberse a variaciones en la composición del mosto entre ambos, reflejando diferencias en la madurez de las uvas y el perfil químico (Schreirer, 1979).



Tabla 4. Principales compuestos volátiles en los vinos tintos Monastrell.

	C12	SS12	C14
Alcoholes	11306±14210ab	9399±1148a	13211±1761b
Ésteres	9248±407a	10482±657b	10977±633b
Aldehídos y Cetonas	158±31b	136±30a	154±29ab
Terpenos	132±12a	13±12a	167±14b
Ácidos	625±625c	576±115b	469±82a
Σ Compuestos volátiles	21471±5531a	20635±5307a	24980±6529b

C12: vino elaborado con uvas de 12 °Bé con semillas, SS12: vino elaborado con uvas de 12 °Bé sin semillas, C14: vino elaborado con uvas de 14 °Bé con semilla. La concentración de compuestos volátiles se expresa en µg equivalentes de 2-octanol/L. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

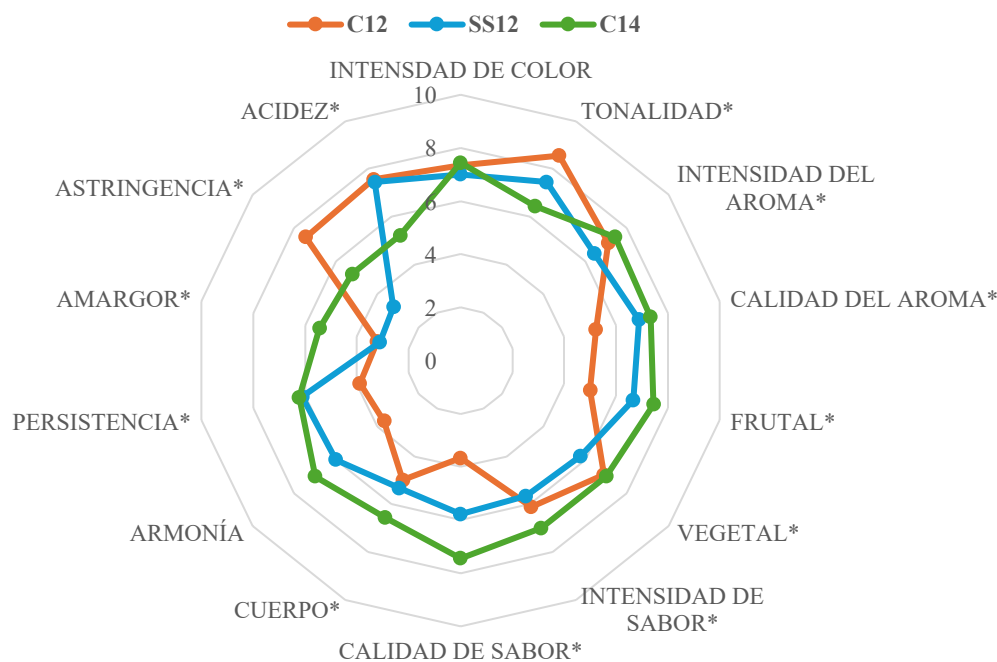
6. Análisis sensorial

La evaluación sensorial de los vinos sin semillas se muestra en la Figura 2. En ella se observaron diferencias significativas en todos los descriptores excepto en la intensidad de color. Los vinos SS12 obtuvieron puntuaciones más altas en tonalidad en comparación con el vino C14, por lo que los catadores percibieron un color más violeta/púrpura en el vino sin semillas. Los vinos C14 y SS12 recibieron puntuaciones significativamente más altas en calidad de aroma en comparación con el vino C12. Esta tendencia se extendió a atributos como calidad en boca y la persistencia. En términos de descriptores aromáticos, el vino SS12 obtuvo la mayor puntuación en aromas a fruta y la más baja en aromas vegetales, que a menudo se asocian con vinos tintos de menor calidad. Resultados similares a los nuestros fueron reportados por Cliff et al. (2012), quienes observaron que la adición de extractos de semillas de uva durante la vinificación suprimía significativamente los aromas frutales en los vinos resultantes. Además, este aumento en la puntuación de aroma a fruta es consistente con el aumento significativo de ésteres en el vino SS12, alcanzando valores similares a los obtenidos por el vino C14 (Tabla 3). En cuanto a la descripción del sabor, el vino SS12 mostró las puntuaciones más bajas de astringencia, seguido por C14. El vino SS12 también recibió una puntuación significativamente menor en amargor en comparación con el vino C14, lo que concuerda con estudios previos realizados en vinos tintos con eliminación de semillas



(Bautista-Ortín et al., 2014; Roser Canals et al., 2008). La reducción del amargor en vinos de uvas inmaduras probablemente se debe a niveles más bajos de fenoles galoilados, que interactúan más intensamente con los receptores del sabor amargo debido a su naturaleza lipofílica (VanderWeide et al., 2022), así como a niveles elevados de (-)-epigallocatequina en la estructura de los taninos (Chira et al., 2009; Fernández et al., 2007). Por último, el vino SS12 mejoró significativamente las puntuaciones de persistencia y armonía, alcanzando valores comparables a los del vino C14. En general, la eliminación de semillas durante la vinificación tuvo un impacto marcado en los atributos sensoriales de los vinos resultantes, mejorando particularmente las percepciones de aroma y sabor, lo que condujo a una experiencia sensorial más equilibrada y placentera.

Figura 2. Análisis sensorial de los vinos tintos Monastrell.



*C12: vino elaborado con uvas de 12 °Bé con semillas, SS12: vino elaborado con uvas de 12 °Bé sin semillas, C14: vino elaborado con uvas de 14 °Bé con semilla. *muestra diferencias significativas ($p < 0,05$).*

Conclusiones

Este estudio demuestra que la eliminación de semillas durante la vinificación influye significativamente el color, el contenido fenólico y el perfil sensorial del vino. El vino elaborado sin semillas SS12 presentó una menor concentración de taninos, un mayor contenido de (-)-epigallocatequina y una menor percepción de astringencia y amargor en comparación con los vinos elaborados con semillas C12 y C14. La ausencia de semillas favoreció el desarrollo de pigmentos poliméricos y vitisinias, mejorando la intensidad del color del vino SS12, probablemente como resultado de una mayor disponibilidad de antocianos y su implicación en reacciones de copigmentación y condensación durante la vinificación y crianza. Asimismo, la eliminación de semillas promovió una mayor expresión aromática a fruta, respaldados por el mayor contenido de ésteres, creando una experiencia sensorial comparable a la de los vinos elaborados con uvas totalmente maduras C14. Esta técnica también mejoró la persistencia y armonía del vino en boca, lo que sugiere que la eliminación de semillas podría mejorar el balance y la calidad de los vinos elaborados con uvas inmaduras. Estos hallazgos subrayan la importancia de adaptar las técnicas de vinificación a la madurez y condiciones de las uvas, siendo la eliminación de semillas ofreciendo una estrategia potencial para mejorar la calidad del vino cuando se utilizan uvas aún no completamente maduras. Aunque se necesitan más investigaciones para explorar el papel de los taninos y antocianos o de antocianos solo en la formación de pigmentos poliméricos y cómo evolucionan los perfiles aromáticos de estos vinos con el tiempo. Además, dado que la eliminación completa de semillas es una técnica que presenta desafíos significativos en bodegas comerciales, investigaciones futuras deberían explorar soluciones innovadoras, incluida el desarrollo de equipos específicos, para hacer que este proceso sea más viable y eficiente.



Referencias

- Bautista-Ortín, A. B., Busse-Valverde, N., López-Roca, J. M., Gil-Muñoz, R., & Gómez-Plaza, E. (2014). Grape seed removal: Effect on phenolics, chromatic and organoleptic characteristics of red wine. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 34–41.
- Bautista-Ortín, A. B., Fernández-Fernández, J. I., López-Roca, J. M., & Gómez-Plaza, E. (2006). The effect of grape ripening stage on red wine color. *Oeno One*, 40(1), 15–24.
- Bertrand, A. (1981). Formation des substances volatiles au cours de la fermentation alcoolique. Incidence sur la qualité du vin. *Colloque de la Société Française de Microbiologie*, 251-267.
- Bindon, K. A., McCarthy, M. G., & Smith, P. A. (2014b). Development of wine colour and non-bleachable pigments during the fermentation and ageing of (*Vitis vinifera* L. cv.) Cabernet Sauvignon wines differing in anthocyanin and tannin concentration. *LWT Food Science and Technology*, 59, 923–932.
- Bindon, K., Kassara, S., Hayasaka, Y., Schulkin, A., & Smith, P. (2014a). Properties of wine polymeric pigments formed from anthocyanin and tannins differing in size distribution and subunit composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(47), 11582-11593
- Busse-Valverde, N., Gómez-Plaza, E., López-Roca, J. M., Gil-Muñoz, R., Fernández-Fernández, J. I., & Bautista-Ortín, A. B. (2010). Effect of different enological practices on skin and seed proanthocyanidins in three varietal wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(21), 11333–11339.
- Cadot, Y., Miñana-Castelló, M. T., & Chevalier, M. (2006). Anatomical, histological, and histochemical changes in grape seeds from *Vitis vinifera* L. cv Cabernet franc during fruit development. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(24), 9206–9215.



- Canals, R., del Carmen Llaudy, M., Canals, J. M., & Zamora, F. (2008). Influence of the elimination and addition of seeds on the colour, phenolic composition and astringency of red wine. *European Food Research and Technology*, 226, 1183-1190.
- Canals, R., Llaudy, M. C., Valls, J., Canals, J. M., & Zamora, F. (2005). Influence of ethanol concentration on the extraction of color and phenolic compounds from the skin and seeds of tempranillo grapes at different stages of ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4019–4025.
- Chen, X., Liu, S., Yuan, J., Zhu, Y., Yuan, C., & Ren, Y. (2023). Application of different pre-fermentation techniques in the winemaking using Guankou table grape (*Vitis vinifera* × *Vitis labrusca*). *Food Bioscience*, 51, 102272.
- Cheng, S., Wu, T., Gao, J., Han, X., Huang, W., You, Y., & Zhan, J. (2023). Color myth: anthocyanins reactions and enological approaches achieving their stabilization in the aging process of red wine. *Food Innovation and Advances*, 2(4), 255-271.
- Chira, K., Schmauch, G., Saucier, C., Fabre, S., & Teissedre, P. L. (2009). Grape variety effect on proanthocyanidin composition and sensory perception of skin and seed tannin extracts from Bordeaux wine grapes (Cabernet Sauvignon and Merlot) for two consecutive vintages (2006 and 2007). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(2), 545–553.
- Cliff, M. A., Stanich, K., Edwards, J. E., & Saucier, C. T. (2012). Adding grape seed extract to wine affects astringency and other sensory attributes. *Journal of Food Quality*, 35(4), 263–271.
- Cortell, J. M., Halbleib, M., Gallagher, A. V., Righetti, T. L., & Kennedy, J. A. (2005). Influence of vine vigor on grape (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir) and wine proanthocyanidins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(14), 5798-5808.
- Cortell, J. M., Halbleib, M., Gallagher, A. V., Righetti, T. L., & Kennedy, J. A. (2007). Influence of vine vigor on grape (*Vitis vinifera* L. Cv. Pinot Noir) anthocyanins. 2.



- Anthocyanins and pigmented polymers in wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(16), 6585-6595.
- Deroover, K., Siegrist, M., Brain, K., McIntyre, J., & Bucher, T. (2021). A scoping review on consumer behaviour related to wine and health. *Trends in Food Science and Technology*, 112 (March), 559–580.
- Souquet, J., Cheyner, V.I.R., Brossaud, F., & Moutounet, M. (1996). Polymeric proanthocyanidins from grape skins. *Phytochemistry* 43(2), 509–512.
- Fernández, K., Kennedy, J. A., & Agosin, E. (2007). Characterization of *Vitis vinifera* L. Cv. Carménère grape and wine proanthocyanidins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(9), 3675–3680.<https://doi.org/10.1021/jf063232b>
- Gawel, R. (1998). Red wine astringency: A review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 4(2), 74–95.
- Glories, Y. (1984). La couleur des vins rouges. 2e partie: mesure, origine et interprétation. *OENO One*, 18(4), 253.
- Gómez-Plaza, E., Olmos, O., & Bautista-Ortín, A. B. (2016). Tannin profile of different Monastrell wines and its relation to projected market prices. *Food Chemistry*, 204, 506–512.
- Gu, X., Zhang, X., Wang, K., Lv, X., Li, R., & Ma, W. (2022). GC–MS Untargeted analysis of volatile compounds in four red grape varieties (*Vitis vinifera* L. cv) at different maturity stages near harvest. *Foods*, 11(18), 2804.
- Guaïta, M., Petrozziello, M., Panero, L., Tsolakis, C., Motta, S., & Bosso, A. (2017). Influence of early seeds removal on the physicochemical, polyphenolic, aromatic and sensory characteristics of red wines from Gaglioppo cv. *European Food Research and Technology*, 243(8), 1311–1322.



- Keller, M. (2020). The science of grapevines. Academic press. 1st ed.; Keller, M., Ed.; Elsevier Academic Press: London, UK, 2010; p. 400
- Lee, J., Kennedy, J. A., Devlin, C., Redhead, M., & Rennaker, C. (2008). Effect of early seed removal during fermentation on proanthocyanidin extraction in red wine: A commercial production example. *Food Chemistry*, 107(3), 1270–1273.
- Martínez-Moreno, A., Martínez-Pérez, P., Bautista-Ortín, A. B., & Gómez-Plaza, E. (2023). Use of unripe grape wine as a tool for reducing alcohol content and improving the quality and oenological characteristics of red wines. *OENO One*, 57(1), 109–119.
- Mira de Orduña, R. (2010). Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International*, 43(7), 1844–1855.
- Mora, M., Dupas de Matos, A., Vázquez-Araújo, L., Puente, V., Hernando, J., & Chaya, C. (2021). Exploring young consumer's attitudes and emotions to sensory and physicochemical properties of different red wines. *Food Research International*, 143(March).
- Pickering, G. J., Heatherbell, D. A., & Barnes, M. F. (1998). Optimizing glucose conversion in the production of reduced alcohol wine using glucose oxidase. *Food Research International*, 31(10), 685–692.
- Regulation Comission, E. (1990). Commission Regulation ECC. *Commission Regulation (EEC) No 2676/90*. Determining Community Methods for the Analysis of Wines.
- Resco, P., Iglesias, A., Bardají, I., & Sotés, V. (2016). Exploring adaptation choices for grapevine regions in Spain. *Regional Environmental Change*, 16(4), 979–993.
- Ristic, R., Bindon, K., Francis, L. I., Herderich, M. J., & Iland, P. G. (2010). Flavonoids and C-13-norisoprenoids in *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz: relationships between grape and wine composition, wine colour and wine sensory properties. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(3), 369-388.



- Robinson, A. L., Ebeler, S. E., Heymann, H., Boss, P. K., Solomon, P. S., & Trengove, R. D. (2009). Interactions between wine volatile compounds and grape and wine matrix components influence aroma compound headspace partitioning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(21), 10313-10322.
- Rodríguez Montealegre, R., Romero Peces, R., Chacón Vozmediano, J. L., Martínez Gascueña, J., & García Romero, E. (2006). Phenolic compounds in skins and seeds of ten grape *Vitis vinifera* varieties grown in a warm climate. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 687–693.
- Schreirer, P. (1979). Flavor composition of wines: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 12, 59–111
- Sekhon, K., & Sun, Q. (2024). Opportunities and challenges for low-alcohol wine. En F. Cosme, F. M. Nunes, & L. Filipe-Ribeiro (Eds.), *Global Warming and the Wine Industry - Challenges, Innovations and Future Prospects* (Capítulo 4). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1004462>
- Singleton, V. L., & Trousdale, E. K. (1992). Anthocyanin-tannin interaction explaining differences in polymeric phenols between white and red wines. *American Journal Enology and Viticulture*, 43, 63–70.
- Torchio, F., Giacosa, S., Vilanova, M., Río Segade, S., Gerbi, V., Giordano, M., & Rolle, L. (2016). Use of response surface methodology for the assessment of changes in the volatile composition of Moscato bianco (*Vitis vinifera* L.) grape berries during ripening. *Food Chemistry*, 212, 576–584.
- Van Leeuwen, C., & Destrac-Irvine, A. (2017). Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. *Oeno One*, 51(2), 147–154.
- VanderWeide, J., Del Zozzo, F., Nasrollahiazar, E., Kennedy, J. A., Peterlunger, E., Rustioni, L., & Sabbatini, P. (2022). Influence of freezing and heating conditions on grape seed flavan-3-ol extractability, oxidation, and galloylation pattern. *Scientific Reports*, 12(1), 1–9.



- Vidal, S., Francis, L., Guyot, S., Marnet, N., Kwiatkowski, M., Gawel, R., Cheynier, V., & Waters, E. J. (2003). The mouth-feel properties of grape and apple proanthocyanidins in a wine-like medium. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(6), 564–573.
- Yang C.X., Wang Y.J., Wu B.H., Fang J.B., Li S.H. (2011). Volatile compounds evolution of three table grapes with different flavour during and after maturation. *Food Chemistry*.128:823–830.
- Yilmaztekin, M., Kocabey, N., & Hayaloglu, A. A. (2015). Effect of maceration time on free and bound volatiles of red wines from cv. karaoğlan (*Vitis vinifera* L.) grapes grown in Arapgir, Turkey. *Journal of Food Science*, 80(3). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12767>



Capítulo 2. Vinificación de uvas tintas inmaduras: impacto de la eliminación parcial de semillas, ultrasonidos y raspón en la calidad del vino



Las analíticas de los vinos fueron realizadas en el laboratorio del grupo de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos de la Universidad de Murcia.



Resumen

El calentamiento global está alterando significativamente la maduración de la uva tinta en regiones de clima cálido, generando un desajuste entre la maduración tecnológica y fenólica. Esta situación conlleva vendimias con altos niveles de azúcar que dan lugar a vinos con elevada graduación alcohólica, lo cual no se ajusta con la demanda actual de vinos más saludables y con menor contenido alcohólico. Una posible estrategia para abordar este reto consiste en vinificar uvas menos maduras; sin embargo, la presencia de semillas verdes o poco lignificadas puede incrementar la astringencia y el amargor del vino, comprometiendo su calidad sensorial. En este estudio se evaluó el efecto de la eliminación parcial de semillas (EP), junto con la aplicación de ultrasonidos (EP US) y adición controlada de raspón (EP US R11 25% o R11 50%) sobre la calidad de vinos jóvenes de Monastrell elaborados a partir de uvas inmaduras. Se analizaron parámetros físico-químicos, compuestos fenólicos, color, perfil aromático y características sensoriales tras 1 mes de envejecimiento en botella. Los resultados mostraron que la EP redujo significativamente la concentración de taninos y la percepción de astringencia, mejorando el equilibrio en boca. La combinación con US favoreció la extracción de taninos del hollejo y la formación de pigmentos estables como las vitisinas. La adición de raspón al 25% incrementó la concentración de taninos y compuestos aromáticos frutales (ésteres), mientras que la adición al 50% introdujo notas herbáceas indeseadas. Estos resultados indican que la EP, combinada con tecnologías físicas y el uso moderado de raspón, representa una estrategia enológica prometedora para elaborar vinos con menor graduación alcohólica a partir de uvas inmaduras, manteniendo una alta calidad organoléptica. Futuros trabajos deberían centrarse en analizar la evolución de estos vinos durante periodos de envejecimiento más prolongados y su impacto en el potencial de envejecimiento.



Introducción

Los compuestos fenólicos presentes en la uva desempeñan un papel fundamental en la calidad del vino tinto, ya que influyen en su color, estructura, estabilidad y características sensoriales (Hornedo-Ortega & González-Centeno, 2021). Entre ellos, destacan los taninos y antocianos, responsables de la intensidad cromática y la astringencia de los vinos tintos. Los taninos, que provienen principalmente de las semillas y en menor concentración de los hollejos de la uva, contribuyen a la sensación de astringencia, cuerpo y persistencia en boca, además de desempeñar un papel crucial en la evolución del vino durante el envejecimiento. Los antocianos, por su parte, determinan la tonalidad del vino, desde matices violáceos en vinos jóvenes hasta tonos más teja en vinos envejecidos. Además, los compuestos fenólicos tienen una interacción clave con las proteínas y polisacáridos del vino, modulando su percepción sensorial y su estabilidad coloidal (Zhai et al., 2025). La gestión de la extracción fenólica durante la vinificación es, por tanto, un aspecto crítico para lograr el equilibrio entre estructura, suavidad y complejidad aromática en el vino tinto.

El cambio climático está modificando los patrones de maduración de la uva afectando directamente a la acumulación y composición de los compuestos fenólicos en el vino tinto. El incremento de temperaturas acelera la maduración tecnológica favoreciendo una rápida acumulación de azúcares, pero sin garantizar la correcta maduración fenólica (Pérez-Mendoza et al., 2025). Esta falta de sincronía conduce a vendimias con uvas maduras desde el punto de vista tecnológico (con alto contenido en azúcares) pero fenólicamente inmaduras, lo que da lugar a vinos con un grado alcohólico más elevado y una menor concentración de compuestos fenólicos procedentes del hollejo, afectando negativamente a su calidad. Además, las semillas procedentes de bayas fenólicamente inmaduras presentan una mayor proporción de flavan-3-oles monoméricos como (+)-catequina, (-)-epicatequina y especialmente (-)-epicatequinagalato, en comparación con las semillas procedentes de uvas completamente maduras (Kennedy et al., 2000). Mientras que los, taninos exhiben un menor grado de polimerización y un alto porcentaje de galoilación favoreciendo su capacidad de interacción con proteínas salivales e incrementando la percepción de astringencia (Souquet et al., 1996).

En este contexto climático de altas temperaturas y escasas precipitaciones, el desacople entre madurez tecnológica y fenólica impone la necesidad de adaptar las estrategias vitícolas y enológicas para mitigar los efectos negativos que el cambio climático está produciendo en la elaboración de vinos tintos de calidad. Entre las medidas enológicas tradicionales empleadas para contrarrestar los efectos negativos de este desacople de la maduración en la calidad final del vino destacan: i) la maceración prefermentativa en frío, ya que limita la extracción de los taninos al reducir la solubilidad de los compuestos fenólicos a bajas temperaturas y favorece la extracción de antocianos, mejorando así la intensidad y estabilidad del color sin incrementar la astringencia (Dequin et al., 2017). ii) uso de técnicas de remontado, que controla la extracción fenólica al gestionar el contacto entre el mosto y las partes sólidas de la uva. iii) La crianza de vinos en barrica y microoxigenación, lo que promueve la evolución de los taninos a través de procesos de oxidación y polimerización controlada, reduciendo su reactividad con las proteínas salivales y mejorando su integración sensorial (Tao et al., 2023; Dequin et al., 2017), iv) adición de polisacáridos, capaces de formar complejos estables con taninos, lo que atenúa la percepción de astringencia y confiere mayor untuosidad y equilibrio al vino (Zhai et al., 2023). V) la eliminación parcial de semillas durante la fermentación alcohólica, práctica que puede contribuir a disminuir la concentración de taninos, favoreciendo una estructura sensorial más redonda y una evolución organoléptica más armoniosa durante el envejecimiento en botella (Morata, 2018).

Recientemente, numerosos estudios han demostrado que la eliminación parcial o total de las semillas durante la maceración fermentativa tiene un impacto significativo sobre la composición fenólica, el color y las características sensoriales del vino (Bautista-Ortín et al., 2014; Guaita et al., 2017; Jagatic et al., 2023; Wang et al., 2024). La eliminación de semillas durante el proceso de vinificación se ha asociado, en términos generales a la disminución de la concentración de proantocianidinas, especialmente aquellas con alto grado de galoilación y bajo grado de polimerización, las cuales están estrechamente relacionadas con una mayor astringencia y amargor (Robichaud & Noble, 1990). Aunque algunos trabajos han reportado una ligera disminución en la intensidad de color tras la eliminación total de semillas (Bautista-Ortín et al., 2014), otros estudios indican que esta práctica no afecta significativamente a los niveles de antocianos totales ni a la copigmentación (Jagatic et al., 2023). Además, se ha observado que la eliminación total temprana de las semillas puede

incrementar el grado medio de polimerización de los taninos presentes, lo cual se traduce en una percepción más suave y con menor amargor del vino (Capítulo 1).

Desde el punto de vista sensorial, los vinos elaborados sin semillas han sido percibidos como más frutales, menos astringentes y de mayor calidad global en comparación con los vinos control. La eliminación total de semillas en variedades como Monastrell (Capítulo 1), Mali (Jagatic et al., 2023) y Gaglioppo (Guaita et al., 2017) ha resultado particularmente ser muy beneficiosa, especialmente en condiciones de maduración subóptima, donde la extracción de compuestos amargos y astringentes de las semillas puede comprometer la calidad final. Aunque la eliminación de semillas se ha propuesto como una estrategia enológica eficaz para modular la composición fenólica y mejorar el equilibrio sensorial del vino, hasta la fecha, en el caso de la variedad Monastrell, los escasos estudios realizados hasta la fecha se han basado en la eliminación total de semillas mediante procedimientos manuales (Capítulo 1). Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de la eliminación parcial de semillas en uva de la variedad Monastrell inmadura (11 °Baumé) para reducir el contenido de alcohol combinándola, además, con distintas estrategias enológicas para conseguir incrementar el color, favorecer una buena estabilización de este y mejorar la calidad aromática y gustativa del vino tinto. Entre estas estrategias se encuentra el tratamiento con ultrasonidos, ya que estudios previos a escala semi-industrial han demostrado que es una tecnología que permite incrementar la extracción de compuestos de interés, consiguiendo reducir el tiempo de maceración (Pérez-Porras et al., 2022) y favoreciendo la formación de pigmentos estables que permiten mantener el color a lo largo del envejecimiento del vino en botella (Pérez-Porras et al., 2025). Todo esto combinado con la adición de raspón en el proceso de vinificación, permitiría sustituir los taninos astringentes de semilla por una pequeña proporción de taninos que se caracterizan por presentar una composición más similar a los taninos del hollejo (Llaudy et al., 2008). En el caso de los ultrasonidos no hay muchos trabajos llevados a cabo a nivel semi-industrial aplicados a uva muy inmadura, y en ellos esta técnica ha mostrado un efecto positivo en el color y el contenido fenólico del vino (Pérez Porras et al., 2023), mientras que la adición del raspón, los estudios existentes han mostrado resultados inconsistentes respecto a su impacto en el color y características sensoriales del vino (Pascual et al., 2016; Suriano et al., 2015; Lamçe et al., 2020), lo que pone de manifiesto la necesidad de profundizar en su estudio para optimizar su aplicación enológica. Por ello,

en este trabajo se estudió la composición físico-química, fenólica y aromática, así como los atributos sensoriales de vinos elaborados con eliminación parcial de semillas en combinación con la aplicación de ultrasonidos y la adición de raspones durante la vinificación, en comparación con vinos elaborados mediante métodos tradicionales, con y sin eliminación parcial de semillas.

Materiales y Métodos

1. Vinificaciones

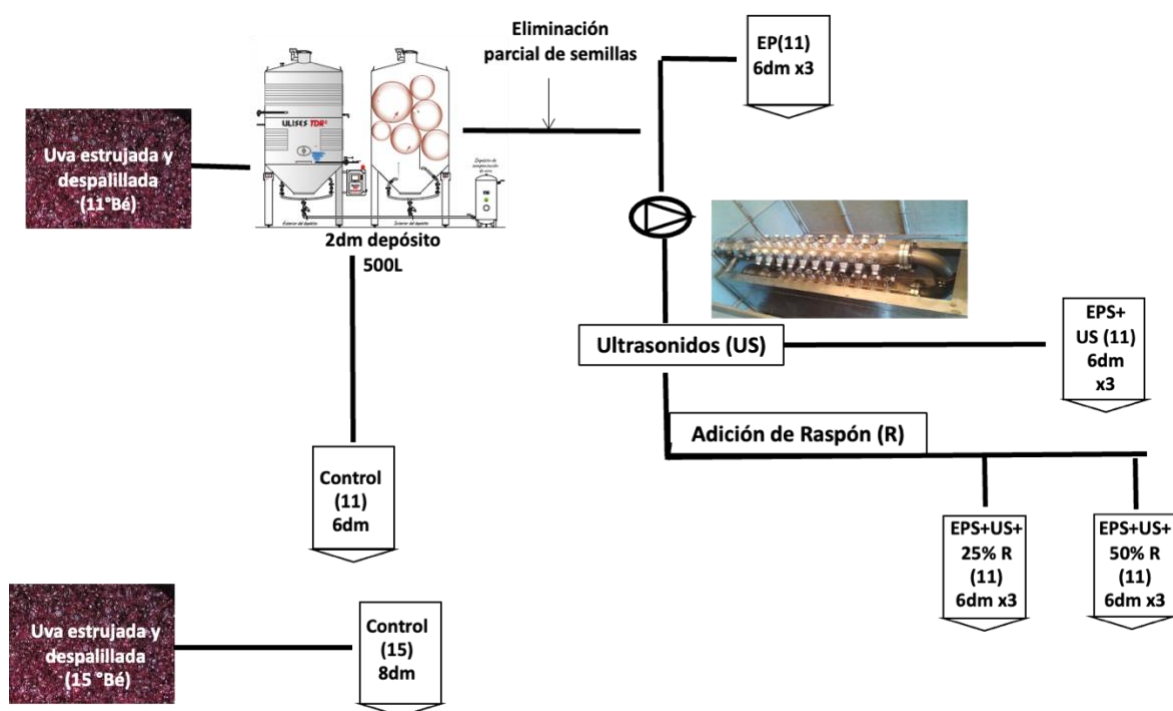
La experiencia se llevó a cabo utilizando 450 kg de uvas con un grado de madurez de 11 °Baumé y 80 kg de uva con 15 °Baumé de la variedad Monastrell. Toda la uva se vendimio de la misma parcela, procedente del Valle del Aceniche (Bullas, Región de Murcia). Tras la vendimia, las uvas fueron trasladadas a la bodega de la Universidad de Murcia en cajas de 20 kg, donde permanecieron 8 horas en la cámara de refrigeración. Posteriormente, la uva fue estrujada, despalillada, sulfitada (40 mg/kg) la uva inmadura fue encubada en un depósito de acero inoxidable de fondo cónico de 500 L, el cual dispone de una válvula ubicada en la parte inferior para llevar a cabo la eliminación de semillas, mientras que la uva madura fue encubada en tres depósitos de 25 litros (Control 15).

La fermentación de los vinos se realizó a 22 °C empleando la levadura Viniferm CT007 (Agrovin SA, Alcázar de San Juan, España) en una dosis de 25 g/hL. También se adicionaron dos nutrientes, Actimax Plus (Agrovin SA, Alcázar de San Juan, España) y Actimax Natura (Agrovin SA, Alcázar de San Juan, España), ambos en cantidades de 25 g/hL para prevenir una parada de fermentación.

La eliminación parcial de semillas se llevó a cabo el segundo día de fermentación, aplicando aire a presión desde la parte inferior del depósito con un compresor, logrando que parte de las semillas se depositaran en el fondo del depósito y pudieran ser eliminadas mediante la válvula ubicada en la parte inferior. Tras la eliminación del 25% de las semillas (EP) presentes en la uva introducida en el depósito, 60 kg de la pasta fue transferida a 3 depósitos de 25 L de acero inoxidable. El resto de la pasta fue tratada por US usando un equipo a escala

semi-industrial (Ultrawine, Agrovin S.A., Alcázar de San Juan, España), el cual trabajó a una frecuencia de 30 kHz, una potencia de 9000 W, una densidad de potencia de 58,5 W/cm² y un caudal de 400 kg/h. Posteriormente, la pasta tratada se distribuyó en 9 depósitos de 25 L, 3 de ellos como control (EP US), mientras que los otros 6 se vinificaron añadiendo un 25 % y un 50% del raspón (EP US 25% R 11 y EP US 50% R 11, respectivamente) correspondiente a 20 kg de uva retirado inicialmente durante el proceso de estrujado y despalillado. También, se realizó una vinificación control sin eliminación de semillas (Control 11) en depósitos de 25 L. Todas las microvinificaciones se llevaron a cabo por triplicado y partiendo de 20 kg de uva.

Figura 1. Esquema de las elaboraciones de vino Monastrell.



El tiempo de maceración de los vinos de estudio fue de 8 días. En todos los depósitos el sombrero fue sumergido dos veces al día para favorecer la extracción de compuestos fenólicos. Tras el descube, se procedió al prensado de la pasta; se mezclaron los vinos flor y

prensa de cada tratamiento para almacenarlos nuevamente en los depósitos de 25 L a 22 °C (± 2) hasta el fin de la fermentación alcohólica.

Al concluir la fermentación alcohólica, los vinos fueron trasegados, sulfitados y estabilizados por frío durante un mes. Después de este periodo, el vino fue de nuevo sulfitado y embotellado en botellas de vidrio de 375 mL. Los análisis se llevaron a cabo después de 1 mes de envejecimiento del vino en botella.

2. Determinaciones analíticas

2.1 Parámetros físico-químicos

Los vinos fueron caracterizados mediante la medición del grado alcohólico, pH y la acidez total, siguiendo los procedimientos estandarizados establecidos por la normativa de la Comunidad Europea (Regulation Commission, 1990).

2.2 Análisis espectrofotométricos

Los atributos cromáticos fueron analizados mediante un espectrofotómetro UV-Visible (modelo Helios Alpha, Thermo Spectronic, Cambridge, Reino Unido). La intensidad del color (IC) se calculó como la suma de las absorbancias registradas a 420, 520 y 620 nm, conforme a lo descrito por Glories (1984).

2.3 Determinación de taninos por HPLC

La concentración total de taninos y su perfil estructural (grado medio de polimerización, porcentaje de galoilación y porcentaje de (-)-epigallocatequina se llevó a cabo mediante el método de fluoroglucinólisis según Busse Valverde et al. (2010). Se utilizó el siguiente equipo: HPLC Waters 2695 (Waters, Milford, MA) acoplado a un detector de diodos array Waters 2996 (Waters, Milford, MA) y una columna Atlantis dC18 (250 x 4.6 mm, partícula de 5 μ m) protegida con una pre-columna (20 mm x 4,6 mm, 5 μ m). El volumen de inyección fue de 10 μ L. Se utilizó una fase móvil compuesta por agua con ácido fórmico (98:2, v/v)

como eluyente A, y una mezcla de acetonitrilo con eluyente a (80:20, v/v) como eluyente B. La velocidad de flujo fue de 0,8 mL/min a 30 °C. La elución se realizó inicialmente con 100% A durante 5 minutos, seguido de un gradiente lineal a 90% A durante 30 minutos, y luego 80% en otros 30 minutos, con etapas posteriores de limpieza y reequilibrio de la columna.

2.4 Análisis de compuestos fenólicos por HPLC

La separación e identificación de antocianos y vitisinas se llevó a cabo mediante un sistema de cromatografía líquida Waters Acquity Arc, equipado con un detector de diodos array Waters 2998 (Waters, Milford, MA, EE.UU.). La separación cromatográfica se realizó en una columna Poroshell120 EC-C18 (150 mm x 2,1mm, 2,7 µm; Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EE.UU.).

Las fases móviles consistieron en: (A) agua acidificada con 1% de ácido fórmico y (B) una mezcla 1:1 (v/v) de metanol y acetonitrilo, también acidificada al 1%. El programa de elución comenzó con 100% A durante 2 minutos, seguidos de un aumento progresivo a 15% B en 33 minutos, luego a 21% B en 15 minutos y finalmente a 30% B en 20 minutos. Posteriormente, se llevó a cabo un ciclo de lavado y acondicionamiento de la columna. El horno se mantuvo a 55 °C, el flujo fue de 0,3 mL/min y el volumen inyectado fue de 5 µL. La detección se realizó a 520 nm, y se usó cloruro de malvidina-3-glucósido como patrón externo para la cuantificación.

2.5 Análisis de compuestos volátiles

Para la identificación de compuestos volátiles en los vinos Monastrell se colocaron 10 mL de muestra en un vial de vidrio de 30 mL. Se añadieron 4 g de Na Cl y 25 µL de 2-octanol (Sigma-Aldrich) como estándar interno. El vial se cerró herméticamente con tapa revestida de PTFE y se agitó mediante vortex (IKA, Königswinter, Alemania).

El análisis se efectuó mediante cromatografía de gases (GC) en un sistema hP 5890 acoplado a un espectrómetro de masas HP 5972 (Agilent Technologies, Palo Alto, CA). Se inyectaron



2 μ L en modo Split. Se utilizó una columna capilar HP Innowax (50 m x 0,32 mm. 0,25 μ m). El inyector se mantuvo a 40 °C durante 5 minutos, incrementándose la temperatura hasta 225 °C a una velocidad de 3 °C/min , manteniéndose posteriormente durante 5 minutos. El espectrómetro operó en modo de ionización por impacto electrónico (70 eV), con un rango de detección entre 50 y 200 m/z. La identificación de compuestos se basó en la comparación de espectros de masas con la biblioteca Wiley 6.0 y con índices de retención reportados en la literatura. La cuantificación relativa se realizó mediante la relación entre el área de los picos (total o de fragmentos seleccionados en caso de coelución) y la del estándar interno.

2.6 Evaluación sensorial

Los vinos fueron sometidos a una prueba de análisis sensorial descriptivo. Para asegurar la homogeneidad de las muestras, los vinos procedentes de las tres repeticiones de cada tratamiento se mezclaron antes de la evaluación. Un panel de 12 catadores con amplia experiencia en el análisis sensorial de vinos participó en la evaluación. Antes del análisis formal, se realizaron sesiones de entrenamiento para establecer y consensuar los descriptores sensoriales apropiados. Las muestras se presentaron en alícuotas de 40 mL, servidas en copas estándar y codificadas (3 dígitos) aleatoriamente. Las catas se llevaron a cabo en una sala controlada a 20 °C, libre de interferencias sensoriales como olores o ruidos, e iluminada con luz blanca neutra.

3. Análisis estadístico

El tratamiento estadístico de los resultados se realizó con el software Statgraphics Centurion XVI.3 (Statpoint Technologies, The plains, VA, EE.UU.). Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $p < 0,05$ para los datos fisicoquímicos, fenólicos, volátiles y sensoriales. Las diferencias entre medias se evaluaron utilizando el test de Tukey.

Resultados y Discusión

1. Parámetros físico-químicos

Los resultados de los parámetros físico-químicos se muestran en la tabla 1. En ella se puede observar que los vinos elaborados con uva más madura mostraron los valores más altos de grado alcohólico, acidez volátil y pH y los valores más bajos de acidez total. La eliminación parcial de semillas en uva inmadura produjo un incremento en los valores de acidez total comparado con el tratamiento control 11, estando posiblemente asociado al incremento en el contenido de oxígeno en el mosto-vino al aplicar aire comprimido a la pasta, el cual, bajo condiciones controladas puede favorecer la formación de metabolitos secundarios tales como los ácidos succínico y málico a través de su impacto en el metabolismo de las levaduras *S. cerevisiae* (Duncan et al., 2024). Dichos niveles de acidez se mantuvieron con la aplicación de ultrasonidos y con la adición del 25% de raspón. Sin embargo, la adición de más cantidad de raspón (50%) provocó una leve disminución de este parámetro, probablemente como consecuencia de una mayor liberación de K^+ , el cual puede interaccionar con los ácidos del mosto-vino favoreciendo su precipitación (Pascual et al., 2016; Casassa et al., 2021a; Casassa et al., 2021b). Los valores de acidez volátil fueron más bajos en los vinos elaborados con eliminación parcial de semillas en comparación con el vino control elaborado con uva inmadura. No obstante, su combinación con ultrasonidos y, especialmente, con la adición de raspón los incrementó. En este último caso, los niveles de acidez volátil no mostraron diferencias significativas respecto al vino control de uva inmadura.



Tabla 1. Parámetros físico-químicos en vinos tintos Monastrell.

Tratamientos	pH	Acidez total (g/L)	Alcohol (vol%)	Acidez volátil (g/L)
Control 11	3,61±0,00 a	6,34±0,04 b	11,67±0,03 a	0,19±0,00 bc
EP 11	3,60±0,01 a	6,73±0,07 d	11,47±0,05 a	0,11±0,01 a
EP US 11	3,61±0,01 a	6,72±0,06 d	11,50±0,12 a	0,17±0,01 b
EP US 25%R 11	3,60±0,01 a	6,69±0,06 d	11,51±0,012 a	0,22±0,02 c
EP US 50%R 11	3,63±0,01 ab	6,49±0,10 c	11,39±0,210 a	0,23±0,00 c
Control 15	3,67±0,04 b	5,54±0,05 a	15,74±0,022 b	0,60±0,04 d

Control 11: vino control con uva a 11 °Bé, EP 11: vino con uva a 11 °Bé y eliminación parcial de semilla, EP US 11: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla y sonicado, EP US 25% R11: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla, sonicado y con 25% de raspón, EP US 50% R11: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla, sonicado y 50% de raspón, Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

2. Parámetros cromáticos y compuestos fenólicos de los vinos

El vino de uva más madura presentó los valores más altos de intensidad de color (Tabla 2), probablemente debido al mayor contenido de antocianos y taninos. En consecuencia, mostró también un índice de polifenoles totales más elevado, así como una mayor estabilización de los antocianos, evidenciada por los mayores niveles de antocianos no decolorables por SO₂. En términos generales, la madurez de la uva influye considerablemente en la composición fenólica de los vinos tintos (Ryan & Revilla, 2003; Marques et al., 2005), encontrándose menor concentración y extractabilidad de antocianos y taninos del hollejo y una mayor extractabilidad de los taninos de las semillas en uvas menos maduras (Peyrot des Gachons & Kennedy, 2003; Canals et al., 2005). En el estudio de Martínez-Pérez et al. (2020) se observaron diferencias significativas de color entre los vinos control de 14° y 16 °Baumé, siendo el vino de uva más madura el que presentaba una mayor intensidad del color, fenoles totales, antocianos totales, antocianos poliméricos y taninos totales. Así, el estudio realizado por Pérez-Magariño & González-San José (2006) reportó que la vendimia tardía permite



obtener vinos de mayor calidad, lo cual se asocia a un mayor contenido de compuestos fenólicos y a una mayor estabilidad del color a lo largo del tiempo.

La eliminación parcial de semillas produjo un descenso significativo del contenido de taninos del vino respecto al vino Control 11, siendo este descenso alrededor del 42%. Además, también produjo un descenso, aunque menor, en el contenido de antocianos totales y en los valores de intensidad de color. En cambio, los antocianos poliméricos se incrementaron de forma significativa, aunque sin superar los valores mostrados por el vino Control 15. El estudio llevado a cabo por Bautista-Ortín et al. (2014) con la eliminación total de semillas en uva madura en la etapa de estrujado obtuvo resultados similares en vinos de uva Monastrell.

La combinación de la eliminación parcial de semillas con la aplicación de US incrementó el contenido de taninos, aumentando ligeramente los valores de intensidad de color, aunque sin mostrar diferencias significativas respecto aquellos presentados por el vino Control 11, mientras que el contenido de antocianos poliméricos no se vio afectado. Un mayor contenido de taninos es necesario para asegurar la estabilidad del color en el vino en el tiempo mediante la polimerización con antocianos (Singleton & Trousdale, 1992). Cuando estas dos técnicas fueron combinadas con la adición de raspón (25 y 50%) se incrementó el contenido de taninos entorno a un 8%, sin mostrar diferencias significativas respecto al vino EP US 11, aunque si lo hizo respecto al vino Control 11, y también aumentó el contenido de antocianos poliméricos, alcanzando valores similares a los mostrados por el vino Control 15. Resultados similares, pero con valores más elevados de pigmentos poliméricos no decolorables por SO₂ fueron reportados por Suriano et al. (2015) en vinos elaborados con adición de raspón, en comparación con un vino control elaborado en su ausencia, lo cual favoreció la estabilidad del color después de 12 meses de envejecimiento en botella. Estos mismos autores señalaron que este efecto podría atribuirse a una mayor oxigenación del mosto, favorecida por la mejor aireación que proporciona la presencia de raspones, lo que promueve la condensación de antocianos, taninos y acetaldehído. Por otro lado, parece ser que la cesión de taninos desde los raspones al mosto-vino, al igual que ocurre con aquellos presentes en el hollejo, es menor al descender el grado de maduración de la uva, ocurriendo lo contrario en el caso de las semillas (Llaudy et al., 2008). En este sentido, en un estudio llevado a cabo con uvas sobremaduras (19 °Baumé) de la variedad Primitivo, Suriano et al. (2015), reportaron



mayores incrementos en el contenido de taninos en los vinos elaborados con raspón, especialmente cuando fue adicionado en un 50%. En nuestro estudio, la adición del 50% de raspón durante el proceso de vinificación provocó una reducción significativa en el contenido de antocianos en el vino respecto a EP US 11, debido posiblemente a la adsorción de parte de estos compuestos en su superficie (Ribéreau-Gayon & Markakis, 1982), aunque esto solo afectó ligeramente al color del vino. Ello coincide con los estudios de Casasa et al. (2021), Pascual et al. (2016) y Suriano et al. (2015), quienes reportaron de una reducción en la concentración de antocianos totales, debido especialmente a una disminución en el contenido de pigmentos monoméricos en el vino con la presencia de raspones en la etapa de maceración.

La reducción de antocianos observada con la eliminación parcial de semillas, así como la ausencia de incremento en estos compuestos al combinar esta técnica con US podría deberse a la aplicación de aire comprimido en el depósito, empleada para facilitar la sedimentación de parte de las semillas en el fondo, lo que habría favorecido la oxidación de los antocianos presentes en el mosto. Además, tanto esta práctica como, en mayor medida, la aplicación de ultrasonidos, podrían haber generado una mayor cantidad de paredes celulares en suspensión, las cuales tienen capacidad para interaccionar con los compuestos fenólicos solubles, favoreciendo su posterior precipitación (Bautista-Ortín et al., 2017). Próximos estudios deberían combinar estas técnicas con la adición de enzimas pectolíticas, donde predomine especialmente la actividad pectín liasa, la cual ha mostrado una gran capacidad para degradar dichas paredes (Osete-Alcaraz et al., 2019), reduciendo su capacidad para interaccionar con los compuestos fenólicos (Osete-Alcaraz et al., 2020) e incrementando los valores de intensidad de color en el vino final (Osete-Alcaraz et al., 2022)

Tabla 2. Características cromáticas y contenido fenólico en vinos tintos Monastrell.

	IC	Tono	IPT	AT (mg/L)	AP (mg/L)	TT_Metil (mg/L)
Control 11	9,79±0,53 b	0,85±0,00 ab	30,3±0,97 b	217,9±1,40c	39,08±0,65a	1020,8±40,20 b
EP 11	8,70±0,16 ab	0,86±0,00 b	28,0±0,86 a	180,6±2,92ab	42,04±0,43b	582,4±16,10 a
EP US 11	8,96±0,43 ab	0,84±0,01 ab	31,2±1,64 b	185,6±0,22b	40,26±1,06a	1119,7±103,60 bc
EP US 25%R 11	8,54±0,77 a	0,84±0,00 ab	30,5±0,58 b	173,2±13,02ab	50,06±0,34c	1215,2±45,01 c
EP US 50%R 11	8,21±0,58 a	0,84±0,00 ab	30,9±0,71 b	168,9±9,51a	50,38±0,72c	1218,3±8,76 c
Control 15	16,6±1,02 c	0,57±0,01 a	52,0±1,23 c	468,9±12,41d	49,94±1,07c	1505,9±94,86 d

IC: intensidad de color; IPT: índice de polifenoles totales, AT: antocianos totales, AP: antocianos poliméricos, TT Metil: taninos precipitados por metil celulosa, Control 11: vino control con uva a 11 °Bé, EP 11: vino con uva a 11 °Bé y eliminación parcial de semilla, EP US 11: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla y sonicado, EP US 25% R11: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla, sonicado y con 25% de raspón, EP US 50% R11: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla, sonicado y 50% de raspón, Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

3. Concentración y composición de taninos, antocianos y vitisininas de los vinos por HPLC

La concentración y composición de los taninos en los diferentes vinos se muestran en la tabla 7. Los resultados muestran que el contenido de taninos medidos por el método de la floroglucinolisis son más bajos que los obtenidos por el método de la metilcelulosa por espectrofotometría. Eso es debido a que por el método de floroglucinolisis no se despolimerizan los taninos oxidados o aquellos que están combinados con antocianos. Además, coincidiendo con los resultados anteriores, obtenidos por espectrofotometría se observa, que la eliminación parcial de semillas disminuye la concentración de estos compuestos en el vino de forma significativa respecto al vino Control 11, mientras que su combinación con la aplicación de US incrementa, mostrando valores superiores al vino de Control 11, pero en menor concentración que los observados en el vino de uva más madura. En cambio, la adición de raspón no produjo grandes cambios en la concentración de taninos.

La composición de los taninos se vio afectada por la eliminación de parcial de semillas. En comparación con el vino control elaborado a partir de uva inmadura, se observó un descenso significativo tanto en el grado medio de polimerización como en el contenido de (-)-epigallocatequina en la estructura del tanino. También se detectó una disminución en los niveles de (-)-epicatequinagalato, aunque ésta no resultó estadísticamente significativa respecto al Control 11. La combinación de la eliminación parcial de semillas con los US también produjo cambios en su composición, incrementando el grado medio de polimerización y el contenido de las subunidades en su estructura de (-)-epigallocatequina y (-)-epicatequinagalato, aunque solo en el caso de esta última, los valores fueron más altos que los mostrados por el vino Control 11. Esto pone de manifiesto que los US extraen más taninos del hollejo, aunque también afectan ligeramente a la extracción de taninos de las semillas, los cuales se caracterizan por presentar un mayor contenido de (-)-epicatequinagalato (Pérez-Porras, 2023). La adición de raspón solo incrementó de forma significativa los valores (-)-epigallocatequina cuando fue aplicado al 50%. Los taninos del raspón, a diferencia de aquellos presentes en las semillas, se caracterizan por presentar unidades de (-)-epigallocatequina en su estructura, junto con (+)-catequina, (-)-epicatequina y (-)-epicatequinagalato, con grados medios de polimerización similares (Souquet et al.,



2000; Vivas et al., 2004) o incluso superiores a los mostrados por aquellos taninos presentes en el hollejo (Sun & Spranger, 2005). y tras el contacto de raspón con el mosto-vino durante la maceración puede producir cambios en su concentración y composición por cesión e incluso adsorción de estos compuestos en su superficie. Ruirui et al. (2025) también informaron que el impacto de la fermentación en contacto con raspones sobre la concentración y composición de los taninos del vino se vio influenciado tanto por la cantidad de raspones añadidos, como por la variedad de uva utilizada.

El vino de uva más madura se caracteriza por presentar los valores más altos de todos los parámetros medidos, aunque en el caso del contenido de (-)-epicatequinagalato, no se observan diferencias significativas respecto al vino donde se combinó la eliminación parcial de semillas junto con la aplicación de US en ausencia y presencia de raspón.

Tabla 3. Concentración y composición de taninos determinados por el método de fluoroglucinolisis en vinos tintos Monastrell.

Tratamientos	TT(mg/L)	GPm	EGC (μM)	ECG (μM)
Control 11	172,29±15,23 a	4,12±0,15 b	77,40±14,5 b	22,30±1,65 a
EP 11	142,59±19,11 a	3,59±0,19 a	45,84±6,51 a	20,73±1,94 a
EP US 11	246,47±3,34 b	3,89±0,16 ab	91,37±4,57 c	29,91±3,60 b
EP US 25%R 11	247,51±47,40 b	4,04±0,57 ab	79,38±23,3b	32,39±3,40 b
EP US 50%R 11	258,39±2,89 b	3,79±0,04 ab	107,46±4,04 d	30,61±2,34 b
Control 15	346,99±18,89 c	6,17±0,06 c	196,64±6,61 e	31,29±2,33 b

TT: taninos totales, GPm: grado medio de polimerización, EGC: (-)-epigallocatequina, ECG:(-)-epicatequinagalato. Control 11: vino control con uva a 11 °Bé, EP 11: vino con uva a 11 °Bé y eliminación parcial de semilla, EP US 11: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla y sonificado, EP US 25% R11: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla, sonificado y con 25% de raspón, EP US 50% R11: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla, sonificado y 50% de raspón. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).



La concentración y composición de los antocianos y de nuevos pigmentos también fue determinada por HPLC (Tabla 4). El vino de uva más madura mostró los valores más altos de antocianos libres, vitisinas y aductos antociano-tanino medida por acetaldehído y además, junto con los vinos de uva inmadura en presencia de raspones (EP US 25%R 11 EP US 50%R 11), también presentó altos valores de antocianos poliméricos. En cambio, este mismo vino mostró valores más bajos de vitisina B y peonidina-3-glucósido-4-vinilfenol comparado con los demás vinos obtenidos de uva con un menor grado de maduración. La eliminación parcial de semillas redujo de forma significativa el contenido de antocianos libres, encontrándose también menor formación de vitisinas del tipo B, mientras que su combinación con ultrasonidos incrementó de forma significativa la formación de vitisinas en el vino, incluso respecto al vino control de uva inmadura. Pérez-Porras et al. (2025) informaron de un aumento en el contenido de vitisinas del 14,4% y 20,8% en vinos de pasta sonicada y macerada durante 48 h y 72 h respectivamente, en comparación con sus controles. Estos autores atribuyeron el efecto positivo de la sonicación al aumento en la concentración de nutrientes, especialmente aminoácidos, disponibles para las levaduras, lo que favorece una fermentación más eficiente y evita el desvío del ácido pirúvico hacia la formación de acetil-CoA. Esto incrementa la disponibilidad de ácido pirúvico para participar en reacciones de cicloadición que conducen a la formación de vitisinas A (Rentzsch et al., 2007). Además, la generación de radicales libres inducida por la aplicación de ultrasonidos (Pérez-Porras et al., 2024b), puede promover la formación de bases fuertes que facilitan la conversión estructural del ácido pirúvico a su forma enolato, aumentando así su reactividad (Rentzsch et al., 2007).

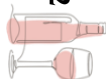
La adición del raspón a la pasta donde se eliminó parte de las semillas y tratada con ultrasonidos produjo un descenso en el contenido de antocianos libres y vitisinas sobre todo cuando este estuvo presente en mayor cantidad con la pasta durante la maceración. Esto puede ser posiblemente asociado a procesos de adsorción de estos compuestos sobre la superficie del raspón e incluso, en el caso de las vitisinas, a una menor formación, debido a una menor presencia de antocianos libres. Casassa et al. (2021a) también informaron de valores más bajos de pigmentos poliméricos formados mediante reacciones covalentes entre antocianos y pequeños compuestos carbonílicos como el acetaldehído y el ácido pirúvico en vinos macerados con presencia parcial de raspón, en comparación con vinos sin tratar. Por el contrario, observaron un aumento en los pigmentos poliméricos generados a partir de



reacciones covalentes entre antocianos y taninos de distinto peso molecular. Hay que destacar, que con este tratamiento, el vino presentó los valores más altos de peonidina-3-glucósido-4-vinilfenol. Ruirui et al. (2025), al igual que en este trabajo, también encontraron valores más altos de este compuesto en vinos de Merlot fermentados con un 20% de raspón y, también, de vitisinas, otras portisinas e incluso de aductos malvidina-etil (epi)catequina en vinos de esta misma variedad y de Cabernet Sauvignon, pero solo cuando los raspones estuvieron presentes en un 20% frente a la adición de un 10%, cantidades más bajas que las usadas en este estudio.

Tabla 4. Antocianos y vitisinas (mg/L) medidos por HPLC en vinos tintos Monastrell.

Compuestos	Control 11	EP 11	EPUS 11	EPUS 25% R 11	EPUS 50%R 11	Control 15
Antocianos Libres						
Del-3-glucósido	3,67±0,32b	2,38±0,06a	2,67±0,06a	1,64±0,02a	1,74±0,07a	22,70±0,62c
Cian-3-glucósido	1,40±0,09d	1,11±0,01bc	1,16±0,0c	0,94±0,01a	0,97±0,01ab	6,94±0,10e
Pet-3-glucósido	4,66±0,23c	3,07±0,17b	2,58±0,02ab	1,84±0,18a	2,01±0,09ab	30,48±0,98d
Peond-3-glucósido	2,60±0,0c	1,72±0,09ab	1,83±0,08b	1,62±0,14ab	1,47±0,08a	20,34±0,10d
Malv-3-glucósido	21,93±0,85c	13,42±0,80b	11,25±0,45ab	7,58±0,75a	8,39±0,30a	133,92±4,88d
Malv-(6-acetil)-3-glucósido	1,41±0,03b	1,43±0,05b	1,70±0,04c	1,40±0,01b	1,27±0,02 a	2,49±0,02d
Malv-(6-coumaril)-3-glucósido	1,08±0,05a	1,03±0,04a	1,48±0,02c	1,36±0,08bc	1,26±0,03b	2,89±0,04d
<i>Σ Antocianos Libres</i>	36,81±1,56c	24,28±1,08b	22,24±0,39ab	16,48±0,86a	17,10±0,47a	219,83±6,22d
Vitisinas						
Del-3-glucósido-ácido pirúvico	1,26±0,02b	1,27±0,00b	1,33±0,01c	1,28±0,02bc	1,20±0,02a	1,69±0,04d
Pet-3-glucósido-ácido pirúvico	1,70±0,06a	1,70±0,02a	1,95±0,03b	1,74±0,02a	1,62±0,04a	3,02±0,03c
Peond-3-glucósido-ácido pirúvico	1,40±0,04bc	1,37± 0,03ab	1,46±0,05c	1,31±0,01a	1,36±0,00ab	2,04±0,03d
Malv-3-glucósido-ácido pirúvico (Vitisina A)	6,90±0,35ab	7,64±0,29b	8,98±0,16c	6,99±0,03ab	6,28±0,53a	12,8±0,23d



Malv-3-glucósido-acetaldehído (Vitisina B)	3,39±0,03c	2,69±0,00d	2,30±0,04c	2,24±0,08c	1,87±0,03b	1,47±0,03a
Malv-6-acetil-3-glucósido-ácido pirúvico	1,26±0,20a	1,20±0,03a	1,22±0,03a	1,19±0,01a	1,16±0,02a	1,29±0,04a
Malv-6-acetil-3-glucósido-acetaldehído	1,24±0,02c	1,07±0,05b	1,06±0,01ab	0,94±0,01a	0,98±0,06ab	2,10±0,08d
<i>Σ Vitisinas</i>	17,10±0,62c	16,92±0,34c	18,31±0,18d	15,72±0,10b	14,51±0,51a	24,43±0,14e
Peon-3-gluc-4-vinilfenol	1,31±0,02b	1,36±0,01b	1,33±0,02b	1,51±0,07c	1,51±0,01c	1,03±0,01a
Malv-3-glucósido-etil-(epi)-catequina	1,39±0,03b	1,40±0,04b	1,48±0,03b	1,44±0,03b	1,45±0,03b	1,11±0,03a
Malv-3-glucósido-etil-(epi)-catequina	0,99±0,01a	0,93±0,02a	0,98±0,03a	0,95±0,01a	0,98±0,01a	2,74±0,10b
<i>Σ Aductos Antociano-etil-Flavanol</i>	2,39±0,03ab	2,34±0,03a	2,46±0,01b	2,40±0,04ab	2,43±0,03ab	3,85±0,08c
Antocianos Poliméricos	37,64±2,19a	38,22±0,53a	38,41±3,91a	43,05±1,22b	43,17±0,85b	40,91±0,76b
Σ Antocianos	95,43±4,16b	83,07±1,75a	82,82±3,49a	79,14±2,12a	78,70±1,11a	290,21±5,42c

Delf: delfinidina, Cian: cianidina, Pet: petunidina, Peon: peonidina, Malv: malvidina. Control II: vino control con uva a 11 °Bé, EP II: vino con uva a 11 °Bé y eliminación parcial de semilla, EP US II: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla y sonicado, EP US 25% RII: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla, sonicado y con 25% de raspón, EP US 50% RII: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla, sonicado y 50% de raspón. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$)

4. Perfil aromático de los vinos

En el vino, los compuestos volátiles afectan a su calidad y por tanto, un aumento o la disminución en la concentración de un único compuesto puede afectar al aroma global del mismo (He et al., 2023). Cuarenta y tres compuestos volátiles fueron identificados en el perfil aromático de los vinos en este estudio (Tabla 5). Estos compuestos se distribuyeron en 5 familias: alcoholes, ésteres, terpenos, ácidos y cetonas y aldehídos.

En general, el vino control de uva inmadura y aquellos obtenidos tras la aplicación de la eliminación parcial de semillas sin y con la combinación del uso de ultrasonidos en ausencia y presencia de raspón mostraron una menor concentración de compuestos aromáticos en relación con el vino elaborado con uva en un mayor grado de maduración (Control 15). Estos resultados concuerdan con los estudios realizados por Salinas et al. (2004) y Torchio et al. (2016), quienes informaron que la variedad de uva Monastrell tenía una mayor concentración de compuestos volátiles cuando se encontraba en un estado avanzado de maduración en comparación con las etapas iniciales.

La concentración de alcoholes superiores, familia aromática mayoritaria en los vinos elaborados, se redujo ligeramente como resultado de la eliminación parcial de las semillas. Este tratamiento también produjo un descenso significativo, respecto al vino control de uva inmadura, para los compuestos C6 (1-hexanol), responsables de aromas vegetales y herbáceos y otros como el alcohol bencílico, mientras que se observó un incremento para el compuesto 2,3-butanediol. La aplicación de ultrasonidos tras la eliminación parcial de semillas incrementó la concentración del 1-hexanol, superando los valores mostrados por el vino Control 11 y llegando a concentraciones similares a los presentados por el vino de uva más madura, mientras que solo la combinación de los tres tratamientos en la uva inmadura incrementó de forma significativa los valores del compuesto (E)-2-hexen-1-ol, obteniendo la concentración más alta en el vino donde se aplicó la mayor cantidad de raspón (50% de raspón). Estos resultados concuerdan con aquellos reportados en otros estudios (García-Esparza et al., 2018), dado que los compuestos volátiles C6, caracterizados principalmente por sus aromas herbáceos son aportados también por los raspones. Ruirui et al. (2025) informaron que una proporción del 10% de raspón durante la etapa de maceración



fermentativa de la uva no afectó significativamente a la concentración total de alcoholes superiores en el vino, mientras que una proporción del 20% condujo a un aumento significativo en el contenido de estos compuestos, lo cual puede ser debido al aumento del flujo de oxígeno en el sistema de fermentación, que promueve la síntesis de alcoholes superiores.

Con respecto a los ésteres, responsables de aromas afrutados especialmente de los vinos jóvenes (Osorio-Alises et al., 2024; He et al., 2023), la eliminación parcial de semillas en la uva inmadura redujo su contenido en el vino, mientras que su combinación con ultrasonidos los incrementó ligeramente, aproximándose más a los valores mostrados por el vino control de uva inmadura. La adición de raspón también favoreció un incremento en la concentración de ésteres y especialmente cuando su aporte fue del 25%, alcanzando valores próximos a los mostrados por el vino de uva más madura debido a una mayor formación de acetato de isoamilo, etil undecanoato, etil decanoato y etil 9-decenoato. La mayor concentración de etil 9-decenoato, característico por su aroma afrutado, fue encontrada en el vino EPUS 25% R 11 y la de acetato de isoamilo en EPUS 50% R 11. Los ésteres más abundantes fueron el acetato de isoamilo (acetato de 3-metil-1-butanol) (270-764 $\mu\text{g/L}$), decanoato de etilo (610-1823 $\mu\text{g/L}$) y hexanoato de etilo (851-1268 $\mu\text{g/L}$), compuestos sintetizados principalmente durante la fermentación del mosto. El acetato de isoamilo, en concentraciones superiores a 120 $\mu\text{g/L}$, aporta aromas a plátano y compuestos como el hexanoato de etilo aporta matices a pera y fresa (He et al., 2023). Ruirui et al. (2025) encontraron que proporciones de raspón del 20% no alteró significativamente las concentraciones totales de ésteres, mientras que una proporción del raspón del 10% provocó una disminución significativa, principalmente debido a reducciones en los ésteres de acetato y etilo, además, al igual que en este estudio, informaron de incrementos significativos respecto al vino control especialmente en la concentración de acetato de isoamilo cuando la proporción de raspón era del 20%.

En el caso de los terpenos, no se observaron diferencias significativas en su concentración en función del grado de maduración de la uva. En general, la concentración de terpenos libres varía en función de la etapa de desarrollo de las bayas, y aumentos significativos de compuestos como los sesquiterpenos son más frecuentes en las etapas cercanas a la vendimia, lo que sugiere que sus mecanismos de biosíntesis varían en función de su desarrollo (Zhang



et al., 2016; Lou et al., 2019). La eliminación parcial de semillas produjo un descenso del contenido de terpenos en el vino, aunque incrementó de forma significativa los valores del compuesto farnesol con aroma floral y dulce, alcanzando un contenido similar al mostrado por el vino de uva más madura. Aunque el farnesol, producido principalmente durante la fermentación alcohólica no es considerado un compuesto clave en aroma del vino, contribuye notablemente a su complejidad aromática (Zhu et al., 2022) y, en nuestro estudio, todas las muestras mostraron concentraciones de farnesol superiores a su umbral olfativo ($>0,100 \mu\text{g/L}$) (Zhu et al., 2022). La combinación con ultrasonidos incrementó significativamente la concentración de los terpenos, debido a una mayor formación de citronelol y nerolidol, mientras que su combinación con la adición de raspón no produjo grandes cambios en la concentración total de estos compuestos, aunque para el vino EP US 25%R11 el contenido de nerolidol descendió de forma significativa alcanzando valores similares a los mostrados por los vinos control de uva inmadura y con eliminación parcial de semillas. Los compuestos terpénicos están asociados con aromas florales y cítricos y, aunque suelen ser un grupo minoritario en vinos, algunos de ellos, como el linalol, el cual se vio afectado por la eliminación parcial de semillas, tiene mayor capacidad para modificar la percepción aromática de los vinos (Osorio-Alises et al., 2024). Wang et al. (2024) también asociaron los terpenos como los principales compuestos responsables del aroma y sabor del vino wampee (*Clausena lansium* (Lour.), variedad caracterizada por la ausencia de semillas).

La familia de los ácidos mostró un comportamiento similar a la de los terpenos, mientras que la concentración de cetonas y aldehídos fue más alta en el vino de uva más madura y para estos compuestos, la combinación de los tres tratamientos en uva inmadura y con una adición de raspón del 50% descendió su concentración en el vino, alcanzando los valores más bajos. El vino de pasta sonicada, seguido del vino EPUS 25% R11 se caracterizaron por presentar la concentración más alta del compuesto ácido 2-etilhexanoico, con un aroma suave y leve a fruta.

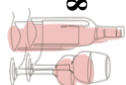


Tabla 5. Concentración de compuestos volátiles en vinos tintos Monastrell.

Compuestos	Control 11	EP 11	EPUS 11	EPUS 25% R 11	EP US 50% R 11	Control 15
Alcoholes						
1-Butanol	11,46±1,00a	9,21±1,13a	9,89±2,36a	12,01±0,96a	11,64±2,9a	14,22,56±1,10a
3-Metil-1-butanol	7764,5±753,3a	6871,9±383,0a	7215,8±391,56a	7573,1±253,16a	7503,7±295,45a	9504,5±478,84b
1-Hexanol	535,0±40,9b	346,6±30,93a	761,0±43,98c	802,3±28,66c	825,6±11,77c	817,4±38,52c
1-Propanol	27,29±3,12b	18,91±5,27a	11,77±0,89a	15,83±1,49a	13,76±1,07a	15,88±2,43a
2-Metil-1-propanol	615,41±24,11a	528,0±95,43a	671,4±68,45a	464,0±109,23a	824,6±91,94a	1681,4±424,11b
3-Metiltio-1-propanol	13,58±0,36a	14,17±1,92a	18,26±3,20a	17,61±1,40a	18,45±3,25a	32,64±3,09b
2,3-Butanediol	26,17±2,76a	68,02±2.17b	88.28±5.42cd	69,95±14.53bc	84.21±11.64bcd	94.26±15.96d
(E)-2-Hexen-1-ol	1,57±0.43a	1,64±0,34a	1,90±0,30a	4,19±0,18b	12,31±1,24c	1,87±0,05a
2-Nonanol	6,80±0,20a	7,34±0,48a	8,54±1,02a	11,06±1,79b	23,88±0,50c	8,16±1,00a
Alcohol bencílico	31,9±4,71b	25,94±3,85a	27,38±1,66ab	30,85±0,68b	44,59±1,35c	56,65±0,90d
Alcohol feniletílico	3023,6±47,5ab	2846,4±115,8a	3282,3±94,48bc	3474,3±307,74c	3302,1±76,60bc	9831,4±425,5d
<i>Σ Alcoholes</i>	12057,3±878,5ba	10738,3±640,3a	12096,7±613,3ba	12475,6±719,8b	12664,9±497,7b	22058,9±1391,5c

Ésteres

Acetato de isoamilo	285,0±16,7a	270,5±7,35a	334,6±36,16ab	412,6±3,07b	669,3±67,58c	763,4±45,74c
Dietil succinato	91,7±7,23b	58,62±4,42a	99,94±1,47cd	106±5,29cd	116,5±14,49d	295,5±3,00e
Etil 2-metilbutanoato	7,50±0,94a	9,02±1,08ab	13,61±3,34b	12,45±1,79ab	12,63±2,30ab	19,52±0,76c
3-Metilbutanoato de etilo	20,4±0,51ab	22,12±2,14abc	26,59±1,14c	25,95±0,56c	24,97±3,15bc	19,33±1,53a
Etil decanoato	1398,2±403,52bc	610,2±36,72a	641,1±57,82a	1823,2±195,06c	948,3±45,5ab	1441,1±348,88bc
Etil dodecanoato	383,9±115,55b	254,8±14,55ab	259,1±6,32ab	301,4±3,49ab	238,9±26,32a	548,4±48,3c
Etil 9-decenoato	27,18±7,87a	26,89±2,08a	35,98±2,05ab	90,44±5,39c	43,24±2,55b	32,47±9,69ab
Succinato de hidrógeno etílico	10,49±0,72a	8,77±4,98a	15,82±2,66ab	12,30±3,90a	11,84±0,61b	24,32±6,09a
Etil tridecanoato	40,46±12,0c	24,18±2,89ab	23,18±2,07ab	24,22±2,72ab	18,72±1,07a	33,91±3,21bc
Etil hexanoato	851,8±175,7a	875,6±25,02a	967,3±26,1a	1058,3±68,34ab	996,3±80,91a	1268,2±26,43b
Acetato de isobutilo	10,07±1,87ab	6,44±3,00ab	11,98±2,57b	8,33±0,91ab	6,45±1,16a	21,37±1,51c
Etil nonanoato	315,5±50,44b	77,13±2,81a	82,81±2,80a	93,91±4,39a	132±2,71a	124,4±5,64a
Etil tetradecanoato	104,53±4,88a	86,83±21,05a	116,7±23,44ab	68,14±7,5a	83,33±4,51a	163,7±35,58b
Undecanoato	55,42±3,22c	26,12±1,03ab	20,33±2,52a	34,26±5,38b	23,86±3,42ab	24,58±5,93ab



<i>Σ Ésteres</i>	3602,5±801,2bc	2357,3±129,1a	2649,1±170,4ab	4071,6±307,7dc	3326,5±256,28b	4779,4±542,2d
-------------------------	----------------	---------------	----------------	----------------	----------------	---------------

Terpenos

α-Terpineol	5,40±0,46a	6,28±0,66ab	8,66±0,14b	6,9±0,36ab	7,0±0,25ab	8,71±2,03b
Citronelol	71,03±2,21abc	67,29±6,49ab	82,14±1,08d	79,9±2,94cd	75,14±3,63bcd	63,11±3,41a
Linalol	57,6±9,18b	39,80±1,66a	51,23±5,32ab	52,99±8,09ab	55,62±3,17ab	46,75±3,06ab
Nerolidol	34,27±2,67abc	30,33±2,52ab	40,78±1,02d	36,3±4,97cd	27,80±2,64a	65,83±0,90d
Farnesol	5,03±0,70a	7,39±0,65bc	5,48±0,25ab	5,18±0,23b	4,11±1,29b	9,31±0,71c

<i>Σ Terpenos</i>	173,3±15,22ab	151,0±11,98a	188,2±7,81b	181,2±16,59b	169,6±10,98ab	193,7±10,11b
--------------------------	---------------	--------------	-------------	--------------	---------------	--------------

Ácidos

Ácido acético	191,3±10,22a	149,4±44,25a	142±23,12a	142,6±16,51a	156,6±14,08a	150,1±9,7a
Ácido butanoico	13,02±1,16a	11,9±0,14a	16,57±5,14a	13,95±1,51a	15,0±4,26a	14,04±0,37a
Ácido heptanoico	12,04±2,72ab	9,23±0,78a	14,56±3,64ab	13,17±0,57ab	12,17±0,72ab	15,33±1,53b
Ácido hexanoico	292,4±3,37c	269,7±25,99bc	299,6±3,36c	290,9±19,26c	226±10,14ab	218,6±20,13a
Ácido n-decanoico	140,3±9,81a	109,6±4,89a	124±18,89a	131,2±22,72a	171,0±2,65a	163,1±41,42a
Ácido nonanoico	76,53±11,56b	46,48±5,9a	57,54±1,38ab	48,78±10,75a	64,33±4,04ab	63,55±5,33ab

Ácido octanoico	482,8±43,45b	170,6±5,5a	459,1±45,69b	466,6±68,94b	395,3±63,73b	543,2±87,91b
Ácido propanoico	3,82±0,07ab	2,60±0,53a	6,63±0,49c	5,02±0,88bc	4,46±0,91ab	5,43±0,9bc
Ácido dodecanoico	12,86±1,72b	11,9±2,5ab	10,93±0,55ab	8,66±2,08ab	7,88±1,44a	11,02±0,85ab
Ácido 2-etilhexanoico	323,0±5,52ca	406,4±6,12c	780,4±80,44e	580,8±23,26d	253,9±28,3a	253,2±49,19a
Ácido 3-metilbutanoico	6,50±0,5a	7,57±1,22ab	9,83±0,38ab	10,17±0,18ab	10,45±0,96ab	14,44±3,02c
Σ Ácidos	1554,75±90,1b	1195,5±97,82a	1921,26±183,08b	1712,04±166,66b	1317,26±131,23b	1452,25±220,35b
Cetonas/ Aldehídos						
Dihidro-5-pentil-2(3H)-furanona2	6,85±1,02b	4,14±0,79a	5,47±0,25b	5,53±0,5ab	6,13±0,42b	9,77±0,25c
Σ						
Acetonas/Aldehídos	6,85±1,02b	4,14±0,79a	5,47±0,25b	5,53±0,5ab	6,13±0,42b	9,77±0,25c
Σ Compuestos Volátiles	17394,8±1786,0b c	14446,4±880,0a	16860,9±974,92b	18446,1±1211,36 c	17484,6±896,62b c	28494,1±2164,55 d

Control 11: vino control con uva a 11 °Bé, EP 11: vino con uva a 11 °Bé y eliminación parcial de semilla, EP US 11: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla y sonicado, EP US 25% R11: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla, sonicado y con 25% de raspón, EP US 50% R11: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla, sonicado y 50% de raspón. La concentración de los compuestos volátiles fue expresada en µg de 2-octanol equivalentes/L. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

5. Análisis sensorial

Los resultados del análisis sensorial (Figura 2) mostraron que los catadores no encontraron diferencias en los atributos relacionados con la fase visual (intensidad de color y tonalidad) entre los vinos obtenidos de uva de diferente grado de maduración y con la aplicación de diferentes tratamientos. Un resultado similar fue observado para los atributos relacionados con la fase aromática, aunque el vino de uva inmadura mostró una puntuación un poco más baja en el caso de calidad aromática, mientras que más notas a herbáceo fueron encontradas en los vinos de uva inmadura donde la eliminación parcial de semillas fue combinada con la aplicación de ultrasonidos y la adición de raspón. Por el contrario, los catadores encontraron diferencias en los parámetros de la fase gustativa, siendo estas significativas para los atributos amargor y astringencia. Así, mientras que el amargor se encontró más potenciado en los vinos de uva más madura y menos potenciado en los vinos de uva inmadura, mostrando los vinos de los diferentes tratamientos valores intermedios, la astringencia fue encontrada por estar más marcada en los vinos de los tratamientos con raspón y, especialmente, cuando este estuvo presente en mayor cantidad durante la etapa de maceración. También se puede destacar el menor equilibrio encontrado en el vino control de uva inmadura y la mayor persistencia en los vinos de uva madura (Control 15) y con el tratamiento con raspón (EPUS 50% R 11). En vinos de Cabernet Sauvignon, Ruirui et al. (2025) también obtuvieron puntuaciones más altas en las sensaciones de astringencia y equilibrio en presencia de raspones debido a un incremento en el contenido de compuestos fenólicos y taninos comparados con el vino control, encontrando además un incremento en las notas a herbáceo, afrutado y caramelo para el vino elaborado con un 20% de raspón, lo cual mejoró su intensidad aromática.

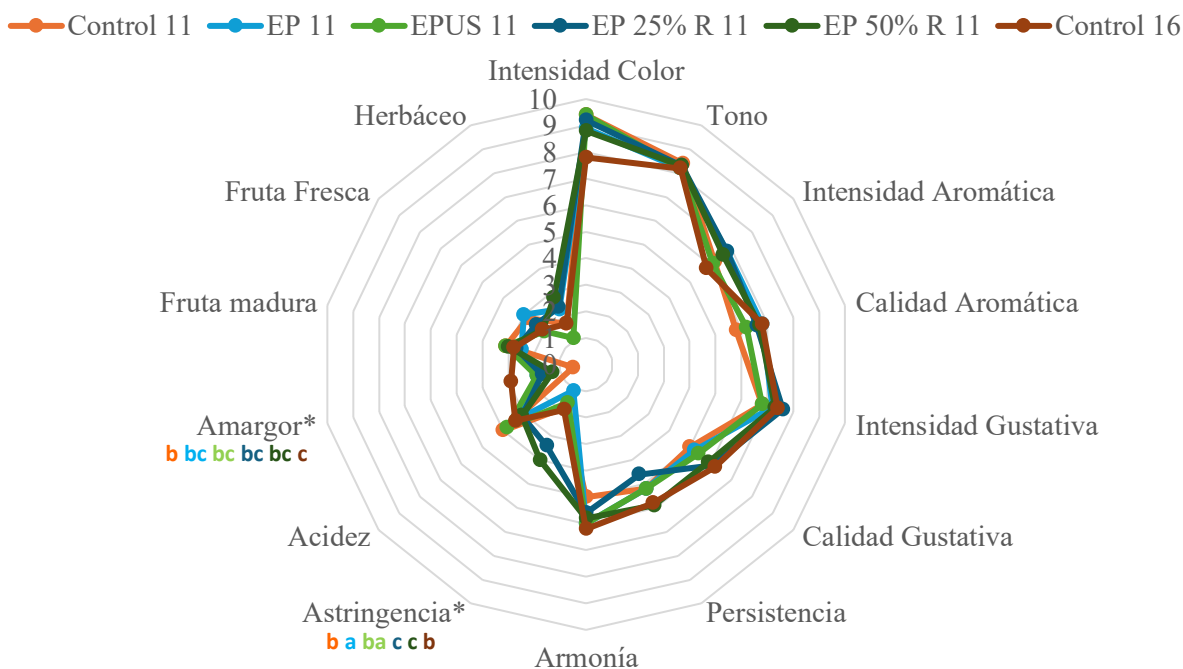
La adición de raspones no lignificados, presentes en la uva inmadura, durante el proceso de vinificación puede conllevar el riesgo de introducir notas vegetales en los vinos debido a la presencia de metoxipirazinas y compuestos carbonílicos alifáticos (Hashizume & Samuta, 1997). Sin embargo, otras investigaciones han demostrado que el tratamiento con vapor de los raspones reduce drásticamente la concentración de metoxipirazinas, responsables del carácter a pimienta y vegetal de los vinos Cabernet Sauvignon (Hashizume et al., 1998). Por otro lado la adición de raspones tratados térmicamente podría evitar el incremento de las



notas vegetales en el vino. Sin embargo, el análisis sensorial llevado a cabo por Casassa et al. (2021a) en vinos de Pinot noir elaborados con adición de raspón, los cuales fueron tratados previamente con microondas, reveló que estos vinos presentaban todavía aromas intensos a pimienta morrón y eucalipto, junto con notas herbáceas como salvia, tomillo y orégano. Estos resultados sugieren que la intensidad de dichos descriptores aromáticos podría atenuarse mediante la incorporación de una menor proporción de raspón durante el proceso de vinificación.

En vinos tintos, la presencia de taninos procedentes del raspón y las semillas, así como un elevado contenido en la estructura del tanino de (-)-epicatequina, se ha correlacionado con una mayor percepción de astringencia (Pascual et al., 2016; Gambau et al., 2019). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en este estudio, donde el raspón adicionado al vino contenía altas concentraciones de esta subunidad. Además, estudios previos han demostrado que la eliminación total de las semillas en uvas verdes contribuye a la reducción de la percepción de astringencia en los vinos (Capítulo 1; Bautista-Ortín et al., 2014). Respecto al amargor, estudios previos demostraron que la presencia de semillas y raspones aumentaban la astringencia y el amargor de los vinos debido principalmente a los compuestos fenólicos como (+)-catequina, (+)-galocatequina, y proantocianidinas (Pascual et al., 2016; Cliff et al., 2012). Asimismo, el incremento de la astringencia y el amargor tras la aplicación de ultrasonidos puede deberse a que el uso de esta técnica facilita una mayor extracción de taninos, no solo de los hollejos, sino de las semillas, los cuales son más astringentes y amargos (Bautista-Ortín et al., 2017; Ferraretto et al., 2013; Zhang et al. 2016).

Figura 2. Análisis sensorial de vinos tintos Monastrell.



*Control 11: vino control con uva a 11 °Bé, EP 11: vino con uva a 11 °Bé y eliminación parcial de semilla, EP US 11: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla y sonificado, EP US 25% R11: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla, sonificado y con 25% de raspón, EP US 50% R11: vino con uva a 11 °Bé, eliminación parcial de semilla, sonificado y 50% de raspón. *Muestra diferencias significativas ($p < 0,05$).*

Conclusiones

Con los resultados obtenidos se puede concluir, que, el grado de madurez de la uva tuvo un efecto significativo sobre las características físico-químicas, fenólicas, volátiles y sensoriales de los vinos tintos. El vino Control 15, elaborado con uvas más maduras, presentó la menor acidez total y la mayor concentración de compuestos fenólicos y volátiles, reflejándose en una mayor intensidad de color, concentración de taninos y calidad aromática. La técnica de eliminación parcial de semillas aplicada en uvas inmaduras redujo significativamente la concentración de taninos (43%) y ciertos antocianos como la malvidina-glucósido, con una consecuente disminución en la intensidad de color. No obstante, la combinación de esta técnica con la aplicación de ultrasonidos mejoró significativamente la extracción de taninos,

en especial aquellos procedentes del hollejo, lo que incrementó el grado medio de polimerización y la formación de vitisinas.

La adición de raspón EP US 25% R 11 y EP US 50% R 11 incrementó ligeramente el contenido de taninos y de forma significativa los pigmentos poliméricos en comparación con el vino EPUS. Aunque en dosis elevadas EPUS 50% R 11 se produjo una reducción de antocianos libres, atribuida especialmente a fenómenos de adsorción. Aromáticamente, esta práctica también favoreció la presencia de compuestos herbáceos (C6), aunque promovió una mayor formación de ésteres, especialmente a una menor dosis EPUS 25% R 11, con impacto positivo en la intensidad aromática del vino. Desde el punto de vista sensorial, los tratamientos con raspón y ultrasonidos incrementaron la percepción de astringencia, mientras que la eliminación parcial de semillas redujo la sensación de amargor en vinos de uva inmadura. En conjunto, los resultados obtenidos ponen de manifiesto que las técnicas enológicas evaluadas: eliminación parcial de semillas, aplicación de ultrasonidos y adición de raspón, influyen de manera significativa en la composición fenólica, volátil y sensorial de los vinos elaborados a partir de uvas inmaduras. Por tanto, la elección y combinación de estas estrategias debe alinearse con el estilo de vino objetivo, ya sea un vino joven, afrutado y equilibrado, o uno con mayor estructura, persistencia y capacidad de envejecimiento. Una aplicación racional de estas técnicas en bodega puede contribuir a mejorar la calidad de los vinos tintos, especialmente en el actual contexto vitícola condicionado por el cambio climático, donde se hace cada vez más necesaria la realización de vendimias tempranas o de manejo de uvas inmaduras o sin el nivel de madurez deseado por la industria.

Referencias

- Bautista-Ortín, A. B., Busse-Valverde, N., López-Roca, J. M., Gil-Muñoz, R., & Gómez-Plaza, E. (2014). Grape seed removal: effect on phenolics, chromatic and organoleptic characteristics of red wine. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 34-41.
- Bautista-Ortín, Ana Belén, Jiménez-Martínez, M. D., Jurado, R., Iniesta, J. A., Terrades, S., Andrés, A., & Gómez-Plaza, E. (2017). Application of high-power ultrasounds during red wine vinification. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(6), 1314–1323.
- Bambina, P., Gancel, A. L., Corona, O., Jourdes, M., & Teissedre, P. L. (2024). Soil effect on proanthocyanidins composition of red and white wines obtained from Nero d'Avola and Grillo Vitis vinifera L. Cultivars. *Food Chemistry*, 443, 138521.
- Busse-Valverde, N., Gómez-Plaza, E., López-Roca, J. M., Gil-Muñoz, R., Fernández-Fernández, J. I., & Bautista-Ortín, A. B. (2010). Effect of different enological practices on skin and seed proanthocyanidins in three varietal wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(21), 11333–11339.
- Canals R, Llaudy MC, Valls J, Canals JM, Zamora F (2005). Influence of ethanol concentration on the extraction of color and phenolic compounds from the skin and seed of Tempranillo grapes at different stages of ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53:4019–4025.
- Canals, R., del Carmen Llaudy, M., Canals, J. M., & Zamora, F. (2008). Influence of the elimination and addition of seeds on the colour, phenolic composition and astringency of red wine. *European Food Research and Technology*, 226, 1183-1190.
- Casassa, L. F., Harbertson, J. F., & Smith, R. J. (2021a). Chemical and chromatic effects of saignée combined with extended maceration and microwaved stem addition on three Pinot Noir clones from the Central Coast of California. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 27, 540–552.

- Casassa, L.F., Dermutz, N.P., Mawdsley, P.F.W., Thompson, M., Catania, A.A., Collins, T.S., Ashmore, P.L., du Fresne, F., Gasic, G. and Dodson Peterson, J.C. (2021b). Whole cluster and dried stem additions effects on chemical and sensory properties of Pinot Noir wines over two vintages. *American Journal of Enology and Viticulture* 72, 21–35.
- Dequin, S., Escudier, J.-L., Bely, M., Noble, J., Albertin, W., Masneuf-Pomarède, I., Marullo, P., Salmon, J.-M., & Sablayrolles, J.-M. (2017). How to adapt winemaking practices to modified grape composition under climate change conditions. *OENO One*, 51(2), 205–214.
- Duncan, J. D., Devillers, H., Camarasa, C., Setati, M. E., & Divol, B. (2024). Oxygen alters redox cofactor dynamics and induces metabolic shifts in *Saccharomyces cerevisiae* during alcoholic fermentation. *Food Microbiology*, 124, 104624. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2024.104624>
- Glories, Y. (1984). La couleur des vins rouges. 2e partie: mesure, origine et interprétation. *OENO One*, 18(4), 253. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.1984.18.4.1744>
- Guaita, M., Petrozziello, M., Panero, L., Tsolakis, C., Motta, S., & Bosso, A. (2017). Influence of early seeds removal on the physicochemical, polyphenolic, aromatic and sensory characteristics of red wines from Gaglioppo cv. *European Food Research and Technology*, 243(8), 1311-1322.
- Hashizume, K., Samuta, T. Green odorant of grape cluster stem and their ability to cause wine stemmy flavor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1997, 45, 1333-1337.
- Hashizume, K., Kida, S., & Samuta, T. (1998). Effect of steam treatment of grape clusters stems on the methoxypyrazine, phenolic, acid, and mineral content of red wines fermented with stems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10), 4382–4386.
- He, Y., Wang, X., Li, P., Lv, Y., Nan, H., Wen, L., & Wang, Z. (2023). Research progress of wine aroma components: A critical review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 402, 134491. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134491>



- Hornedo-Ortega, R., González-Centeno, M. R., Chira, K., Jourdes, M., & Teissedre, P.-L. (2021). Phenolic compounds of grapes and wines: Key compounds and implications in sensory perception. En L. F. Ribeiro, F. Cosme, & F. M. Nunes (Eds.), *Chemistry and biochemistry of winemaking, wine stabilization and aging* (pp. 1–26). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87471>
- Jagatić Korenika, A. M., Kozina, B., Preiner, D., Tomaz, I., Volarević, J., & Jeromel, A. (2023). The effect of seed removal and extraction time on the phenolic profile of Plavac Mali wine. *Applied Sciences*, 13(9), 5411.
- Jones-Moore, H. R., Jelley, R. E., Marangon, M., & Fedrizzi, B. (2022). The interactions of wine polysaccharides with aroma compounds, tannins, and proteins, and their importance to winemaking. *Food Hydrocolloids*, 123, 107150.
- Kennedy, J. A., Troup, G. J., Pilbrow, J. R., Hutton, D. R., Hewitt, D. G., Hunter, C. R., Ristic, R., Iland, P., & Jones, G. P. (2000). Development of seed polyphenols in berries from *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6(3), 244–254.
- Lamçe, F., Kyçyk, O., Gozhdari, K., Zejnelhoxha, S., & Kukali, E. (2020). The influence of stems and oak chips on the fermentation and color stabilization during maturation of red wines produced by cv. Shesh I Zi. *Journal of Central European Agriculture*, 21(1), 129–134.
- Lee, J., Kennedy, J. A., Devlin, C., Redhead, M., & Rennaker, C. (2008). Effect of early seed removal during fermentation on proanthocyanidin extraction in red wine: A commercial production example. *Food Chemistry*, 107(3), 1270-1273.
- Li, R., Yang, D., Li, Z., Tang, X., Zhong, K., Ding, Y., Zhang, Y., Liu, H., & Sun, Y. (2025). The effect of stem contact fermentation on the quality of Cabernet Sauvignon and Merlot wines from Yantai, China. *Food Bioscience*, 64, 105872. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.105872>
- Llaudy, María & Canals, Roser & Canals, Joan-Miquel & Zamora, Fernando. (2008). Influence of ripening stage and maceration length on the contribution of grape skins,

- seeds and stems to phenolic composition and astringency in wine-simulated macerations. *European Food Research and Technology*. 226. 337-344.
- Martínez-Moreno, A., Pérez-Álvarez, E., López-Urrea, R., Intrigliolo, D., González-Centeno, M. R., Teissedre, P.-L., & Gil-Muñoz, R. (2022). Is deficit irrigation with saline waters a viable alternative for winegrowers in semiarid areas?. *OENO One*, 56(1), 101–116.
- Marques J, Reguinga R, Laureano O, Ricardo-da-Silva JM (2005). Changes in grape seed, skins and pulp condensed tannins during berry ripening: effect of fruit pruning. *Ciência Técnica Vitivinícola* 20(1):35–52.
- Mercurio, M.D., Dambergs, R.G., Cozzolino, D., Herderich, M.J. & Smith, P.A. (2010). Relationship between red wine grades and phenolics. 1. Tannin and total phenolics concentrations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 12313–12319.
- Morata, A. (Ed.). (2018). *Red wine technology*. Academic Press.
- Nel, A. P. (2018). Tannins and anthocyanins: From their origin to wine analysis-A review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 39(1), 1-20.
- Osete-Alcaraz, A., Gómez-Plaza, E., Martínez-Pérez, P., Weiller, F., Schückel, J., Willats, W. G. T., Moore, J. P., Ros-García, J. M., & Bautista-Ortín, A. B. (2020). The impact of carbohydrate-active enzymes on mediating cell wall polysaccharide-tannin interactions in a wine-like matrix. *Food Research International*, 129(March 2019), 108889. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108889>
- Osete-Alcaraz, A., Gómez-Plaza, E., Martínez-Pérez, P., Weiller, F., Schückel, J., Willats, W. G. T., Moore, J. P., Ros-García, J. M., & Bautista-Ortín, A. B. (2021). The influence of hydrolytic enzymes on tannin adsorption-desorption onto grape cell walls in a wine-like matrix. *Molecules*, 26(3), 1–15.
- Osete-Alcaraz, A., Gómez-Plaza, E., Pérez-Porras, P., & Bautista-Ortín, A. B. (2022). Revisiting the use of pectinases in enology: A role beyond facilitating phenolic grape extraction. *Food Chemistry*, 372. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131282>.

- Osorio Alises, M., Sánchez-Palomo, E., & González Viñas, M. (2024). Aroma enhancement of dealcoholized wines using enzyme treatment and glycosidic aroma precursors. *Food Science and Technology*, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116824>.
- Pascual, O., González-Royo, E., Gil, M., Gómez-Alonso, S., García-Romero, E., Canals, J.M., Hermosín-Gutiérrez, I. and Zamora, F. (2016). Influence of grape seeds and stems on wine composition and astringency. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64, 6555–6566.
- Peyrot des Gachons C & Kennedy J.A. (2003). Direct method determining seed and skin proanthocyanidin extraction into red wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51:5877–5881.
- Pérez-Mendoza, A.L., Martínez-Moreno, A., Gómez-Plaza, E., & Bautista-Ortín, B. (2025). Balancing phenolic maturity and alcohol content: The impact of seed removal on red wines. *OENO One*, 59(1).
- Pérez-Porras, P., Gómez-Plaza, E., García, R., Hidalgo., Consuelo., Moreno Olivares, J & Bautista-Ortín, A. (2022). Prefermentative grape microwave treatment as a tool for increasing red wine phenolic content and reduce maceration time. *Applied Sciences*. 12. 8164. [10.3390/app12168164](https://doi.org/10.3390/app12168164).
- Pérez-Porras, P., Gómez-Plaza, E., Osete-Álcaraz, A., Martínez-Pérez, P., Jurado, R., & Bautista-Ortín, A. B. (2023). The effect of ultrasound on Syrah wine composition as affected by the ripening or sanitary status of the grapes. *European Food Research and Technology*, 249(3), 641-651.
- Pérez-Porras, P., Bautista-Ortín, A.B., Osete-Alcaraz, L., Carrasco-Palazón, M.J., Jurado. R., Gómez-Plaza, E. (2025). High-power ultrasounds as a tool for the formation of stable pigments during the aging of red wines. *Food and Bioprocess Technology*, <https://doi.org/10.1007/s11947-025-03905-7>.
- Rentzsch, M., Schwarz, M., & Winterhalter, P. (2007). Pyranoanthocyanins—An overview on structures, occurrence, and pathways of formation. *Trends in Food Science & Technology*, 18(10), 526–534.

- . European Commission. (1990). Commission Regulation (EEC) No 2676/90 of 17 September 1990 determining Community methods for the analysis of wines. *Official Journal of the European Communities*, L 272, 1–192.
- Ribéreau-Gayon, P., & Markakis, P. (1982). Anthocyanins of Food Colors. New York: *Academic Press*. Chapter 8.
- Robichaud, J. L., & Noble, A. C. (1990). Astringency and bitterness of selected phenolics in wine. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 53(3), 343-353.
- Rouxinol, M. I., Martins, M. R., Barroso, J. M., & Rato, A. E. (2023). Wine grapes ripening: A review on climate effect and analytical approach to increase wine quality. *Applied Biosciences*, 2(3), 347-372.
- Li, R., Yang, D., Li, Z., Tang, X., Zhong, K., Ding, Y., Han, X., Guan, X., & Sun, Y. (2025). The effect of stem contact fermentation on the quality of Cabernet Sauvignon and Merlot wines from Yantai, China. *Food Bioscience*, 64, 105872. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.105872>
- Ryan J.M & Revilla E. (2003). Anthocyanin composition of Cabernet sauvignon and Tempranillo grapes at different stages of ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51:3372–3378.
- Singleton, V. L., & Trousdale, E. K. (1992). Anthocyanin-tannin interactions explaining differences in polymeric phenols between white and red wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 43(1), 63-70.
- Souquet, J. M., Cheynier, V., Brossaud, F., & Moutounet, M. (1996). Polymeric proanthocyanidins from grape skins. *Phytochemistry*, 43(2), 509-512.
- Souquet JM, Cheynier V, Moutonnet M (2000) Les proanthocyanidins du raisin. *Bulletin de l'OIV* 73:601–609.
- Sun B & Spranger MI. (2005). Changes in phenolic composition of Tinta Miu' da red wines after 2 years of ageing in bottle: effect of winemaking Technologies. *European food research and technology* 221:305–312.

- Suriano, S., Alba, V., Tarricone, L., & Di Gennaro, D. (2015). Maceration with stems contact fermentation: Effect on proanthocyanidins compounds and color in Primitivo red wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 177, 382–389.
- Tao, Y., García, J. F., & Sun, D. W. (2014). Advances in wine aging technologies for enhancing wine quality and accelerating wine aging process. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(6), 817-835.
- Vivas N., Nonier M.F., Vivas de Gaulejac N., Absalon C., Bertrand A & Mirabel M. (2004) Differentiation of proanthocyanidin tannins from seeds, skins and stems of grape (*Vitis vinifera*) and heartwood of Quebracho (*Shinopsis balansae*) by matrix assisted laser desorption/ ionisation time of flight mass spectrometry and thioacidolysis/liquid chromatography/electrospray ionisation mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 513;147–156.
- Wang, Z., Zhang, L., Zhou, S., Wu, X., & Yuan, C. (2024). Additions/removals of seeds before fermentation alters Cabernet Sauvignon wine color via modulating anthocyanins and derivatives. *Food Science and Technology*, 211, 116929.
- Zhai, H., Qi, M., Zhang, Y., Mao, L., Yang, W., Zhou, P., Cheng, C., Yu, K., Shi, Y., Duan, C., & Lan, Y. (2025). Polysaccharide-induced colloidal stabilization of red wines: Impact on phenolic composition and color characteristic. *Food Hydrocolloids*, 160, 110822. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110822>
- Zhai, H. Y., Li, S. Y., Zhao, X., Lan, Y. B., Zhang, X. K., Shi, Y., & Duan, C. Q. (2023). The compositional characteristics, influencing factors, effects on wine quality and relevant analytical methods of wine polysaccharides: A review. *Food Chemistry*, 403, 134467.
- Zhang, P., Fuentes, S., Siebert, T., Krstic, M., Herderich, M., Barlow, E. W. R., & Howell, K. (2016). Terpene evolution during the development of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz grapes. *Food Chemistry*, 204, 463–474.

Capítulo 3. Impacto del tratamiento de resinas de intercambio catiónico en la acidificación y calidad del vino tinto Monastrell



Las analíticas de los vinos fueron realizadas en el laboratorio del grupo de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos de la Universidad de Murcia. Este trabajo fue publicado en la revista **Fermentation**.

Martínez-Moreno, A., Pérez-Mendoza, A. L., Sánchez-Bravo, P., Gómez-Plaza, E., Jurado-Fuentes, R., & Bautista-Ortín, A. B. (2025). Impact of Cation-Exchange Resin Treatment on Acidification and Quality of Monastrell Red Wine. *Fermentation*, 11(9), 512. <https://doi.org/10.3390/fermentation11090512>



Resumen

El cambio climático tiene un impacto significativo en la fisiología de la vid, provocando modificaciones en la composición de la uva, lo que conlleva alteraciones notables en la calidad del vino, como una menor acidez, mayor contenido de alcohol y niveles de pH más elevados. Estos efectos son especialmente problemáticos en regiones áridas y semiáridas, como las zonas mediterráneas, donde las altas temperaturas estivales y las escasas precipitaciones aceleran la degradación de los ácidos de la uva. Como resultado, los vinos carecen de la acidez suficiente para mantener el nivel deseado de frescura y calidad.

Por ello, este trabajo evaluó el efecto de la acidificación de mostos mediante resinas de intercambio catiónico sobre la composición y calidad de los vinos tintos Monastrell, comparándolos con vinos ajustados al mismo pH objetivo mediante la adición de ácido tartárico. Los resultados mostraron que el tratamiento de una parte del mosto con resinas de intercambio catiónico (20% y 30%) redujo significativamente los valores de pH e incrementó la acidez total en comparación con el vino control. Esta misma tendencia se observó en los vinos tratados con ácido tartárico. Además, el tratamiento con resina redujo de forma significativa la concentración de cationes metálicos prooxidantes como el hierro, el cobre y el manganeso, lo que contribuyó a menores valores de acidez volátil y a una mayor estabilidad frente a la oxidación de los compuestos fenólicos. La acidificación del mosto mediante ambos métodos mejoró la calidad del color del vino, aumentando la intensidad de color y disminuyendo los valores del tono. Aunque no se encontraron diferencias significativas en la concentración total de compuestos fenólicos, se detectaron variaciones en su perfil composicional. Asimismo, la acidificación afectó a la concentración y composición de los compuestos aromáticos en el vino final. El análisis sensorial reveló que los vinos tratados con mosto acidificado mediante resinas de intercambio catiónico presentaron una mayor intensidad aromática, notas frutales más marcadas y una astringencia reducida, resultando en una sensación en boca más fresca. En conclusión, el tratamiento del mosto con resinas de intercambio catiónico se presenta como una buena alternativa de bajo costo frente a la adición de ácido tartárico para reducir el pH e incrementar la acidez en vinos tintos Monastrell, mejorando así su calidad en regiones vitivinícolas de clima árido o semiárido.

Introducción

En los últimos años, el cambio climático está afectando cada vez más a la viticultura a nivel mundial, alterando la composición de la uva y, en consecuencia, la calidad del vino. Los cambios más notables incluyen una reducción de la acidez total, un aumento del contenido alcohólico y niveles de pH más elevados (Just-Borràs et al., 2022). Estos efectos resultan particularmente problemáticos en regiones áridas y semiáridas, como la Región de Murcia, donde impactan negativamente en el equilibrio, la frescura y el potencial de crianza del vino (Sweetman et al., 2014). Ante este escenario, las bodegas se enfrentan a una decisión crítica: vendimiar de forma temprana cuando los niveles de azúcar son bajos y el pH es óptimo, pero la madurez fenólica y aromática es insuficiente; o retrasar la vendimia para alcanzar una madurez fenólica completa a costa de un contenido alcohólico excesivo y un pH elevado. Por tanto, identificar estrategias enológicas que permitan mitigar este desequilibrio inducido por el cambio climático resulta de gran interés para el sector vitivinícola.

La acidez y el pH desempeñan un papel crucial en la elaboración de vinos tintos, influyendo tanto en la estabilidad microbiológica como en las propiedades fisicoquímicas (Boulton, 1980). El pH determina el equilibrio del anhídrido sulfuroso (SO_2), afectando directamente a la proporción de SO_2 libre y molecular (Lafon-Lafourcade & Peynaud, 2016). Se considera que concentraciones de SO_2 molecular entre 0,6 y 0,8 mg/L son necesarias para garantizar la estabilidad microbiológica en vinos secos (Boulton et al., 1996; Ribéreau-Gayon et al., 2005). Sin embargo, los vinos con pH más alto requieren mayores concentraciones de SO_2 molecular para alcanzar el mismo nivel de protección, lo que puede superar los límites legales para vinos tintos secos, como el umbral de 150 mg/L establecido en España (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2007). Además, el pH y la acidez son factores clave en la solubilidad y estabilidad de sales tartáricas, y también influyen en el color del vino, al modular el equilibrio de los antocianos (Berg, 1963; Boulton, 2001) y favorecer la condensación y polimerización de pigmentos (Sheridan & Elías 2016). En conjunto, la acidez total como el pH afectan significativamente en la percepción sensorial y el equilibrio organoléptico, desempeñando un papel esencial en la estabilidad y calidad del vino (Ribéreau-Gayon et al., 2006).

Dado a la importancia crítica del pH en la calidad del vino, se han desarrollado diversas técnicas para aumentar la acidez y reducir los niveles de pH. Estas estrategias incluyen procesos químicos, microbiológicos, físicos y fisicoquímicos (Morata, 2018). Entre los métodos tradicionales más utilizados en enología se encuentran: (i) el ensamblaje con mostos o vinos de mayor acidez (Martínez-Moreno et al., 2023); (ii) la acidificación microbiológica mediante el uso de levaduras *Saccharomyces* o *no-Saccharomyces* en el mosto capaces de producir ácido málico o succínico (Benito et al., 2019). Así se ha reportado que algunas cepas de *Saccharomyces cerevisiae* producen cantidades moderadas de ácido succínico (Morata, 2018), mientras que especies no *Saccharomyces* como *Schizosaccharomyces pombe* y *Lachancea thermotolerans* pueden contribuir significativamente a la acidificación. *Lachancea thermotolerans*, en particular, es actualmente ampliamente empleada en la elaboración de vino para acidificar el mosto o el vino mediante la producción de ácido láctico, mejorando así la frescura y la estabilidad microbiológica (Morata, 2018 y Benito et al., 2019); y (iii) la acidificación química mediante la adición de ácido láctico, málico o tartárico (Morata, 2018). Aunque los ácidos málico y láctico también están permitidos para la acidificación, su impacto en la reducción del pH es más limitado que el del ácido tartárico debido a sus valores de pK_a más altos (ácido málico $pK_{a1}=3,40$; ácido láctico $pK_a=3,86$ vs. ácido tartárico $pK_{a1}=2,98$). A concentraciones molares equivalentes, generan un menor cambio en la actividad de iones hidrógeno y, por lo tanto, una menor disminución del pH. Además, el ácido tartárico es el principal ácido natural en la uva y el vino y permanece estable durante el envejecimiento, lo que lo convierte en el agente acidificante más utilizado en la vinificación en climas cálidos. Por estas razones, el presente estudio se centró en comparar la adición del ácido tartárico con el tratamiento mediante resinas de intercambio catiónico, en lugar de incluir los ácidos málico o láctico.

La Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV, 2017) ha aprobado dos mejoras tecnológicas clave para la regulación de la acidez en mostos y vinos: (i) utilización de los sistemas de electromembranas derivadas de la electrodialisis, utilizadas principalmente para la estabilización tartárica (Lasanta & Gómez, 2012); y (ii) sistemas de intercambio iónico, mediante resinas de intercambio catiónico para acidificar mostos y vinos (Lasanta et al., 2013). La OIV establece límites para las prácticas de acidificación, estipulando que la acidez total no puede incrementarse más de 54 meq/L, equivalente a 4 g/L de ácido tartárico.

Las resinas de intercambio catiónico son copolímeros sulfonados de estireno-divinilbenceno con grupos sulfónicos ($-\text{SO}_3\text{H}$), que facilitan el intercambio de cationes como potasio (K^+), y calcio (Ca^{2+}) por iones H^+ , incrementando así la acidez total y reduciendo el pH del mosto o del vino (OIV, 2017b; Ribéreau-Gayon et al., 2006). Además de mejorar la estabilidad tartárica al reducir el riesgo de precipitación de sales, este proceso también elimina cationes metálicos como el hierro (Fe) y el cobre (Cu), que forman complejos con ácidos orgánicos (Lasanta et al., 2013). La reducción de metales redox-activos contribuye a una mayor estabilidad frente a la oxidación. Sin embargo, las concentraciones también influyen en la fermentación alcohólica y, por tanto, en la composición aromática del vino. Según Walker (2004), algunos iones metálicos influyen en el crecimiento y metabolismo de las levaduras, afectando a la tasa de conversión de azúcares a etanol, la biomasa, la viabilidad celular, la tolerancia al estrés, la producción de espuma y la floculación. En este sentido, el magnesio es el principal candidato como protector frente al estrés en la fermentación, mientras que el cobre incrementa el estrés en las levaduras durante dicho proceso. Por lo tanto, el uso de estas resinas proporciona una herramienta precisa y eficaz para el ajuste del pH. En términos generales, cuando se aplica esta técnica enológica en bodega, solo una fracción del mosto o del vino (5-30%) se trata con resinas y posteriormente se reincorpora al lote principal (Ponce et al., 2018). Dicho tratamiento con resinas no debe reducir el pH del vino por debajo de 3,0 ni provocar una disminución superior a 0,3 unidades de pH tartárico (Código Internacional de Prácticas Enológicas, 2025).

Diversos estudios han investigado la aplicación del intercambio catiónico en mosto y vino, así como su impacto sobre la composición y calidad del vino (Walker et al., 2004; Lasanta y Gómez, 2012; Lasanta et al., 2013; Mislata et al., 2021; Ponce et al., 2018). Esta tecnología ha demostrado ser eficaz para el ajuste del pH, al tiempo que mejora tanto la estabilidad tartárica como la estabilidad oxidativa en vinos tintos (Payan et al., 2023). Aunque su impacto sobre el contenido fenólico es limitado, se han reportado ligeras reducciones en los niveles de antocianos y taninos cuando se aplica directamente en vino (Walker et al., 2004). No obstante, en vinos tintos de Syrah, este método se ha asociado con mejoras en los atributos cromáticos, como una menor tonalidad y una mayor intensidad de color (Walker et al., 2004).

Hasta donde sabemos, no existen estudios previos que hayan explorado la aplicación de resinas de intercambio catiónico en mostos destinados a la elaboración de vino tinto de Monastrell. Esta es una variedad de maduración tardía y ciclo vegetativo largo, cultivada principalmente en regiones donde el cambio climático y las altas temperaturas dificultan la maduración fenólica. Esto obliga, con frecuencia, a retrasar la vendimia, obteniendo mostos con elevados niveles de sólidos solubles y pH. Como resultado, durante la vinificación se requieren importantes adiciones de ácido tartárico, lo que incrementa el riesgo de precipitación de sales tartáricas, además de constituir una intervención limitada por la normativa vigente, la cual establece que el aumento neto acumulado no debe superar los 4 g/L de ácido tartárico (Código Internacional de Prácticas Enológicas., 2025). Por ello, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto del tratamiento del mosto con resinas de intercambio catiónico, un método de acidificación de bajo coste y con menor riesgo de precipitación tartárica en comparación con la acidificación tradicional mediante ácido tartárico, sobre la composición y calidad de los vinos tintos de Monastrell. Los vinos elaborados a partir de mostos tratados con resinas de intercambio catiónico se compararon con aquellos ajustados al mismo pH mediante ácido tartárico, así como con vinos control obtenidos a partir de mostos sin tratar, con fin de evaluar el potencial de este enfoque físico como alternativa más viable para mejorar la calidad del vino en regiones cálidas.

Materiales y métodos

1. Ubicación del viñedo y muestras de uva

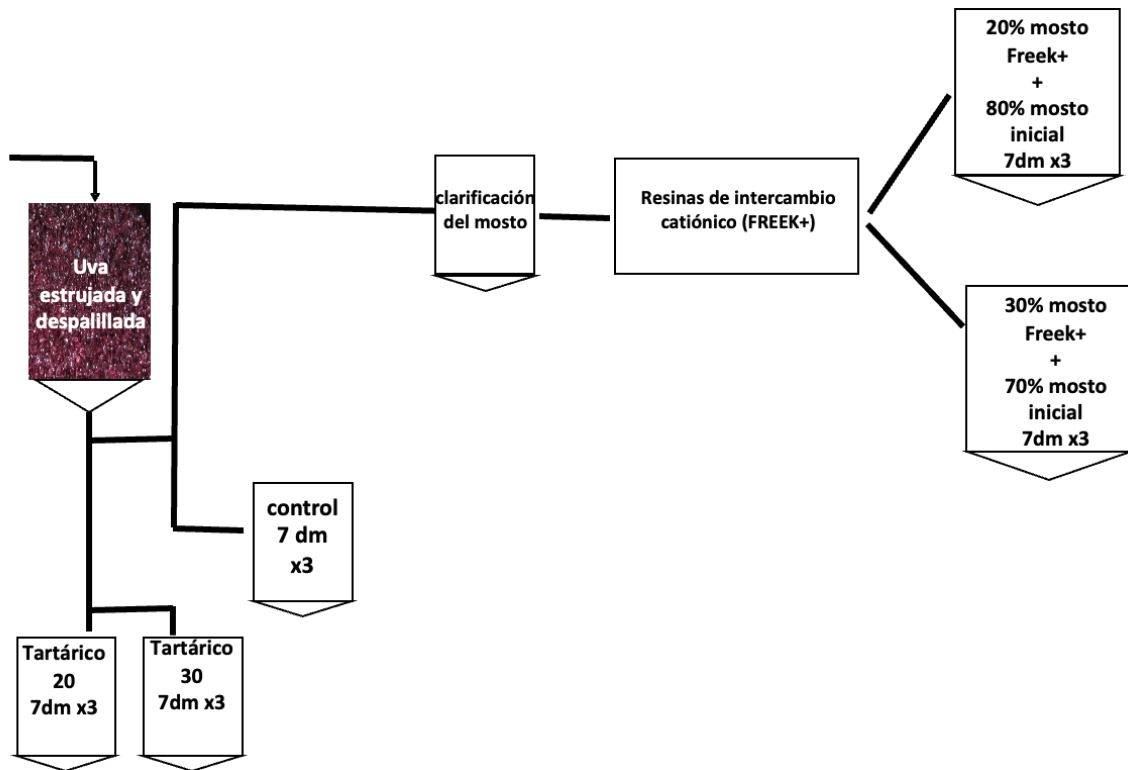
Un total de 500 kg de uva tinta Monastrell se cosecharon en un viñedo ubicado en el Valle del Aceniche, dentro de la D.O. Bullas, Región de Murcia, España. Con una madurez de 14 °Bé. Las cepas de Monastrell fueron plantadas en 1990 y están distribuidas en un marco de plantación de 2,5 x 3,0 metros (equivalente a 1333 plantas por hectárea). El viñedo se encuentra a una altitud de 850 metros sobre el nivel del mar y presenta veranos calurosos e inviernos muy fríos, con nevadas ocasionales. Las cepas se cultivan mediante un sistema de conducción en vaso y bajo condiciones de secano (un método de cultivo en el que las cepas dependen completamente de la lluvia natural, sin riego).

2. Vinificaciones

Del total de uvas recolectadas, el mosto presentó $27,2 \pm 0,1$ °Brix, un pH de $3,85 \pm 0,1$, y una acidez total de $5,53 \pm 0,05$ g/L (expresada en equivalentes de ácido tartárico). Estos valores corresponden a uvas en una madurez tecnológica avanzada, caracterizada por un alto contenido de azúcar y un pH elevado, condiciones típicas de la viticultura en climas cálidos y representativas de los desafíos enológicos tratados en este estudio. Se separó el 20% de la uva vendimiada, se despalló y estrujó para obtener 50 L de mosto destinado a tratamientos de acidificación con resinas. La acidificación se realizó utilizando una unidad de intercambio catiónico a escala semiindustrial, FreeK+, proporcionada por Agrovin S.A. (Alcázar de San Juan, Ciudad Real, España), operando a un caudal de 150 L/h. Antes del tratamiento, el mosto fue clarificado mediante la adición de enzimas pectolíticas (Enozym Lux, 3 mL/hL) para reducir la turbidez por debajo de 70 NTU. Posteriormente, el mosto acidificado sustituyó al 20% y al 30% del volumen del mosto sin tratar en las vinificaciones correspondientes (FreeK 20 y FreeK 30).

Además, se realizaron dos vinificaciones con adiciones de ácido tartárico para ajustar el pH a los mismos niveles que en los tratamientos con 20% y 30% de mosto acidificado (Tartárico 20 y Tartárico 30, respectivamente). Se llevó a cabo una vinificación control sin sustitución de mosto ni ajuste de pH. Todas las vinificaciones se realizaron por triplicado en depósitos de 25 L. La maceración duró siete días. Al finalizar la maceración, los vinos se prensaron y el vino obtenido del prensado se mezcló con el vino escurrido. Todos los vinos se almacenaron a temperatura ambiente (23 ± 2 °C) hasta finalización de la fermentación alcohólica. Una vez completada la fermentación, los vinos fueron sulfitados, trasegados y finalmente embotellados. Los análisis se realizaron un mes después del embotellado.

Figura 1. Esquema de elaboraciones de vino Monastrell.



3. Determinaciones analíticas

3.1 Parámetros físico-químicos

Los vinos fueron caracterizados determinando el contenido alcohólico, pH y acidez total, siguiendo los métodos establecidos por la Comunidad Europea (Reglamento de la CEE, 1990).

3.2 Análisis espectrofotométricos

Los parámetros cromáticos se evaluaron con un espectrofotómetro UV/Visible (Helios Alpha Thermo Spectronic, Cambridge, Reino Unido). La intensidad de color (IC) del vino se determinó como la suma de las absorbancias a 420 nm, 520 nm y 620 nm, según Glories

(1984). Las concentraciones de antocianos totales y poliméricas se midieron según el método de Ho et al. (2001). El índice fenólico total (IPT) se calculó a partir de la absorbancia a 280 nm, según Ribéreau-Gayon et al. (2006). Los taninos totales se determinaron mediante el método de precipitación con metilcelulosa descrito por Smith (2005).

3.3 Determinación de proantocianidinas por HPLC

La concentración total de proantocianidinas y su composición (grado medio de polimerización, porcentaje de galoilación y porcentaje de (-)-epigallocatequina se determinaron mediante el método de floroglucinolisis bajo las condiciones descritas por Busse Valverde et al. (2010). La concentración y la composición de taninos fue determinada restando a la concentración de subunidades terminales de los flavan-3-oles monoméricos. El análisis se realizó en un sistema HPLC Waters 2695 (Waters, Milford, MA, EE.UU.) acoplado a un detector de diodo array (Waters 2996) usando una columna Atlantis dC18 (250 x 4,6 mm, 5 μ m) protegida con una pre-columna del mismo material (250 x 4,6 mm, 5 μ m). El volumen de inyección fue de 10 μ L. El disolvente A consistía en una mezcla de agua/ácido fórmico (98:2, v/v), el B una mezcla de acetonitrilo/disolvente A (80:20, v/v) con un caudal constante de 0,8 mL/min y una temperatura de la columna de 30 °C. Las condiciones de elución fueron: 100 % de disolvente A durante 5 minutos, seguidos de un gradiente lineal del 100% al 90% de A durante 30 minutos, y del 90% al 80% de A durante 30 minutos adicionales, finalizado con un lavado reequilibrio de la columna. El porcentaje de galoilación se calculó como la proporción molar de subunidades galoiladas (expresadas como (-)-epicatequina galato) en relación con la concentración molar total de todas las unidades terminales y de extensión liberadas tras la floroglucinolisis

3.4 Determinación de antocianos y vitisinas por HPLC

La separación de antocianos y vitisinas en el vino se realizó mediante un cromatógrafo líquido Waters Acquity Arc (Waters, Milford, MA, EE.UU.) equipado con un detector de diodo array Waters 2998, siguiendo la metodología descrita por Martínez-Moreno et al. (2025). Se utilizó una columna Poroshell 120- EC-C18 (150 x 2,1 mm, 2,7 μ m, Agilent

Technologies, Santa Clara, CA, EE.UU.). La fase móvil consistió en ácido fórmico al 1% en agua (disolvente A) y ácido fórmico al 1% en una mezcla de metanol:acetonitrilo (1:1, v/v) como disolvente B. El gradiente de elución fue: 100 % de A durante 2 minutos, seguido de un aumento lineal de 0% a 15% de B en 33 minutos, de 15% a 21% en 15 minutos, y de 21% a 30% en 20 minutos, finalizando con lavado y reequilibrio. La temperatura del horno de la columna fue 55 °C, el caudal de 0,3 mL/min y el volumen de inyección de 5 µL. La identificación y cuantificación de compuestos se realizó a 520 nm, usando cloruro de malvidina-3-glucósido como estándar externo.

3.5 Determinación de compuestos volátiles

Para el análisis de compuestos volátiles en los vinos Monastrell, se añadieron 10 mL de vino a un vial de vidrio de 30 mL. Se adicionaron también 4 g de cloruro sódico (NaCl) y 25 µL de un estándar interno (2-octanol, Sigma-Aldrich), y el vial se cerró herméticamente con una tapa revestida de PTFE. La solución se homogenizó en un mezclador vórtex (IKA, Königswinter, Alemania). El análisis de compuestos volátiles se realizó por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) utilizando un sistema de HP 5890 acoplado a un espectrómetro de masas cuadrupolar HP 5972 (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, EE.UU.). Se inyectaron 2 µL del extracto en modo Split. La separación se llevó a cabo en una columna capilar HP InnoWax (50m x 0,32mm, 0,25 µm, Agilent). La temperatura del inyector se mantuvo a 40 °C durante 5 minutos incrementando hasta 225 °C a 3 °C /min y manteniéndola constante durante 5 minutos. El detector operó en modo de impacto electrónico (70eV), con un rango de adquisición de masas (m/z) de 50 a 200 uma. La identificación de picos se realizó comparando los espectros de masas con los de la biblioteca Wiley 6.0 (Chichester, Reino Unido) y con los índices de retención calculados según valores publicados. Los datos semicuantitativos se obtuvieron calculando el área relativa del pico (señal de ion total o fragmento en caso de coelución) respecto al estándar interno.

3.6 Análisis de metales y elementos traza por ICP-MS

Los metales y elementos traza se determinaron mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Las muestras de vino se diluyeron previamente 1:10 (v/v) con ácido nítrico al 2% (v/v). El análisis se realizó con un instrumento Agilent 7900 (Agilent, Tokio, Japón), equipado con un nebulizador MicroMist y una cámara de nebulización de doble paso tipo Scott con nebulización continua. Las condiciones operativas fueron las siguientes: caudal de gas del nebulizador, 1,05 L/min; caudal de gas auxiliar, 0,9 L/min; caudal de gas del plasma 15 L/min; y potencia de RF del ICP, 1500 W. Las curvas de calibración se establecieron hasta 100 mg/L para K, Mg, Na y Ca, y hasta 1 mg/L para elementos en menor concentración como Fe, Cu, Mn y Zn.

3.7 Análisis sensorial

Los vinos fueron evaluados utilizando un enfoque de análisis sensorial descriptivo. Antes de la evaluación, las muestras de las tres réplicas de cada tratamiento fueron combinadas para obtener una muestra representativa y minimizar la variabilidad entre réplicas. El panel sensorial consistió en 12 panelistas entrenados con amplia experiencia en análisis sensorial de vino. El estudio de evaluación sensorial siguió las recomendaciones de la Declaración de Helsinki (WMA, 2013) y se ajustó estrictamente a las pautas del comité de ética de investigación de la Universidad de Murcia para el análisis sensorial de alimentos con paneles entrenados. Los participantes dieron su consentimiento informado a través de la declaración “Soy consciente de que mis respuestas son confidenciales y acepto participar en este estudio como panelista entrenado”, donde se requería una respuesta afirmativa para ingresar al panel de cata. Además, el análisis sensorial se realizó siguiendo las pautas establecidas por UNE-ISO 6658:2019 y UNE-ISO 4121:2006 que definen la metodología general para las pruebas sensoriales y los procedimientos para evaluar la intensidad de los atributos sensoriales. Se sirvieron 40 mililitros de vino codificado con números de 3 dígitos en copas de cata estándar. Se proporcionaron galletas saladas y agua fresca para limpiar el paladar entre muestras. Las evaluaciones se llevaron a cabo en una sala de cata estandarizada con cabinas individuales iluminadas por luz blanca, a una temperatura controlada de 20 ± 1 °C, libre de olores, ruidos, y distracciones. El panel trabajó con el léxico previamente descrito por Pérez Mendoza, et al

(2025), evaluando los siguientes atributos: intensidad de color, tono, intensidad de aroma, calidad del aroma, calidad del sabor, persistencia, armonía, astringencia, acidez, fruta madura, fruta fresca y herbáceo. Se utilizó una escala numérica del 0 al 10 para la evaluación (0= ninguno, 10= extremadamente con incrementos de 0,5). El panel realizó 4 sesiones de entrenamiento sobre los descriptores y, después de una sesión de validación, comenzó el análisis de las muestras. Todas las muestras fueron evaluadas por triplicado.

3.8 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software Statgraphics Centurion XV1.3 (Statpoint Technologies, Inc, The plains, VA, EE.UU). Los parámetros fisicoquímicos, los compuestos fenólicos y volátiles, así como los datos sensoriales, fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$. Diferencias entre medias fueron evaluadas utilizando la prueba de diferencia mínima significativa (LSD).

Resultados y discusión

1. Parámetros físico-químicos de los vinos

Los resultados de los parámetros físico-químicos (Tabla 1) mostraron que la sustitución del 20% y 30% del mosto por mosto acidificado, redujo significativamente los valores de pH del vino, pasando de 3,83 en el vino control a 3,65 y 3,52, respectivamente. Esta acidificación incrementó la acidez total en un 4,9% y 10,4%, respectivamente. Se observó una tendencia similar en los vinos cuyo mosto fue acidificado mediante la adición de ácido tartárico. No se encontraron diferencias significativas entre los valores de pH y acidez de los vinos con un 20% de mosto acidificado con resina (FreeK 20) y aquellos con adición de ácido tartárico (Tartárico 20), ni entre los vinos con un 30% de mosto acidificado con resina (FreeK 30) y ácido tartárico (Tartárico 30). Cabe señalar que otros ácidos, como el málico y el láctico están permitidos para la acidificación del vino. Sin embargo, sus constantes de disociación son más

altas que las del ácido tartárico. Esta capacidad limitada para reducir el pH, combinada con el hecho que el ácido málico sea susceptible a la degradación mediante la fermentación maloláctica y el ácido láctico no es predominante natural en las uvas, los hace menos efectivos como alternativas en la viticultura de climas cálidos, donde a menudo se requiere una corrección sustancial del pH.

El contenido alcohólico fue similar en todos los vinos elaborados, mientras que la acidez volátil mostró valores significativamente más bajos en los vinos elaborados con mostos acidificados, tanto los tratados con resinas (FreeK 20 y FreeK 30) como los acidificados con ácido tartárico. Esta reducción podría estar relacionada con la disminución del pH, la cual ejerce un efecto inhibitor sobre la actividad microbiana, limitando potencialmente la formación de ácido acético durante la fermentación. Los vinos tratados con ácido tartárico presentaron valores de acidez volátil intermedios entre los vinos control y aquellos provenientes del tratamiento con resina de intercambio catiónico lo cual podría estar relacionado con un mayor contenido de metales en estos vinos en comparación con los acidificados mediante resina de intercambio iónico (Tabla 2).

Tabla 1. Características físico-químicas de los vinos tintos Monastrell.

Parámetros	Control	Tartárico 20	Tartárico 30	FreeK 20	FreeK 30
%Alcohol	16,34±0,10a	16,34±0,12a	16,3±0,10a	16,37±0,15a	16,47±0,17a
pH	3,83±0,03c	3,62±0,03b	3,55±0,01a	3,65±0,03b	3,52±0,02a
Acidez total (g/L)	5,57±0,1a	5,89±0,08b	6,28±0,04c	5,86±0,07b	6,22±0,08c
Acidez volátil (g/L)	0,77±0,02d	0,60±0,01b	0,68±0c	0,51±0,01a	0,53±0,03a

Control: vino sin corrección, Tartárico 20: vino con adición de ácido tartárico igualando el valor de pH que el obtenido con FreeK 20, Tartárico 30: vino con adición de ácido tartárico igualando el valor de pH que el obtenido con FreeK 30, FreeK 20: vino elaborado con sustitución del 20% de mosto por mosto acidificado, FreeK 30: vino elaborado con sustitución del 30% de mosto por mosto acidificado Letras diferentes en la misma fila muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Esta diferencia en la composición metálica puede influir significativamente en el desarrollo y la eficiencia de la fermentación, produciendo ciertos metabolitos menos deseables (Walker, 2004). Así, Ferreira et al. (2006) reportaron un aumento en los valores de acidez volátil en vinos fermentados con diferentes levaduras comerciales en presencia de residuos de cobre, debido a una fermentación más lenta. Por lo tanto, una menor presencia de cobre, junto con otros metales en el vino provenientes de mostos tratados con resina de intercambio catiónico, podría justificar los valores más bajos de acidez volátil encontrados en estos vinos.

2. Minerales presentes en el vino

La concentración de la mayoría de los metales analizados en los vinos disminuyó tras la adición de ácido tartárico y, en mayor medida, con la sustitución del mosto por mosto acidificado mediante resina de intercambio catiónico, especialmente en los niveles más altos de sustitución (Tabla 2).

Estos resultados destacan que el tratamiento del mosto con resinas de intercambio catiónico para reducir el pH del vino también es eficaz para disminuir los iones que catalizan reacciones de oxidación en el vino, como Fe, Cu y Mn. De manera similar, Ponce et al. (2018) y Benítez et al. (2002) observaron una reducción en el contenido de metales y una mejora en la estabilidad oxidativa en vinos tratados con dichas resinas para disminuir el pH.

En todos los cationes presentes en el vino, el potasio (K^+) es de particular importancia debido a su fuerte tendencia a formar sales insolubles con el ácido tartárico, lo cual puede derivar en la formación de cristales en la botella. En este estudio, los niveles de potasio se redujeron un 20% y 28% en los vinos cuyos mostos fueron tratados con adición de ácido tartárico al 20% y 30%. Esto se debe a la interacción del anión bitartrato (la base conjugada del ácido tartárico) con K^+ en el vino para formar bitartrato potásico, la principal fuente de depósitos cristalinos que se encuentran durante la vinificación (Boulton, 1995).

En los vinos tratados con resina (FreeK 20 y FreeK 30), la reducción de K fue del 10,4% y 27,8%, respectivamente, ya que el K^+ fue intercambiado por H^+ cuando el mosto pasó a través de las resinas. Esto reduce el riesgo de formación de sales tartáricas que precipitan en el fondo de la botella, lo que a menudo provoca el rechazo del consumidor (Cosme et al., 2021).

La disminución de potasio durante las etapas finales de la fermentación se atribuye a la precipitación de bitartrato potásico, menos soluble en presencia de etanol, y que puede contribuir a cambios en el pH y la acidez (Boulton, 1995).

Tabla 2. Concentración de minerales (mg/L) en vinos tintos Monastrell.

Minerales	Control	Tartárico 20	Tartárico 30	FreeK 20	FreeK 30
Potasio	1189±60,60d	945±21,73b	855±5,08a	1065±14,97c	857±30,22a
Calcio	49,18±0,68a	54,34±2,32b	55,34±0,46bc	58,05±0,45cd	60,01±2,38d
Hierro	1,34±0,03c	1,34±0,01c	1,53±0,02d	1,24±0,02b	1,07±0,02a
Cobre	0,55±0,02d	0,32±0,04c	0,25±0,02b	0,21±0,02b	0,17±0,01a
Sodio	11,26±0,96c	8,88±0,27b	9,18±0,03b	8,74±0,09b	7,92±0,16a
Magnesio	87,54±2,39c	85,23±1,43c	86,51±1,85c	73,59±0,07b	68,93±0,93a
Manganeso	0,80±0,0c	0,80±0,01c	0,84±0,02d	0,71±0,03b	0,67±0,01a
Zinc	1,71±0,02c	0,71±0,03b	0,66±0,01ab	0,64±0,05a	0,65±0,05ab

Control: vino sin corrección, Tartárico 20: vino con adición de ácido tartárico igualando el valor de pH que el obtenido con FreeK 20, Tartárico 30: vino con adición de ácido tartárico igualando el valor de pH que el obtenido con FreeK 30, FreeK 20: vino elaborado con sustitución del 20% de mosto por mosto acidificado, FreeK 30: vino elaborado con sustitución del 30% de mosto por mosto acidificado. Letras diferentes en la misma fila muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Los aumentos observados en los niveles de calcio (Ca) con los distintos tratamientos podrían estar asociados a los valores de pH alcanzados, ya que un pH bajo incrementa la solubilidad de sales de tartrato cálcico, evitando su precipitación (McKinnon et al., 1994), a diferencia del vino control, que, con valores de pH más altos, favorece la precipitación de esta sal, reduciendo así el contenido de calcio en el vino. Además, cabe destacar que la adición de ácido tartárico durante la vinificación puede aumentar el contenido de calcio, ya que este mineral está presente en este producto enológico en pequeñas cantidades (por debajo de 200 mg/kg). Los niveles de calcio oscilaron entre 49,18 y 60,01 mg/L, por debajo de los asociados con inestabilidad tartárica, reportados entre 70 y 100 mg/L (Boulton et al., 2006). Además, los valores bajos de pH, como los alcanzados con el ácido tartárico y el mosto acidificado,

favorecen el equilibrio hacia formas tartáricas protonadas y monovalentes en lugar de la forma divalente requerida para la formación de tartrato cálcico (Waterhouse et al., 2016).

3. Parámetros cromáticos y fenólicos medidos por espectrofotometría

La Tabla 3 muestra los resultados de los parámetros cromáticos y el contenido de compuestos fenólicos en los diferentes vinos. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a la concentración antocianos ni taninos. Los vinos en los que parte del mosto fue sustituido por mosto acidificado (FreeK 20 y FreeK 30) mostraron una intensidad de color significativamente mayor y valores de tono significativamente menores en comparación al vino control, lo que resultó en un color más púrpura, atributos valorados positivamente en vinos tintos de calidad. Resultados similares se observaron en el vino Tartárico 30, mientras que la adición de una menor cantidad de ácido tartárico produjo un perfil cromático más similar al del vino control no tratado.

El vino control presentó el mayor contenido de pigmentos resistentes al SO_2 (AP), seguido por los vinos tratados con ácido tartárico, mientras que los valores más bajos se encontraron en los vinos tratados con mosto acidificado mediante resinas. Numerosos estudios han analizado el efecto de distintas técnicas enológicas sobre la dinámica de extracción fenólica durante la maceración (Bautista-Ortín et al., 2005; Casassa et al., 2014; Martínez-Moreno et al., 2025). Sin embargo, existe menos información sobre el efecto del pH en la difusión de estos compuestos desde la uva hacia el mosto-vino durante esta etapa, posiblemente debido a la complejidad de la maceración, que está influenciada por múltiples factores, entre ellos la composición química del medio, que regula la solubilidad y extractabilidad de los compuestos fenólicos. Forino et al. (2020) reportaron una disminución en la extracción de antocianos al aumentar el pH del medio de 3,2 a 3,5, sin diferencias entre 3,5 y 3,7. Estos mismos autores también reportaron un incremento de pigmentos poliméricos de cadena corta con el aumento de pH, sin observarse la misma tendencia en los pigmentos poliméricos de mayor tamaño. En cuanto a los taninos, observaron un ligero aumento en su concentración con el incremento del pH, aunque no significativo en comparación con el control. Por el contrario, Gambuti et al. (2022) encontraron que la formación de pigmentos poliméricos se

veía favorecido en vinos obtenidos mediante maceración de uvas a pH más elevado, siendo este efecto significativo tras finalizar la fermentación alcohólica. Además, estos mismos autores indicaron que cuanto más tardía se realizaba la acidificación (una semana después de finalizar la maceración fermentativa), mayor era la producción de estos compuestos de cadena larga y de nuevos pigmentos con el tiempo, lo que sugiere que el efecto de la acidificación en la formación de pigmentos estables es más fuerte cuando el pH se reduce tras finalizar la fermentación.

La reducción del pH en los vinos Tartárico 30, FreeK 20 y FreeK 30 aumentó la participación de los antocianos en 520 nm (componente roja), lo que explica los valores más altos de intensidad de color. Bajo estas condiciones ácidas, más antocianos se encuentran en forma de catión flavilio, lo que favorece reacciones de autoasociación o copigmentación con otros compuestos fenólicos, principalmente flavonoides y ácidos fenólicos (González-Manzano et al., 2008). La copigmentación es responsable de cambios hipercrómicos, que resultan en mayor absorbancia, y desplazamientos batocrómicos, que producen tonalidades rojo-púrpura (Boulton, 2001).

Este comportamiento no se observó en el vino tratado con la menor dosis de ácido tartárico (Tartárico 20), que mostró valores de tono más altos a pesar de tener un pH similar al de FreeK 20. Esto puede deberse a una mayor evolución oxidativa de los compuestos fenólicos, relacionada con un contenido más elevado de Fe, Cu, Mn y Zn. Dong et al. (2001) informaron que la reacción directa entre oxígeno y fenoles es lenta o insignificante en medios ácidos, mientras que los metales de transición como el Fe pueden alterar las rutas de reacción, disminuyendo los requerimientos de energía libre y aumentando las velocidades de reacción. Estudios previos indicaron que el tratamiento con resina puede afectar el color del vino tinto debido a reducciones en el contenido de antocianos monoglucósidos por las adsorciones en la resina (Mira et al., 2002). El mismo efecto fue reportado también para la concentración de taninos (Lasanta et al., 2013), aunque en el caso de los taninos, esto podría deberse a un efecto de dilución causado por el agua de lavado retenida en la columna, más que a una adsorción por parte de la resina como ocurre con los antocianos.

Estos hallazgos sugieren que, para evitar alteraciones en el contenido fenólico y posibles efectos negativos sobre el color del vino tinto, es preferible aplicar el tratamiento con resinas

de intercambio catiónico al mosto (en lugar de tratar directamente el vino), debido a su menor concentración de compuestos fenólicos, tal como se realizó en el presente estudio.

Tabla 3. Parámetros de color y compuestos fenólicos medidos por espectrofotometría en vinos tintos Monastrell.

Parámetros	Control	Tartárico 20	Tartárico 30	FreeK 20	FreeK 30
IC	15,1±0,3a	15,1±0,5a	16,5±0,8b	16,2±0,2b	16,2±0,5b
Tono	0,58±0,04b	0,56±0,03b	0,51±0,01a	0,51±0,01a	0,49±0,01a
%420	33,8±1,3b	32,6±0,9b	30,9±0,2a	30,8±0,5a	29,8±1,1a
%520	57,9±1,5a	57,9±1,3a	60,4±0,7b	60,3±0,3b	60,5±0,8b
%620	8,3±0,2a	9,5±0,4bc	8,7±0,5a	9,0±0,2ab	9,8±0,3c
IPT	51,8±0,8b	48,8±1,5a	48±0,8a	47,5±0,3a	49,3±1,6a
AT	569±19a	564±10,7a	562±12,2a	561±9,9a	567±6,1a
AP	56,3±0,7c	54,5±0,8bc	53,4±1,5b	48±0,6a	47,3±1,3a
TT	1307±56,3a	1321±37,7a	1312±10,8a	1302±70,7	1253±20,5a

IC: intensidad de color; IPT: índice de polifenoles totales AT: antocianos totales (mg/L), AP: antocianos poliméricos (mg/L), TT: taninos totales (determinados por el método de metilcelulosa, mg/L), Control: vino sin corrección, Tartárico 20: vino con adición de ácido tartárico igualando el valor de pH que el obtenido con FreeK 20, Tartárico 30: vino con adición de ácido tartárico igualando el valor de pH que el obtenido con FreeK 30, FreeK 20: vino elaborado con sustitución del 20% de mosto por mosto acidificado, FreeK 30: vino elaborado con sustitución del 30% de mosto por mosto acidificado Letras diferentes en la misma fila muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

4. Concentración y composición de taninos por HPLC

La concentración de los taninos despolimerizables medidos por el método de la floroglucinolisis se presentan en la Tabla 4. Tanto la adición de ácido tartárico como el tratamiento del mosto con intercambio catiónico no afectaron de manera significativa a la concentración total de taninos en comparación con el tratamiento control. El vino control y el vino tratado con 30% de mosto acidificado (FreeK 30) mostraron los valores más bajos de polimerización, sin diferencias significativas entre ellos. Por el contrario, los vinos acidificados con ácido tartárico presentaron los valores más altos para este parámetro. Por

otro lado, se encontraron menores porcentajes de la subunidad (-)-epigallocatequina en los taninos del vino control, mientras que los valores más altos se observaron en el vino con la mayor sustitución de mosto acidificado, con valores intermedios en los demás vinos.

Tabla 4. Concentración y composición de proantocianidinas en vinos tintos Monastrell.

Parámetros	Control	Tartárico 20	Tartárico 30	FreeK 20	FreeK 30
TT	397±4,3a	420±18,9a	399±11,2a	417±25,8a	400±38,8a
GPm	6,5±0,3a	7,8±0,3b	7,6±0,4b	7,4±0,1b	6,7±0,5a
%EGC	13,3±0,9a	22,7±0,8b	23,3±1,1b	24,2±1,1b	26,7±0,2c
%Gal	9,0±0,6b	7,2±0,3a	7,6±0,5a	7,7±0,3a	8,6±0,6b
EGC	179±12,2a	337±25,3bc	313±5,6b	340±24,9bc	358±32,6c
ECG	33,3±0,4b	31,3±1,5ab	28,9±1,6a	30,9±3,0ab	32,3±1,7b

TT: taninos totales (mg/L), GPm: grado medio de polimerización, % Gal: porcentaje de galilación, %EGC: porcentaje de (-)-epigallocatequina EGC: concentración de (-)-epigallocatequina (μM), ECG: concentración de (-)-epicatequina galato (μM), Control: vino sin corrección, Tartárico 20: vino con adición de ácido tartárico igualando el valor de pH que el obtenido con FreeK 20, Tartárico 30: vino con adición de ácido tartárico igualando el valor de pH que el obtenido con FreeK 30, FreeK 20: vino elaborado con sustitución del 20% de mosto por mosto acidificado, FreeK 30: vino elaborado con sustitución del 30% de mosto por mosto acidificado Letras diferentes en la misma fila muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Estos resultados indican que el pH del medio afecta a la composición de los taninos extraídos tanto del hollejo como de las semillas. Específicamente, un pH más bajo favorece la extracción de taninos de mayor peso molecular con un mayor contenido de (-)-epigallocatequina en su estructura, asociado a una astringencia más suave (Forino et al., 2020). En este sentido, la mayor disminución del pH en el tratamiento FreeK 30 también promueve una mayor extracción de taninos de menor peso molecular procedentes de semillas, los cuales son más ricos en (-)-epicatequina-3-O-galato. Además, bajo condiciones ácidas, las proantocianidinas pueden someterse a una despolimerización formando carbocationes, que son intermediarios reactivos capaces de sufrir un ataque nucleofílico por otras unidades de flavan-3-ol, promoviendo así la re-polimerización (45). Este proceso puede llevar a un aumento en el grado medio de polimerización (GPm) en algunos vinos acidificados. Por lo

tanto, aunque la concentración total de taninos fue similar en todos los vinos, las diferencias en la composición estructural puede influir en las sensaciones organolépticas. Esto se debe a que taninos de mayor peso molecular y con un mayor grado de galoilación intensifican la astringencia y el amargor, mientras que una mayor proporción de unidades de (-)-epigallocatequina puede atenuar estas sensaciones (Martínez-Moreno et al., 2023; Vidal et al., 2003).

5. Concentración y composición de antocianos por HPLC

Al analizar la concentración y composición de antocianos mediante HPLC (Tabla 5), se observaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos y el vino control. Este mostró valores más bajos de antocianos totales y libres, pero presentó los niveles más altos de antocianos poliméricos y vitisinas, sin diferencias significativas en estos compuestos respecto al vino Tartárico 20. En los vinos tratados, y en relación con los antocianos libres, el vino Tartárico 30 presentó los valores más bajos, sin diferencias significativas respecto al vino FreeK 20, mientras que el vino FreeK 30 mostró una menor formación de vitisinas. Además, este último presentó la concentración más baja de antocianos poliméricos, seguido por FreeK 20, mientras que los vinos con adición de ácido tartárico exhibieron valores superiores, sin diferencias significativas entre ellos.

Estos resultados indican claramente una ralentización del proceso evolutivo del vino con la disminución del pH. Gambuti et al. (2022) reportaron un aumento en la formación de pigmentos poliméricos y vitisinas en vinos elaborados a partir de uvas maceradas a medida que aumentaba el pH, lo cual es relevante debido a su contribución a la estabilidad del color del vino. Otros autores también observaron una mayor disminución del contenido de acetaldehído con el aumento del pH, ya que se consume rápidamente en las reacciones con flavanoles (Peterson y Waterhouse, 2016). Asimismo, la menor concentración de Fe, Cu y Mn, especialmente en los vinos FreeK 30 y, en menor medida, FreeK 20 y de Cu en los vinos tratados con ácido tartárico, podría explicar la menor formación de pigmentos estables observada, ya que estos metales participan indirectamente en la transformación de antocianos en pigmentos más estables mediante la condensación con taninos mediada por aldehído y reacciones de cicloadición que dan lugar a los piranoantocianos (Blaauw, 2009; Oliveira et

al., 2011), además de intervenir en la formación de radicales hidroxilo mediante la reacción de Fenton (Danilewicz, 2011).

Tabla 5. Antocianos y vitisinas medidos por HPLC en vinos tintos Monastrell.

Compuestos (mg/L)	Control	Tartárico 20	Tartárico 30	FreeK 20	FreeK 30
Antocianos Libres					
Del-3-glucósido	17,7±0,8a	21,8±0,7b	23,7±0,3cd	22,9±0,7c	24,1±0,0d
Cian-3-glucósido	5,5±0,1a	8,2±0,6bc	9,4±0,8c	7,8±1,2b	9,2±0,4c
Pet-3-glucósido	27,5±1,9a	30,2±1,9a	29,7±1,6a	29,9±0,8a	30,1±1,4a
Peond-3-glucósido	17,4±0,4a	24,0±1,0b	25,9±0,0c	24,2±1,1b	26,1±0,9c
Malv-3-glucósido	116,2±7,9a	135,8±3,2bc	120,0±0,8ab	127,6±2,9d	128,3±4,2cd
Peon-acetilglucósido	2,1±0,1a	2,8±0,2b	2,7±0,1b	2,7±0,1b	2,8±0,1b
Malv-(6-acetil)-3-glucósido	4,3±0,0a	5,2±0,0d	4,7±0,2b	4,9±0,1c	5,0±0,1c
Cian-(6-coumaroil)-3-glucósido	1,9±0,1a	2,7±0,0c	2,4±0,0b	2,7±0,1cd	2,8±0,1d
Pet-(6-coumaroil)-3-glucósido	2,2±0,0a	3,0±0,2b	3,0±0,0b	2,9±0,0b	3,2±0,1c
Peon-(6-coumaroil)-3-glucósido	2,5±0,1a	3,3±0,0cd	3,3±0,0bc	3,2±0,1b	3,4±0,0d
Malv-(6-coumaroil)-3-glucósido	9,6±0,1a	13,8±0,4c	11,7±0,7b	12,2±0,3b	14,2±0,5c
Σ Antocianos Libres	207,1±9,7a	250,8±7,4c	236,4±3,8b	241,0±6,4bc	249,4±4,9c
Vitisinas					
Del-3-glucósido-ácido pirúvico	1,7±0,0c	1,6±0,1b	1,6±0,0bc	1,5±0,0ab	1,5±0,0a
Pet-3-glucósido- ácido pirúvico	3,1±0,1c	2,8±0,1b	2,8±0,1b	2,9±0,2b	2,5±0,1a
Peond-3-glucósido- ácido pirúvico	2,1±0,0b	2,1±0,0b	2,3±0,0c	2,3±0,1c	2,0±0,0a
Malv-3-glucósido-ácido pirúvico (Vitisina A)	11,5±0,1d	11,3±0,3cd	10,8±0,5b	10,9±0,3bc	8,9±0,0a
Malvidina-3-glucósido-acetaldehído (Vitisina B)	1,6±0,0d	1,5±0,1bc	1,5±0,0cd	1,4±0,0b	1,3±0,0a
Malv-6-acetil-3-glucósido-ácido pirúvico	1,5±0,0c	1,5±0,0bc	1,4±0,0b	1,4±0,0ab	1,3±0,1a
Malv-6-coumaroil-3-glucósido- ácido pirúvico	2,7±0,0d	2,6±0,1c	2,4±0,1b	2,5±0,1c	2,3±0,0a
Σ Vitisinas	24,2±0,1c	23,4±0,5bc	22,7±0,6b	22,8±0,6b	19,7±0,3a
Antocianos Poliméricos	28,8±0,3d	21,2±1,0c	22,2±1,6c	19,0±0,5b	15,7±1,0a
Σ Antocianos	260,1±10,0a	295,4±8,0c	281,4±2,8b	282,8±6,9bc	284,8±6,2bc

Delf: delfinidina, Cian: cianidina, Pet: petunidina, Peond: peonidina, Malv: malvidina, Control: vino sin corrección, Tartárico 20: vino con adición de ácido tartárico igualando el valor de pH que el obtenido con FreeK 20, Tartárico 30: vino con adición de ácido tartárico igualando el valor de pH que el obtenido con FreeK 30, FreeK 20: vino elaborado con sustitución del 20% de mosto por mosto acidificado, FreeK 30: vino elaborado con sustitución del 30% de mosto por mosto acidificado. Letras diferentes en la misma fila muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).



6. Compuestos volátiles

La Tabla 6 muestra las concentraciones de 31 compuestos aromáticos identificados en los diferentes vinos analizados, categorizados en cinco familias aromáticas: alcoholes, ésteres, terpenos, ácidos y cetonas/aldehídos. En ellas se observa el vino control mostró la mayor concentración total de compuestos volátiles, seguido por los tratamientos con valores de pH más bajos (Tartárico 30 y FreeK 30).

Dentro de la familia de los alcoholes superiores, el vino control presentó la concentración más alta, sin observarse diferencias significativas en comparación con los vinos tratados. La concentración de 1-hexanol aumentó en todos los vinos tratados, aunque este aumento no fue significativo en FreeK 30 en comparación con el control. El 3-metiltio-1-propanol aumentó en los vinos acidificados con ácido tartárico, mientras que el alcohol feniletílico aumentó significativamente en los vinos con menor pH respecto al vino control. Cabe destacar que el incremento de 1-hexanol y alcohol feniletílico puede contribuir a intensificar las notas herbáceas y florales, respectivamente (Vilanova et al., 2013).

En cuanto a los ésteres, FreeK 30 presentó la mayor concentración, probablemente debido a su mayor contenido en hexanoato de etilo, que otorga aromas a piña y banana. Otros vinos acidificados (Tartárico 20 y 30, y FreeK 20) también mostraron incrementos en la concentración total de ésteres en comparación con el control. Los ésteres son responsables de una amplia gama de aromas frutales (Martínez-Moreno et al., 2024), lo que resulta en un perfil organoléptico más afrutado para los vinos acidificados frente al vino control. El estudio realizado por Tian et al. (2024) también informó que las fermentaciones a bajo pH favorecían la formación de ésteres y alcoholes superiores, observando valores más altos de alcohol feniletílico y hexanoato de etilo, en los vinos con los pH más bajos.

El vino FreeK 30 también presentó la mayor concentración de terpenos, incluidos linalol y nerolidol, conocidos por sus aromas florales y cítricos (Chigo-Hernández & Tomasino, 2023). Los vinos Tartárico 20, FreeK 20 y el vino control mostraron las concentraciones más bajas de terpenos. Una posible explicación es que bajo condiciones de alta acidez se libera una mayor cantidad de precursores aromáticos desde las bayas durante la fermentación alcohólica, ya que el mosto fermentado a bajo pH desarrolla un mejor perfil aromático



(Jackson, 2008). La cetona dihidro-5-pentil-2(3H)-furanona, también conocida como γ -nonalactona, con notas a coco y lácteas, no se vio afectada por la acidificación de los mostos. Estudios previos realizados por Lasanta et al. (2013), utilizando resinas de intercambio catiónico en vinos terminados, no encontraron diferencias significativas en la mayoría de los compuestos aromáticos entre los vinos control y los vinos acidificados. Estos autores reportaron que los únicos compuestos que mostraron diferencias significativas y que superaron sus umbrales de percepción fueron cuatro ésteres asociados a aromas frutales y de frutas rojas: 2-metilbutirato de etilo y 4-metilpentanoato de etilo en todos los vinos acidificados, y octanoato de etilo y acetato de feniletilo en los vinos con pH más bajo (3,3). Otros estudios han informado reducciones en la concentración de compuestos aromáticos en vinos tratados con resinas catiónicas aplicadas sobre el vino ya terminado (Benítez et al., 2002; Walker et al., 2002; Ibeas et al., 2015; Ponce et al., 2018).

Tabla 6. Concentración de compuestos volátiles en vinos tintos Monastrell.

Compuestos	Control	Tartárico 20	Tartárico 30	FreeK 20	FreeK 30
Alcoholes					
1-Butanol	51,68±9,07b	29,8±3,61a	47,0±19,3ab	33,6±3,12ab	42,84±11,7ab
3-Metil-1-butanol	26484±1726b	18046±702,5a	18539±735,7a	19032±1595a	21087±385,6a
1-Hexanol	616,7±38,16a	683,6±13,61bc	728,0±51,07c	661,4±43,69ab	633,7±14,81ab
1-Propanol	147,5±28,59c	56,16±16,01a	45,37±0,80a	69,46±2,67a	99,48±8,71b
3-Metiltio-1-propanol	20,39±2,03a	23,85±0,24b	27,34±2,45c	22,66±1,73ab	20,72±0,46a
Alcohol bencílico	57,49±5,24ab	59,18±1,16b	53,1±0,70a	52,83±1,06a	56,77±1,78ab
Alcohol feniletílico	8367±355,13a	8517±204,94ab	9978±619,47c	8287±77,38a	9151±483,8b
Σ Alcoholes	3574,6±2107,6b	27416,5±916,47a	29418,8±807,06a	28159±1722,0a	31092,1±3876,63a
Ésteres					
Ácido butanoico, 2-metil-, etil éster	8,03±0,3a	19,17±1,18c	11,73±0,11b	12,39±2,13b	12,72±1,67b
Ácido butanoico, 3-metil-etil éster	11,75±0,59a	19,37±1,72b	17,4±4,34b	15,21±2,3ab	15,19±2,31ab
Acetato de isoamilo	762±113a	1282±64,65c	745±91,91a	1264±114,8c	1020±185,15b
Acetato de 2-feniletilo	347,2±13,6a	396,7±24,57a	437,5±55,45a	420,8±14,98a	444,7±42,24a
Etil-9-decenoato	62,98±6,8d	18,7±32a	41,92±10,57b	45,32±3,15bc	54,47±5,72cd
Acetato de etilo	2557±463,9a	3153±306,3a	2602±303,5a	2723±319,5a	2763±338,3a

Succinato de hidrógeno etílico	81,32±11,54c	28,62±2,66a	39,13±7,12ab	28,78±2,9a	47,98±5,01b
Tridecanoato de etilo	61,19±4,32d	27,05±1,04a	36,87±5,53b	42,71±4,63bc	44,77±3,48c
Etil hexadecanoato	178,5±19,36a	1561±21,98a	209,7±62,36a	142,2±25,25a	186,2±58,97a
Ácido hexanoico, etil éster	1193±106,53b	1457±89,17c	1263±81,84b	1313±65,03ab	2320±39,05d
Acetato de isobutilo	21,66±5,55a	24,15±2,29a	20,34±2,32a	25,12±2,02a	19,7±4,25a
Ácido pentadecanoico, 3-metilbutil éster	16,08±5,82b	8,61±1,77a	13,95±1,07ab	10,7±1,89ab	11,73±6,18ab
Ácido pentadecanoico, etil éster	7,04±1,53ab	8,5±0,36b	8,24±1,69b	14,35±0,92c	5,57±1,18a
Ácido tetradecanoico, etil éster	171,3±39,24c	90,9±34a	158,9±42bc	106,2±22a	110,8±28,55ab
Σ Ésteres	5480,4±792,08ab	6692,1±554,89b	5606,7±669,87ab	6165,2±581,52b	7058,1±72,07c
Terpenos					
Citronelol	58,6±8,17a	43,28±1,99a	55,15±9,54ab	49±3,25ab	43,81±7,13a
Linalol	50,65±17,6bc	38,61±1,05a	44,98±0,01ab	59,36±0,55c	92,58±9,0d
Nerol	45,62±14,6ab	45,58±12,13ab	63,11±5,73bc	46,05±22,52ab	75,64±12,29c
Σ Terpenos	154,8±39,71ab	127,4±22,59a	163,2±18,3ab	154,4±33,57ab	212,0±28,51b
Ácidos					
Ácido acético	1566,4±162,1c	977±62,37ab	1048±17,00ab	913,1±89,29a	1111,1±66,68b

Ácido butanoico, 4-hidroxi	36,69±8,62a	40,82±3,19ab	40,82±2ab	41,06±0,96ab	45,84±1,08b
Ácido n-decanoico	132,6±43,89a	107,3±12,53a	277,1±4,7b	103,5±10,39a	131,2±30,66a
Ácido nonanoico	37,65±5,2a	40,91±6,82a	56,46±5,23b	45,6±3,11ab	42,91±13,6ab
Ácido octanoico	383,4±60,11ab	369,8±34,96a	451±16,11b	387,4±25,69ab	435±36,8ab
Ácido 2-metilpropanoico	60,04±15,99a	42,56±6,19ab	54,46±8,08ab	47,9±3,41ab	46,95±8,31a
Σ Ácidos	2273±333,3c	1579±100ab	1866±68,02b	1538±104,5a	1826±35,80ab
Cetonas/Aldehídos					
Dihidro-5-pentil-2(3H)-furanona	10,88±3,9a	9,44±0,68a	10,15±0,93a	10,71±2,21a	10,38±2,11a
Σ Cetonas y Aldehídos	10,88±3,9a	9,44±0,68a	10,15±0,93a	10,71±2,21a	10,38±2,11a
Σ Compuestos Volátiles	43787±1182c	35598±2239a	37222±3027b	36099±2222ab	40198±2643b

Control: vino sin corrección, Tartárico 20: vino con adición de ácido tartárico igualando el valor de pH que el obtenido con FreeK 20, Tartárico 30: vino con adición de ácido tartárico igualando el valor de pH que el obtenido con FreeK 30, FreeK 20: vino elaborado con sustitución del 20% de mosto por mosto acidificado, FreeK 30: vino elaborado con sustitución del 30% de mosto por mosto acidificado. Letras diferentes en la misma fila muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). La concentración de los compuestos volátiles fue expresada en μg de equivalentes de 2 octanol/L.

6. Perfil sensorial de los vinos Monastrell

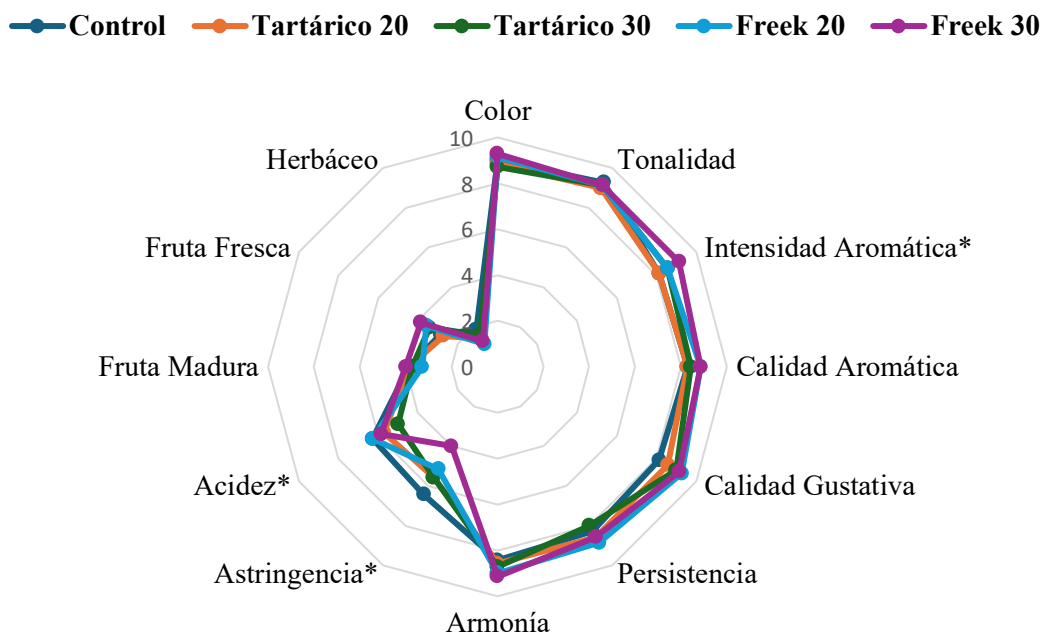
Los resultados del análisis sensorial descriptivo para cada uno de los vinos evaluados se muestran en la Figura 1. Entre los 12 parámetros analizados, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuatro: fruta fresca, intensidad aromática, acidez y astringencia. La acidificación del vino provocó un aumento en la percepción sensorial de fruta fresca, acidez e intensidad aromática general, excepto en el vino acidificado con un 20% de ácido tartárico. Esta respuesta estuvo directamente relacionada con el grado de acidificación aplicado, observándose valores más altos en los vinos en los que se sustituyó el 30% del mosto. En cuanto a la astringencia, se observó una tendencia inversa: a mayor acidificación del mosto, menor fue la percepción de astringencia, siendo el vino FreeK 30 el menos astringente.

Estudios previos de Fontoin et al. (2008) y Payne et al. (2009), a diferencia del presente trabajo, asociaron el aumento de acidez en los vinos con una mayor percepción de astringencia, descriptor que también se ha relacionado con un mayor contenido mineral en los vinos, especialmente potasio (K), calcio (Ca), y magnesio (Mg) (Issa-Issa et al., 2021). Estos hallazgos no coinciden con los obtenidos en este estudio, lo que podría deberse a un mayor contenido de (-)-epigallocatequina en la estructura tánica de los vinos acidificados, lo que potencialmente reduciría la percepción de astringencia (Vidal et al., 2003), así como a un menor contenido mineral.

Los resultados también demostraron que la acidificación del mosto aplicada en este estudio, ya fuera mediante intercambio iónico o adición directa de ácido tartárico, no provocó cambios significativos en la percepción sensorial del color, tono, calidad aromática y gustativa, fruta madura, persistencia y aroma herbáceo. Lasanta et al. (2013) informaron de puntuaciones mayores en color e intensidad en boca en los vinos resultantes de los vinos con menor pH, resultantes del tratamiento por intercambio iónico. Sin embargo, estos vinos recibieron puntuaciones más bajas en calidad e intensidad aromática probablemente debido a una menor concentración de ésteres frutales, aunque el vino con el pH más bajo fue el más valorado en términos de calidad general. En el trabajo realizado por Ibeas et al. (2015), los vinos tintos con una reducción de pH de 0,03 (pH inicial 3,55) no mostraron diferencias sensoriales significativas respecto al vino control. Sin embargo, los vinos con reducciones de

pH de 0,1- 0,16-0,19 y 1,09 fueron percibidos como menos equilibrados, con menor cuerpo, menor intensidad y menor persistencia en boca en comparación con el control.

Figura 2 Análisis sensorial de vinos tintos Monastrell.



*Control: vino sin corrección, Tartárico 20: vino con adición de ácido tartárico igualando el valor de pH que el obtenido con FreeK 20, Tartárico 30: vino con adición de ácido tartárico igualando el valor de pH que el obtenido con FreeK 30, FreeK 20: vino elaborado con sustitución del 20% de mosto por mosto acidificado, FreeK 30: vino elaborado con sustitución del 30% de mosto por mosto acidificado**
Muestra diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Conclusiones

Los resultados de este estudio experimental mostraron que la sustitución parcial del mosto de uva Monastrell con mosto acidificado (20% y 30%) utilizando resinas de intercambio catiónico, así como la aplicación de ácido tartárico después de la etapa de estrujado y despalillado, redujeron significativamente los valores de pH e incrementaron la acidez total del vino en comparación con el vino control. El mosto acidificado no afectó significativamente la concentración total de compuestos fenólicos, aunque sí alteró la composición de antocianos y taninos. Específicamente, la sustitución parcial del mosto



acidificado produjo una menor formación de pigmentos poliméricos de alto peso molecular y vitisinas, que juegan un papel clave en la estabilidad del color. Ambas metodologías de acidificación también aumentaron la proporción de subunidades de (-)-epigallocatequina en los taninos y mejoraron la calidad del color al incrementar la intensidad cromática y reducir los valores de tono. Además, la acidificación de mostos mediante resinas redujo de forma significativa la concentración de cationes metálicos pro-oxidantes, como hierro, cobre y manganeso, contribuyendo a la reducción de los valores de acidez volátil y a una mayor estabilidad frente a la oxidación de los compuestos fenólicos. Aunque la reducción del pH condujo a una disminución general de las concentraciones de compuestos aromáticos en comparación con el vino control, el vino FreeK 30 incrementó significativamente el contenido de ésteres frutales y terpenos florales, lo que sugiere un perfil aromático más expresivo. Esto fue corroborado por el análisis sensorial, donde estos vinos fueron valorados como más aromáticos y con notas frutales más intensas. Asimismo, todos los vinos tratados mostraron una menor astringencia, destacando especialmente el vino FreeK 30, que fue percibido como más fresco en boca.

Por lo tanto, estos resultados respaldan el uso de resinas de intercambio iónico como una estrategia tecnológica viable y rentable, ofreciendo una alternativa más sostenible y económica a la adición directa de ácido tartárico, lo cual es particularmente relevante en el contexto del cambio climático, en regiones áridas y semiáridas, más vulnerables al aumento de temperaturas y a la pérdida de acidez. No obstante, se necesitan más estudios para evaluar la evolución a largo plazo de los compuestos fenólicos y aromáticos en estos vinos.

Referencias

- Bailón, T. (2008). Colour implications of self-association processes of wine anthocyanins. *European Food Research and Technology*, 226, 483–490
- Bautista-Ortín, A. B., Martínez-Cutillas, A., Ros-García, J. M., López-Roca, J. M., & Gómez-Plaza, E. (2005). Improving colour extraction and stability in red wines: the use of maceration enzymes and enological tannins. *International Journal of Food Science and Technology*, 40(8), 867-878.
- Benítez, P., Castro, R., & Barroso, C. G. (2002). Removal of iron, copper, and manganese from white wines through ion exchange techniques: Effects on their organoleptic characteristics and susceptibility to browning. *Analytica Chimica Acta*, 458(1), 197-202.
- Benito, Á., Calderón, F., & Benito, S. (2019). Mixed alcoholic fermentation of *Schizosaccharomyces pombe* and *Lachancea thermotolerans* and its influence on mannose-containing polysaccharides wine Composition. *Amb Express*, 9, 1-8.
- Berg, H. W. (1963). Stabilisation des anthocyanes. Comportement de la couleur dans les vins rouges. *Annales de Technologie Agricole*, 12, 247–259.
- Boulton, R. (1995). Red wines. In: Fermented Beverage Production. In Lea AGH. and Piggott JR. (Eds.), Blackie Academic and Professional, *Chapman & Hall*, London, pp. 121-158. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-5214-4_6.
- Boulton, R.B., V.L. Singleton, L.F. Bisson, and R.E. Kunkee. (1996). Principles and Practices of Winemaking. *Chapman & Hall*, New York, New York.
- Boulton, R. (1980). The relationships between total acidity, titratable acidity and pH in wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 31(1), 76–80.
- Boulton, R. (2001). The copigmentation of anthocyanins and its role in the color of red wine: A critical review. *American journal of enology and viticulture*, 52(2), 67-87.
- Busse-Valverde, N., Gomez-Plaza, E., Lopez-Roca, J. M., Gil-Munoz, R., Fernández-Fernández, J. I., & Bautista-Ortín, A. B. (2010). Effect of different enological

- practices on skin and seed proanthocyanidins in three varietal wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(21), 11333–11339.
- Casassa, L. F., & Harbertson, J. F. (2014). Extraction, evolution, and sensory impact of phenolic compounds during red wine maceration. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5(1), 83-109.
- Cisilotto, B., Rossato, S. B., Ficagna, E., Wetzstein, L. C., Gava, A., Gugel, G. M., Delamare, A. P. L., & Echeverrigaray, S. (2019). The effect of cation exchange resin treatment of grape must on the chemical and sensory characteristics of base wines for sparkling wine. *Ciencia e Tecnica Vitivinicola*, 34(2), 91–101.
- Cosme, F., Filipe-Ribeiro, L., & Nunes, F. M. (2021). Wine stabilisation: An overview of defects and treatments. En *Chemistry and Biochemistry of Winemaking, Wine Stabilization and Aging* (Vol. 21), pp. 175–204.
- Danilewicz, J. C. (2011). Mechanism of autoxidation of polyphenols and participation of sulfite in wine: Key role of iron. *American Journal of Enology and Viticulture*, 62(3), 319-328.
- Dong, Y., Li, B., & Lu, F. (2001). *Physical chemistry*. Beijing: Scientific Publishing Company
- European Commission. (1990). Commission Regulation (EEC) No 2676/90 of 17 September 1990 determining Community methods for the analysis of wines. *Official Journal of the European Communities*, L 272, 1–192. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/1990/2676/oj/eng>
- European Parliament and Council of the European Union. (2007). Council Regulation (EC) No 1234/2007 of 22 October 2007 establishing a common organization of agricultural markets and on specific provisions for certain agricultural products (Single CMO Regulation). *Official Journal of the European Union*, L 299, 1–149.
- Elias, R. J., Andersen, M. L., Skibsted, L. H., & Waterhouse, A. L. (2009). Identification of free radical intermediates in oxidized wine using electron paramagnetic resonance spin trapping. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(10), 4359-4365.

- Ferreira, V., López, R., & Cacho, J. F. (2000). Quantitative determination of the odorants of young red wines from different grape varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(11), 1659–1667.
- Forino, M., Picariello, L., Rinaldia, A., Moio, L., & Gambuti, A. (2020). How must pH affect the level of red wine phenols. *LWT Food Science and Technology* 129, 109546. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109546>.
- Fontoin, H., Saucier, C., Teissedre, P.-L. and Glories, Y. (2008) Effect of pH, ethanol and acidity on astringency and bitterness of grape seed tannin oligomers in model wine solution. *Food Quality and Preference* 19, 286–291.
- Gambuti, A., Picariello, L., Forino, M., Errichiello, F., Guerriero, A., & Moio, L. (2022). How the management of pH during winemaking affects acetaldehyde, polymeric pigments and color evolution of red wine. *Applied Sciences*, 12(5), 2555.
- Glories, Y. (1984). La couleur des vins rouges. 1^{re} Partie. Les équilibres des anthocyanes et des tanins. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 18, 253–271
- Gonzalez-Manzano, S., Santos-Buelga, C., Dueñas, M., Rivas-Gonzalo, J. C., & Escribano-Sperber, B. L., Schols, H. A., Stuart, M. A. C., Norde, W., & Voragen, A. G. (2009). Influence of the overall charge and local charge density of pectin on the complex formation between pectin and β -lactoglobulin. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 765-772.
- Ho, P., Da Silva, M., & Hogg, T. A. (2001). Changes in colour and phenolic composition during the early stages of maturation of port in wood, stainless steel and glass. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(13), 1269-1280. <https://doi.org/10.1002/jsfa.938>
- Ibeas, V., Correia, A. C., & Jordão, A. M. (2015). Wine tartrate stabilization by different levels of cation exchange resin treatments: Impact on chemical composition, phenolic profile and organoleptic properties of red wines. *Food Research International*, 69, 364–372.
- International Code of Oenological Practices ICOP. (2025). International Organisation of Vine and Wine. ISBN : 978-2-85038-106-5

- Issa-Issa, H., Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Nems, A., Corell, M., Calatayud-García, P., Carbonell-Barrachina, Á.A., & López-Lluch, D. (2021). Effect of aging vessel (Clay-Tinaja versus Oak Barrel) on the volatile composition, descriptive sensory profile, and consumer acceptance of red wine. *Beverages*, 7, 35. <https://doi.org/10.3390/beverages7020035>.
- Jackson, R. S. (2008). *Wine science: Principles and applications*. USA: Academic press.
- Just-Borràs, A., Pons-Mercadé, P., Gombau, J., Giménez, P., Vilomara, G., Conde, M., & Zamora, F. (2022). Effects of using cationic exchange for reducing pH on the composition and quality of sparkling wine (Cava). *OENO One*, 56(2), 179-192.
- Lafon-Lafourcade, S., Peynaud, E., 1974. Sur l'action antibacterienne de l'anhydride sulfureux sous forme libre et sous forme combinee. *Connaiss. Vigne Vin* 10, 187-203.
- Lasanta, C., & Gomez, J. (2012). Tartrate stabilization of wines. *Trends Food Science and Technology*. 28, 52_59.
- Lasanta, C., Caro, I., & Pérez, L. (2013). The influence of cation exchange treatment on the final characteristics of red wines. *Food Chemistry*, 138(2–3), 1072–1078. ç
- Martínez-Moreno, A., & Bautista-Ortín, A. B. (2025). Evolution and impact of extended pomace maceration in red wines: Chromatic, phenolic and sensory perception. *LWT*, 117934.
- Martínez-Moreno, A., Martínez-Pérez, P., Bautista-Ortín, A. B., & Gómez-Plaza, E. (2023). Use of unripe grape wine as a tool for reducing alcohol content and improving the quality and oenological characteristics of red wines. *OENO One*, 57(1), 109–119. <https://doi.org/10.20870/oenone.2023.57.1.7226>
- Martínez-Moreno, A., Toledo-Gil, R., Bautista-Ortín, A. B., Gómez-Plaza, E., Yuste, J. E., & Vallejo, F. (2024). Exploring the impact of extended maceration on the volatile compounds and sensory profile of Monastrell red wine. *Fermentation*, 10(7), 343. <https://doi.org/10.3390/fermentation10070343>
- Martínez-Pérez, P., Ortín, A. B. B., Durand, V., & Gómez-Plaza, E. (2019). Replacement of wine cold stabilization in the wineries: The use of carboximethyl cellulose, potassium

- polyaspartate and ion exchange resins. *BIO Web of Conferences*, 12. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191202018>.
- Mateus, N., Silva, A. M. S., Santos-Buelga, C., Rivas-Gonzalo, J. C., & de Freitas, V. (2002). Identification of anthocyanin-flavanol pigments in red wines by NMR and mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(7), 2110e2116. <http://doi.org/10.1021/jf0111561>.
- McKinnon, A. J., Scollary, G. R., Solomon, D. H., & Williams, P. J. (1994). The mechanism of precipitation of calcium L(+)-tartrate in a model wine solution. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 82, 225–235. [https://doi.org/10.1016/0927-7757\(93\)02760-7](https://doi.org/10.1016/0927-7757(93)02760-7).
- Mira, L., Tereza Fernandez, M., Santos, M., Rocha, R., Helena Florêncio, M., & Jennings, K. R. (2002). Interactions of flavonoids with iron and copper ions: a mechanism for their antioxidant activity. *Free Radical Research*, 36(11), 1199-1208.
- Mislata, A. M., Puxeu, M., Nart, E., de Lamo, S., & Ferrer-Gallego, R. (2021). Preliminary study of the effect of cation-exchange resin treatment on the aging of Tempranillo red wines. *LWT - Food Science and Technology*, 138, 110669. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110669>
- Morata, A. (Ed.). (2018). *Red wine technology*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-00459-4>
- Moreno-Olivares, J. D., Paladines-Quezada, D., Fernández-Fernández, J. I., Bleda-Sánchez, J. A., Martínez-Moreno, A., & Gil-Muñoz, R. (2020). Study of aromatic profile of different crosses of Monastrell white wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(1), 38-49.
- OIV. International Organization of Vine and Wine, O.I.V, 2017a. *International Code of Oenological Practices*. O.I.V., Paris.
- Oliveira, C. M., Ferreira, A. C. S., De Freitas, V., & Silva, A. M. (2011). Oxidation mechanisms occurring in wines. *Food Research International*, 44(5), 1115e1126. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.050>.

- Payan, C., Gancel, A. L., Jourdes, M., Christmann, M., & Teissedre, P. L. (2023). Wine acidification methods: a review. *Oeno One*, 57(3), 113–126. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2023.57.3.7476>.
- Payne, P. K., Bowyer, M., Herderich, M., & Bastian, S. E. P. (2009). Interaction of astringent grape seed procyanidins with oral epithelial cells. *Food Chemistry*, 115(2), 551–557.
- Peterson, A.L. & Waterhouse, A.L. (2016). ¹H NMR: A novel approach to determining the Thermodynamic properties of acetaldehyde condensation reactions with glycerol, (+)-catechin, and glutathione in model wine. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 64, 6869–687. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b02077.
- Pittari, E., Moio, L., Piombino, P. (2021). Interactions between polyphenols and volatiles compounds in wine: a literature review on physicochemical and sensory insights. *Applied Sciences*, 11, 1157. <https://doi.org/10.3390/app11031157>.
- Ponce, F., Mirabal-Gallardo, Y., Versari, A., & Gleisner, F. L. (2018). The use of cation exchange resins in wines: Effects on pH, tartrate stability, and metal content. *Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura*, 45(1), 82–92.
- Postinger, G., Cisilotto, B., Panceri, C. P., Moterle, D. F., Manfroi, V., & Ficagna, E. (2024). Influence of cation exchange resin-treated thermovinified red wines on the oxidative stability and colour of rosé sparkling wines produced by blending. *Oeno One*, 58(4), 1–11. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2024.58.3.8185>.
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., & Lonvaud, A. (2006). Handbook of Enology: The Microbiology of Wine and Vinifications, Volume 1, 2nd Edition. John Wiley & Sons, West Sussex, UK, 44. <https://doi.org/10.1002/0470010363>
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B. B., Lonvaud, A. A., Darriet, P., & Towey, J. (2021). Handbook of Enology.
- Şener, H. (2018). Effect of temperature and duration of maceration on colour and sensory properties of red wine: A review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 39(2), 1-8.

- Sheridan, M.K., Elias, R.J., 2016. Reaction of acetaldehyde with wine flavonoids in the presence of sulfur dioxide. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 64, 8615-8624.
- Smith, P.A. (2005). Precipitation of tannin with methyl cellulose allows tannin quantification in grape and wine samples. *Technical Review AWRI*. 158, 3-7.
- Sweetman, C., Sadras, V. O., Hancock, R. D., Soole, K. L., & Ford, C. (2014). Metabolic effects of elevated temperature on organic acid degradation in ripening *Vitis vinifera* fruit. *Journal of Experimental Botany*, 65(20), 5975-5988.
- Tian, H., Xiong, J., Sun, J., Du, F., Xu, G., Yu, H., ... & Lou, X. (2024). Dynamic transformation in flavor during hawthorn wine fermentation: Sensory properties and profiles of nonvolatile and volatile aroma compounds coupled with multivariate analysis. *Food Chemistry*, 456, 139982.
- UNE-ISO 6658:2019. (2019). Análisis sensorial. Metodología. Guía general (ISO 6658:2017). *Asociación Española de Normalización (UNE)*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0061499>.
- UNE-ISO 4121:2006. (2006). Análisis sensorial. Directrices para la utilización de escalas de respuestas cuantitativas (ISO 4121:2003). *Asociación Española de Normalización (UNE)*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0037445>.
- Vidal, S., Francis, L., Guyot, S., Marnet, N., Kwiatkowski, M., Gawel, R. Cheynier, V. & Waters, E.J. (2003) The mouth-feel properties of grape and apple proanthocyanidins in a wine-like medium. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 564–573.
- Vilanova, M., Genisheva, Z., Graña, M., & Oliveira, J. M. (2013). Determination of odorants in varietal wines from international grape cultivars (*Vitis vinifera*) grown in NW Spain. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 34(2), 212–222. <https://doi.org/10.21548/34-2-1097>
- Waterhouse, A. L., Sacks, G. L., & Jeffery, D. W. (2017). Understanding wine chemistry. In *Understanding Wine Chemistry*. <https://doi.org/10.1002/9781118730720>
- Walker, T., Morris, J., Threlfall, R., & Main, G. (2004). Quality, sensory and cost comparison



for pH reduction of Syrah wine using ion exchange or tartaric acid. *Journal of Food Quality*, 27(6), 483– 496.

Walker, T., Morris, J., Threlfall, R., & Main, G. (2002). pH modification of Cynthiana wine using cationic exchange. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(22), 6346– 6352.

Discusión General



El grupo de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Murcia, en el que se ha desarrollado la presente tesis doctoral, lleva años realizando investigaciones sobre la composición química de los vinos, así como técnicas enológicas para mejorar la calidad de estos, con el objetivo de generar conocimiento relevante para el sector vitivinícola, y la comunidad académica.

El cambio climático impacta directamente en la composición de las uvas y su madurez, produciendo un desequilibrio entre la madurez tecnológica y fenólica, generando un retraso en la acumulación de compuestos fenólicos. Ello obliga a vendimiar la uva con un alto contenido de azúcar, produciendo vinos con un elevado grado alcohólico, los cuales, hoy en día son menos demandados por el consumidor, especialmente por los efectos negativos del alcohol sobre la salud humana. Una estrategia que los enólogos disponen para reducir el grado alcohólico en el vino es vendimiar uvas con bajo contenido en azúcar (uva inmadura), pero trabajar con este tipo de uva requiere enfrentarse al problema de su baja madurez fenólica, especialmente de las semillas, lo cual, unido a su baja lignificación, aportaría al vino taninos que incrementarían la astringencia y el amargor (Keller, 2020). Este problema puede solventarse mediante la eliminación de semillas durante la maceración, no obstante, esta práctica reduce el contenido de taninos, principalmente procedentes de las semillas y, en consecuencia, limita sus reacciones de condensación y formación de pigmentos poliméricos con los antocianos (Singleton & Trousdale, 1992) lo que podría comprometer la estabilidad del color y al potencial de envejecimiento del vino. Por ello, en el **capítulo 1** de la presente Tesis se aborda el estudio de como la eliminación total de semillas en uva inmadura de la variedad Monastrell afecta a la composición fenólica, aromática y características organolépticas del vino. Esta experiencia se realizó mediante microvinificaciones (depósitos de 10 L) con uva inmadura a 12 °Bé y uva más madura, con 14 °Bé usada como control. En términos generales, los análisis llevados a cabo en los vinos muestran que la eliminación de semillas en uva inmadura reduce los niveles de taninos en torno a un 39%, incrementando el contenido en (-)-epigallocatequina y descendiendo el de (-)-epicatequinagalato en su estructura. Como consecuencia se produjo una disminución de las sensaciones de astringencia y amargor del vino comparado con los vinos elaborados con semillas a diferentes grados de maduración (12 °Bé y 14 °Bé), probablemente debido a que los taninos galoilados interactúan con mayor intensidad con los receptores del sabor amargo debido a su naturaleza



lipofílica (VanderWeide et al., 2022) y además, las procianidinas interaccionan de una forma más rápida y fuerte con las proteínas de la saliva que las prodelphinidinas (Ferrer-Gallego et al., 2015).

Asimismo, la eliminación de semillas en uva inmadura favoreció el desarrollo de pigmentos estables, como los pigmentos poliméricos y vitisinas, lo cual incrementó la intensidad de color en el vino. Esto sugiere que la ausencia de taninos de semilla en el vino, en comparación con aquellos elaborados con semillas, tanto de uva inmadura como madura, podría haber facilitado la disponibilidad de antocianos para la formación de pigmentos de bajo peso molecular tales como las vitisinas, así como la formación de pigmentos poliméricos, resultando en productos de condensación con taninos o incluso entre ellos, como reportaron Bindon et al. (2014a). Adicionalmente, la eliminación de semillas incrementó el parámetro armonía y la persistencia del vino en boca, así como la presencia de aromas frutales, debido a una mayor formación de ésteres, lo que resultó en vinos sensorialmente más similares a los obtenidos con uva más madura (14 °Bé). Este incremento de ésteres puede ser atribuido a la mayor concentración de ácidos grasos presentes en este vino, los cuales son precursores de los ésteres aromáticos (Bertrand, 1981). Además, la extracción manual de semillas probablemente también facilitó la liberación de ácidos grasos en el vino, promoviendo aún más la síntesis de estos compuestos. Todo esto pone de manifiesto que la eliminación de semillas puede ser una buena estrategia para mejorar la calidad del vino cuando se utilizan uvas que no han alcanzado la madurez fenólica, aunque es necesario explorar el papel de los taninos y los antocianos en la formación de pigmentos poliméricos y cómo los perfiles aromáticos de estos vinos evolucionan con el tiempo. Además, no hay que olvidar que, actualmente la aplicación de esta técnica en bodega no es factible, requiriendo que las futuras investigaciones exploren soluciones innovadoras, incluido el desarrollo de equipos especializados. Una alternativa sería la eliminación parcial de semillas cuando la fermentación ya está iniciada, siendo una técnica que puede ser llevada a cabo por el enólogo en bodega sin ningún problema. Esta eliminación parcial de semillas en uva inmadura de Monastrell fue abordada en el **capítulo 2** de esta Tesis, combinándola además con distintas estrategias enológicas con la finalidad de reducir el contenido de alcohol y también mejorar el color y la calidad aromática y gustativa del vino. Entre estas estrategias se encuentra la aplicación de ultrasonidos, ya que estudios previos realizados a nivel semi-industrial han



demostrado que esta tecnología permite incrementar la extracción de compuestos de interés, consiguiendo reducir el tiempo de maceración y la formación de pigmentos estables que permiten mantener el color durante la etapa de envejecimiento del vino tinto (Pérez-Porras et al., 2022, 2025). Por otro lado, se encuentra la adición de raspón durante la maceración, la cual permitiría sustituir los taninos astringentes extraídos de las semillas por taninos que se caracterizan por tener composición más similar a los taninos del hollejo (Llaudy et al., 2008). En el caso de los ultrasonidos no hay muchos trabajos llevados a cabo a nivel semi-industrial aplicados en uva inmadura, y en ellos, la uva de bajo grado de maduración ha mostrado efectos positivos, mejorando la extracción de compuestos fenólicos y cromáticos, reduciendo significativamente el tiempo de maceración sin comprometer la calidad del vino y mejorando la calidad organoléptica del mismo. Sin embargo, estos resultados pueden variar según las condiciones específicas de cada bodega y la variedad de uva utilizada, lo que resalta la necesidad de realizar más estudios a nivel industrial para optimizar su aplicación. En el caso de la adición del raspón, no todos los estudios han mostrado un efecto positivo de su aplicación en el color y las características sensoriales del vino (Pascual et al., 2016; Suriano et al., 2015; Lamçe et al., 2020), lo que requiere más investigación para evaluar adecuadamente la aplicación de esta estrategia. Por ello, en este estudio se comparó la composición físico-química, fenólica y aromática, así como los atributos sensoriales de vinos elaborados con eliminación parcial de semillas en combinación con la aplicación de ultrasonidos y la adición de raspones durante la vinificación de uva inmadura respecto a vinos elaborados sin eliminación parcial de semillas de uva inmadura y madura. La eliminación parcial de semillas se llevó a cabo transcurridos dos días de inicio de la fermentación alcohólica en 450 kg de uva con 11 °Bé encubadas en un depósito de acero inoxidable de fondo cónico de 500 L. Para ello, se aplicó aire a presión desde la parte inferior del depósito con un compresor, logrando de esta manera que parte de las semillas se depositaran en el fondo, siendo eliminadas mediante la válvula de descarga. Tras la eliminación del 25% de las semillas, 60 kg de la pasta fue transferida a 3 depósitos de 25 L de acero inoxidable (EP), mientras que el resto de la pasta fue tratada por ultrasonidos y distribuida en 9 depósitos de 25 L, 3 de ellos como control (EP US), mientras que los otros 6 se vinificaron añadiendo un 25 % y un 50 % del raspón (EP US 25%R 11 y EP US 50%R 11, respectivamente). Además, se realizó una vinificación control sin eliminación de semillas con uva inmadura (Control 11)



y otra con uva la uva más madura (Control 15) en depósitos de 25 L. Todas las microvinificaciones se llevaron a cabo por triplicado y partiendo de 20 kg de uva.

Los resultados obtenidos en este segundo capítulo confirman los observados en el primero. Entre ellos, la importante reducción en el contenido de alcohol que puede conseguirse cuando se trabaja con uva inmadura, permitiendo además obtener valores de acidez total más altos, posiblemente asociado al contenido de oxígeno en el mosto-vino al aplicar aire comprimido a la pasta, el cual bajo condiciones controladas, puede favorecer la formación de metabolitos secundarios tales como el succínico y málico a través de su impacto en el metabolismo de las levaduras *S. cerevisiae* (Duncan et al., 2024). Aunque la adición del raspón al 50% a la pasta de vendimia puede reducir la acidez de los vinos posiblemente debido a una mayor cesión de K, el cual puede interaccionar con los ácidos del mosto-vino precipitándolos (Pascual et al., 2016; Casassa et al., 2021a; Casassa et al., 2021b). A nivel cromático y contenido en compuestos fenólicos, los vinos con eliminación parcial de semillas reducen de forma significativa el contenido de taninos comparado con el vino control de uva inmadura (sobre el 42% por metilcelulosa y 17% por floroglucinolisis), aunque esta disminución, como es de esperar, es menor que la encontrada cuando la eliminación de las mismas fue total. También se observó un descenso en el contenido total de antocianos y en los valores de intensidad de color del vino, lo cual no ocurrió cuando las semillas estuvieron completamente ausentes (capítulo 1). En cambio, los antocianos no decolorables por SO₂, se incrementaron de forma significativa, aunque no superaron los valores mostrados por el vino control de uva más madura, quien presentó las mejores características cromáticas. Su combinación con la aplicación de ultrasonidos a la pasta incrementó de forma significativa el contenido de taninos, especialmente los procedentes del hollejo de la uva como la (-)-epigallocatequina. Por otro lado, con la adición del raspón, los valores de estos compuestos medidos por el método de la metilcelulosa superaron significativamente los del vino control de uva inmadura, además de incrementar el contenido de (-)-epigallocatequina en su estructura, especialmente cuando se aplicó una mayor cantidad de raspón. La mayor presencia de taninos en estos vinos puede ser la responsable del incremento de la sensación de astringencia calificada por parte de los catadores. Pero no hay que olvidar que un mayor contenido de estos compuestos es necesario para asegurar la estabilidad del color en el tiempo, gracias a la polimerización con los antocianos (Singleton & Trousdale, 1992), además de para poder



ser sometido a un proceso de envejecimiento en barrica. En este sentido, solo la combinación de las tres técnicas incrementó el contenido de antocianos no decolorables por SO₂, alcanzando un valor similar al mostrado por el vino de uva más madura. Sin embargo, tanto los ultrasonidos, como los raspones redujeron el contenido de antocianos monoméricos, lo cual, en el primer caso, se asoció a la mayor presencia de paredes celulares en el mosto-vino debido a una mayor ruptura del hollejo, las cuales tienen capacidad de interaccionar con los compuestos fenólicos solubles (Bautista-Ortín et al., 2017), precipitándolos posteriormente. En el caso de los raspones, la reducción de los antocianos monoméricos se atribuye a su capacidad para adsorberlos del medio (Ribéreau-Gayon & Markakis, 1982). También se observa que los ultrasonidos, por si solos, favorecen la formación de algunas vitisinas; sin embargo, al combinarlos con raspón, su concentración disminuye, posiblemente debido a fenómenos de adsorción o incluso a su participación en la formación de pigmentos de mayor peso molecular. También con la presencia del raspón se incrementó el contenido en peonidina-3-glucósido-4-vinilfenol, en comparación con el resto de las vinificaciones.

Respecto a los compuestos aromáticos, en términos generales, la eliminación parcial de semillas descendió la concentración de los compuestos de todas las familias aromáticas, no observándose un incremento en el contenido de ésteres como cuando las semillas están completamente ausentes (capítulo 1). La combinación con ultrasonidos incrementó el contenido de compuestos C₆, alcanzando valores similares al vino de uva más madura, y ello fue percibido por los catadores al dar mayor puntuación a las notas herbáceas para estos vinos, así como aquellos donde el raspón estuvo presente durante la vinificación, posiblemente debido al incremento de forma significativa en los valores del compuesto (E)-2-hexen-1-ol. Estudios previos han demostrado la posibilidad de reducir la concentración de este compuesto mediante la aplicación de un tratamiento térmico previo del raspón (Hashizume et al., 1998). La sonicación también incrementó ligeramente el contenido de ésteres, y de forma más significativa la concentración de terpenos, proporcionando, además, junto con la adición del 25% de raspón el mayor contenido del compuesto ácido 2-etilhexanoico, conocido por su aroma a fruta. Aunque la combinación de las tres técnicas no alteró el contenido de terpenos ni ácidos, incrementó significativamente el contenido de ésteres, especialmente con la menor presencia de raspón durante la etapa de maceración,



alcanzando valores similares a los del vino de uva madura. Estos resultados resaltan la importancia de su combinación para mejorar el perfil aromático del vino.

Por tanto, los resultados de los **capítulos 1 y 2** ponen de manifiesto, que posiblemente consiguiendo una eliminación de semillas superior al 25% en uva inmadura, el tratamiento de la pasta con ultrasonidos reduciría la extracción de taninos procedentes de las semillas, disminuyendo así las sensaciones de astringencia y además, combinado con un contenido del raspón inferior al 25%, se podría mejorar no solo el color del vino, sino también su estabilidad, perfil aromático y sensaciones en boca.

Otro problema asociado al cambio climático es la reducción en los valores de acidez y el incremento en los niveles de pH en la uva. Como resultado, los vinos elaborados bajo estas condiciones carecen de la acidez necesaria para preservar su frescura y calidad enológica. En este contexto el uso del ácido tartárico en las bodegas se ha convertido en una práctica muy habitual. Al ácido tartárico se le atribuyen diversas funcionalidades entre la que destacan el ajuste de pH y acidez en los vinos y su efecto estabilizante. No obstante, la formación de sales por la combinación de este ácido con el ion K^+ (bitartrato potásico); es indeseable tanto para el consumidor como para las bodegas (Boulton, 1995) debido a la formación de precipitados. Resultando así, un problema inevitable para las uvas que requieren de un ajuste fisicoquímico (pH y acidez), dando lugar en algunos casos a que las dosis de ácido tartárico superen incluso los límites legales establecidos. Una alternativa a este problema podría ser el uso de resinas de intercambio catiónico, un método de acidificación de bajo coste y con menor riesgo de precipitación tartárica, aprobado por la OIV (OIV, 2017) para regular la acidez en mostos y vinos. Hasta la fecha no hay estudios previos donde hayan usado esta técnica física para reducir el pH en vino tinto de la variedad Monastrell y por ello, en el **capítulo 3** se evaluó el impacto del tratamiento del mosto con resinas de intercambio catiónico en comparación con la acidificación tradicional mediante ácido tartárico sobre la composición y calidad de los vinos tintos de Monastrell. Los vinos elaborados a partir de mostos tratados con resinas de intercambio catiónico se compararon con aquellos ajustados al mismo pH mediante ácido tartárico, así como con un vino control obtenido a partir de mostos sin tratar, con el fin de evaluar el potencial de este enfoque físico como alternativa más viable para mejorar la calidad del vino en regiones cálidas.



Para ello, se llevó a cabo una elaboración utilizando uva Monastrell con $27,2 \pm 0,1$ ° Brix, un pH de $3,85 \pm 0,1$ y una acidez total de $5,53 \pm 0,05$ g/L. De la uva cosechada, se separó una pequeña parte para obtener el mosto acidificado usando un equipo de intercambio catiónico FreeK+ (Agrovin S.A., Ciudad Real). Posteriormente, el mosto acidificado reemplazó el 20% y el 30% del volumen del mosto sin tratar en las respectivas vinificaciones (FreeK 20 y FreeK 30). Además, se realizaron dos vinificaciones con adiciones de ácido tartárico para ajustar el pH a los mismos niveles que los tratamientos con mosto acidificado (Tartárico 20 y Tartárico 30) y una vinificación control sin sustitución de mosto ni ajuste de pH. Todas las elaboraciones se realizaron en triplicado en depósitos de 25 L.

Los análisis de los vinos tras un mes de embotellado han mostrado que el tratamiento con resinas de intercambio catiónico reduce significativamente los valores de pH del vino y aumentan la acidez total de la misma manera que la acidificación con ácido tartárico. Estos cambios en los valores de acidez en el vino también fueron detectados de forma significativa por los catadores. Además, el tratamiento con resinas mostró un beneficio adicional al reducir de manera significativa la concentración de cationes metálicos-prooxidantes como el hierro, el cobre y el manganeso, contribuyendo a la disminución de los valores de la acidez volátil (Ponce et al., 2018; Benítez et al., 2002). Ambos métodos de acidificación mejoraron la calidad cromática del vino, aumentando la intensidad de color y disminuyendo los valores de tono. Este efecto se atribuye al descenso del pH, que favorece la participación de los antocianos a 520 nm, principalmente en forma de cationes flavilio, lo que también promueve reacciones de autoasociación o copigmentación con flavonoides y ácidos fenólicos (González-Manzano et al., 2008), generando cambios hipercrómicos y batocrómicos. Aunque no se observaron diferencias significativas en la concentración total de compuestos fenólicos, si se detectaron variaciones en la composición de antocianos y taninos. En este sentido una menor formación de antocianos poliméricos y visitinas fue encontrada en los vinos donde parte del mosto fue sustituido por mosto acidificado debido posiblemente a un menor contenido en metales tales como Fe, Cu y Mn involucrados en la formación de pigmentos más estables, aunque también parece que bajos valores de pH están asociados a una menor presencia de los mismos en el vino (Gambuti et al., 2022; Peterson & Waterhouse, 2016). La composición de los taninos también se vio afectada por la reducción del pH, observándose un incremento en la extracción taninos del hollejo con ambos métodos de



acidificación, corroborado por el incremento de (-)-epigallocatequina en la estructura del tanino y en su grado medio de polimerización. Este cambio resultó en una menor sensación de astringencia percibida por los catadores. Por otro lado, aunque el descenso en los valores de pH redujo en general el contenido de compuestos aromáticos, la sustitución del 30% de mosto por mosto acidificado favoreció significativamente la formación de ésteres frutales y terpenos florales, lo cual fue detectado por los catadores al valorar estos vinos como más aromáticos y con notas frutales más intensas.

Referencias

- Bautista-Ortín, A. B., Jiménez-Martínez, M. D., Jurado, R., Iniesta, J. A., Terrades, S., Andrés, A., & Gómez-Plaza, E. (2017). Application of high-power ultrasounds during red wine vinification. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(6), 1314–1323. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13411>
- Benítez, P., Castro, R., & Barroso, C. G. (2002). Removal of iron, copper, and manganese from white wines through ion exchange techniques: Effects on their organoleptic characteristics and susceptibility to browning. *Analytica Chimica Acta*, 458(1), 197-202.
- Bertrand, A. (1981). Formation des substances volatiles au cours de la fermentation alcoolique. Incidence sur la qualité du vin. *Colloque de la Société Française de Microbiologie* (pp. 251-267).
- Boulton, R. (1995). Red wines. In: Fermented Beverage Production. In Lea AGH. and Piggott JR. (Eds.), Blackie Academic and Professional, Chapman & Hall, London, pp. 121-158. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-5214-4_6.
- Casassa et al. (2021a). Chemical and chromatic effects of saignée combined with extended maceration and microwaved stem addition on three Pinot Noir clones from the Central Coast of California. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 27, 540–552, 2021.
- Casassa, L.F., Dermutz, N.P., Mawdsley, P.F.W., Thompson, M., Catania, A.A., Collins, T.S., Ashmore, P.L., du Fresne, F., Gasic, G. & Dodson Peterson, J.C. (2021b). Whole cluster and dried stem additions effects on chemical and sensory properties of Pinot Noir wines over two vintages. *American Journal of Enology and Viticulture* 72, 21–35.
- Duncan, J.D., Devillers, H., Camarasa, C., Setati, M.E., & Divol, B. (2024). Oxygen alters redox cofactor dynamics and induces metabolic shifts in *Saccharomyces cerevisiae* during alcoholic fermentation. *Journal of Food Microbiology*, 124, 104624.

- Ferrer-Gallego R., Ferrer-Gallego N., Quijada-Morín N, F. Brás N., Gomes P., de Freitas V., Rivas-Gonzalo J.C. & Escribano-Bailón M.T. (2015). Characterization of sensory properties of flavanols-A molecular dynamic approach, *Chemical Senses*, 40 (6) 381-90. doi:10.1093/chemse/bjv018
- Gambutì, A., Picariello, L., Forino, M., Errichiello, F., Guerriero, A., & Moio, L. (2022). How the management of pH during winemaking affects acetaldehyde, polymeric pigments and color evolution of red wine. *Applied Sciences*, 12(5), 2555.
- Gonzalez-Manzano, S., Santos-Buelga, C., Dueñas, M., Rivas-Gonzalo, J. C., & Escribano-Sperber, B. L., Schols, H. A., Stuart, M. A. C., Norde, W., & Voragen, A. G. (2009). Influence of the overall charge and local charge density of pectin on the complex formation between pectin and β -lactoglobulin. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 765-772.
- Hashizume, K., Kida, S., & Samuta, T. (1998). Effect of steam treatment of grape cluster stems on the methoxypyrazine, phenolic, acid, and mineral content of red wines fermented with stems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10), 4382–4386. <https://doi.org/10.1021/jf980177>
- Keller, M. (2020). The science of grapevines. Academic press. 3rd ed.; Keller, M., Ed.; Elsevier Academic Press: London, UK, 2020; p. 400
- Llaudy, M. C., Canals, R., Canals, J. M., & Zamora, F. (2008). Influence of ripening stage and maceration length on the contribution of grape skins, seeds and stems to phenolic composition and astringency in wine-simulated macerations. *European Food Research and Technology*, 226(3), 337–344. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0542-3>
- Lamçe, F., Kyçyk, O., Gozhdari, K., Zejnelhoxha, S., & Kukali, E. (2020). The influence of stems and oak chips on the fermentation and color stabilization during maturation of red wines produced by cv. Shesh I Zi. *Journal of Central European Agriculture*, 21(1), 129–134.
- Pascual, O., Gonzalez-Royo, E., Gil, M., Gomez-Alonso, S., García-Romero, E., Canals, J.M., Hermosín-Gutiérrez, I. & Zamora, F. (2016). Influence of grape seeds and

- stems on wine composition and astringency. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64, 6555–6566.
- Pérez-Porras, P., Gómez-Plaza, E., Muñoz García, R., Díaz-Maroto, M. C., Moreno-Olivares, J. D., & Bautista-Ortín, A. B. (2022). Prefermentative grape microwave treatment as a tool for increasing red wine phenolic content and reduce maceration time. *Applied Sciences*, 12(16), 8164. <https://doi.org/10.3390/app1216816>
- Pérez-Porras, P., Bautista-Ortín, A.B., Osete-Alcaraz, L., Carrasco-Palazón, M.J., Jurado, R., Gómez-Plaza, E. (2025). High-power ultrasounds as a tool for the formation of stable pigments during the aging of red wines. *Food and Bioprocess Technology*, <https://doi.org/10.1007/s11947-025-03905-7>.
- Peterson, A. L., & Waterhouse, A. L. (2016). ¹H NMR: A novel approach to determining the thermodynamic properties of acetaldehyde condensation reactions with glycerol, (+)-catechin, and glutathione in model wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(33), 6869–6877. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02077>
- Ponce, F., Mirabal-Gallardo, Y., Versari, A., & Gleisner, F. L. (2018). The use of cation exchange resins in wines: Effects on pH, tartrate stability, and metal content. *Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura*, 45(1), 82–92.
- Ribéreau-Gayon, P., & Markakis, P. (1982). Anthocyanins of Food Colors. New York: *Academic Press*. Chapter 8.
- Singleton, V. L., & Trousdale, E. K. (1992). Anthocyanin-tannin interaction explaining differences in polymeric phenols between white and red wines. *American Journal Enology and Viticulture*, 43, 63–70.
- Suriano, S., Alba, V., Tarricone, L., & Di Gennaro, D. (2015). Maceration with stems contact fermentation: Effect on proanthocyanidins compounds and color in Primitivo red wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 177, 382–389. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.063>
- VanderWeide, J., Del Zozzo, F., Nasrollahiazar, E., Kennedy, J. A., Peterlunger, E.,



Rustioni, L., & Sabbatini, P. (2022). Influence of freezing and heating conditions on grape seed flavan-3-ol extractability, oxidation, and galloylation pattern. *Scientific Reports*, 12(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07925-7>

Conclusiones Generales



- 1- La eliminación de semillas durante la vinificación representa una estrategia tecnológica eficaz para mejorar la calidad sensorial de vinos elaborados con uvas inmaduras. Esta técnica permite reducir la astringencia y el amargor, aumentar la intensidad del color mediante la formación de pigmentos poliméricos y vitisinas, y potenciar los aromas frutales gracias al incremento de ésteres. Estos resultados sugieren que adaptar el proceso de vinificación según el estado de madurez de la uva, específicamente mediante la eliminación de semillas, puede optimizar el balance y la armonía del vino, acercando su perfil sensorial al de vinos obtenidos con uvas completamente maduras, pero con menor contenido de alcohol.
- 2- Los hallazgos del estudio abren nuevas líneas de investigación orientadas a comprender el papel específico de los taninos del hollejo en la formación de pigmentos estables durante la vinificación sin semillas. Asimismo, se plantea la necesidad de seguir investigando cómo evoluciona el color y el perfil aromático de estos vinos a lo largo del tiempo, lo que podría tener implicaciones relevantes para la crianza y conservación. No obstante, la eliminación total de semillas en el proceso de vinificación todavía es una práctica enológica que no puede ser aplicada en bodega debido a la falta de equipamiento específico, por lo que las investigaciones también tienen que ser orientadas en el desarrollo de estos equipos.
- 3- La eliminación parcial de semillas en uvas inmaduras reduce significativamente la concentración de taninos totales y ciertos antocianos, lo que conlleva una disminución en la intensidad de color y una atenuación de la percepción de amargor en el perfil sensorial del vino. Dado que la eliminación total de semillas aún no es viable en bodega por la ausencia de equipamiento específico, la eliminación parcial se presenta como una alternativa técnicamente factible y útil para mejorar atributos sensoriales en vinos elaborados con uvas inmaduras.

- 4- La combinación de eliminación parcial de semillas con ultrasonidos, aunque mejora la extracción de taninos del hollejo y la formación de vitisinas en vinos de uvas inmaduras, también genera una mayor presencia de paredes celulares durante el proceso de vinificación pudiendo haber afectado a la concentración y composición de los compuestos fenólicos y aromáticos en el vino final. Por tanto, investigaciones futuras deberían llevarse a cabo en combinación también con enzimas pectolíticas con alta actividad pectín liasa, y así poder verificar que el vino obtenido pueda tener un perfil más similar al mostrado por el vino de uva madura.
- 5- La presencia de raspón junto con la eliminación parcial de semillas y la aplicación de ultrasonidos, especialmente en dosis moderadas (EPUS25), aunque favorece la formación de pigmentos poliméricos y ésteres, mejorando la intensidad aromática, también incrementa la percepción de astringencia y la presencia de compuestos herbáceos, por lo que en próximos ensayos se debería ensayar adicionándolo a una dosis más baja e incluso someterlo a un tratamiento térmico, como indican algunos trabajos, para mejorar el perfil organoléptico del vino.
- 6- La acidificación parcial del mosto mediante resinas de intercambio catiónico o la adición de ácido tartárico tras el despalillado y estrujado permite una reducción efectiva del pH y un aumento de la acidez total del vino, sin afectar significativamente la concentración total de compuestos fenólicos, aunque sí modifica su composición, especialmente en el caso de antocianos y taninos.
- 7- Ambas estrategias de acidificación mejoran la calidad sensorial del vino tinto, incrementando la intensidad cromática, la frescura en boca y la percepción aromática, especialmente cuando se sustituye el 30% del mosto con mosto acidificado, lo que se traduce en una mayor presencia de ésteres frutales y terpenos florales, y una menor astringencia a nivel sensorial.

- 8- El uso de resinas de intercambio catiónico no solo mejora la estabilidad frente a la oxidación al reducir cationes metálicos pro-oxidantes, sino que también representa una alternativa tecnológica viable y rentable frente a la acidificación tradicional.

