

Artículo

Un nuevo enfoque para la reducción del contenido de alcohol en los vinos tintos: el uso de ultrasonidos de alta potencia

María Pilar Martínez-Pérez ¹, Ana Belén Bautista-Ortín ¹, Paula Pérez-Porras ¹, Ricardo Jurado ² and Encarna Gómez-Plaza ^{1,*}

¹ Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Murcia, Campus de Espinardo, 30100 Murcia, España; mpilar.martinez2@um.es (M.P.M.-P.); anabel@um.es (A.B.B.-O.); paula.perez2@um.es (P.P.-P.)

² Agrovin, S.A. Av. de los Vinos s/n, Alcázar de San Juan, 13600 Ciudad Real, España; rjurado@agrovin.com

* Correspondencia: encarna.gomez@um.es; Tel.: +34868887323 Recibido: 28 de abril, 2020; Aceptado: 30 de mayo, 2020; Publicado: 2 de junio, 2020

Resumen: Antecedentes: Para obtener vinos con un porcentaje más bajo de alcohol, el enfoque más sencillo sería cosechar antes las uvas. Sin embargo, esto tiene implicaciones para la composición y la calidad del vino, ya que estas uvas pueden presentar una falta de madurez fenólica. Una innovación tecnológica que podría ayudar en esta situación sería el uso de ultrasonido en las bodegas. Métodos: Las uvas se cosecharon con dos niveles de maduración diferentes (25.4 °Brix y 29 °Brix), se transportaron a la bodega y se vinificaron. Además, se utilizó un sistema de ultrasonido de alta potencia a gran escala para tratar las uvas menos maduras justo después del triturado. Estas uvas también se vinificaron. Las tres vinificaciones diferentes se maceraron con hollejos durante 7 días. En el momento del embotellado, se analizaron los compuestos aromáticos del vino, así como sus características fisicoquímicas, cromáticas y sensoriales. Resultados: El vino elaborado con las uvas tratadas con ultrasonido presentaron características muy similares a las del vino hecho con las uvas menos maduras, especialmente en lo relativo al contenido total de taninos y fenoles totales, pero con un contenido de alcohol 15% inferior a este último. Conclusiones: Los resultados indican que esta tecnología podría aplicarse a las uvas para favorecer la extracción de compuestos fenólicos de la uva incluso sin haberse completado la madurez fenólica de la misma, lo que permite la producción de vinos de calidad con un contenido de alcohol reducido.

Palabras clave: ultrasonidos; compuestos fenólicos; color; aroma; análisis sensorial; contenido de alcohol; vino

1. Introducción

El color es uno de los atributos de calidad más importantes del vino tinto. El color depende de la composición fenólica del vino (una composición que no solo afecta al color del vino, sino también al cuerpo y a la textura en boca) y, por tanto, está estrechamente relacionado con la composición fenólica de las uvas.

Los compuestos fenólicos de la uva están principalmente localizados en el hollejo (antocianinas y taninos) y las semillas (taninos), y se extraen en el mosto durante el triturado y el periodo de maceración. Aunque algunas técnicas enológicas pueden ayudar a extraer estos compuestos [1], esta extracción puede verse seriamente limitada por las paredes celulares de las células en las que están ubicados estos compuestos, formando una barrera para su extracción [2]. Si estas paredes celulares no se rompen con facilidad, la extracción de compuestos fenólicos será limitada. A partir de estas observaciones, el concepto de madurez fenólica ha aparecido en la etapa de uva, momento en que el contenido fenólico del hollejo no solo es alto, sino también fácilmente extraíble, y la extracción de taninos de las semillas se reduce debido a una lignificación de la semilla [3]. Cuando las uvas están inmaduras fenólicamente, los compuestos fenólicos del hollejo no se extraen con facilidad, incluso cuando están presentes a altas concentraciones, y sin embargo puede haber altas concentraciones presentes de los taninos astringentes de las semillas [4, 5]. Esta situación cambia al alcanzar la madurez fenólica, cuando las paredes celulares se degradan con facilidad y se extraen los compuestos fenólicos [2].

En situaciones óptimas, y cuando la variedad está bien adaptada a un área determinada, la madurez tecnológica (el nivel óptimo de contenido de azúcares en las uvas para un cierto tipo de vino) y la madurez fenólica y aromática (cuando las uvas han perdido aromas vegetales y herbáceos y se expresan aromas frutales) se alcanzan al mismo tiempo. Sin embargo, el cambio climático está ejerciendo una gran influencia en la fenología de la vid y la composición de las uvas [6], y entre los efectos más importantes relacionados con el cambio climático está una modificación de la fenología de la vid [7]. Si la fenología de la vid se pasa a fechas más tempranas, debido al calentamiento global, esto puede conducir a un desarrollo asincrónico de la composición de la uva, con una acumulación de azúcares más rápida que la síntesis de compuestos fenólicos. En consecuencia, un retraso en la cosecha para permitir que las uvas alcancen una madurez aromática y fenólica óptima puede conducir a niveles más altos de azúcar en las bayas de los deseados, y en consecuencia a un contenido más alto de alcohol en los vinos [8].

El problema de los vinos con alto contenido de alcohol es una gran preocupación para los bodegueros, ya que tiene implicaciones potenciales sobre la calidad del vino. El etanol es sensorialmente importante para el vino, e indispensable para la estabilidad, crianza y propiedades organolépticas del vino [9], y por tanto del estilo de vino. Sin embargo, una alta concentración de etanol puede presentar algunos problemas tecnológicos: puede ser tóxica para las células de levadura y, como resultado, conducir a una parada o lenta, como declaran Henderson y Block [10] y como afirman Boulton et al. [11], podría inhibir la fermentación maloláctica. Desde un punto de vista sensorial, puede influir en nuestras percepciones de astringencia, acidez, sabor y aroma, como han registrado algunos autores [12-14], y los vinos pueden ser percibidos como más calientes al paladar [15]. Por último, pero no menos importante, un alto contenido de alcohol tiene un efecto negativo en la salud humana y puede ser más caro, ya que se en muchos países se gravan a tipos más altos [16].

En vista de todos estos problemas, los bodegueros están buscando realmente posibilidades para obtener vinos de alta calidad con un contenido reducido de alcohol. Se han propuesto diferentes enfoques para reducir los niveles de alcohol en vinos en todas las etapas del proceso de vinificación, desde la adición de zumo de uva inmadura a vinos terminados [17, 18] hasta el uso de levaduras con una baja producción de alcohol [19, 20], o el uso de tecnologías para llevar a cabo procesos de desalcoholización parcial [21, 22].

No obstante, podría ser que una de las soluciones más fáciles para la reducción de alcohol en el vino fuese cosechar uvas con un contenido menor de azúcares, siempre que podamos solucionar el problema de la baja madurez fenólica que podrían presentar estas uvas en esta etapa y, por tanto, las dificultades para obtener vinos de color intenso. Algunas técnicas enológicas se centran en este problema, como el uso de enzimas de maceración o técnicas de maceración prefermentativa, tal y como revisaron Sacchi et al. [1], o las tecnologías novedosas que podrían utilizarse para solucionar este problema.

Entre las tecnologías novedosas, los ultrasonidos de alta potencia (HPU) podrían constituir un enfoque interesante. Esta es una tecnología que ya ha sido aprobada por la Organización Internacional de la Viña y del Vino (OIV) en 2019 para su uso en bodegas. Los HPU generalmente están formados por frecuencias de entre 20 y 40 kHz, con un nivel de energía lo bastante alto para producir cavitación acústica. Este efecto consiste en la formación de minúsculas burbujas que crecen hasta alcanzar un tamaño crítico que provoca su implosión. Durante la implosión se alcanzan temperaturas y presiones considerablemente altas (unos 5000 K y unos 2000 atm, respectivamente) [23]. Cuando esta implosión se produce cerca de una célula, las fuerzas resultantes pueden romper las paredes celulares, conduciendo a dos resultados potenciales: en las células vegetales, permite la difusión del compuesto localizado en su interior [21], y en el caso de una célula de un microorganismo, puede conducir a la muerte del propio organismo [24].

Por lo tanto, en enología los HPU podrían utilizarse para

- (a) Mejorar la extracción de compuestos fenólicos y aromáticos de las uvas [25-28];
- (b) Reducir el uso de SO₂ mediante la reducción de los recuentos microbianos. De esta manera, Gracin et al. [29] concluyeron que los ultrasonidos de alta potencia aplicados en un flujo continuo mostraban una reducción satisfactoria de levaduras *Brettanomyces* (89.1-99.7%) y bacterias de ácido láctico (71.8-99.3%), y Santos et al. [30] revisan la posibilidad de usar ultrasonidos en varias etapas de la elaboración de vino para la conservación del mismo;
- (c) Criar los vinos sobre lías: Kulkarni et al. [31] utilizaron cepas de no-*Saccharomyces* combinadas con

tratamiento de ultrasonido para acelerar la crianza sobre lías y estudió sus impactos sobre la liberación de polisacáridos y sobre las propiedades organolépticas del vino tinto. Cacciola et al. [32] probaron los efectos de los HPU durante la crianza de vino sobre lías, y llegaron a la conclusión de que su efecto podría compararse con el uso de β -glucanasas,

- enzimas capaces de demoler los glucanos de las lías y facilitar la liberación de componentes intracelulares;
- (d) Recuperación de productos secundarios, como fenoles del orujo de uva [33–35] o estilbenos de los sarmientos de uva [36];
 - (e) Acelerar las reacciones de la crianza: otro efecto de la cavitación es la producción de especies de radicales altamente reactivas, como radicales de $\cdot\text{OH}$ y $\cdot\text{H}$ que pueden experimentar una gama de reacciones subsecuentes, entre ellas la generación de H_2O_2 , y estas especies altamente oxidantes pueden tener un efecto significativo sobre las especies tanto biológicas como químicas en solución acuosa [29]. La posible formación de radicales libres podría ayudar a acelerar las reacciones de crianza del vino [37]. En este sentido, Zhang et al. [38] han proporcionado la primera prueba directa de la formación del radical libre 1-hidroxiletíl (un radical que surge de la oxidación del etanol) en vino tinto expuesto a ultrasonidos. Lukic et al. [39] han afirmado que el tratamiento con ultrasonido puede acelerar algunas reacciones de la crianza y acortar el periodo de crianza del vino. Zhang and Wang [40] han declarado que la aplicación de ultrasonidos no solo influyó temporalmente en las características cromáticas y la composición fenólica del vino, sino que también tiene un efecto más duradero sobre su evolución durante el almacenamiento del vino.

En este trabajo, el interés está centrado en el efecto que puedan tener los HPU sobre la facilitación de la reducción del contenido de alcohol en vinos de coloración intensa mediante la aplicación de HPU a uvas trituradas con un menor contenido de azúcares.

2. Materiales y métodos

2.1. Uvas

Uvas tintas Monastrell, todas cosechadas de un viñedo en la provincia de Murcia (España). El viñedo presentaba dos áreas diferenciadas con distintas etapas de maduración con una fecha determinada. Se llevaron a cabo dos recolecciones independientes en estas dos áreas, para obtener dos lotes de uva del mismo viñedo con distinto contenido de azúcares. Las uvas se transportaron en el mismo día a la bodega para su procesamiento.

2.2. Elaboración de vino (microvinificación)

Las uvas menos maduras (400 kg, 25.4 °Brix, 14 °Baumé) se despalillaron y trituraron. La mitad de las uvas trituradas fueron tratadas (vinificación sonicada, US14) con un sistema de ultrasonidos de alta potencia a escala de bodega (MiniPerseo, Agrovin S.A., Alcázar de San Juan, España) capaz de tratar 400 kg de uvas trituradas a la hora. El sistema operaba a 2500 W y una frecuencia de 28 kHz, con una densidad de potencia de 8 W/cm². La otra mitad de las uvas trituradas no fue tratada (vinificación de control, C14). Las uvas más maduras (200 kg, 29 °Brix, 16 °Baumé) también fueron despalilladas y trituradas (vinificación de control, C16). Se llenaron pequeños depósitos de acero inoxidable de 50 kg (por triplicado) tanto con las uvas de control como con las uvas trituradas y tratadas con ultrasonidos. Se logró la homogeneidad del mosto en cada depósito pesando las partes sólidas y el mosto líquido por separado y llenando cada recipiente de 50 L con la misma cantidad y proporción, para garantizar el mismo ratio sólido/líquido en cada recipiente. Se corrigió la acidez total, de ser necesario, a 5.5 g/L y se añadieron levaduras secas seleccionadas (Viniferm CT007, Agrovin, Alcázar de San Juan, España, 20 g de levadura seca/100 kg de uva). El tiempo de maceración del hollejo fue de 7 días para todas las muestras. Durante el periodo de fermentación en contacto con el orujo, se rompió el sombrero dos veces al día. Al final de este periodo, se prensaron los vinos en una prensa neumática de 75 L. Se combinaron vinos de yema y vinos de prensa y se dejaron a temperatura ambiente hasta el fin de la fermentación alcohólica. Una vez finalizada la fermentación, se decantaron dos veces los vinos, se estabilizaron en frío a 2 °C durante un mes y se embotellaron. Los vinos fueron analizados en el momento del embotellado.

2.3. Determinaciones analíticas

Los vinos se caracterizaron midiendo el contenido alcohólico, el pH, la acidez total y volátil, y el ácido acético según métodos de la Comunidad Europea [41]. Se determinaron los azúcares totales y reductores, el metanol,

los ácidos málico y tartárico, el etanal y el ácido glucónico por métodos enzimáticos realizados con un analizador automático (Miura One, TDI, Barcelona, España).

Parámetros espectrofotométricos: se calculó la intensidad del color (CI) como la suma de absorbancia a 620, 520 y 420 nm, y el tono como el ratio entre la absorbancia a 420 nm y la absorbancia a 520 nm. Las antocianinas totales y poliméricas se determinaron espectrofotométricamente [42]. El índice de fenoles totales (TPI) se calculó midiendo la absorbancia del vino a 280 nm, según Ribereau-Gayon et al. [43]. Los taninos totales se determinaron mediante el método de la precipitación con metilcelulosa [44].

Determinación de taninos mediante el método de la floroglucinólisis: Se prepararon muestras de vino según describen Busse-Valverde et al. [45] partiendo de una optimización del método descrito por Pastor del Rio y Kennedy [46]. En resumen, se evaporaron 5 mL de vino en un concentrador de vacío centrífugo (Lacnoco, Kansas City, MO, Estados Unidos), se disolvieron en 3 mL de agua y después se pasaron por una columna C18-SPE (1 g, Waters, Milford, MA, Estados Unidos). Los compuestos de interés se eluyeron con 10 mL de metanol, se evaporaron y después se disolvieron en 1 mL de metanol. Los análisis de taninos se realizaron mediante despolimerización de la molécula con un reactivo de floroglucinol. Las muestras despolimerizadas (10 µL de volumen de inyección) se analizaron mediante HPLC [45]. Estos análisis permitieron la determinación del contenido de taninos totales, el grado medio aparente de polimerización (mDP) y el porcentaje de cada unidad constitutiva. También se calculó el rendimiento de conversión de masa de taninos de vino en $38.16\% \pm 5.70\%$.

2.4. Determinación de compuestos volátiles del vino mediante microextracción en fase sólida-cromatografía de gases-espectrometría de masas (SPME-GC-MS)

Para el aislamiento de compuestos volátiles principales mediante microextracción en fase sólida (SPME) se utilizó una fibra de divinilbenceno-carboxen-polidimetilsiloxano (DVB/CAR/PDMS). Se preparó antes del primer uso mediante inserción en un inyector de cromatógrafo de gases, según las recomendaciones del fabricante.

Para el análisis de compuestos volátiles del vino se añadieron 10 mL de vino a un vial de espacio de cabeza de 20 mL. Al mismo vial se añadieron 4 g de cloruro de sodio y 50 µL del estándar interno (125 µL/L de 2-octanol en etanol absoluto). El vial fue sellado y cargado en un automuestreador Gerstel (Gerstel GmbH y Co.KG, Mellninghofen, Alemania), y el análisis se realizó con un cromatógrafo de gases Agilent 6890N conectado a un espectrómetro de masas de cuadrupolo simple Agilent 7890B (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, Estados Unidos). Pueden encontrarse las condiciones del procedimiento de microextracción, el cromatógrafo de gases y las condiciones de los espectros de masas en Gómez-Plaza et al. [47]. La identificación de los picos se llevó a cabo comparando espectros de masa con los de la biblioteca de masas (Wiley 6.0) y también comparando los índices de retención Kovats calculados, determinados con referencia a una serie estándar homóloga de hidrocarburos C9–C30, con los publicados en la literatura. Se obtuvieron datos semicuantitativos calculando el área relativa del pico (o señal iónica total) en relación con la del estándar interno (2-octanol).

2.5. Análisis sensorial

Los vinos fueron sometidos a una evaluación sensorial utilizando un test descriptivo. Antes del análisis sensorial, se combinó el vino de tres replicaciones diferentes para cada experiencia con el fin de disponer de una muestra representativa y para evitar diferencias entre las replicaciones. Diez miembros del personal con experiencia en análisis sensorial de vino e interés en el proyecto fueron seleccionados para el análisis sensorial.

Se sirvieron 40 mL de cada vino 30 min antes de la evaluación. Las copas fueron codificadas y presentadas a los jueces en una sala sensorial que se mantuvo a 20 °C y libre de olores inusuales. Cada panelista se sentó en una cabina aislada independiente iluminada con luz blanca. La intensidad de cada atributo se calificó en una escala de cero a cinco, indicando la puntuación de cero que no se percibió el descriptor. En el análisis se utilizaron datos de todos los jueces para todas las muestras.

2.6. Análisis estadístico

El análisis de varianza y el análisis de componentes principales se realizaron utilizando el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI.3 (Statpoint Technologies, Inc., The Plains, VA, EE. UU).

3. Resultados

Muchos de los estudios sobre las características de los vinos hechos a partir de uvas con diferentes grados de maduración se realizaron con uvas muestreadas en distintos momentos durante la maduración. Sin embargo, también es bien conocido que, en cualquier momento determinado, las características fisiológicas de las bayas de uva en un viñedo son muy heterogéneas [48]. Esto resulta especialmente cierto en los grandes viñedos, en los que pueden encontrarse grandes cambios en la orientación del viñedo, su pendiente o altitud. En base a esto, un muestreo independiente de dos zonas diferentes del mismo viñedo nos dio la oportunidad de trabajar con uvas crecidas bajo las mismas condiciones pero con distintas etapas de maduración en el momento de la recolección.

La Tabla 1 muestra las características fisicoquímicas de los tres vinos estudiados. Es importante señalar que el sistema utilizado en este estudio difiere de los utilizados en estudios previos, en los que los HPU fueron aplicados durante la elaboración de vino, ya que la mayoría de ellos utilizó sistemas a escala de laboratorio, ya fuesen sondas o baños ultrasónicos, mientras que este estudio se ha utilizado un sistema a escala de bodega con un tratamiento de mostos en línea continuo.

Al comparar C14 con US14, no se observaron diferencias significativas en ninguna de las propiedades fisicoquímicas, excepto para el contenido de metanol. El metanol se produce antes y durante la fermentación alcohólica a partir de la hidrólisis de las pectinas por enzimas pectinasas (como la pectina metilesterasa), que están naturalmente presentes en la fruta. Se produce más metanol cuando el mosto se fermenta sobre hollejos de uva; por lo tanto, generalmente hay más metanol en los vinos tintos que en los vinos rosados o blancos [49]. El mayor grado de degradación que provocaron los ultrasonidos en los hollejos de uva podría haber aumentado la concentración de pectinas en el mosto, y la degradación subsecuente de dichas pectinas podría haber aumentado la concentración de metanol en el vino US14. No obstante, la concentración fue inferior al máximo establecido por la OIV (400 mg/L). Zhang et al. [50] también concluyeron que los HPU no afectaban a la mayoría de las características fisicoquímicas de los vinos.

Si comparáramos el C14 y US14 con el C16, las diferencias eran las esperadas. El contenido de alcohol de C16 fue casi dos unidades superior al de C14 y US14. Las diferencias en los azúcares residuales y el pH fueron pequeñas, pero la acidez total y la acidez volátil fueron más altas en el C16, sin hallarse diferencias en el contenido de ácido tartárico (la acidez se corrigió en el mosto cuando fue necesario). El ácido glucónico aumentó en los vinos hechos con las uvas más maduras. El ácido glucónico es un producto producido por hongos, como *Botrytis cinerea*, *Penicillium*, *Aspergillus*, ya *Mucor*, y bacterias, como *Acetobacter* and *Gluconobacter*, y su presencia en mosto y vinos está relacionada con el nivel de infección de las uvas, que es facilitado por factores climáticos como la humedad o las precipitaciones, así como por factores fisiológicos como el estado de maduración [51]. Por lo tanto, la detección de ácido glucónico permite realizar una estimación del estado de salud de la cosecha de uva y de la calidad del vino dentro del ciclo de producción en una bodega. La OIV ha declarado que unos niveles de ácido glucónico de 200–300 mg/L o menos indican unas uvas sanas, mientras que niveles de hasta 1.0 g/L indican una etapa inicial de infección fúngica [52]. El nivel máximo detectado en nuestros vinos fue 0.34 g/L en el vino C16.

El etanal también fue controlado para determinar si el uso de HPU al principio del proceso de elaboración de vino podría, afectar de algún modo a la evolución de la vinificación y la presencia de marcadores de oxidación.

Esta molécula es producida mediante la oxidación de etanol y aunque a bajas concentraciones puede contribuir a la evolución del color del vino tinto durante la crianza [53], una producción excesiva de acetaldehído puede causar la aparición de un sabor no deseado de oxidación [5-4]. No se detectaron diferencias sobre este compuesto entre C14 y US14 y C16.

Tabla 1. Características fisicoquímicas de los vinos estudiados.

	%Alc	RS	TS	pH	Tac	Vac	MeOH	Mal	Tart	Etanal	Gluc
C14	14.7 ± 0.2a	1.8 ± 0.1a	2.4 ± 0.1a	3.7 ± 0.02b	5.0 ± 0.1a	0.6 ± 0.01a	192.7 ± 2.5a	0.8 ± 0.1b	1.4 ± 0.1a	55.3 ± 3.1a	0.09 ± 0.01a
US14	14.6 ± 0.46a	2.1 ± 0.1a	2.6 ± 0.1a	3.7 ± 0.01b	5.1 ± 0.10a	0.6 ± 0.01a	261.0 ± 9.5c	0.8 ± 0.1b	1.5 ± 0.1a	55.3 ± 9.0a	0.10 ± 0.01a
C16	16.217 ± 0.1b	3.4 ± 0.1b	4.1 ± 0.b	3.6 ± 0.01a	5.7 ± 0.1b	0.9 ± 0.01b	217.7 ± 9.7b	0.5 ± 0.1a	1.4 ± 0.1a	52.7 ± 3.5a	0.34 ± 0.04b

%Alc: contenido de alcohol, RS: azúcares reductores (g/L), TS: azúcares totales (g/L), Tac: acidez total (g/L), Vac: acidez volátil (g/L), MeOH: contenido de metanol (mg/L), Mal: ácido málico (g/L), Tart: ácido tartárico (g/L), etanal (mg/L), Gluc: ácido glucónico (g/L). Diferentes letras dentro de la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

La Tabla 2 muestra las características cromáticas de los vinos estudiados. Al comparar C14 y C16, podemos observar un incremento estadísticamente significativo en la intensidad del color, los fenoles totales, las antocianinas totales, las antocianinas poliméricas y los taninos totales en el vino C16. Resultados previos de nuestro grupo [55] durante el estudio de las características fisicoquímicas y cromáticas de uvas Monastrell cosechadas en diferentes grados de maduración han demostrado que, incluso cuando las uvas se cosechaban en el momento en que el contenido de antocianinas estaba en su máximo, esas uvas no producían los vinos de color más intenso; sin embargo, los vinos elaborados con uvas cosechadas tres semanas después poseían mejores características cromáticas y soportaron mejor la crianza en botella. Esto se debió al hecho de que el progreso de la degradación de la pared celular en uvas demasiado maduras facilita la extracción de compuestos fenólicos de los hollejos, lo que coincide con los resultados concluidos en este estudio. Además, Perez Magariño y Gonzalez-San José [56] informaron de que una cosecha tardía producía los vinos envejecidos de mejor calidad, debido a una composición fenólica más apropiada que condujo a una mayor estabilidad de su color.

Al comparar los parámetros cromáticos del vino C14 y el US14, se observó claramente el efecto positivo de la aplicación de HPU a las uvas trituradas, ya que el vino US14 presentaba valores significativamente más altos para todos los parámetros cromáticos medidos que el vino C14, excepto para las antocianinas totales, que no fueron diferentes que en el vino C14. Además, el vino US14 no difirió estadísticamente en ningún parámetro cromático del vino C16. Nuestros estudios anteriores sobre la aplicación de HPU a uvas trituradas han mostrado el aumento de los parámetros cromáticos debido a la aplicación de HPU, así como su utilidad para reducir el tiempo de maceración en bodega [27]. De un modo similar, Ferraretto y Celotti [57], que también estudiaron el efecto de la aplicación de ultrasonidos a uvas trituradas sobre el color del vino, demostraron que las uvas trituradas sonicadas producían mostos y vinos con un mayor contenido de polifenoles, viéndose más favorecida la extracción de taninos que la de antocianinas. El Darra et al. [26] también compararon el efecto de las uvas tratadas con HPU, mediante el uso de un baño de laboratorio, sobre el contenido fenólico del vino, observando una mejora en el contenido de polifenoles.

Tabla 2. Características cromáticas y fenólicas de los vinos estudiados.

Muestra.	CI	Tono	TPI	TAnt	PolAnt	TT (MC)
C14	14.34 ± 0.49a	0.54 ± 0.01b	47.95 ± 1.12a	407.63 ± 17.70a	73.07 ± 5.18a	1444.13 ± 35.36a
US14	17.84 ± 1.22b	0.56 ± 0.01c	60.46 ± 3.56b	453.23 ± 39.42ab	98.95 ± 5.13b	1930.31 ± 27.42b
C16	17.97 ± 0.79b	0.53 ± 0.01a	60.57 ± 1.56b	475.49 ± 19.65b	92.67 ± 3.83b	1972.49 ± 47.60b

CI: intensidad del color, TPI: índice de fenoles totales, TAnt: antocianinas totales (mg/L), PolAnt: antocianinas poliméricas (mg/L), TT (MC): taninos totales (determinados por el método de la metilcelulosa, mg/L). Diferentes letras dentro de la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

La Tabla 3 muestra la información composicional de los taninos de vino, obtenida mediante una reacción de floroglucinólisis. Esta metodología no solo nos proporciona información sobre los taninos que pueden ser despolimerizados mediante el reactivo de floroglucinol, sino que también nos permite obtener información sobre el grado medio de polimerización de estos taninos y su composición, especialmente en lo relativo a unidades galoiladas y la presencia de subunidades de epigallocatequina. De manera similar a los datos observados al ser determinados los taninos mediante el método de la metilcelulosa, si comparáramos ambos vinos de control, la concentración de taninos era superior en el vino C16 que en el vino C14. Esto está relacionado con una extracción más fácil de estos compuestos de los hollejos y, de la misma manera, la concentración de la subunidad epigallocatequina (EGC) fue ligeramente superior en el vino C16, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas. La EGC es una subunidad que solo puede surgir de los hollejos de uva, donde hay presentes tanto prodelfinidinas como procianidinas, al contrario que las semillas, donde solo hay procianidinas. El grado medio de polimerización de los vinos C14 y C16 fue similar, mientras que se observó un porcentaje ligeramente superior de galoilación en los taninos del vino C16, un parámetro que podría indicar una mayor extracción de taninos de semillas en el vino C16, probablemente debida a la mayor concentración de alcohol en el medio durante la fermentación, lo que favorece la extracción de estos taninos.

Al comparar los vinos C14 y US14, se observaron diferencias importantes. La concentración de taninos era muy superior en el vino elaborado con uvas sonicadas. El menor valor de mDP, junto con el valor más alto de subunidad galato de epicatequina (ECG) en el vino US14 indicaban una mayor extracción de taninos de las semillas. Además, la concentración de EGC fue similar en C14 y US14 y la diferencia más importante fue la concentración de ECG. Hasta ahora, no hay estudios en los que se haya informado sobre el efecto de los HPU sobre la integridad de la semilla, pero los resultados apuntaban a un efecto de los HPU en la facilidad de extracción de taninos de las semillas. Al comparar los vinos US14 y C16, el vino US14 presentaba una concentración más alta de taninos y un mDP menor que el vino C16, reiterando el efecto positivo de los HPU sobre la extracción de taninos, lo que podría ayudar a asegurar una alta estabilidad del color del vino durante el almacenamiento.

Tabla 3. Concentración y composición de taninos totales determinadas por el método de floroglucinólisis.

	TT (mg/L)	mDP	%Gal	EGC (μ M)	ECG (μ M)
C14	698.22 \pm 21.14a	6.21 \pm 0.02c	2.74 \pm 0.01a	398.11 \pm 27.84a	62.22 \pm 11.45a
US14	951.47 \pm 46.98c	4.91 \pm 0.07a	4.16 \pm 0.01c	394.25 \pm 31.66a	129.71 \pm 17.82b
C16	801.44 \pm 17.12b	6.03 \pm 0.11b	3.12 \pm 0.02b	451.39 \pm 25.51a	71.36 \pm 9.53a

TT: taninos totales, mDP: grado medio de polimerización, %Gal: porcentaje de galoilación, ECG: concentración de subunidad galato de epicatequina, EGC: concentración de subunidad epigallocatequina. Diferentes letras dentro de la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

La aplicación de tecnología de HPU a las uvas trituradas y sus efectos sobre los compuestos volátiles del vino ha sido menos estudiado que su efecto sobre los compuestos fenólicos. Bautista-Ortin et al. [25] estudiaron la aplicación de HPU a uvas trituradas, buscando una reducción del tiempo de maceración necesario para la extracción de compuestos fenólicos y volátiles, y solo encontraron pequeñas diferencias en la composición volátil del vino. Roman et al. [58] aplicaron ultrasonidos a uvas trituradas Sauvignon Blanc y observaron un aumento de los compuestos tiólicos, unos compuestos aromáticos clave para los vinos Sauvignon Blanc. Zhang et al. [59] también estudiaron el efecto de los ultrasonidos sobre un contenido de alcohol más alto en el vino, informando de una reducción en estos compuestos, aunque aplicaron el tratamiento de HPU a los vinos acabados para estudiar su evolución durante la crianza, y no a las uvas trituradas.

La Tabla 4 muestra cómo afectaron el nivel de madurez de las uvas y el uso de HPU a los componentes volátiles principales de los distintos vinos.

Los ésteres, como uno de los odorantes más importantes de los vinos, proporcionan abundantes aromas florales y frutales tropicales [60]. El origen de los ésteres en el vino es fundamentalmente el proceso de fermentación, aunque podrían estar presentes en pequeñas cantidades en la uvas [61]. Se detectaron dos grupos diferentes de ésteres en los vinos: los acetatos de etanol y otros alcoholes superiores, y los ésteres de ácidos grasos y etanol. Los ésteres más abundantes fueron el acetato de isobutilo, el acetato de isoamilo, el hexanoato

de etilo, el octanoato de etilo y el decanoato de etilo. La mayoría de ellos se vieron más afectados por la madurez de la uva que por la aplicación

de ultrasonidos a las uvas trituradas, lo que podría resultar previsible dado el origen de estos compuestos y el hecho de que el tratamiento con ultrasonido no afectó a las características más importantes del mosto ni al desarrollo del proceso de fermentación (datos no mostrados). El aumento del contenido de azúcares asociado con las uvas más maduras y, por lo tanto, la mayor producción de etanol y alcoholes superiores fueron responsables de la mayor concentración de acetatos en el vino C16 por comparación con el vino C14, aunque había una mayor concentración de acetato de hexilo presente en el vino C14. Zhao et al. declararon resultados similares [60]. En lo relativo a los ésteres de ácidos grasos, resultados anteriores han descrito una gran presencia de ácidos grasos, formados mediante el metabolismo de lípidos de la levadura en los mostos más maduros [62]; esto puede favorecer una concentración más alta de sus ésteres en el vino.

La mayor presencia de ambos tipos de ésteres implica que la suma de ésteres fue superior en el vino C16. Estos resultados también fueron presentados por Bindon et al. [63], que concluyeron que un periodo de maduración más amplio estaba asociado a mayores concentraciones de ciertos ésteres, como el decanoato de etilo o el acetato de butilo. La suma de ésteres totales no fue significativamente diferente al compara el vino C14 y el US14; solo se observaron pequeñas diferencias en algunos ésteres, encontrándose concentraciones superiores de decanoato y dodecanoato de etilo en el vino US14.

Tabla 4. Principales compuestos volátiles en los vinos de control y en el vino de uvas tratadas con ultrasonido (μg de equivalentes de 2-octanol/L)

	Control 14	US14	Control 16
<i>Ésteres</i>			
Acetato de 2-metilpropilo	1290a	1246a	2140b
Butirato de etilo	7a	9a	15b
Etil-2-metilbutirato	10b	2a	3b
Etil-3-metilbutirato	4b	2a	4b
Acetato de 3-metilbutanol	316a	252a	377b
Succinato de hidrógeno etilo	2a	3a	5a
Hexanoato de etilo	440a	432a	392a
Acetato de hexilo	89b	8a	4a
Acetato de 3-hexenilo	0a	1b	0a
Heptanoato de etilo	10a	13a	28b
2-hexenoato de etilo	15a	13a	12a
Octanoato de metilo	10a	13a	11a
Octanoato de etilo	1760a	1672a	2049b
Hexanoato de isopentilo	17a	23b	31c
Decanoato de etilo	1012a	1343b	1422b
Octanoato de 3-metilbutanol	36a	38a	46a
Succinato de dietilo	36a	32a	44b
9-decenoato de etilo	30b	14a	19a
Undecanoato de etilo	25b	13a	20b
Acetato de 2-feniletilo	115b	80a	118b
Dodecanoato de etilo	144a	251b	244b
Decanoato de pentilo	25a	28a	32a
Ésteres totales	5445a	54657a	7184b
<i>Alcoholes</i>			
Propanol	0a	2b	2b
2-Metilpropanol	146b	115a	161b
Butanol	1a	4b	8c
3-Metilbutanol	2181a	2048a	3066b
4-Metilpentanol	1a	1a	3b
3-Metilpentanol	4a	3a	6b

Hexanol

95b

119c

75a

Heptanol	22c	82a	13b
2-Etilhexanol	8a	27c	13b
Octanol	15a	17a	21b
2,3-Butanediol	26a	22a	42.22b
Metiltio propanol	18a	12a	2a
Alcohol bencílico	26b	0a	0a
2-Feniletanol	1849b	1457a	2324c
Alcoholes totales	4393a	3836a	5734b
<i>Compuestos carbonílicos y lactonas</i>			
2-Octanona	8a	11b	8a
Benzaldehído	13a	16a	20b
3-Hidroxi-2-butanona	84a	82a	169b
γ -Butirolactona	6b	0a	12c
Cetonas totales	111a	110a	209b
<i>Ácidos</i>			
Ácido acético	106a	81a	164b
Ácido propanoico	7b	14b	0a
Ácido butanoico	34a	10a	30a
Ácido hexanoico	73b	27a	21a
Ácido octanoico	161b	72a	43a
Ácidos totales	380b	205a	258a
<i>Terpenos y norisoprenoides</i>			
Limoneno	6a	4a	4a
Terpinoleno	9a	6a	3a
(+)-cis-m-Ment-8-eno	18b	14b	0a
β -Ionona	65b	12a	20a
Linalool	17a	16a	40b
Terpinen-4-ol	3b	0a	0a
Citronelol	71b	27a	17a
Totales	189b	80a	83a

Diferentes letras dentro de la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

La producción de alcoholes superiores está vinculada al metabolismo de los aminoácidos por las levaduras, y las enzimas deshidrogenasas alcohólicas de la fruta y las levaduras son las responsables de catalizar la reducción de aldehídos alifáticos a alcoholes [61]. Encontramos una mayor concentración de alcoholes en el vino de uvas más maduras, aunque se detectó un descenso del hexanol (aroma a hojas, césped) y el heptanol (notas verdes, químicas) debido a la mayor maduración de las uvas. No se detectó alcohol bencílico en el vino C16, pero había concentraciones más altas de 2-feniletanol, que tiene un aroma a rosas, y octanol.

Al comparar los vinos C14 y US14 no se pudieron observar diferencias en la suma de alcoholes total, aunque se hallaron ciertas diferencias en alcoholes individuales, como concentraciones más altas de 3-metil-1-butanol, 1-heptanol o 2-feniletanol, y concentraciones más bajas de hexanol en el vino C14. Aunque los alcoholes superiores pueden contribuir a un efecto positivo sobre el aroma del vino si no están presentes en concentraciones muy altas [64], Zhang et al. [59] han propuesto el uso de HPU para reducir el contenido de alcoholes superiores en los vinos acabados.

Las concentraciones de ácidos grasos lineales descendieron en el vino hecho con las uvas más maduras, excepto la concentración de ácido acético, que aumentó en estos vinos, como cabría esperar, ya que las concentraciones de azúcares también aumentaron. Estos ácidos son importantes en el equilibrio aromático del vino, aunque pueden conferir un desagradable olor graso, y hasta un olor a rancio en el vino cuando están presentes

a altas concentraciones. Aunque se ha descrito una mayor concentración de ácidos grasos en mosto de uvas maduras [62], la reducción observada en el vino hecho con las uvas más maduras puede estar relacionada con la mayor concentración previamente observada de sus ésteres correspondientes. Está claro que existe una relación entre el momento de la cosecha y las concentraciones de ésteres y ácidos en el vino. Hay estudios que han demostrado que las diferencias sensoriales observadas en vinos de Garnacha con diferentes etapas de maduración podrían explicarse por la variabilidad de la concentración de importantes compuestos volátiles principales, como ésteres y ácidos [65]. Se midieron concentraciones ligeramente superiores de ácidos grasos en el vino C14 que en el vino US14; la aplicación de HPU a las uvas trituradas condujo a una modificación en estos compuestos. Restrepo et al. [66] hallaron que las condiciones anaeróbicas podían favorecer la acumulación de ácidos grasos carboxílicos, y nosotros planteamos la hipótesis de que, a pesar de que los HPU tengan un efecto desgasificante, el proceso también implica un mayor movimiento de las uvas trituradas y que pequeñas cantidades de oxígeno podrían disolverse en el mosto, justificando las cantidades inferiores de ácidos grasos en el vino US14..

Entre otros compuestos, el benzaldehído (notas de almendra, azúcar quemado) puede ser asociado con vinos defectuosos [67]. Probablemente se forma por la oxidación del alcohol bencílico, o por la acción de microorganismos sobre los aminoácidos aromáticos [61]. La concentración más alta del mismo en el vino C16 puede explicar la falta de detección de alcohol bencílico en estos vinos. Los terpenos estaban presentes a menores concentraciones en el vino hecho con las uvas más maduras y en las uvas tratadas con HPU, excepto el linalool en el vino C16, donde se observaron concentraciones más altas. Curko et al. [68] concluyeron que la aplicación de HPU con la mayor amplitud podría reducir la cantidad de linalool, y García et al. [69] sugirieron que los ultrasonidos reducen el aroma de uva en el vino, lo que podría ser razonable, dado que la mayoría de los aromas provienen de compuestos volátiles y podrían perderse fácilmente por causa del efecto desgasificante del ultrasonido. Los resultados hasta el momento apuntan a que el uso de ultrasonidos en la bodega conduce a grandes diferencias en los compuestos fenólicos y las características cromáticas del vino, mientras que las variaciones en los compuestos volátiles de los vinos no fueron tan evidentes. No obstante, la herramienta más importante con que cuentan los investigadores para evaluar si los cambios observados en compuestos fenólicos y volátiles debido a los ultrasonidos no tendrán ningún efecto sobre la apreciación de los consumidores es el análisis sensorial. Los vinos fueron sometidos a un análisis sensorial descriptivo y la Figura 1 muestra los resultados de dicho análisis. Puede verse cómo los atributos de color, la intensidad del color fue ligeramente inferior en el vino C14 que en los vinos C16 y US14, si bien las diferencias no fueron tan significativas ni en la intensidad de color ni en la tonalidad entre los tres vinos. Por otra parte, se observaron diferencias significativas en la calidad y la intensidad del aroma entre los vinos, alcanzando la intensidad del aroma puntuaciones más altas en el vino C16 (probablemente relacionado con la mayor concentración de la mayoría de las familias de compuestos volátiles medidos en este vino), aunque la calidad del aroma obtuvo la mayor puntuación en el vino US14. Aunque, como se ha observado anteriormente, el vino C16 presentó concentraciones más altas de ésteres, no se observaron diferencias en el aroma afrutado, probablemente porque la mayoría de estos ésteres podrían estar presentes a concentraciones inferiores a su umbral de olor. Otra razón para la calidad superior del aroma del vino US14 por comparación con el vino C16, junto con la similitud en la percepción del aroma afrutado (aunque había una concentración de ésteres más alta presente en el vino C16) puede atribuirse al mayor contenido de alcohol del vino C16. King et al. [14] hallaron que el aroma a fruta fresca disminuía a medida que aumentaba la concentración de alcohol, confirmando los resultados de Goldner et al. [13] de que el etanol suprime los aromas «afrutados».

Las puntuaciones de cuerpo e intensidad en boca fueron significativamente más altas en el vino C16 (lo que podría estar relacionado con su mayor contenido de alcohol), sin que pudieran detectarse diferencias en la calidad, equilibrio o persistencia de la textura en boca entre los vinos. El amargor fue superior en el C16 que en el C14 o el US14. La mayor sensación amarga desprendida por el vino C16 ha de atribuirse al contenido más alto de alcohol. Noble

[70] informó de que el amargor en el vino es provocada por fenoles flavonoides, que son amargos y astringentes, pero el etanol, y que el etanol aumenta la duración e intensidad del amargor. De manera similar, Cretin et al. [71] concluyeron que la dulzura de los vinos secos no se veía afectada por el contenido de etanol; sin embargo, el etanol tenía un efecto indirecto en el gusto del vino al aumentar la percepción de amargor. La astringencia

fue superior en el vino US14 por comparación con el vino C14, lo que concuerda con la mayor concentración de taninos medida en estos vinos y su menor porcentaje de galoilación, aunque no difirió del porcentaje del vino C16. Resultados previos mostraron que vinos Merlot de cosecha retardada

se describían como con mayor viscosidad, sabor dulce y aromas derivados de la fruta, mientras que los vinos de cosecha temprana fueron descritos como con carácter vegetal, acidez y baja intensidad de color [64]. En contraste, en vinos Cabernet Franc, la astringencia, el amargor, la intensidad del color y el alcohol aumentaron con la cosecha retardada [72], unos resultados muy similares a los observados aquí. Los cambios más significativos que podrían atribuirse a la aplicación de ultrasonidos en el vino US14 fue la mayor calidad de color y aroma y la mayor astringencia.

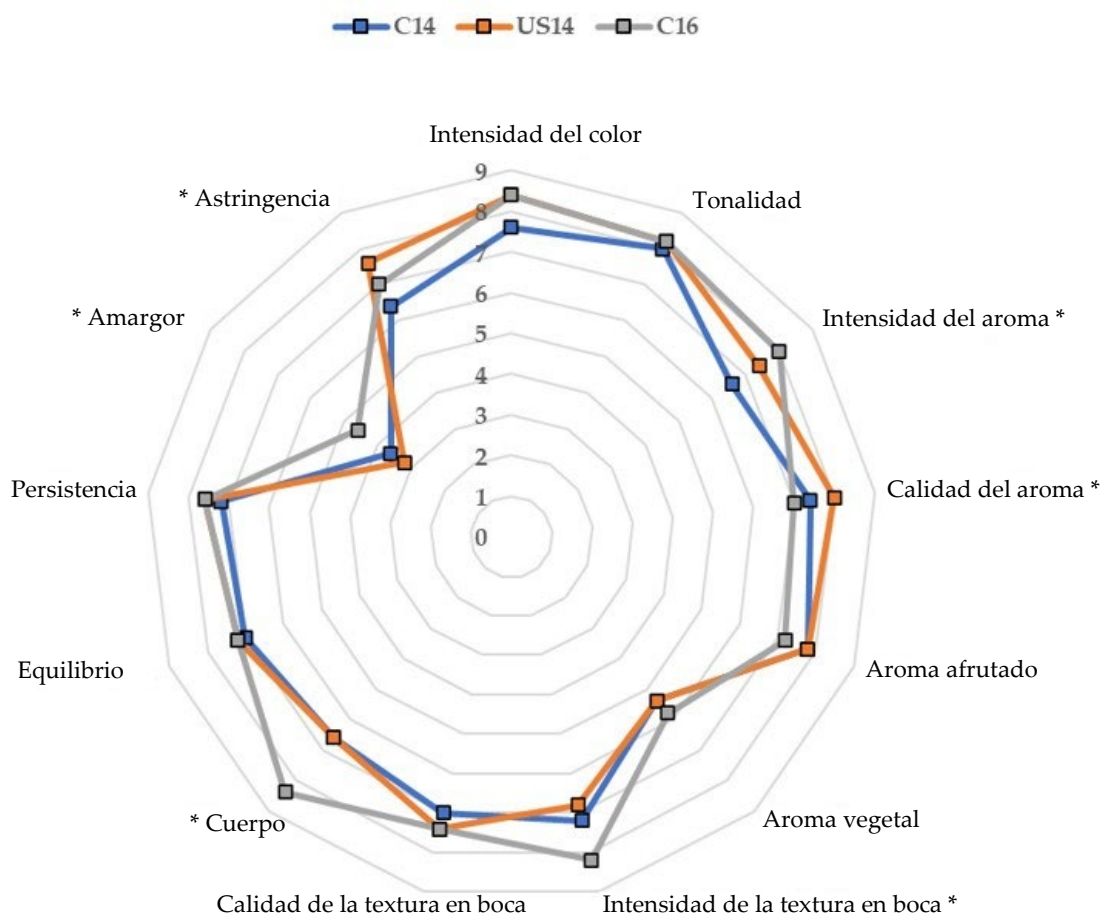


Figura 1. Análisis sensorial descriptivo de los tres vinos diferentes (*denota diferencias significativas $p < 0.05$).

Se realizó un análisis de componentes principales usando como variables todos los parámetros cromáticos y fenólicos medidos, junto con la suma de compuestos aromáticos principales y puntuaciones sensoriales. Este análisis redujo la información proporcionada por todas las variables medidas a dos componentes principales, y explicó el 78% de la variabilidad de los datos (Figuras 2 y 3). El objetivo era descubrir cómo se agrupaban las muestras de vino o, más exactamente, dónde se ubicaban en el plano definido por los dos componentes principales, con el fin de determinar la cercanía entre las ubicaciones de las muestras de vino US14 y C16 (lo que podría indicar similitudes en sus características) y qué variables eran las principales responsables del agrupamiento. Se observó una clara separación entre las muestras. El vino C14 estaba separado del vino C16 y del vino US14 a lo largo del componente 1, mientras que los vinos US14 y C16 estaban muy juntos a lo largo del componente 1 pero claramente separados a lo largo del componente 2.

Los diferentes pesos de las variables para lograr la separación de las muestras puede verse en la Figura 3. Aquellas con las cargas más altas en la parte negativa del componente 1, donde estaba localizada la muestra de vino C14, fueron los mDP de taninos, las puntuaciones de aromas vegetales y dos familias de compuestos volátiles (contenido de ácidos grasos y la concentración de terpenos y norisoprenoides), en tanto que todos los demás descriptores estaban ubicados en la parte positiva del componente 1. Las muestras de vino US14 estaban

localizadas en la parte negativa del componente 2, y el vino C16 estaba en la parte positiva. Los descriptores con las cargas más altas

en la parte negativa del componente 2 fueron la astringencia, los taninos totales (determinados mediante floroglucinólisis), el porcentaje de galoilación y la calidad del aroma, lo que coincide en gran medida con los resultados observados de las variables analíticas. Estos análisis indican claramente que el uso de HPU induce una modificación en la composición del vino, especialmente la composición cromática y las características sensoriales, lo que conduce a un vino que comparte más características con el vino hecho con las uvas más maduras, al tiempo que se mantiene un contenido de alcohol más bajo.

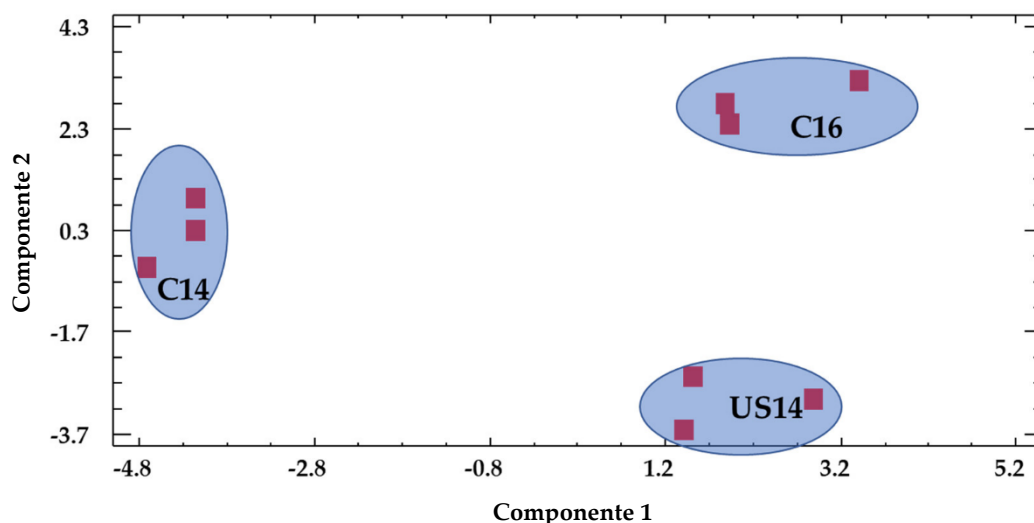


Figura 2. Distribución de las diferentes muestras de vino en el plano definido por los dos primeros componentes principales.

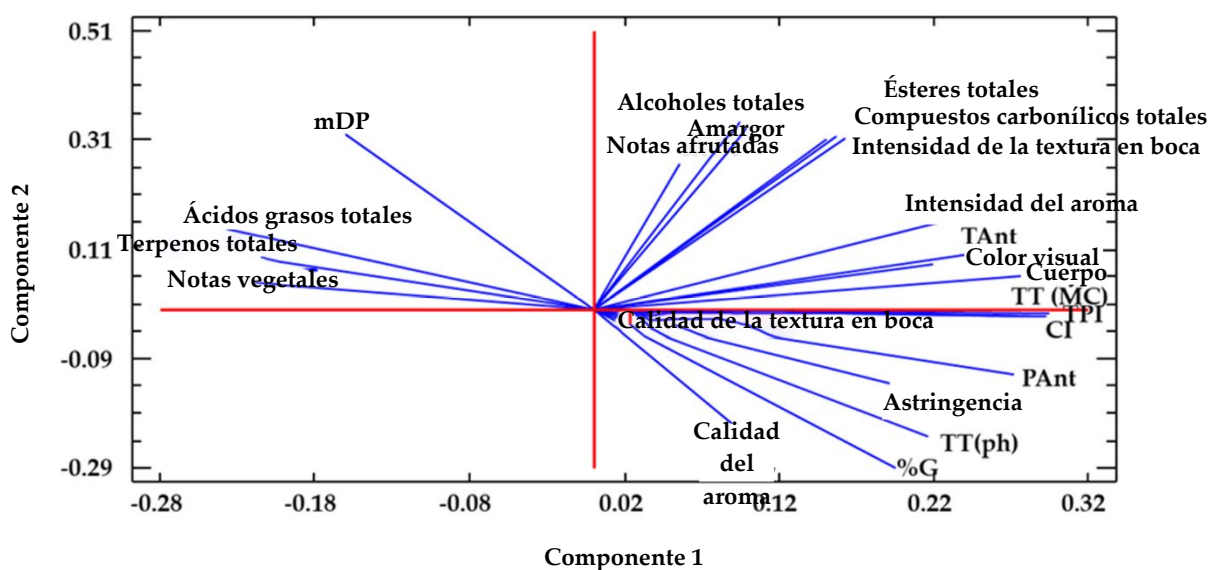


Figura 3. Distribución del peso de las diferentes variables utilizadas en el análisis de componentes principales. CI: intensidad del color, TPI: índice de fenoles totales, TAnt: antocianinas totales, PolAnt: antocianinas poliméricas, TT (MC): taninos totales determinados por el método de la metilcelulosa, TT(ph): taninos totales determinados por floroglucinólisis, %G: porcentaje de galoilación, mDP: grado medio de polimerización.

4. Conclusiones

En conclusión, los resultados mostraron que el vino obtenido a partir de uvas tratadas con ultrasonido presentaba características cromáticas que no diferían de las de un vino obtenido a partir de uvas más maduras, y alcanzó las puntuaciones más altas en los descriptores de aroma y calidad de textura en boca en un análisis sensorial. El uso de tecnología de ultrasonidos, al ser una tecnología limpia, ecológica y muy eficaz energéticamente (y, no menos importante, al ser una práctica autorizada en bodegas), podría ser una opción interesante para obtener vinos con parámetros de intensidad del color y calidad sensorial similares a vinos obtenidos a partir de uvas más maduras, pero con un menor contenido de alcohol.

Contribuciones de los autores: Conceptualización, E.G.-P., R.J. y A.B.B.-O.; metodología, A.B.B.-O.; análisis formal, M.P.M.-P. y P.P.-P.; investigación, E.G.-P., R.J. y A.B.B.-O.; custodia de datos, E.G.-P.; redacción—preparación del borrador original, M.P.M.-P. and E.G.-P.; redacción—revisión y edición, E.G.-P., A.B.B.-O. Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

Financiación: Esta investigación ha sido financiada por la Consejería de Empleo, Universidad, Empresa y medio Ambiente y los Fondos Feder, número de subvención 2I18SAE00061.

Conflictos de Intereses: Los autores no declaran ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. Sacchi, K.L.; Bisson, L.F.; Adams, D.O. Una revisión del efecto de las técnicas de elaboración de vino sobre la extracción fenólica en vinos tintos. *Am. J. Enol. Vitic.* **2005**, *56*, 197–206.
2. Ortega-Regules, A.; Ros-García, J.M.; Bautista-Ortín, A.B.; López-Roca, J.M.; Gómez-Plaza, E. Cambios en la composición de la pared celular del hollejo durante la maduración de cuatro variedades premium de uva para vino. *J. Sci. Food Agric.* **2008**, *88*, 420–428, doi:10.1002/jsfa.3102.
3. Saint-Cricq de Gaulejac, N.; Vivas, N.; Glories, Y. Maturité phénolique: Définition et contrôle. *Rev. Fr. Oenol.* **1998**, *173*, 22–25.
4. 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. Influencia de la madurez de las bayas en la concentración, composición cualitativa y extractabilidad de taninos de semillas de uva. *Aust. J. Grape Wine Res.* **2012**, *18*, 123–130, doi:10.1111/j.1755-0238.2012.00178.x.
5. Rousserie, P.; Lacampagne, S.; Vanbrabant, S.; Rabot, A.; Geny-Denis, L. Influencia de la madurez de la uva en la extracción de taninos de semillas en el vino. *Food Chem.* **2020**, *315*, 126307, doi:10.1016/j.foodchem.2020.126307.
6. Mira De Orduña, R. Efectos asociados al cambio climático sobre la calidad y producción de las uvas y el vino. *Food Res. Int.* **2010**, *43*, 1844–1855, doi:10.1016/j.foodres.2010.05.001.
7. Jones, G.V.; Davis, R.E. Influencias del clima en la fenología de la viña, la composición de la uva y la producción y calidad del vino para Burdeos, Francia. *Am. J. Enol. Vitic.* **2000**, *51*, 249–261.
8. Longo, R.; Blackman, J.W.; Antalick, G.; Torley, P.J.; Rogiers, S.Y.; Schmidtke, L.M. Perfil volátil y sensorial de vino Shiraz en respuesta a la gestión de alcohol: Comparación del momento de la cosecha frente a los enfoques tecnológicos. *Food Res. Int.* **2018**, *109*, 561–571, doi:10.1016/j.foodres.2018.04.057.
9. Jackson, R.S. *Wine Science: Principles and Applications*, 3rd ed.; Academic Press: San Diego, CA, USA, 2008; pp. 270–331.
10. Henderson, C.M.; Block, D.E. Examen de la función de la composición lipídica de la membrana en la determinación de la tolerancia al etanol de *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl. Environ. Microbiol.* **2014**, *80*, 2966–2972, doi:10.1128/AEM.04151-13.
11. Boulton, R.B.; Singleton, V.L.; Bisson, L.F.; Kunkee, R.E. *Principles and Practices of Winemaking*, 1st ed.; Chapman and Hall Publishers: New York, NY, USA, 1996.
12. Wilkinson, K.; Jiranck, V. Vino con contenido reducido de alcohol: Demanda del consumidor y la sociedad frente a la voluntad de la industria y la capacidad para satisfacerla. En el Acta del 1º Simposio Internacional sobre la Reducción del Nivel de Alcohol en el Vino Oenoviti International Network, Burdeos, Francia, 6 de septiembre, 2013; Institut des Sciences de la Vigne et du Vin: Villenave d’Ornon, France, 2013; pp. 98–104.
13. Goldner, C.; Zamora, M.C.; Lira, P.; Gianninoto, H.; Bandoni, A. Efecto del nivel de etanol sobre la percepción de los atributos aromáticos y la detección de compuestos volátiles en el vino tinto. *J. Sens. Stud.* **2009**, *24*, 243–257, doi:10.1111/j.1745-459X.2009.00208.x.

14. King, E.; Dunn, R.; Heymann, H. La influencia del alcohol en la percepción sensorial de los vinos tintos. *Food Qual. Prefer.* 2013, *28*, 235–243. doi:10.1016/j.foodqual.2012.08.013.
15. Gawel, R.; Sluyter, S.V.; Waters, E.J. Los efectos del etanol y el glicerol en el cuerpo y otras características sensoriales de los vinos Riesling. *Aust. J. Grape Wine Res.* 2007, *13*, 38–45, doi:10.1111/j.1755-0238.2007.tb00070.x.
16. Sharma, A.; Vandenberg, B.; Hollingsworth, B. Precio mínimo del alcohol frente al gravamen volumétrico: ¿Qué política reducirá el alto consumo sin afectar adversamente a los consumidores ocasionales y moderados? *PLoS ONE* 2014, *9*, e80936, doi:10.1371/journal.pone.0080936.
17. Piccardo, D.; Favre, G.; Pascual, O.; Canals, J.M.; Zamora, F.; González-Neves, G. Influencia del uso de uvas inmaduras para reducir el contenido de etanol y el pH en la composición de color, polifenoles y polisacáridos de vinos Pinot Noir y Tannat convencionales y macerados en caliente. *Eur. Food Res. Technol.* 2019, *245*, 1321–1335, doi:10.1007/s00217-019-03258-4.
18. Teng, B.; Petrie, P.R.; Smith, P.A.; Bindon, K.A. Comparación de las estrategia de adición de agua y cosecha temprana para reducir la concentración de alcohol en *Vitis vinifera* cv. Vino Shiraz: Impacto de la composición de taninos, fenoles y propiedades cromáticas en el vino. *Aust. J. Grape Wine Res.* 2020, *26*, 158–171, doi:10.1111/ajgw.12430.
19. Grazia, A.; Pietrafesa, A.; Capece, A.; Pietrafesa, R.; Siesto, G.; Romano, P. Explotación de la variabilidad tecnológica entre las levaduras no-*Saccharomyces silvestres* para seleccionar «starters» mixtos para la producción de vinos bajos en alcohol. *BIO Web Conf.* 2019, *15*, doi:10.1051/bioconf/20191502031.
20. Varela, C.; Kutyna, D.R.; Solomon, M.R.; Black, C.A.; Borneman, A.; Henschke, P.A.; Pretorius, I.S.; Chambers, P.J. Evaluación de estrategias de modificación de genes para el desarrollo de levaduras para vino bajo en alcohol. *Appl. Environ. Microbiol.* 2012, *78*, 6068–6077, doi:10.1128/AEM.01279-12.
21. Corona, O.; Liguori, L.; Albanese, D.; Di Matteo, M.; Cinquanta, L.; Russo, P. Calidad y compuestos volátiles en vino tinto a diferentes grados de desalcoholización mediante el proceso de membrana. *Eur. Food Res. Technol.* 2019, *245*, 2601–2611, doi:10.1007/s00217-019-03376-z.
22. Pham, D.T.; Stockdale, V.J.; Wollan, D.; Jeffery, D.W.; Wilkinson, K.L. Consecuencias composicionales de la desalcoholización parcial del vino tinto mediante ósmosis inversa-perstracción evaporativa. *Molecules* 2019, *24*, 1404, doi:10.3390/molecules24071404.
23. Clodoveo, M.L.; Dipalmo, T.; Rizzello, C.G.; Corbo, F.; Crupi, P. Tecnología emergente para desarrollar prácticas novedosas de elaboración de vino tino: Una visión general. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2016, *38*, 41–56, doi:10.1016/j.ifset.2016.08.020.
24. Luo, H.; Schmid, F.; Grbin, P.R.; Jiranek, V. Viabilidad de organismos que provocan la descomposición del vino común después de la exposición a ultrasonidos de alta potencia. *Ultrason. Sonochem.* 2012, *19*, 415–420, doi:10.1016/j.ultsonch.2011.06.009.
25. Gambacorta, G.; Trani, A.; Punzi, R.; Fasciano, C.; Leo, R.; Fracchiolla, G.; Faccia, M. Impacto de los ultrasonidos sobre la extracción de polifenoles durante la elaboración de vino de variedades de uvas tintas de Italia meridional. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2017, *43*, 54–59, doi:10.1016/j.ifset.2017.07.029.
26. El Darra, N.; Grimi, N.; Maroun, R.G.; Louka, N.; Vorobiev, E. Pretratamientos de campos de pulsos eléctricos, ultrasonidos y térmicos para una mejor extracción fenólica durante la fermentación de tintos. *Eur. Food Res. Technol.* 2013, *236*, 47–56, doi:10.1007/s00217-012-1858-9.
27. Bautista-Ortín, A.B.; Jiménez-Martínez, M.D.; Jurado, R.; Iniesta, J.A.; Terrades, S.; Andrés, A.; Gómez-Plaza, E. Aplicación de ultrasonidos de alta potencia durante la vinificación de vinos tintos. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2017, *52*, 1314–1323, doi:10.1111/ijfs.13411.
28. Maza, M.; Álvarez, I.; Raso, J. Métodos físicos térmicos y no térmicos para mejorar la extracción de polifenoles en la elaboración de vinos tintos. *Beverages* 2019, *5*, 47, doi:10.3390/beverages5030047.
29. Gracin, L.; Jambrak, A.R.; Juretić, H.; Dobrović, S.; Barukčić, I.; Grozdanović, M.; Smoljanić, G. Influencia del ultrasonido de alta potencia sobre bacterias *Brettanomyces* y de ácido láctico en el vino en tratamiento de flujo continuo. *Appl. Acoust.* 2016, *103*, 143–147, doi:10.1016/j.apacoust.2015.05.005.
30. Santos, M.C.; Nunes, C.; Saraiva, J.A.; Coimbra, M.A. Metodologías químicas y físicas para la sustitución/reducción del uso de dióxido de sulfuro durante la elaboración de vino: Revisión de sus potenciales y limitaciones. *Eur. Food Res. Technol.* 2012, *234*, 1–12, doi:10.1007/s00217-011-1614-6.
31. Kulkarni, P.; Loira, I.; Morata, A.; Tesfaye, W.; Gonzalez, M.; Suárez-Lepe, J.A. Crianza de vino: Uso de tratamiento de ultrasonidos y levaduras no-*Saccharomyces* para acelerar la crianza sobre lías en vinos tintos. *Wine Vitic. J.* 2016, *31*, 36.
32. Cacciola, V.; Batllò, I.F.; Ferraretto, P.; Vincenzi, S.; Celotti, E. Estudio de los efectos del ultrasonido en la lisis de lías de levadura en la elaboración de vino. *Eur. Food Res. Technol.* 2013, *236*, 311–317, doi:10.1007/s00217-012-1893-6.

33. González-Centeno, M.R.; Knoerzer, K.; Sabarez, H.; Simal, S.; Rosselló, C.; Femenia, A. Efecto de la frecuencia acústica y la densidad de potencia en la extracción acuosa asistida por ultrasonidos de orujo de uva (*Vitis vinifera* L.). Un enfoque de superficie de respuesta. *Ultrason. Sonochem.* **2014**, *21*, 2176–2184, doi:10.1016/j.ultsonch.2014.01.021.
34. Tao, Y.; Zhang, Z.; Sun, D.W. Modelado cinético de extracción asistida por ultrasonidos de compuestos fenólicos de orujo de uva: Influencia de la densidad de energía acústica y la temperatura. *Ultrason. Sonochem.* **2014**, *21*, 1461–1469, doi:10.1016/j.ultsonch.2014.01.029.
35. Drosou, C.; Kyriakopoulou, K.; Bimpilas, A.; Tsimogiannis, D.; Krokida, M. Un estudio comparativo sobre diferentes técnicas de extracción para recuperar polifenoles de orujo de uva tinta de productos secundarios de la vinificación. *Ind. Crops Prod.* **2015**, *75*, 141–149, doi:10.1016/j.indcrop.2015.05.063.
36. Piñeiro, Z.; Marrufo-Curtido, A.; Serrano, M.J.; Palma, M. Extracción asistida por ultrasonidos de estilbenos de sarmientos de uva. *Molecules* **2016**, *21*, 784, doi:10.3390/molecules21060784.
37. Martín, J.F.G.; Sun, D.W. Ultrasonido y campos eléctricos como técnicas novedosas para asistir en el proceso de crianza del vino: Investigación del estado de la ciencia. *Trends Food Sci. Technol.* **2013**, *33*, 40–53, doi:10.1016/j.tifs.2013.06.005.
38. Zhang, Q.A.; Shen, Y.; Fan, X.H.; Martín, J.F.G.; Wang, X.; Song, Y. Generación de radicales libres inducida por ultrasonidos en vino tinto y vino modelo: Un estudio sobre captura de espín EPR. *Ultrason. Sonochem.* **2015**, *27*, 96–101, doi:10.1016/j.ultsonch.2015.05.003.
39. Lukic, K.; Brnčić, M.; Curko, N.; Tomašević, M.; Valinger, D.; Denoya, G.; Barba, J.; Ganić, K.; Zhang, Q.A.; Wang, T.T. Efectos de los tratamientos con ultrasonido de alta potencia sobre la composición fenólica, cromática y aromática de los vinos tintos jóvenes y envejecidos. *Ultrason. Sonochem.* **2019**, *59*, 104725. doi:10.1016/j.ultsonch.2019.104725.
40. Zhang, Q.A.; Wang, T.T. Efecto de la irradiación de ultrasonidos sobre la evolución de las propiedades cromáticas y los compuestos fenólicos principales en el vino durante el almacenamiento. *Food Chem.* **2017**, *234*, 372–380, doi:10.1016/j.foodchem.2017.05.022.
41. Reglamento (CEE) de la Comisión No. 2676/90 Determinación de métodos comunitarios para el análisis de vinos. *Off. J. Eur. Communities* **1999**, L272, 1–192. Disponible online: <http://data.europa.eu/eli/reg/1990/2676/oj> (último acceso el 12 de marzo, 2020).
42. Boulton, R. La copigmentación de antocianinas y su función en el color del vino tinto. Una revisión crítica. *Am. J. Enol. Vitic.* **2001**, *52*, 67–87.
43. Ribéreau-Gayon, P.; Dubourdieu, D.; Donèche, B.; Lonvaud, A. (Eds.). La microbiología del vino y las vinificaciones. In *Handbook of Enology*, 2nd ed.; John Wiley & Sons: West Sussex, UK, 2006.
44. Smith, P. A. La precipitación de tanino con metilcelulosa permite la cuantificación de taninos en muestras de uva y vino. Revisión técnica. *AWRI Adel. Aust.* **2005**, *158*, 3–7.
45. Busse-Valverde, N.; Gomez-Plaza, E.; Lopez-Roca, J.M.; Gil-Munoz, R.; Fernandez-Fernandez, J.I.; Bautista-Ortin, A.B. Efecto de las diferentes prácticas enológicas sobre las proantocianidinas de hollejo y semillas en tres vinos varietales. *J. Agric. Food Chem.* **2010**, *58*, 11333–11339, doi:10.1021/jf102265c.
46. Pastor del Rio, J.L.; Kennedy, J.A. Desarrollo de proantocianidinas en *Vitis vinifera* L. cv. Uvas Pinot Noir y extracción en vino. *Am. J. Enol. Vitic.* **2006**, *57*, 125–132.
47. Gómez-Plaza, E.; Mestre-Ortuño, L.; Ruiz-García, Y.; Fernández-Fernández, J.I.; López-Roca, J.M. Efecto del benzotriazol y el jasmonato de metilo sobre la composición de los compuestos volátiles de uvas y vinos Monastrell (*Vitis vinifera* L.). *Am. J. Enol. Vitic.* **2012**, *63*, 394–401, doi:10.5344/ajev.2012.12011.
48. Cortell, J.M.; Halbleib, M.; Gallagher, A.V.; Righetti, T.L.; Kennedy, J.A. Influencia del vigor de la vid sobre las antocianinas de la uva (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir). 1. Concentración de antocianinas y composición en la fruta. *J. Agric. Food Chem.* **2007**, *55*, 6575–6584, doi:10.1021/jf070195v.
49. Hodson, G.; Wilkes, E.; Azevedo, S.; Battaglene, T. Methanol in wine. *BIO Web Conf.* **2017**, *9*, 02028, doi:10.1051/bioconf/20170902028.
50. Zhang, Q.A.; Shen, Y.; Fan, X.H.; García Martín, J.F. Estudio preliminar del efecto del ultrasonido sobre las propiedades fisicoquímicas del vino tinto. *CyTA J. Food.* **2016**, *14*, 55–64, doi:10.1080/19476337.2015.1045036.
51. Peinado, R.A.; Moreno, J.J.; Maestre, O.; Ortega, J.M.; Medina, M.; Mauricio, J.C. Consumo de ácido glucónico en vinos por *Schizosaccharomyces pombe* y su efecto sobre las concentraciones de polioles y compuestos volátiles principales. *J. Agric. Food Chem.* **2004**, *52*, 493–497, doi:10.1021/jf035030a.
52. Aleixandre-Tudo, J.L.; Lizama, V.; Alvarez, I.; Nieuwoudt, H.; García, M.J.; Aleixandre, J.L.; du Toit, W.J. Efecto de la adición de acetaldehído sobre las sustancias fenólicas y los compuestos volátiles en vinos Tempranillo tintos. *Aust. J. Grape Wine Res.* **2015**, *22*, 205–214, doi:10.1111/ajgw.12203.

53. Del Torno-de Román, L.; Alonso-Lomillo, M.A.; Domínguez-Renedo, O.; Arcos-Martínez, M.J. Determinación de ácido glucónico en vino mediante biodetección electroquímica. *Sens. Actuators B Chem.* **2013**, *176*, 858–862, doi:10.1016/j.snb.2012.10.053.
54. Picariello, L.; Gambuti, A.; Picariello, B.; Moio, L. Evolución de pigmentos, taninos y acetaldehído durante la oxidación forzada del vino tinto: Efecto de la adición de taninos. *LWT Food Sci. Technol.* **2017**, *77*, 370–375, doi:10.1016/j.lwt.2016.11.064.
55. Bautista-Ortín, A.B.; Fernández-Fernández, J.I.; López-Roca, J.M.; Gómez-Plaza, E. El efecto de la etapa de maduración de la uva sobre el color del vino tinto. *OENO One* **2006**, *40*, 15–24, doi:10.20870/oeno-one.2006.40.1.879.
56. Pérez-Magariño, S.; González-San José, M.L. Polifenoles y variabilidad cromática de los vinos tintos hechos con uvas cosechadas con distintos grados de maduración. *Food Chem.* **2006**, *96*, 197–208, doi:10.1016/j.foodchem.2005.02.021.
57. Ferraretto, P.; Celotti, E. Estudio preliminar de los efectos del ultrasonido en polifenoles de vino tinto. *CyTA J. Food.* **2016**, *14*, 529–535, doi:10.1080/19476337.2016.1149520.
58. Roman, T.; Tonidandel, L.; Nicolini, G.; Bellantuono, E.; Barp, L.; Larcher, R.; Celotti, E. Evidencia de la posible interacción entre ultrasonido y precursores tiólicos. *Foods* **2020**, *9*, 104, doi:10.3390/foods9010104.
59. Zhang, Q.A.; Xu, B.W.; Chen, B.Y.; Zhao, W.Q.; Xue, C.H. El ultrasonido como una técnica efectiva para reducir los alcoholes superiores en los vinos e investigación de su mecanismo de influencia mediante el empleo de un vino modelo. *Ultrason. Sonochem.* **2020**, *61*, 104813, doi:10.1016/j.ultsonch.2019.104813.
60. Zhao, T.; Wu, J.; Meng, J.; Shi, P.; Fang, Y.; Zhang, Z.; Sun, X. Cosechar en el momento adecuado: La maduración y sus efectos sobre las características aromáticas del vino Cabernet Sauvignon. *Molecules* **2019**, *24*, 2777, doi:10.3390/molecules24152777.
61. Dunlevy, J.D.; Kalua, C.M.; Keyzers, R.A.; Boss, P.K. La producción de compuestos gustativos y aromáticos en las bayas de uva. In *Grapevine Molecular Physiology & Biotechnology*, 3rd ed.; Markus Keller, Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2009; pp. 293–340, doi:10.1007/978-90-481-2305-6_11.
62. Morena Luna, L.H.; Reynolds, A.G.; Di Profio, F.A.; Zhang, L.; Kotsaki, E. Impacto del nivel de cultivo y la fecha de la cosecha en cuatro cultivares de uva para vino de Ontario. II. Compuestos aromáticos y análisis sensorial del vino. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* **2018**, *39*, 246–270. doi:10.21548/39-2-2783.
63. Bindon, K.; Varela, C.; Kennedy, J.; Holt, H.; Herderich, M. Relaciones entre el tiempo de cosechado y la composición del vino en *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon 1. Química de la uva y el vino. *Food Chem.* **2013**, *138*, 1696–1705, doi:10.1016/j.foodchem.2012.09.146.
64. Bakker, J., & Clarke, R.J. *Wine: Flavour Chemistry*, 2nd ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2011.
65. Escudero, A.; Arias, I.; Lacau, B.; Astráin, J.; Barón, C.; Fernández-Zurbano, P.; Ferreira, V. Efectos del «potencial» del viñedo y la maduración de la uva sobre el perfil aromático-volátil de vinos Garnacha. *OENO One* **2019**, *53*, doi:10.20870/oeno-one.2019.53.4.2381.
66. Restrepo, S.; Espinoza, L.; Ceballos, A.; Urtubia, A. Producción de contenido de ácidos grasos durante la fermentación alcohólica del vino bajo condiciones selectas de temperatura y ventilación. *Am. J. Enol. Vitic.* **2019**, *70*, 169–176, doi:10.5344/ajev.2018.18030.
67. Peng, C.T.; Wen, Y.; Tao, Y.S.; Lan, Y.Y. Modulación de la formación de aroma en el vino Meili mediante un proceso de congelación prefermentativa. *J. Agric. Food Chem.* **2013**, *61*, 1542–1553, doi:10.1021/jf3043874.
68. Čurko, N.; Kelšin, K.; Jambrak, A.; Tomašević, M.; Gracin, L.; Poturica, V.; Ružman, E.; Ganić, K. El efecto del ultrasonido de alta potencia sobre la composición fenólica, las características cromáticas y los compuestos aromáticos de los vinos tintos. *Croat. J. Food Sci. Technol.* **2017**, *9*, 136–144. <https://doi.org/0.17508/CJFST.2017.9.2.08>.
69. García, J.F.; Zhang, Q.; Feng, C. Los ultrasonidos para acelerar el proceso de crianza del vino desde un punto de vista fisicoquímico. In *Applications of Ultrasound in the Beverage Industry*; Nova Sciences: Hauppauge, NY, USA; New York, NY, USA, 2016; pp. 147–165.
70. Noble, A. Bitterness in wine. *Physiol. Behav.* **1994**, *56*, 1251–1255.
71. Cretin, B.; Dubourdieu, D.; Marchal, A. Influencia del contenido de etanol sobre la percepción de dulzura o amargor en los vinos secos. *LWT* **2018**, *87*, 61–66, doi:10.1016/j.lwt.2017.08.075.
72. Casassa, L.F.; Beaver, C.W.; Mireles, M.; Larsen, R.C.; Hopfer, H.; Heymann, H.; Harbertson, J.F. Influencia de la madurez del fruto, la duración de la maceración y la cantidad de etanol sobre las propiedades químicas y sensoriales de los vinos Merlot. *Am. J. Enol. Vitic.* **2013**, *64*, 437–449, doi:10.5344/ajev.2013.13059.



© 2020 por los autores. Titular de la licencia MDPI, Basel, Suiza. Este artículo es un artículo de libre acceso distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CCBY (Creative Commons Attribution) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

