



**UNIVERSIDAD DE TALCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**Efectos del uso de ultrasonido en procesos de vinificación: Revisión bibliográfica**

**MEMORIA DE TÍTULO  
MARÍA FRANCISCA ÁVILA NEIRA**

**TALCA, CHILE  
2021**

## CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Talca, 2021

APROBACIÓN:



---

Profesor Guía

Felipe Laurie Gleisner  
Ing. Agr., M.S., Ph.D.  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Universidad de Talca



---

Profesora informante

Paula Peña Martínez  
Ing. en Alimentos. Estudiante de Doctorado, Ph.D.(c)  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Universidad de Talca

Fecha de presentación de la Defensa de Memoria: 07 de mayo de 2021

## **Agradecimientos**

Agradezco a mis padres, Adriana y Hernán, por sus sacrificios, sus enseñanzas, su amor infinito y su fe en mi persona para seguir mis sueños, aunque no siempre estemos de acuerdo. Los amo.

A mi hermano Felipe y su hermosa hija Amparo, una adulta en miniatura que alegra nuestras vidas con su sonrisa.

A mis amigos Juan, Fran, Lulú, Maggie, Oscar, Silvy, Vicky y Nata, personas maravillosas con los que compartí estos últimos años más de un pesar, pero también muy buenos momentos.

También agradezco a mis profesores Felipe Laurie y Paula Peña, muchas gracias por su apoyo, paciencia y buena voluntad durante este proceso. Del mismo modo, aunque mi estancia en el laboratorio fue fugaz, agradezco a Liudis y a María por sus consejos.

## Resumen

En los últimos años, el uso de dispositivos de ultrasonido ha sido objeto de varios estudios en las industrias de alimentos y bebidas. En matrices líquidas, los efectos de los tratamientos de ultrasonido se fundamentan en la cavitación de microburbujas producidas durante su utilización. Es decir, se basan en la formación de microburbujas y su implosión por vibración mecánica de ondas sonoras ( $> 20$  kHz) en solución líquida. En vinos, tal implosión podría ser precursora de cambios químicos, físicos y biológicos tales como la promoción de reacciones de oxidación fenólica, polimerización y despolimerización de compuestos, descomposición de células vegetales y muerte de microorganismos. A continuación, se recopilan y explican las principales ventajas y desventajas del uso de ultrasonidos por sonda de inmersión y ultrasonidos de baños, además de sus consecuencias sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de los vinos producidos a partir de uvas expuestas a dichas ondas, el tratamiento de vinos jóvenes, y vinos de crianza sobre lías o chips de robles. En general, los instrumentos de ultrasonido son herramientas atractivas para su utilización en enología, no solo para optimizar la extracción de compuestos bioactivos desde uvas y madera de roble, sino que para reducir los tiempos de envejecimiento en barrica. No obstante, lo anterior todavía se trata de una forma de procesamiento que no es comprendido del todo, y que puede generar resultados disimiles dependiendo de la matriz tratada. Por lo tanto, sus variables deben seguir en estudio de forma de optimizar las condiciones a partir de las cuales su uso resulta favorable para la calidad del vino.

**Palabras claves:** ultrasonido, cavitación, vino, composición físico-química

## **Abstract**

In recent years, the use of ultrasound devices has been the subject of several studies in the food and beverage industries. In liquid matrices, the effects of ultrasound are based on the cavitation of microbubbles produced during their use. The technique is based on the formation of microbubbles and implosion by mechanical vibration of sound waves (> 20 kHz) in liquid solution. In wines, such implosion could result in chemical, physical and biological changes such as the promotion of phenolic oxidation reactions, polymerization and depolymerization of compounds, decomposition of plant cells and death of microorganisms. In this review, the main advantages and disadvantages of the use of immersion probe ultrasound and bath ultrasound are compiled and explained. Additionally, their consequences on the physicochemical and sensory properties of the wines produced from grapes exposed to these waves, or in the treatment of young wines, or during the aging of wines on lees or oak chips are discussed. In general, ultrasound instruments are attractive tools for its use in oenology, not only to optimize the extraction of bioactive compounds from grapes and oak, but also to reduce barrel aging times. Nevertheless, ultrasound treatments are still a form of processing that is not fully understood, and that can generate dissimilar results depending on the matrix treated. Therefore, its variables should continue to be studied in order to optimize the conditions from which its use may favor wine quality.

**Keys words:** ultrasound, cavitation, wine, physicochemical properties

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivo general .....	3
<b>2</b>	<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
2.1	Composición fisicoquímica del vino .....	4
2.1.1	Compuestos fenólicos.....	4
2.1.2	Formación de nuevos pigmentos.....	6
2.1.3	Compuestos volátiles.....	8
2.1.4	El grado alcohólico.....	11
2.1.5	El pH y acidez titulable.....	11
2.2	El ultrasonido .....	12
2.2.1	Fundamentos físicos básicos .....	12
2.2.2	Variables ultrasónicas y población de burbujas .....	12
2.2.3	Equipos de ultrasonido y su manejo .....	13
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
3.1	Fuentes de información .....	15
3.2	Métodos .....	15
<b>4</b>	<b>RESULTADOS REPORTADOS .....</b>	<b>16</b>
4.1	Elaboración de vinos a partir de bayas tratadas con ultrasonido .....	16
4.2	Los compuestos fenólicos .....	22
4.3	Los compuestos volátiles .....	33
4.4	El pH y la acidez total .....	36
4.5	El grado alcohólico .....	36
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 2.1</b> Clasificación de compuestos fenólicos y su importancia en el vino .....	4
<b>Cuadro 2.2</b> Clasificación de parte de los principales grupos aromáticos encontrados en vinos de acuerdo a su origen metabólico.....	9
<b>Cuadro 4.1</b> Extracción de compuestos bioactivos no volátiles mediante tratamientos ultrasónicos durante la elaboración de vinos y sus efectos sobre la composición fenólica .....	19
<b>Cuadro 4.2</b> Evolución de características cromáticas, intensidad de color (IC) y tonalidad (T), de vinos elaborados a partir de bayas expuestas a ultrasonido.....	20
<b>Cuadro 4.3</b> Extracción de compuestos bioactivos volátiles mediante tratamientos ultrasónicos durante la elaboración de vinos y sus efectos sobre el carácter sensorial olfativo.....	21
<b>Cuadro 4.4</b> Efectos de aplicación de ultrasonidos de sonda y de baño sobre la composición fenólica de vinos tintos y blancos .....	24
<b>Cuadro 4.5</b> Evolución de composición fenólica en función de tratamientos ultrasónicos.....	24
<b>Cuadro 4.6</b> Parámetros ultrasónicos y comportamiento de conductividad eléctrica (CE) en vinos de Cabernet Sauvignon.....	27
<b>Cuadro 4.7</b> Efectos de tratamientos ultrasónicos sobre las características cromáticas (CC) de vinos tintos y blancos .....	30
<b>Cuadro 4.8</b> Envejecimiento de vinos asistida por ultrasonido y sus efectos sobre las propiedades organolépticas de un vino.....	31
<b>Cuadro 4.9</b> Efectos de aplicación de ultrasonidos de sonda y de baño sobre la composición aromática de vinos tintos y blancos.....	35
<b>Cuadro 4.10</b> Efecto de las aplicaciones ultrasónicas sobre el pH y la acidez titulable en vinos de Cabernet Sauvignon.....	36
<b>Cuadro 7.1</b> Otras alternativas de uso potencial de ultrasonido en la industria vitivinícola .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

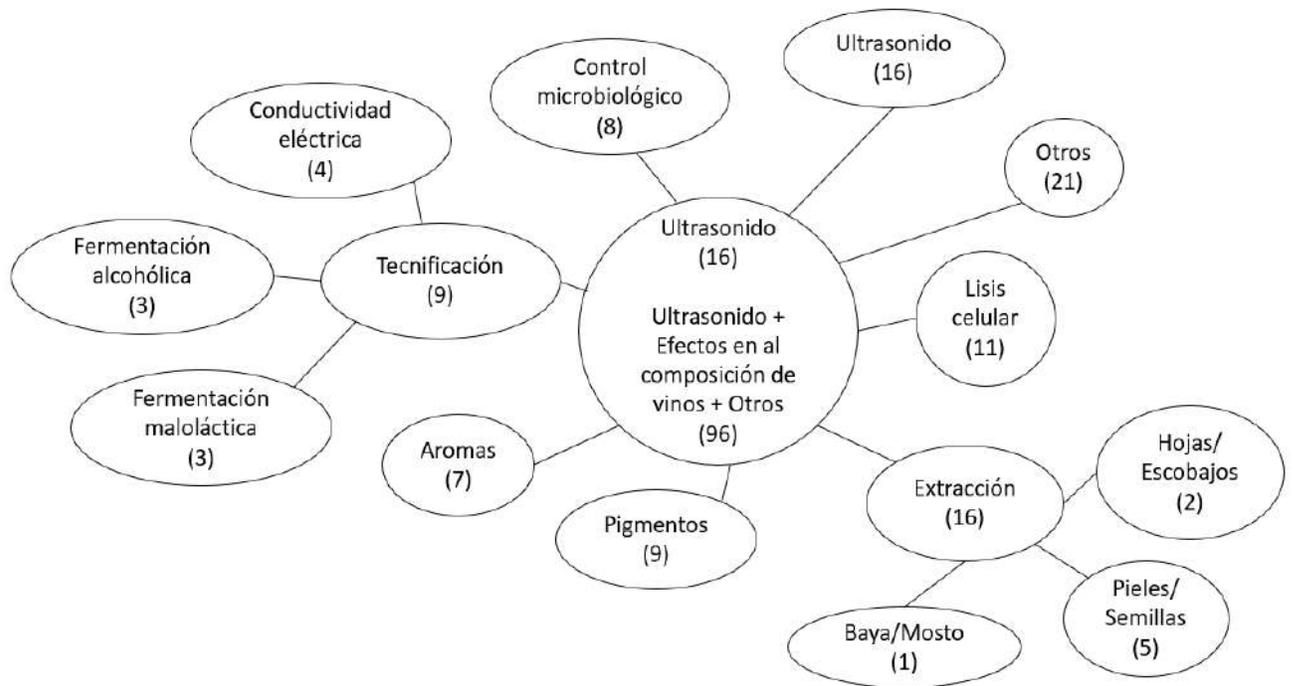
<b>Figura 1.1</b> Clasificación de los artículos de investigación referidos al uso de ultrasonido en producción de vinos, compilados para esta revisión bibliográfica. ....	2
<b>Figura 2.1</b> Copigmentación intermolecular entre una molécula de antociano (catión flavilio) y un copigmento (flavonol). ....	6
<b>Figura 2.2</b> Oxidación no enzimática de vinos mediante Mecanismo Fenton. ....	7
<b>Figura 2.3</b> Formación de compuestos poliméricos mediante etanal. ....	8
<b>Figura 2.4</b> Comportamiento de micro-burbujas en un campo líquido sonificado. ....	12
<b>Figura 2.5</b> Dispositivos ultrasónicos. A: Ultrasonido de baño; B: Ultrasonido de sonda de inmersión; C: Ultrasonido de flujo continuo. ....	14

## 1 INTRODUCCIÓN

Con el rápido avance del cambio climático y la fuerte competencia con otros productores a nivel internacional, la industria vitivinícola enfrenta el desafío de incorporar nuevas técnicas y herramientas tecnológicas que no sólo permitan optimizar el uso de los recursos disponibles y su competitividad en términos de costos, sino que contribuyan al mejoramiento del conjunto de operaciones involucradas en los procesos de elaboración y conservación de vinos. En este sentido, una de las opciones vanguardistas y de considerable interés científico es el uso de ultrasonido en procesos de vinificación, el cual recientemente ha sido aprobado y reconocido por la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV), de acuerdo con la Resolución OIV-OENO 616-2019, como una práctica legal en relación a la mejora de índices de extractabilidad de compuestos fenólicos obtenidos desde las bayas estrujadas (OIV, 2019).

En la industria alimentaria, el uso de las ondas ultrasónicas tiene como objetivo el mejoramiento de procesos productivos tales como la pasteurización y homogenización de lácteos, la extracción de compuestos bioactivos de material vegetal y el control microbiológico por inactivación enzimática y/o lisis celular (Delgado, 2011). Los principios de acción de las técnicas de ultrasonido se basan en el fenómeno de cavitación, en el que pequeñas burbujas de aire implosionan de manera violenta, induciendo cambios de presión y temperatura localizados que, de manera simultánea promoverán cambios físicos y químicos de las moléculas presentes en solución acuosa (Suslick, 1989).

El uso de ultrasonido en la industria vitivinícola a nivel nacional aún no está aprobado y su potencial es prácticamente desconocido. Su estudio y comprensión en la producción y elaboración de vinos a partir de *Vitis vinifera*, podría ser fundamental en una futura incorporación en la legislación chilena, como práctica segura e inocua en la producción de vinos y bebidas alcohólicas. Por todo lo anterior, se realizó la presente revisión de la literatura científica respecto de las aplicaciones de esta técnica en la producción de vinos. Principalmente, se recurrió a la base de datos “Web of Science”, utilizando las palabras clave “ultrasound” y “wine” seguido de “ultrasound principles” y “sonochemistry”. A la fecha (3 de febrero del 2021), se logró localizar un total de 352 artículos científicos, de los cuales 274 fueron excluidos debido su divergencia con el foco de este trabajo, el que se centró en la evaluación del impacto de las ondas ultrasónicas sobre los parámetros físicos, químicos y sensoriales del vino (Figura 1.1).



**Figura 1.1** Clasificación de los artículos de investigación referidos al uso de ultrasonido en producción de vinos, compilados para esta revisión bibliográfica.

## 1.1 Objetivo general

Evaluar de manera crítica los principales efectos derivados del uso de tratamientos de ultrasonido en uvas, mostos y vinos, y discutir algunas de las condiciones bajo las cuales dichos tratamientos podrían resultar beneficiosos o perjudiciales para la calidad final del vino.

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Composición fisicoquímica del vino

La composición química del vino determina no sólo sus características sensoriales tales como el color, aroma, gustos y sensaciones táctiles. También, la estabilidad química, microbiológica, y la capacidad de guarda de los vinos, dependen de su composición. En esta sección se presenta un resumen de los principales grupos químicos del vino, los que podrían modificarse a partir de los tratamientos de ultrasonido.

#### 2.1.1 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son un amplio grupo de sustancias químicas resultantes del metabolismo secundario de las plantas. Normalmente, estos compuestos son sintetizados por intermedio de las rutas del ácido shikímico o la ruta del ácido malónico, en respuesta a condiciones de estrés (bióticas y abióticas). Debido a su diversidad y diferencias en su complejidad estructural, suelen ser clasificados en dos grandes grupos; los flavonoides y los no flavonoides (Cuadro 2.1) (Zamora, 2013).

**Cuadro 2.1** Clasificación de compuestos fenólicos y su importancia en el vino

	Ejemplos de compuestos	Ejemplo de efectos en el vino
<b>NO FLAVONOIDES</b>		
Ác. benzoicos	Ác. protocatéquico, ác. vanílico, ác. gálico	Amargor
Ác. cinámicos	Ác. para-cumárico, ác. cafeíco, ác. felúrico	Relación con niveles de pardeamiento
Estilbenos	Resveratrol	Amargor
<b>FLAVONOIDES</b>		
Antocianinas	Malvidina-3-glucósido, petunidina-3-glucósido, peonidina-3-glucósido, delphinidina-3-glucósido, cianidina-3-glucósido	Pigmentos rojo azulado, rojo, rojo anaranjado
Flavan-3-ols o flavanoles	(+)-catequina, (-)-epicatequina, (+)-epigallocatequina, (-)-galocatequina	Amargor, astringencia, estabilidad de pigmentos
Flavonoles	Quercetina, miricetina, isorhamnetina, kaemferol	Pigmentos amarillos

En virtud de sus aportes en la formación y estabilidad de nuevos pigmentos durante los procesos de elaboración de vinos, se considera a los flavonoides como el grupo de mayor importancia desde un punto de vista sensorial (Gutiérrez-Escobar *et al.*, 2021)

##### 2.1.1.1 Antocianinas

Las principales responsables del color en los vinos tintos son las antocianinas localizadas en las vacuolas celulares del exocarpio de las bayas. Químicamente, son el resultado de la conjugación de antocianidinas

(aglicona) con un azúcar en el carbono 3 del anillo central, mediante un enlace  $\beta$ -glucosídico. Las principales antocianinas identificadas en los vinos son cinco, destacándose por su concentración malvidina-3-glucósido. Las principales diferencias entre ellas son el número y la distribución espacial de los grupos funcionales hidróxilos (OH) y metoxilo (OCH<sub>3</sub>) que, dependiendo los niveles de pH desplazan la coloración hacia tonos más azulados (pH > 4) o tonos más rojizos (pH < 4), así como también incoloros (De Freitas et al. 2017; Gutiérrez-Escobar et al., 2021; Peña-Neira, 2005; Ribéreau-Gayon et al., 1998; Zamora, 2013).

#### 2.1.1.2 Flavan-3-ols o flavanoles

Los monómeros de flavanoles suelen ser llamados catequinas, siendo los compuestos (+)-catequina y (-)-epicatequina los más abundantes. En general, se caracterizan por estar libres (aglicona) en su estado monomérico o formando complejos macromoleculares de distintos tamaños dependiendo del número de unidades monoméricas (ej. dímeros, 2 unidades; oligómeros o polímeros, 3-10 unidades) y/o taninos condensados o procianidinas (> 10 unidades) (Boulton et al., 1995). En los vinos, estas sustancias aportan de manera indirecta al color como copigmentos, mientras que cuando son degustados tienen la capacidad unirse a proteínas salivales como la mucina y precipitar, otorgando las sensaciones de astringencia o aspereza características del vino tinto (Peña-Neira, 2006).

Dependiendo del tipo de sus unidades constituyentes y sus orígenes, los taninos se dividen en taninos condensados (proantocianidinas o procianidinas) y taninos hidrolizables (prodelfinidinas). Los taninos condensados están constituidos por monómeros de catequinas o flavan-3-ols, y son los encontrados naturalmente en uvas y vinos. Por su parte, los taninos hidrolizables están estructurados a partir de unidades de ácido gálico o ácido elágico esterificados y se obtienen del contacto de vino con madera o partir de su adición directa al vino como productos derivados de la madera. Un vino con taninos de estructuras de mayor tamaño (grado de polimerización) y un menor número de ácido gálico (grado galoilación) despliega un efecto sensorial menos astringente y amargo (Gutiérrez-Escobar et al., 2021; Peña-Neira, 2006;).

#### 2.1.1.3 Flavonoles

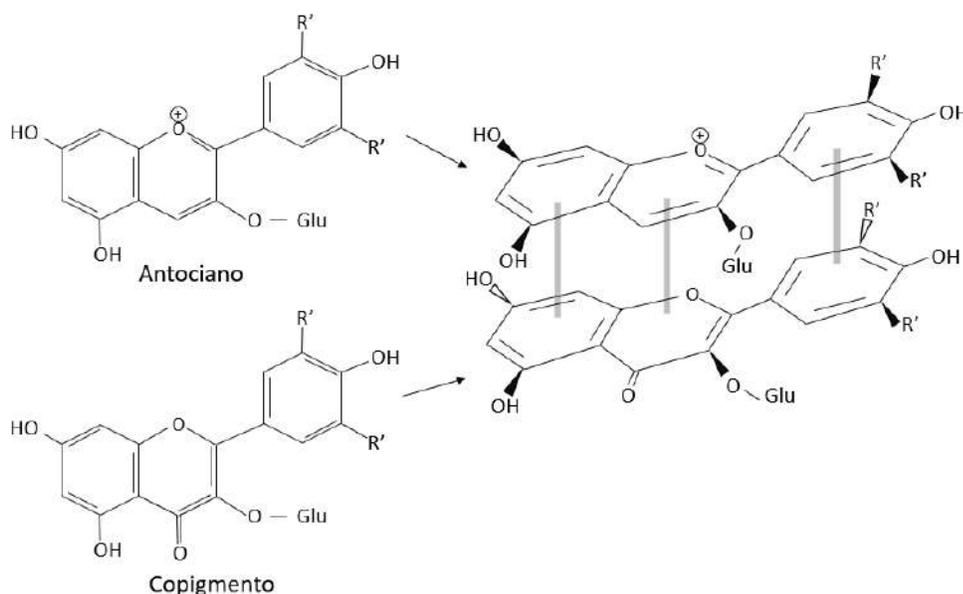
Los flavonoles corresponden a pigmentos amarillos, estructuralmente se caracterizan por su estado hidroxilado (OH) en el carbono 1 y su doble enlace entre C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub>. Al igual que las antocianinas, pueden conjugarse con azúcares, glucosa y ramnosa principalmente, como también galactosa y xilosa, entre otros. A diferencia de las antocianinas y los taninos, los flavonoles se encuentran en menores concentraciones en los vinos tintos, siendo en estos últimos disimulados por los tonos rojos. No obstante, contribuyen en la formación y estabilización de pigmentos, así como también, en la regulación de los niveles de astringencia y amargor de los vinos (al aumentar su densidad) (Favre et al., 2018; Gutiérrez-Escobar et al., 2021).

## 2.1.2 Formación de nuevos pigmentos

Durante etapas iniciales en la elaboración de vinos como también en aquellas más avanzadas los compuestos fenólicos interactúan entre si dando paso a la formación de nuevos pigmentos mediante procesos químicos de baja complejidad por atracción molecular (copigmentación) y procesos oxidativos no enzimáticos mediante metales de transición (Gutiérrez, 2007).

### 2.1.2.1 Copigmentación

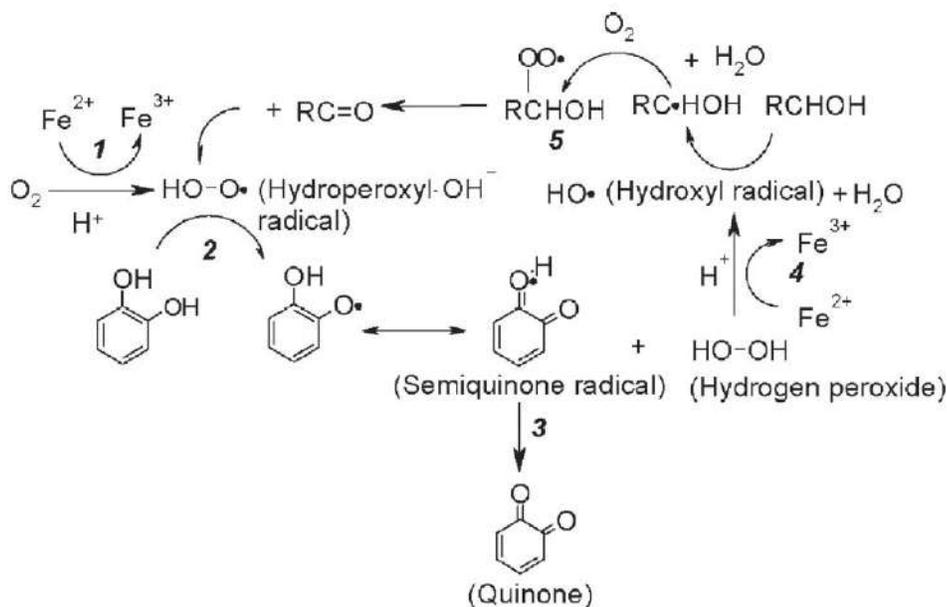
La copigmentación tiene lugar cuando una molécula de antocianina puede combinarse con otra molécula denominada copigmento (ej. antocianina, flavan-3-ols, flavonol, etc.) mediante fuerzas de unión intermolecular de tipo Van der Waals (Figura 2.1), dando paso a una estructura coloreada e hidrofóbica más estable ante una decoloración por un ataque nucleófilo (hidratación carbono 2). Dependiendo de si el copigmento corresponde a una antocianina incolora o a un residuo acilado (unido al glucósido de antocianinas), como por ejemplo los derivados de ácidos hidroxiciánicos e hidrobenczoicos, a dichas conjugaciones se las conoce como copigmentación intramolecular o copigmentación intermolecular respectivamente. En los vinos envejecidos a diferencia de los vinos jóvenes, este tipo de uniones se da con menor frecuencia, y esto se debe a que, con el paso del tiempo, los pigmentos con estructuras poliméricas más complejas se han ido formando, modificando la intensidad colorante y tonalidad del vino (De Freitas *et al.*, 2017; Peña-Neira, 2006).



**Figura 2.1** Copigmentación intermolecular entre una molécula de antociano (catión flavilio) y un copigmento (flavonol). Fuente: *Copigmentación y piranoantocianos: el papel de los flavonoles y los ácidos hidroxiciánicos en el color del vino tinto* (Gutiérrez, 2007).

### 2.1.2.2 Mecanismo de Fenton

Para iniciar las reacciones de oxidación no enzimática en vinos (Figura 2.2) deben existir como componentes esenciales de dicho proceso el oxígeno ( $O_2$ ), metales de transición catalizadores de las reacciones de oxidación ( $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ ) y moléculas dadoras de hidrógeno (ej. di-fenoles). En primera instancia, los estados singletes y tripletes de oxígeno no pueden reaccionar directamente con compuestos fenólicos por lo cual pueden ser reducidos principalmente por  $Fe^{2+}$  (Figura 2.2 (1)). A su vez, los radicales hidroxiperoxilos formados a partir de la reacción anterior pueden interactuar con una molécula de tipo di-fenol (Figura 2.2 (2)) y dar paso a la aparición de semi-quinonas (y posteriormente quinonas, Figura 2.2 (3)) y peróxido de hidrógeno. Las quinonas pueden ser catalizadoras de reacciones de condensación con compuestos fenólicos, tioles nucleofílicos y/o agentes reductores. Por su parte, los peróxidos de hidrógeno pueden ser neutralizado por bisulfito o puede ser convertidos en radicales hidroxilos (Figura 2.2 (4)). Los radicales hidroxilos se caracterizan por una alta reactividad, mediante la cual de manera indiscriminada pueden oxidar una serie de compuestos de la matriz del vino (Figura 2.2 (5)), como, por ejemplo, agua (genera nuevos radicales hidroxilos), etanol (genera radical 1-hidroxietilo que posteriormente es convertido en acetaldehído) y ácido tartárico (genera ácido glicólico), por nombrar algunos de los compuestos intermediarios más importantes que formaran nuevos pigmentos (Waterhouse, Sacks & Jeffery, 2016) como tonos amarillos por sales xantilio debido a la oxidación de ácido tartárico (Fu *et al.*, 2018; Waterhouse *et al.*, 2016)

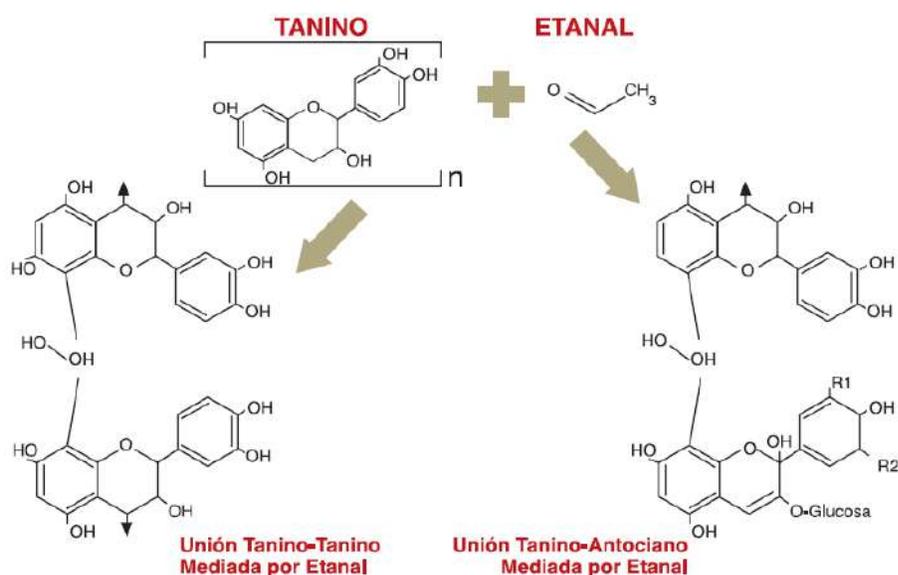


**Figura 2.2** Oxidación no enzimática de vinos mediante Mecanismo Fenton. Fuente: *Oxidation of Wine Phenolics: A Critical Evaluation and Hypotheses* (Waterhouse & Laurie, 2006).

### 2.1.2.3 Formación de puentes de etilo

En contraste al mecanismo de copigmentación, la formación de complejos poliméricos puede llevarse a cabo de manera directa a través de la condensación de antocianinas-taninos ( $A^+-T$ ) o taninos-antocianinas ( $T-A^+$ ),

o indirectamente por medio de puentes de etilo (ej. acetaldehído o etanal) (Figura 2.3) (De Freitas *et al.*, 2017; Peña-Neira, 2006). La oxidación de etanol (o síntesis de etanal) es parte de una cadena oxidativa mediada por oxígeno molecular y metales de transición (cobre/hierro), que tiene como productos principales radicales hidroxiperoxilos y compuestos carbonilo. La presencia de compuestos carbonilos disminuyen el riesgo de decoloración por hidratación y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), y al mismo tiempo, facilitan la formación de pigmentos aún más complejos como los piroantocianos (antociano con un vinil-fenol o vinil-flavanol) responsables de tonalidades rojo-anaranjadas (Cheynier, 2003; Del Álamo & Domínguez, 2012; Peña-Neira, 2006; Zamora, 2013).



**Figura 2.3** Formación de compuestos poliméricos mediante etanal. Fuente: *Los taninos y su importancia en la calidad de uvas y vino* (Peña-Neira, 2006).

### 2.1.3 Compuestos volátiles

El vino es una mezcla altamente compleja, en el cual es posible percibir y diferenciar múltiples notas aromáticas que conforman su identidad. En general, se dice que estos matices aromáticos se encuentran distribuidos en tres capas olfativas (sin considerar los defectos aromáticos) los que son clasificados en función de su origen en aromas primarios o varietales, aromas secundarios o de fermentación y aromas terciarios o de envejecimiento o bouquet (Cuadro 2.2) (Mendes-Ferreira *et al.*, 2011). De igual forma, la diversidad y proporción de estos compuestos bioactivos pueden estar determinados por la variedad, las regiones climáticas de crecimiento, los niveles de turbidez en del mosto, la clase de levaduras utilizadas y las temperaturas de fermentación, entre otros factores (Pozo-Bayón *et al.*, 2009; Rapp & Versini, 1995).

**Cuadro 2.2** Clasificación de parte de los principales grupos aromáticos encontrados en vinos de acuerdo a su origen metabólico

	Compuestos	Descriptor
<b>VARIETALES</b>		
Terpenos	Linalool, $\alpha$ -terpineol, geraniol, nerol, miricertol	Flores, caramelo, rosas
<b>FERMENTACIÓN ALCOHOLICA</b>		
Ésteres		
Etil ésteres	Acetato de isoamilo, acetato de 2-feniletilo, acetato de etilo (etanoato de etilo), acetato de isobutilo	Fruta madura y flores
Ésteres de acetato	Butanoato de etilo, hexanoato de etilo, octanoato de etilo, decanoato de etilo	Frutas tropicales
Ácidos grasos		
Cadena corta	Caproico y caprílico	Agrio
Cadena larga	Octanoico, decanoico, dodecanoico	Rancio, queso
Alcoholes superiores	1-propanol, 2-metil-1-propanol, 2-metil-1-butanol y 3-metil-1-butano 2-feniletanol	Alcohol, Rosa
Tioles volátiles		
Precursor glutatión	3-mercaptohexan-1-ol (3MH), acetato de 3-mercaptohexilo (A3MH)	Maracuyá y pomelo
Precursor cisteína	4-mercapto-4-metilpentan-2-ona (4MMP)	Grosella negra y boj
Carbonilos		
	Acetaldehído Bezaldehído Diacetilo (2,3-butanodiona)	Manzana verde Almendra Mantequilla
<b>DE CRIANZA</b>		
Lactonas (Whisky-Lactona)	$\beta$ -Meti- $\gamma$ -Octalactona	Nuez de coco
Aldehídos fenoles	Vanilina Siringaldehído	Vainilla Especies
Fenoles volátiles	Eugenol Guaiacol	Canela Ahumado

### 2.1.3.1 Terpenos

Los terpenos (C10) son metabolitos secundarios glucosilados derivados del ácido mevalónico. Habitualmente son señalados como marcadores varietales puesto que durante la fermentación no varían su composición a excepción de los compuestos de geraniol y nerol. En los vinos aumentan su expresión gracias a la actividad enzimática de la enzima  $\beta$ -glucosidasa (Mendes-Ferreira *et al.*, 2011; Rapp & Versini, 1995).

### 2.1.3.2 Ácidos grasos

Los ácidos grasos volátiles aportan aromas lácticos no muy apreciados en el perfil sensorial, habitualmente sus niveles de concentraciones se sitúan bajo el umbral de percepción. Estos aromas tienen lugar durante etapas tempranas de la fermentación alcohólica a partir de dos átomos de carbono de una molécula de Acetil-Coenzima-A (acetil-CoA). A medida que la fermentación avanza, los ácidos grasos de cadena corta (C2 -C4) y media (C6 -C10) se consumen mientras que aquellas de cadena larga (C12 -C18) aumentan, lo que disminuye la expresión de aromas agrios (Lerm & Engelbrecht, 2010; Mendes-Ferreira *et al.*, 2011).

### 2.1.3.3 Alcoholes superiores

Dependiendo de las condiciones nutricionales del mosto, la síntesis de alcoholes superiores puede llevarse a cabo mediante el consumo de azúcares (bajas concentraciones de nitrógeno) o través del catabolismo de aminoácidos vía Ehrlich (concentraciones de nitrógeno normales) (Mendes-Ferreira *et al.*, 2011). En el vino pequeñas variaciones en sus concentraciones son suficientes para definir de manera positiva o negativa su perfil aromático. Principalmente por un incremento de la riqueza y complejidad aromática (<300 mg/L) así como la expresión de defectos aromáticos como olor a cuero y corcho por la neutralización de aromas varietales (>400 mg L<sup>-1</sup>) (Cameleyre *et al.*, 2015; De-La-Fuente-Blanco *et al.*, 2016; Rapp & Versini, 1995).

### 2.1.3.4 Ésteres

Los ésteres se encuentran naturalmente en las bayas, sin embargo, la mayor parte de los encontrados en vinos pueden tener lugar a partir de reacciones de esterificación de alcoholes superiores con ácidos carboxílicos (ésteres de acetato) o a través de reacciones de condensación de acetil-CoA (etil ésteres). Análogamente, pueden ser liberados al vino por la autólisis de las levaduras. Los ésteres son particularmente apreciados a concentraciones moderadas debido a su contribución en la complejidad aromática de los vinos, destacándose principalmente los compuestos de acetato de isoamilo (plátano), acetato de feniletilo (rosas o miel) y hexanoato (olor floral y afrutado) (Mendes -Ferreira *et al.*, 2011; Ribéreau-Gayon *et al.*, 1998).

### 2.1.3.5 Tioles

Otros compuestos aromáticos de origen secundario, que de igual manera participan en la constitución del carácter sensorial de un vino son los tioles (ej. Sauvignon blanc). Los tioles en su estado precursor se encuentran unidos a cisteína o glutatión. La actividad de enzimas  $\beta$ -liasas sobre los enlaces azufrados (S-S o C-S) permiten la liberación y percepción de su fracción volátil (Roman *et al.*, 2020).

### 2.1.3.6 Carbonilos

Los compuestos carbonilos pueden derivarse de reacciones de oxidación de alcoholes como el etanol o por descarboxilación de  $\alpha$ -cetoácidos (ácido pirúvico) (Swiegers *et al.*, 2005)

### 2.1.3.7 Lactonas, aldehídos fenoles y fenoles volátiles

El envejecimiento de vinos en barrica confiere compuestos aromáticos a los vinos. Los compuestos y su tasa de extracción dependen de la composición del vino, la barrica (roble francés o roble americano), nivel de tostado (ligero, medio, fuerte) y el tiempo de uso (nuevas o usadas) de las barricas, por nombrar las más importantes. Barricas de origen americano liberan un mayor contenido de lactonas en comparación a aquellas de origen francés, sin embargo, estas últimas se caracterizan por tener una mayor porosidad. Por

otro lado, un tostado ligero otorga un menor contenido de compuestos aromáticos mientras que un nivel intermedio y un nivel fuerte se caracterizan por notas a vainilla, ahumado y picante, respectivamente. Finalmente, un mayor uso en el tiempo reduce el contenido de compuestos volátiles y aumenta el riesgo de contaminación por microorganismos (Tao *et al.*, 2014b).

#### 2.1.4 El grado alcohólico

El nivel de graduación alcohólica es un carácter diferencial del volumen, en grados o porcentaje, de alcohol absoluto en bebidas fermentadas. En Chile, el artículo No 36 de la Ley No.18455 que fija las normas de producción, elaboración y comercialización de alcoholes etílicos, bebidas alcohólicas y vinagres estipula que, el vino elaborado de uvas frescas o asoleadas “*deberá tener una graduación alcohólica mínima de 11,5 grados con un máximo de 1,5 gramos de acidez por litro*” a menos que, se trate de un vino generoso (14 grados) o licoroso (16 grados) (Ley No.18455, 1985). Esta graduación, está determinada por la tasa metabólica de levaduras seleccionadas, que durante el proceso de fermentación transforman compuestos carbonados (glucosa o fructosa) principalmente en alcohol etílico y dióxido de carbono. Análogamente, el nivel de alcohol terminal estará definido por el estado de madurez de las bayas en función del nivel de azúcares acumulados (Ribéreau-Gayon *et al.*, 1998).

#### 2.1.5 El pH y acidez titulable

El pH y acidez titulables son medidas de acidez que difieren desde el punto de vista químico y funcional en un vino. En primer lugar, variaciones de pH comprometen la estabilidad microbiológica, física y química de un vino en función de la actividad de iones de hidrógeno libres en solución, mientras que, la variación de acidez titulable modifica la percepción sensorial de acidez (Boulton *et al.*, 1998).

El pH de los vinos chilenos habitualmente se encuentra en el rango entre 3 y 4. En el caso de vinos tintos, el pH es habitualmente más alto que en el caso de los blancos. En los últimos años se ha identificado su participación en la conservación de la estabilidad del vino en funciones como por ejemplo el nivel de solubilidad de antocianinas (Forino *et al.*, 2020), la estabilidad de color (Forino *et al.*, 2019) sales y proteínas, la efectividad de aplicaciones de anhídrido sulfuroso, y el control de microorganismos (Boulton *et al.* 1998), por nombrar algunos.

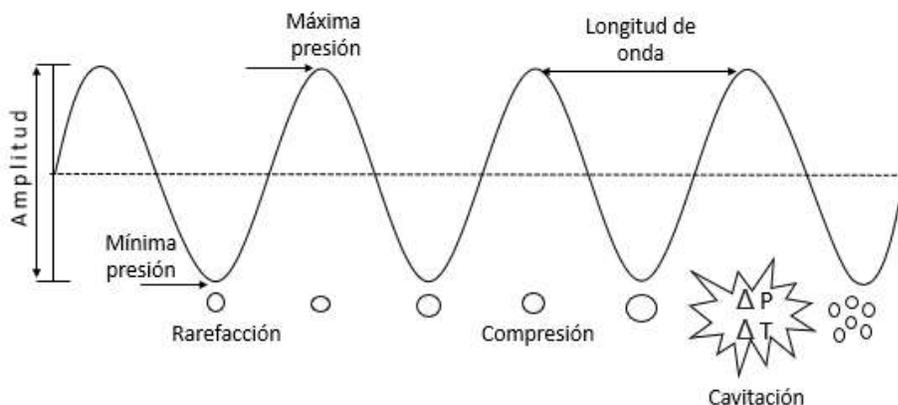
Por otro lado, la acidez titulable en vinos y mostos expresa indirectamente la concentración de los principales y fundamentales ácidos orgánicos. Los ácidos tartárico, cítrico y málico de origen natural en las bayas, y los ácidos succínico, láctico y acético derivados de procesos fermentativos de levaduras y bacterias. En términos de percepción, a concentraciones balanceadas se caracterizan por contribuir en la evolución de los equilibrios sensoriales de dulzor/amargor y aroma/acidez, de lo contrario un vino resulta muy ácido o simplemente plano. Sus niveles de densidad fluctúan a causa de factores como la variedad, el estado de madurez de las bayas, prácticas de manejo como la poda y las condiciones edafoclimáticas, así como, la

clase de microorganismo precursor y los sustratos disponibles para llevar a cabo el proceso metabólico (Chidi *et al.*, 2018; Vitis *et al.*, 2012).

## 2.2 El ultrasonido

### 2.2.1 Fundamentos físicos básicos

El mecanismo de acción del ultrasonido (US) se basa en la aplicación de ondas sonoras de alta frecuencia (>16 kHz) no percibidas por el oído humano, las que al entrar en contacto con superficies líquidas se caracterizan por desencadenar cambios químicos de degradación y reacciones de óxido-reducción por efecto cavitatorio, sobre todo cuando estas se realizan con niveles de intensidad elevados (10 - 1.000 W cm<sup>-2</sup>). Durante los tratamientos de US en líquidos, se generan poblaciones de microburbujas en solución de tamaño inestable, que implosionan en microsegundos, provocando variaciones locales de presión y temperatura cercanas a 1.000 atm y 5.500°C (Figura 2.4). Estas condiciones extremas son propicias para la disociación de enlaces de especies químicas y la liberación de sustancias radicalarias (Ashokkumar *et al.*, 2010; Dhanalakshmi & Nagarajan, 2011; McClements, 1995; Ojha *et al.*, 2017; Suslick, 1989) las que desencadenarían cambios químicos y a su vez, cambios sensoriales en los vinos.



**Figura 2.4** Comportamiento de micro-burbujas en un campo líquido sonificado. *Fuente: adaptación en base a Suslick (1989); Chowdhury y Viraraghavan (2008); Leong et al. (2011).*

### 2.2.2 Variables ultrasónicas y población de burbujas

La eficiencia sonoquímica de cavitación tiene estrecha relación con el comportamiento, el tamaño y el número de burbujas que colapsan en función de las variantes que constituyen la matriz del sistema. En otras palabras, el resultado depende de la frecuencia, la potencia, la temperatura y el tiempo de sonicación (Mason *et al.*, 1992; Sunartio *et al.*, 2007; Wood *et al.*, 2017).

La cavitación, en esencia, es la implosión de microburbujas que han incrementado de tamaño, puesto que, al adquirir la máxima dimensión (radio) permitida por su frecuencia, no le es posible continuar absorbiendo

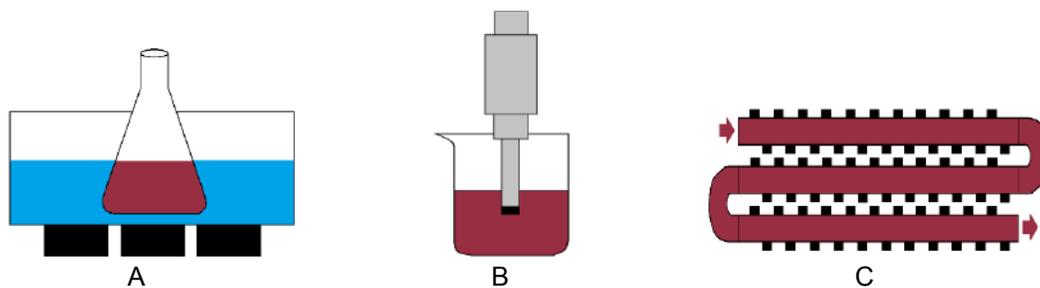
energía durante los ciclos de compresión y rarefacción (intercambio de masas de aire) (Figura 2.4) (Suslick *et al.*, 1989). Aumentos en la frecuencia disminuyen los ciclos de oscilación de una onda limitando el tiempo de crecimiento de una burbuja, por lo que, frecuencias altas generan un mayor número de burbujas de menor tamaño (las que liberan menos energía) y viceversa (Ashokkumar *et al.*, 2010; Brotchie *et al.*, 2009). Por su parte, las presiones de compresión y rarefacción están condicionadas por la amplitud. Ondas de mayor amplitud tienen una relación directamente proporcional con la intensidad (o potencia) de una onda y su violencia de implosión (Crum, 1984; Sunartio *et al.*, 2007). En la misma línea, la sucesión de implosiones provoca una corriente turbulenta que aumenta la temperatura del fluido modificando la presión de vapor, tensión superficial y solubilidad de gases. Algunos autores señalan que los rangos óptimos de temperatura ultrasónica efectiva serían menores a 60°C, nivel a partir del cual la eficiencia cavitatoria no disminuiría (Dhanalakshmi & Nagarajan, 2011; Wood *et al.*, 2017). Finalmente, la combinación de tiempos de encendido y apagado podrían mejorar el índice de implosión de burbujas en comparación a aquellos tratamientos de aplicaciones prolongadas. Distribuir la energía en intervalos evitaría pérdidas de burbujas estables por desgasificación, permitiéndoles disolverse, aumentar nuevamente de tamaño y colapsar, siempre y cuando su dimensión sea inestable (Nascentes *et al.* 2001; Tuziuti *et al.*, 2008).

A través de los mecanismos descritos anteriormente, la industria alimentaria optimiza diversos procesos durante la elaboración de comestibles como la inactivación de microorganismos, la degradación de polímeros, la desgasificación, el corte de carnes y vegetales (mediante el uso de cuchillas que transmiten vibraciones mecánicas), la congelación (formación de cristales uniformes en menor tiempo) y descongelación (ruptura de cristales por resonancia), el secado (aumento de turbulencia de masas de aire), la emulsificación y homogenización de mezclas y la extracción de compuestos bioactivos, entre otros (Bhaskaracharya *et al.*, 2009; Chemat *et al.*, 2011; Delgado, 2011; Ojha *et al.*, 2017).

### 2.2.3 Equipos de ultrasonido y su manejo

Actualmente, en el mercado existen tres tipos comunes de instrumentos de ultrasonido: ultrasonido de baño, ultrasonido de sonda de inmersión y ultrasonido de flujo continuo (Figura 2.5). Las principales diferencias de diseño entre los dispositivos radican en la capacidad de tratamiento de diferentes volúmenes, el número de transductores y su distribución al interior del sistema, lo que en términos de eficiencia sonoquímica provocan una mayor diferencia en la distribución e intensidad de la energía en el campo líquido sonificado (Nascentes *et al.*, 2001). De ahí que los equipos generadores de ultrasonido a través de sondas de inmersión presenten un efecto cavitatorio más localizado y una distribución espacial más homogénea que los baños ultrasónicos. En el caso particular de los artefactos de sonda, es posible intercambiar el transductor en función del diámetro, dependiendo del volumen y naturaleza del líquido a procesar, lo que compromete la intensidad ingresada al sistema en base a una relación inversamente proporcional al área del diámetro de la punta disipadora de energía (Mason *et al.*, 1992). Por otro lado, en lo que concierne a la programación, ciertos dispositivos poseen frecuencias fijas determinadas por el fabricante, mientras que en otros casos, el nivel de amplitud, dependiente de la potencia nominal del equipo, puede ser seleccionado de acuerdo a las

necesidades del usuario. Del mismo modo, la modalidad de aplicación de las ondas sonoras puede ser en tiempos continuos o en pulsos con tiempos de encendido y apagado, en un medio de contacto directo (ultrasonido de sonda) o indirecto (ultrasonido de baño).



**Figura 2.5** Dispositivos ultrasónicos. A: Ultrasonido de baño; B: Ultrasonido de sonda de inmersión; C: Ultrasonido de flujo continuo. Cuadros y rectángulos de color negro en las figuras representan transductores.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Fuentes de información

Se consultó la base de datos de colecciones electrónicas de Clarivate Analytics mediante la plataforma Web of Science. Del mismo modo, se consultaron obras impresas sobre vinificación y enología, las que se detallan al final este documento.

#### 3.2 Métodos

Las búsquedas en la base de datos mencionada se centraron en el uso de palabras claves como “ultrasound”, “wine”, “ultrasound-principles” y “sonochemistry” con el fin de seleccionar aquellos documentos que especificaran los efectos de ondas sonoras sobre la composición físico-química de vinos. Es decir, los compuestos fenólicos, los compuestos volátiles, el pH, la acidez titulable y el grado alcohólico.

## 4 RESULTADOS REPORTADOS

La mayor parte de los artículos revisados en el presente documento evalúan los cambios fisicoquímicos producidos por dispositivos ultrasónicos de baño y de sonda. Cabe destacar que los equipos de ultrasonidos utilizados en la manufactura de vinos a escala industrial se basan en un sistema de flujo constante, distintos a la mayoría de los revisados en esta memoria.

A continuación, se citarán y detallarán métodos y resultados de aplicaciones ultrasónicas de los artículos en revisión que, tienen como objetivo mejorar la compresión de los mecanismos y efectos gatillados producto del ultrasonido y de la formación de cavitaciones en bayas, mostos y vinos. Vale decir, comportamientos de degradación, oxidación, polimerización y depolimerización de compuestos químicos y sus consecuencias directas sobre la calidad intrínseca de un vino (color, sabor y aroma).

### 4.1 Elaboración de vinos a partir de bayas tratadas con ultrasonido

En los últimos años se ha evaluado la extracción de compuestos bioactivos volátiles y no volátiles asistida por ultrasonido en uvas (Gambacorta *et al.*, 2017; Ruiz-Rodríguez *et al.*, 2019). Mediante el colapso de microburbujas, los tejidos de las pieles y semillas de las bayas son erosionados (Comarella *et al.*, 2018) de manera que el solvente, agua y/o etanol, penetran en mayor profundidad y permiten una mayor liberación de taninos (principalmente), antocianinas y compuestos fenólicos en general, además, de polisacáridos almacenados en la pared celular (Bautista-Ortín *et al.*, 2017). Esto es posible de llevar a cabo durante procesos de maceración pre-fermentativos, fermentativos y post fermentativos para la elaboración, principalmente de vinos tintos (Cuadro 3.1).

En términos de procesamiento, autores como Ferraretto *et al.*, (2013) y Plaza *et al.*, (2019) señalan que una de las ventajas del uso de ultrasonido sería la reducción de los tiempos de maceración entre un 30 y 43%. Es decir, si habitualmente se requiere de 7 u 8 días para llevar a cabo dicho proceso, mediante el uso de ondas sonoras podría completarse en 3 o 4 días. Por ejemplo, en vinos elaborados a partir de bayas de tratadas de las variedades Monastrell y Tempranillo, Plaza *et al.*, (2019), observó que macerar durante 3 días bayas expuestas a ultrasonido es equivalente a macerar bayas sin tratar durante 7 días. Del mismo modo, en muestras de Merlot, Ferraretto *et al.*, (2013) determinó la posibilidad de disminuir los tiempos de maceración entre 1 y 3 días respecto a un procedimiento convencional de 5 días.

Por su parte, en lo que concierne a una fermentación clásica, Matsuura *et al.*, (1994) observó en un menor período de tiempo mayores concentraciones de compuestos volátiles y etanol, al implementar perturbaciones ultrasónicas de baja intensidad ( $30 \text{ mW cm}^{-2}$ ) y frecuencia (24 kHz). Aparentemente, durante el proceso de fermentación alcohólica el ultrasonido tendría la capacidad de disminuir los niveles de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) por desgasificación e incrementar los niveles de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) (Ruiz-Rodríguez *et al.*, 2019) (Cuadro

3.3) lo que fomentaría un incremento de tamaño de las células de levaduras que metabolizarían azúcares y aminoácidos a mayor velocidad (Lanchun *et al.*, 2003). Lo anterior, resulta contra intuitivo si se piensa que las ondas de ultrasonido también son utilizadas para el control microbiano, y que su uso durante la fermentación alcohólica podría causar la muerte de parte de las levaduras de fermentación. De modo que, las condiciones de uso en este caso son particularmente relevantes. Del mismo modo, un aumento en la eficiencia de conversión de metabolitos puede ser favorecida debido a una mayor dispersión de células individuales (no aglomeradas) (Sanz *et al.*, 2003) así como alteraciones en el flujo de iones (Chisti, 2003).

Según parece, lo anterior podría ser explicado en función de la naturaleza del solvente y cambios a nivel estructural de las levaduras. Luo *et al.*, (2012) evaluaron el comportamiento de *Saccharomyces cerevisiae* suspendidas en soluciones de sal, vino y jugo bajo sonda ultrasónica de 24 kHz, 22 mm de diámetro, potencia de 126, 118 y 131 W (sal, vino, jugo) en pulsos de 2 min encendido/ 2 min apagado (10 y 20 minutos en total de tratamiento) con temperaturas de entre 23-25 °C. En este estudio se constataron diferentes grados de inactivación de acuerdo con los solventes utilizados (jugo, vino y sales). *S. cerevisiae* disminuyó hasta un 75%, 45% y 20%, mientras que, *D. bruxenellensis* redujo su población hasta un 80%, 55%, y 43%, respectivamente. Del mismo modo, Redel *et al.*, (2000) observó que levaduras suspendidas en agua expuestas a sonido retrasan su división celular por modificaciones en su estructura vacuolar, en cambio, levaduras suspendidas en etanol experimentan lisis celular.

Dependiendo de la morfología de las bayas, es decir, del tamaño y el grosor de sus películas, las demandas energéticas de los tratamientos de ultrasonido varían para conseguir mayores extracciones. Bayas de mayor tamaño y películas más gruesas requerirían de una mayor energía para liberar los flavonoides almacenados en la vacuola celular. Del mismo modo, la madurez fenólica de las bayas promovería en mayor o menor medida los índices de extracción en función de tiempos prolongados de exposición y amplitudes altas (Comarella *et al.*, 2018). Un ejemplo de lo anterior, fue lo observado por el autor Comarella y colaboradores en vinos terminados de Cabernet Sauvignon elaborados a partir de bayas sonificadas. La extracción asistida con ultrasonido en comparación a una maceración clásica (Cuadro 3.1), no genera cambios en las concentraciones de fenoles y antocianinas. Por otro lado, Bautista-Ortín *et al.*, (2017) en base a vinos del cultivar Monastrell (Cuadro 3.1), señala que a través del ultrasonido los vinos pueden presentar diferencias cromáticas entre sí las que incluso pueden mantener hasta después de dos meses de guarda o hasta 6 meses de acuerdo con los autores Gambacorta *et al.* (2017) (Cuadro 3.2).

Dependiendo del cultivar, el año de cosecha y la región vitivinícola (Comarella *et al.*, 2018) los niveles de extracción y destrucción de compuestos pueden variar bajo un mismo tratamiento, como es el caso de las antocianinas extraídas desde los cultivares Aglianico y Nero di Troia (Cuadro 3.1) respectivamente (Gambacorta *et al.*, 2017). Del mismo modo que en los cultivares Isabella (*Vitis labrusca*) y Cabernet Sauvignon (Gambacorta *et al.*, 2017). Se cree que antocianinas con una molécula adicional como es el caso de las antocianinas aciladas (Gambacorta *et al.*, 2017), como también con un mayor grado de hidroxilación como en las antocianinas de tipo cianidina-3-glucósido y peonidina-3-glucósido (di-hidroxiladas) serían más

estables antes perturbaciones ultrasónicas (Bautista-Ortín *et al.*, 2017). Ahora bien, la disminución del contenido de antocianinas podría tener distintos orígenes tales como: a) un efecto oxidante por los radicales formados por cavitación, b) la formación de estructuras poliméricas (Comarella *et al.*, 2018), y c) la reabsorción a las fracciones de pared celular suspendidas en la mezcla (Bautista-Ortín *et al.*, 2017).

En general, desde un punto de vista sensorial, la extracción de compuestos fenólicos desde las bayas mediante ultrasonido puede mejorar a) la liberación de flavan-3-ols (o catequinas monoméricas), especialmente del tipo epigallocatequina, las que provocan un sabor menos astringente y amargo en boca (Cuadro 3.1) (Comarella *et al.*, 2018; El Darra *et al.*, 2013; Gambacorta *et al.*, 2017; Ruíz-Rodríguez *et al.*, 2019); b) la estabilidad de color (Cuadro 3.2) (Comarella *et al.*, 2018; El Darra *et al.*, 2013; Ferraretto *et al.*, 2013; Gambacorta *et al.*, 2017); y c) el aroma a flores, frutos rojos y frutos maduros (Cuadro 3.3) (Bautista-Ortín *et al.*, 2017; Pozzati *et al.*, 2020; Plaza *et al.*, 2019; Ruiz-Rodríguez *et al.*, 2019; Roman *et al.*, 2020). No obstante, para una mejor eficiencia ultrasónica se debe ajustar la masa de pieles y semillas que pueden interrumpir el avance de las ondas sónicas. Gambacorta *et al.*, (2017) señala que un ajuste de jugo y pieles y semillas en proporción 1:1 aumenta hasta a un 60% la eficiencia de extracción en comparación a una mezcla no modificada y que cuente una proporción irregular de pieles y semillas.

**Cuadro 4.1** Extracción de compuestos bioactivos no volátiles mediante tratamientos ultrasónicos durante la elaboración de vinos y sus efectos sobre la composición fenólica

Material	Frecuencia (KHz)	Amplitud (%)	Tratamiento				Efectos					Días medición	Referencias
			Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Diámetro (mm)	PT (%)	AT (%)	TT (%)	F (%)	P (%)			
<b>MACERACIÓN PRE-FERMENTATIVA</b>													
Cabernet Sauvignon (2014)	40	N. E <sup>1</sup>	28,6 ± 0,9	3, 5, 7, 10	N. A	[-10, +9]	[-26, -4]	N. E	N. E	[-31, +0,5]	1, 3, 5	Comarella et al., (2018)	
Cabernet Sauvignon (2015)	40	N. E <sup>1</sup>	28,6 ± 0,9	3, 5, 7, 10	N. A	[-17, +3]	[-3, +12]	N. E	N. E	[-26, +8]	1, 3, 5		
Nero di Troia	24	100 <sup>2</sup>	25	5	N. A	+11,2	+6	+20	N. E	N. E	30	El Darra et al., (2013)	
	24	100 <sup>2</sup>	30	10	N. A	+12,6	+12	+30	N. E	N. E	30		
	24	100 <sup>2</sup>	38	15	N. A	+20,1	+20	+47	N. E	N. E	30		
Aglianico	25	100 <sup>3</sup>	N. E	120	N. E	+5	+4	N. E	N. E	-2	180	Gambacorta et al., (2017)	
	25	100 <sup>3</sup>	N. E	120	N. E	+15	+20	N. E	N. E	+20	180		
Primitivo	25	100 <sup>3</sup>	N. E	120	N. E	+6	S. V	N. E	N. E	+12	180	Ruiz-Rodriguez et al., (2019)	
	28	5 <sup>4</sup>	24 ± 0,3	30/7/20 <sup>A</sup>	N. A	+1	S. V	+7	N. E	N. E	30		
<b>MACERACIÓN POST-FERMENTATIVA</b>													
Primitivo	25	100 <sup>3</sup>	N. E	120	N. E	+10	-37	N. E	N. E	+15	180	Gambacorta et al., (2017)	

Cuadro elaborado por el autor con información recopilada. N.E: no especificado. N.A: no aplica. S.V: sin variación. PT: polifenoles totales, A: antocianinas totales, TT: taninos totales, F: flavan-3-ols, P: proantocianidinas. Signo (+): indica aumento. Signo (-): indica disminución. Potencia nominal de equipo ultrasónico: 1270 W, 2400 W, 31.500 W, 42.000 W. Aplicación ultrasónica en ciclos de encendido/apagado.

**Cuadro 4.2** Evolución de características cromáticas, intensidad de color (IC) y tonalidad (T), de vinos elaborados a partir de bayas expuestas a ultrasonido

Material	Frecuencia (kHz)	Amplitud (%)	Tratamiento			Efectos		Medición (días)	Referencias
			Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Díámetro (mm)	IC (%)	T (%)		
<b>MACERACIÓN PRE-FERMENTATIVA</b>									
Cabernet Sauvignon (2014)	40	N. E <sup>1</sup>	28,6 ± 0,9	3, 5, 7, 10	N. A	[-24,81; +17,4]	[-1,54; +6,25]	1, 3, 5	Comarella et al., (2018)
Cabernet Sauvignon (2015)	40	N. E <sup>1</sup>	28,6 ± 0,9	3, 5, 7, 10	N. A	[-6,49; +4,17]	[-9,05; -1,75]	1, 3, 5	
<b>Cabernet Franc</b>									
	24	100 <sup>2</sup>	25	5	N. A	+6	N. E	30	Ei Darra et al., (2013)
	24	100 <sup>2</sup>	30	10	N. A	+13	N. E	30	
	24	100 <sup>2</sup>	38	15	N. A	+16	N. E	30	
<b>Merlot</b>									
	20	20 <sup>3</sup>	N. E	2	13	+121,2	+4,6	0	Ferraretto et al., (2013)
	20	40 <sup>3</sup>	N. E	2	13	+170,7	+3,94	0	
	20	60 <sup>3</sup>	N. E	2	13	+252,2	-1,97	0	
	20	80 <sup>3</sup>	N. E	2	13	+240,7	S. V	0	
<b>Nero di Troia</b>									
	25	100 <sup>4</sup>	N. E	120	N. E	+1,5	S. V	180	Gambacorta et al., (2017)
<b>Agljanico</b>									
	25	100 <sup>4</sup>	N. E	120	N. E	+20	-4,2	180	
<b>Primitivo</b>									
	25	100 <sup>4</sup>	N. E	120	N. E	+3,9	-3,5	180	
<b>MACERACIÓN POST-FERMENTATIVA</b>									
Nero di Troia	25	100 <sup>4</sup>	N. E	120	N. E	+20,7	-1,7	180	Gambacorta et al., (2017)

Cuadro elaborado por el autor con información recopilada. IC: intensidad de color. T: tonalidad. N.A: no aplica. N.E: no especificado. S.V: sin variación. Signo (+): indica aumento. Signo (-): indica disminución. Potencia nominal de equipo ultrasónico: 1270 W, 2400 W, 3200 W, 41.500 W.

**Cuadro 4.3** Extracción de compuestos bioactivos volátiles mediante tratamientos ultrasónicos durante la elaboración de vinos y sus efectos sobre el carácter sensorial olfativo

Material	Tratamiento					Efectos	Medición (días)	Referencias
	Frecuencia (kHz)	Amplitud (%)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Diámetro (mm)			
<b>MACERACIÓN PRE-FERMENTATIVA</b>								
Monastrell	28	N. E <sup>1</sup>	N. E	N. E	N. E	i. Aumento de terpenos (sesquiterpeno, nerolidol, linalol y citronelol). ii. Leve aumento de alcoholes superiores en función del tiempo de maceración y sonicación. iii. Aumento de ácidos grasos (3 días de maceración) y disminución (6 y 8 días de maceración).	60	Bautista-Ortín <i>et al.</i> (2017)
Sauvignon blanc	29	90 <sup>2</sup>	N. E	3, 5	13	i. Degradación de tioles precursores. ii. Aumento de tioles volátiles.	0	Roman <i>et al.</i> (2020)
Marselan	40	N. E <sup>3</sup>	25	30	N. A	i. Disminución de carácter herbáceo. ii. Aumento de notas condimentadas, afrutadas y sobremaduras. iii. Tasas de extracción de compuestos bioactivos similares a termovinificación en menor tiempo.	365	Pozzati <i>et al.</i> (2020)
Monastrell	28	N. E <sup>4</sup>	N. E	N. E	N. E	i. Bajo impacto sobre perfil aromático de ésteres, terpenos y alcoholes superiores (mayores incrementos a 48 h de maceración).	60	Plaza <i>et al.</i> , (2019)
Tempranillo	28	N. E <sup>4</sup>	N. E	N. E	N. E			
<b>MACERACIÓN FERMENTATIVA</b>								
Syrah <sup>5</sup>	28	N. E	24 ± 0,3	30 / 720	N. A	i. Incremento de terpenos (30%), alcoholes superiores (20-60%), ésteres (70%). ii. Mejores resultados de compuestos aromáticos a 30 min de tratamiento	150	Ruiz-Rodríguez <i>et al.</i> (2019)
	28	N. E	24 ± 0,3	60 / 720	N. A			

Cuadro elaborado por el autor con información recopilada. N.E: no especificado. N.A: no aplica. potencia nominal de equipo ultrasónico: <sup>1</sup>2.500 W, <sup>2</sup>200 W, <sup>3</sup>127 W, <sup>4</sup>2.500 W, <sup>5</sup>2.000 W. <sup>^</sup>Aplicación ultrasónica en ciclos de encendido/apagado.

## 4.2 Los compuestos fenólicos

En los últimos años, se ha demostrado la posibilidad de modificar y promover reacciones de polimerización de compuestos fenólicos mediante aplicaciones ultrasónicas a bajas presiones < 10 kPa (Masuzawa, Ohdaira & Ide, 2000). Durante el estudio del comportamiento de parte de los principales flavonoides como maldivina-3-glucósido, (+)-catequina y (-)-epicatequina, en vinos terminados de Cabernet Sauvignon expuestos a ultrasonido con 20 kHz y potencia de 150 o 200 W, se observó que estas modificaciones pueden tener lugar a corto (15 días) como a largo plazo (70 días) (Zhang & Wang, 2017). En general, se han observado cambios químicos semejante a un envejecimiento normal de un vino (Cuadro 3.4). Los niveles de maldivina-3-glucósido y flavan-3-ols disminuyen, mientras que los ácidos fenólicos como ácido gálico, cafeíco y siríngico fluctúan con tendencias de alza y baja (Zhang & Wang, 2017). No obstante, en algunas investigaciones luego de 24 horas de haberse efectuado el tratamiento, se ha constatado que los compuestos fenólicos no siempre presentan la misma conducta. Por ejemplo, en vinos Raboso se midió que el contenido de taninos y antocianinas puede disminuir (o puede ser constante en el caso de antocianinas), mientras que los monómeros de flavan-3-ols aumentaría, sugiriendo un efecto de despolimerización (Ferraretto & Celotti, 2016). Por el contrario, en vinos de Cabernet Sauvignon mediante el índice de ácido clorhídrico se midió un fenómeno inverso con un aumento de la concentración de taninos, pese a emplearse condiciones sónicas equivalentes (Ferraretto & Celotti, 2016).

En ocasiones, los investigadores califican la evolución de los compuestos fenólicos como patrones erráticos, puesto que, de vez en cuando incrementos de potencia y frecuencia no disminuyen el número de compuestos fenólicos, sino que los eleva por motivos que aún se ignoran (Zhang, Shen, Fan, García, 2016a). Pese a lo anterior, Zhang *et al.*, no lo interpretan como un efecto cavitatorio deficiente, si no que concuerdan con otros autores al indicar que las diferencias entre los resultados observados radicarían en las distintas composiciones químicas de los vinos tratados al momento de la aplicación del ultrasonido. En consecuencia, los parámetros de utilización de US deberían ser ajustados de acuerdo a las composiciones químicas iniciales de los vinos para evitar reducir su calidad organoléptica. Por esta razón, vinos con menor cantidad de antocianinas y taninos deberían ser expuestos a variables ultrasónicas de menor intensidad y aquellas de mayor concentración fenólica podrían ser expuestas a mayores tiempos o intensidades de tratamientos ultrasónicos (Celotti, Stante, Ferraretto, Nicolini & Natolino, 2020; Lukić *et al.*, 2019; Lukić *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2017). Todo lo anterior, requiere de más estudios que permitan confirmar si dicha propuesta es o no acertada.

Como se mencionó en la sección 2.2, la eficiencia química del proceso varía dependiendo de las condiciones de la matriz como aquellas intrínsecas de operación del instrumento. Estandarizar condiciones de transmisión energética en función de los parámetros ultrasónicos como frecuencia, amplitud, potencia, tiempo y temperatura, es un error y estas debieran ajustarse dependiendo del propósito del tratamiento, y de la matriz siendo tratada. En el Cuadro 3.5, se indica las variables ultrasónicas testeadas sobre el cambio en la composición fenólica. En general, se han registrado disminuciones del contenido de fenoles totales (Lukić

*et al.*, 2019; Lukić *et al.*, 2020), como también, nulas alteraciones inmediatamente post tratamiento, siempre y cuando las condiciones experimentales a las cuales se les expone cuenten con una presión y temperatura de baja magnitud (Celotti *et al.*, 2020; Ferraretto & Celotti 2016; Zhang & Wang, 2017).

**Cuadro 4.4** Efectos de aplicación de ultrasonidos de sonda y de baño sobre la composición fenólica de vinos tintos y blancos

Material	Frecuencia (KHz)	Amplitud (%)	Tratamiento			Efectos	Medición (días)	Referencias
			Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Diámetro (mm)			
Cabernet Sauvignon	20	10,5 <sup>1</sup>	16	14, 28	N. A	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Incremento intensidad y color (evolución gradual hasta día 70).</li> <li>ii. Niveles de pardeamiento mayor en muestras sonificadas.</li> <li>iii. Signos de polimerización (disminución (+)-catequina de 80 a 65%) y despolimerización (aumento de (-)-epicatequina de 25 a 30%).</li> </ul>	0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80	Zhang & Wang (2017)
Vino modelo <sup>A</sup>	25	100 <sup>2</sup>	45 ± 1	20	N. A	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Formación de pigmentos xantilium (catión xantilio).</li> <li>ii. Detección de étil ésteres.</li> <li>iii. Oxidación de ácido tartárico (ácido glicoilico).</li> </ul>	1, 2	Fu et al., (2018)
Cabernet Sauvignon	20	30, 60, 90 <sup>3</sup>	38,1	1, 3, 5	13	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Antocianinas sin modificación.</li> <li>ii. Mismos tratamientos gatillan polimerización o despolimerización de taninos                             <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Vino raboso: aumento de polimerización.</li> <li>b) Vino Cabernet Sauvignon: disminución polimerización.</li> </ul> </li> </ul>	1	Ferraretto & Celotti (2016)
Raboso	20	30, 60, 90 <sup>3</sup>	43,1	1, 3, 5	13	<ul style="list-style-type: none"> <li>iii. Frecuencias altas aumenta el tamaño de partículas (80, 100 KHz).</li> </ul>		
Vino de mesa	20	30, 60, 90 <sup>3</sup>	43,5	1, 3, 5	13	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Cambio en la distribución de partículas de naturaleza coloidal (&lt;100 µm) (polimerización y despolimerización).</li> <li>ii. Temperaturas altas disminuye el efecto cavitatorio (60°C).</li> <li>iii. Frecuencias altas aumenta el tamaño de partículas (80, 100 KHz).</li> <li>iv. Potencia, alta variación de moléculas 100 µm (naturaleza coloidal).</li> <li>v. Aumento de partículas pequeñas 1 µm (120W).</li> </ul>	0	Xu et al., (2019)
Cabernet Sauvignon	100	40, 50, 60, 70, 80, 100 <sup>4</sup>	20	20	N. A			
	45, 80, 100	100 <sup>4</sup>	20	20	N. A			
	100	100 <sup>4</sup>	20, 30, 40, 50	20	N. A			
	100	100 <sup>4</sup>	20	20, 40, 60, 80, 100	N. A			
Cabernet Sauvignon	80	240 <sup>5</sup>	20	80	N. A	i. Mejora en la percepción visual de color (ΔE).	0	Zhang et al. (2016a)
Cabernet Sauvignon	100	40, 60, 80, 100 <sup>5</sup>	20	5	N. A	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Formación de radicales hidroxietilo.</li> <li>ii. Disminución formación de radicales a temperatura 60°C.</li> <li>iii. Respuesta antioxidante de catequinas.</li> </ul>	0	Zhang et al., (2015)
Vino modelo <sup>B</sup>								
Corvina	20	41, 81 <sup>6</sup>	N. E	3	13	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Aumentos de amplitud disminuyen contenido de flavan-3-ols en TO luego en el tiempo (15 y 30 días) sin diferencias con los tratamientos en general (41 a 81%W).</li> </ul>	0, 15, 30	Celotti et al., (2020)
Corvione	20	81 <sup>6</sup>	N. E	5	13	<ul style="list-style-type: none"> <li>ii. El contenido de antocianinas y características cromáticas (intensidad de color) sin variaciones.</li> <li>iii. Mayores tasas de polimerización de pigmentos e índice HCl (‰) durante los primeros 15 días.</li> </ul>		

Cuadro elaborado por el autor a partir de información recopilada. N.A: no aplica. N.E: no especificado. Vino modelo<sup>A</sup>: (+)-catequina y ácido glicoilico. Vino modelo<sup>B</sup>: N-óxido de 5,5-dimetil-1-pirrolina (DMPO), 12% v/v etanol y ácido tartárico. Potencia nominal de equipo ultrasónico: <sup>1</sup>950 W, <sup>2</sup>500 W, <sup>3</sup>200 W, <sup>4</sup>300 W, <sup>5</sup>300 W <sup>6</sup>200 W

**Cuadro 4.5** Evolución de composición fenólica en función de tratamientos ultrasónicos

Material	Variable ultrasónica (1)	Valor (1)	Variable ultrasónica (2)	Valor (2)	Variable ultrasónica (3)	Valor (3)	Efectos	Referencias
<b>ULTRASONIDO DE BAÑO</b>								
<b>Vinos tintos</b>								
Cabernet Sauvignon	Amplitud	40-100 <sup>1</sup>	Frecuencia	37 80	Temperatura	20, 60	i. Disminución de compuestos fenólicos	Lukić <i>et al.</i> , (2019)
Cabernet Sauvignon	Potencia	100 <sup>2</sup>	Frecuencia	20	Tiempo	14, 28	i. Evolución semejante a tratamiento testigo	Zhang & Wang (2017)
<b>Vinos blancos</b>								
Graševina	Amplitud	40-60 <sup>1</sup>	Frecuencia	37 80	Temperatura	20, 40	i. Disminución de compuestos fenólicos	Lukić <i>et al.</i> , (2020)
<b>ULTRASONIDO DE SONDA</b>								
<b>Vinos tintos</b>								
Cabernet Sauvignon	Amplitud	25-100 <sup>3</sup>	Diámetro <sup>1</sup>	12,7 25,4	Tiempo	3-9	i. Disminución de compuestos fenólicos	Lukić <i>et al.</i> , (2019)
Cabernet Sauvignon	Amplitud	30, 60, 90 <sup>4</sup>	Frecuencia	20	Tiempo	1, 3, 5	i. Antocianinas modificación 1,60% sin	Ferraretto & Celotti (2016)
Raboso	Amplitud	30, 60, 90 <sup>4</sup>	Frecuencia	20	Tiempo	1, 3, 5	ii. 1-30%, aumenta polimerización en Cabernet Sauvignon mientras que disminuye polimerización en Raboso	
Vino de mesa	Amplitud	30, 60, 90 <sup>4</sup>	Frecuencia	20	Tiempo	1, 3, 5		
<b>Vinos blancos</b>								
Corvina	Amplitud	41, 81 <sup>4</sup>	Diámetro <sup>6</sup>	13	Tiempo	3	i. Disminución de flavan-3-ols (81% en día 0) y taninos (81% a 30 días)	Celotti <i>et al.</i> , (2020)
Corvione	Amplitud	81 <sup>4</sup>	Diámetro <sup>6</sup>	13	Tiempo	1, 3, 5	i. Evolución semejante a tratamiento testigo	
<b>Vinos blancos</b>								
Graševina	Amplitud	25-100 <sup>3</sup>	Diámetro <sup>6</sup>	12,7 19,1 25,4	Tiempo	3-9	i. Disminución de compuestos fenólicos	Lukić <i>et al.</i> , (2020)

<sup>A</sup>Diámetro de sonda de inmersión. Unidades de variables: amplitud (%), frecuencia (KHz), tiempo (min), temperatura (°C), potencia (W). Potencia nominal de equipo ultrasónico: <sup>1</sup> 380 W, <sup>2</sup> 950 W, <sup>3</sup> 700 W, <sup>4</sup> 200W.

Como ya se dijo anteriormente, bajo condiciones de un mismo tratamiento ultrasónico en muestras de distinto origen y composición, se pueden observar respuestas opuestas en la formación de complejos poliméricos como en la estabilidad química de algunos flavonoides. A pesar de ello, en la mayoría de los casos se cree que, en el transcurso del tiempo predominan transformaciones fisicoquímicas como oxidación, degradación, polimerización y precipitación, al igual que, en los contextos de envejecimiento convencionales como en barricas de roble o en botellas (Ferrareto & Celotti, 2016; Lukić *et al.*, 2019; Lukić *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2017; Zhang & Wang, 2017). No obstante, a diferencia de una evolución natural, los vinos sonicados muestran mayores tasas de formación de polimerización de compuestos (7%) a 15 días de post tratamiento (Potencial nominal 200 W, 20 kHz, 41% W, 3 min, 13 mm), mientras que, un mayor índice de taninos precipitados (40%) al día 30 (Potencial nominal 200 W, 20 kHz, 81% W, 3 min, 13 mm) (Cuadro 3.4) (Celotti *et al.*, 2020). Del mismo modo, Ferrareto y Celotti (2016) han medido incrementos en los niveles de polimerización de taninos de alto peso molecular (Potencia nominal 200 W, 60%, 5 min; 90%, 1,3,5 min), lo que podría explicar una mayor precipitación. Sumándose a lo anterior, las bajas concentraciones de malvidina-3-O-glucósido detectadas por Zhang y Wang (2017), así como la disminución del contenido de (+)-catequinas (80% a 65%) y el aumento de (-)-epicatequinas (20% a 35%) podrían correlacionarse con los mecanismos previamente puntualizados (Cuadro 3.4). Los cambios sensoriales cromáticos en el caso de vinos de Cabernet Sauvignon tratados con ultrasonido (20 kHz, 100 W, 14 y 28 min) por los autores Zhang & Wang indicaron un aumento de tonos de color rojo (Abs 520 nm), así como también un incremento de tonos amarillo-pardos (Abs 420 nm).

Los aumentos en las tasas de polimerización de compuestos podrían estar relacionados con una mayor población de radicales libres en un período determinado. De acuerdo con lo descrito por Zhang *et al.*, (2015) (Cuadro 3.4), la acumulación y efecto el oxidativo de radicales de hidroxietilo es transitorio y con el paso del tiempo se estabiliza (40 – 80 min). Existen dos justificaciones que podrían explicar la disminución de aductos radicalarios: (a) la disminución de reactivos iniciales, o (b) la neutralización por efecto antioxidante de compuestos fenólicos (Zhang *et al.*, 2015). En consecuencia, es probable que la disminución de fenoles y flavan-3-ols no solo sean indicadores de la unión y precipitación de moléculas, sino que también se produzcan por oxidaciones de compuestos fenólicos que aumentan de la misma manera los niveles de pardeamiento de las muestras tratadas respecto a los tratamientos testigos (Celotti *et al.*, 2020; Lukić *et al.*, 2019; Lukić *et al.* 2020; Zhang & Wang, 2017). Otro ejemplo que podría respaldar el efecto transitorio de los radicales libres, es la llevada a cabo por los investigadores Zu, Zhang, Zhang y Liu (2018) en la que describen la formación de cationes xantilio en soluciones modelos (Cuadro 3.3). Los cationes xantilio o sales de xantilio contribuyen a la pigmentación amarilla (ABS 440 nm) y son formados a partir de la reacción de (+)-catequinas con ácido glioxílico, el estado oxidado de ácido tartárico (Zu *et al.*, 2018). En los vinos, estas reacciones podrían ocurrir de manera espontánea por reacciones de tipo Fenton, en la que iones de metales de transición como hierro y cobre secuestran uno o más electrones de otros compuestos, oxidándolos. Si bien esto ocurre de manera natural en los vinos, Zu *et al.*, (2018), señalan que aplicaciones ultrasónicas con tiempos de encendido y apagado (20 min cada 2 días vs 1 aplicación de 20 min), aumentan la tasa de formación de pigmentos amarillos por efecto cavitatorio. Se cree que más de una aplicación en el tiempo

tendría un efecto acumulativo que incrementaría el número de choques intermoleculares efectivos entre agentes reductores y oxidantes. De manera que, constantemente se liberarían productos intermedios inestables que de forma directa o indirecta participarían en las rutas de síntesis de nuevos pigmentos amarillos (Zu *et al.*, 2018).

La mayor parte de los experimentos que estudian la evolución de los compuestos fenólicos y la formación de nuevos pigmentos en vinos aplican ondas sonoras en una sola oportunidad (siempre y cuando no se trate de experimentos de extracción de compuestos bioactivos). Se infiere que la principal razón de esto es evitar cambios en la reología de complejos poliméricos recién constituidos o compuestos coloidales en general, los que, nuevamente darían paso a la formación de nuevos radicales que desencadenarían otro tipo de reacciones químicas (Xu, Shen, Zhang, Zhao & Yi, 2019; Zu *et al.*, 2018). En el caso de la formación de cationes de xantilio la aplicación de pulsos ultrasónicos con tiempos de encendido y apagado amplían las concentraciones de pigmentos amarillos (sales de xantilio); sin embargo, se debe tener en consideración que este mecanismo podría no ser significativo en condiciones reales de un vino en el cual los productos intermedios para la formación de sales de xantilio podrían reaccionar con otros constituyentes químicos.

Como se mencionó en la sección anterior (2.1), los cambios de presión y temperatura promueven la disociación de enlaces y la formación de especies radicalarias. Los estudios en esta materia han demostrado que los aumentos de frecuencia de ondas de ultrasonido (45, 80, 100 kHz), potencia (120, 180, 240, 300 W) y tiempo (10, 20 min) producen aumentos de la actividad de aductos radicalarios (Zhang *et al.*, 2015). Adicionalmente, se ha observado que dependiendo de las condiciones empleadas durante los tratamientos de ultrasonido también podrían producirse variaciones en la conductividad eléctrica (CE) (Cuadro 3.6) (Zhang *et al.*, 2016a; Zhang, Shen, Fa, Yan & García, 2016b).

**Cuadro 4.6** Parámetros ultrasónicos y comportamiento de conductividad eléctrica (CE) en vinos de Cabernet Sauvignon

Tratamientos				CE <sub>inicial</sub> ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Efectos CE <sub>final</sub> ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
Frecuencia (kHz)	Potencia (W)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tiempo (min)		
45, 80, 100	300	20	20	$1.808,8 \pm 7,5$	1.851,7 – 1.883,6
100	120, 150, 180, 210, 240, 270, 300	20	20	$1.808,8 \pm 7,5$	1.885,7 – 1.883,6
100	300	20	20, 40, 60, 80, 100	$1.808,8 \pm 7,5$	1.863,8 – 1.915,9
100	300	20, 30, 40, 50, 60	20	$1.808,8 \pm 7,5$ $1.808,8 \pm 7,5$	1.881 - 1.897,3 1.864 - 1.853,2

Cuadro elaborado por el autor a partir de datos recopilados de los autores Zhang *et al.*, (2016a).

En prácticas enológicas convencionales, la CE de un vino es utilizada como un indicador de cambios químicos y la estabilidad de compuestos durante el envejecimiento (Yan *et al.*, 2017). Sistemáticamente durante y después de tratamientos sónicos en vinos, se han medido valores de CE mayores y divergentes entre sí (Yan *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2016a). Se cree que sus variaciones dependerán en gran parte de variables como: a) el contenido y estado de valencia de los iones, b) la carga eléctrica de iones que

conforman los compuestos poliméricos, c) el movimiento cinético de los iones y d) la temperatura (Yan *et al.*, 2017).

Algunos ejemplos de cationes y aniones que naturalmente modificarían las propiedades eléctricas de un vino son minerales, como potasio ( $K^+$ ), calcio ( $Ca^{+2}$ ), magnesio ( $Mg^{+2}$ ), hierro ( $Fe^{+2}$ ,  $Fe^{+3}$ ) y cobre ( $Cu^{+2}$ ,  $Cu^{+3}$ ) (ordenados en concentraciones decreciente) y ácidos orgánicos como los ácidos tartárico, málico y cítrico (Yan *et al.*, 2017). En base a tratamientos ultrasónicos (25 kHz, 400 W, 20 min) en vinos elaborados a partir de Cabernet Sauvignon (Dang Feng, Montepulciano D'Abruzzo, Man Jian Hong, Chang Cheng y San Xian) de distintas localidades y años de cosecha, Yan *et al.*, (2017), observó que el ultrasonido puede producir aumentos o disminuciones del contenido de aniones que podrían incidir sobre la conductividad y propiedades organolépticas del vino.

Recientemente, Zhang *et al.*, 2016b han descubierto que al exponer vinos de la variedad Cabernet Sauvignon a altas temperaturas ultrasónicas (60°C) se expresa un mayor valor de CE (2.520  $\mu S\ cm^{-1}$ ); sin embargo, una vez estabilizados a temperaturas de alrededor de 20°C, la conductividad se reduce (1.921  $\mu S\ cm^{-1}$ ). Lo anterior podría ser un indicador de una menor población de radicales libres y por lo tanto menores transformaciones químicas. No obstante, en soluciones modelos a temperatura de 50°C (100 kHz, 300 W, 20 min) se ha detectado una alta intensidad de uno de los radicales de mayor interés en los vinos, el radical 1-hidroxietil (Cuadro 3.4), mientras que a 60°C disminuye su concentración, probablemente por una mayor inestabilidad producto de la alta temperatura y por evaporación del etanol (Zhang *et al.*, 2015).

La disminución parcial del impacto cavitatorio en las condiciones recientemente descritas coinciden con otros escenarios experimentales, tales como el estudio de la distribución del tamaño de moléculas y viscosidad del vino (Xu *et al.*, 2019). De igual forma, los estudios de la evolución y concentración de compuestos fenólicos (Lukić, 2019; Lukić, 2020) que indican un bajo aumento de moléculas de menor tamaño y una menor degradación del contenido fenólico.

Ahora bien, los mecanismos promovidos por el ultrasonido pueden ser apreciados visualmente en una mejora sobre la intensidad y densidad de color, así como gustativamente con disminuciones de astringencia en boca. La Cuadro 3.7, resume los mejores efectos ultrasónicos de equipos de baño y de sonda, sobre la diferencia de color total ( $E\Delta$ ) de vinos tintos y vinos blancos de acuerdo al método de medición CIELAB.

Uno de los procesos de mayor duración durante la producción de un vino es su envejecimiento. El envejecimiento de un vino es un proceso lento (3 hasta 61 meses), que tiene como objetivo modificar y potenciar componentes naturales del vino. Durante dicho procedimiento, lías y virutas de roble pueden ser agregadas y complementado con aplicaciones ultrasónicas (Cuadro 3.8) con el objetivo de enriquecer el contenido de aminoácidos, proteínas, ácidos grasos y polisacáridos libres en un menor tiempo (Hervé, 2011; Del Fresno *et al.*, 2019a; García-Martín *et al.*, 2013). Habitualmente, para acelerar este proceso son añadidas enzimas hidrolíticas de tipo  $\beta$ -glucanasas, sin embargo, se ha demostrado que requieren de un

mayor tiempo (10 días) para promover cambios estructurales y desprendimiento de proteínas (Cuadro 3.8) desde la membrana plasmática de levaduras que el uso de vibraciones mecánicas de sonido las cuales tienen un efecto inmediato (García-Martín *et al.*, 2013).

Por su parte, el ultrasonido ha mostrado ser útil no solo para inactivar poblaciones de levaduras en ciclos cortos de exposición a tasas de  $2,54 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  y liberar manoproteínas y compuestos fenólicos (García Martín *et al.*, 2013) sino que también para la resuspensión de sedimentos de lías (mezcla de tejidos y estructuras de levaduras, uva, diatomitas y cristales de tartrato) durante el envejecimiento, semejante al mecanismo de batonge (bâtonnage) que consiste en la remoción y redistribución de lías mediante un bastón (Del Fresno *et al.*, 2019).

Incrementar el contenido de manoproteínas tiene la ventaja de inhibir la polimerización de antocianinas y mejorar la estabilidad de color de los vinos, mientras que, un mayor contenido de polisacáridos podría conjugarse con taninos y disminuir el carácter astringente en boca (García-Martín *et al.*, 2013). Según parece, aplicaciones ultrasónicas no promueven de manera inmediata la liberación de polisacáridos, pese a la pérdida de impermeabilidad de las membranas plasmáticas y liberación de proteínas (García-Martín *et al.*, 2013).

En general, el color de los vinos sin tratar con sonido (sin lías y/o virutas) es mejor debido a un mayor contenido de compuestos fenólicos, a excepción de aquellos tratados con viruta (testigo y sonicado) (Del Fresno *et al.*, 2019). Sin embargo, aquellos vinos a los cuales se le añaden virutas de roble se observó un menor contenido de proantocianidinas (taninos condensados) respecto a aquellos sin madera (20,3% vs 32,8%). No es claro el porqué de lo anterior, no obstante, se cree que al igual que las lías, las virutas de roble tendrían la capacidad de reabsorber y por ende disminuir el contenido de compuestos poliméricos a pesar de no ser sonicadas, fenómeno que de igual manera podría explicar las variaciones del contenido de compuestos de alta complejidad como las vitisinas A y vitisinas B (Del Fresno *et al.*, 2019).

El resumen, la implementación de sonido durante el envejecimiento de vinos en barricas (con lías y/o virutas de roble) podría disminuir los tiempos de envejecimiento como aumentar la respuesta antioxidante de los vinos debido a una mayor presencia de compuestos fenólicos como también manoproteínas, lo que podría significar reducir las adiciones de sulfuroso. De igual manera, notas aromáticas de envejecimiento pueden aumentar (García-Martín *et al.*, 2013; Del Fresno *et al.*, 2019); cuestión que, dependiendo del grado de aumento, podría ser contraproducente desde el punto de vista de aceptabilidad sensorial.

**Cuadro 4.7** Efectos de tratamientos ultrasónicos sobre las características cromáticas (CC) de vinos tintos y blancos

Material	Tratamiento				CC		AE	Medición (meses)	Referencias		
	Frecuencia (KHz)	Amplitud (%)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Diámetro (mm)	L*				a*	b*
<b>ULTRASONIDO DE BAÑO</b>											
<b>Vino tinto</b>											
Cabernet Sauvignon	80	80 <sup>1</sup>	20	20	N. A	31,70	52,84	27,50	2,8	0	Zhang, Shen, Fan & García (2016a)
Cabernet Sauvignon	100	240 <sup>1</sup>	20	20	N. A	31,99	53	27,03	2,8	0	
Cabernet Sauvignon	100	100 <sup>1</sup>	20	80	N. A	31,33	52,85	26,67	2,7	0	
Cabernet Sauvignon	100	100 <sup>1</sup>	20	20	N. A	31,55	52,54	27,67	2,1	0	
Cabernet Sauvignon	37	100 <sup>2</sup>	60	90	N. A	18,35	49,3	30,83	7,74	0,3, 6	Lukić et al., (2019)
Cabernet Sauvignon	80	100 <sup>2</sup>	60	90	N. A	18,36	49,50	30,86	6,52	0,3, 6	
<b>Vino blanco</b>											
Graševina	37	228 <sup>2</sup>	60	50	N. A	97,27	0,84	7,69	2,2	0,3, 6, 12, 18	Lukić et al., (2020)
Graševina	37	228 <sup>2</sup>	60	90	N. A	97,09	-0,76	7,76	2,37	0,3, 6, 12, 18	
<b>ULTRASONIDO DE SONDA</b>											
<b>Vino tinto</b>											
Cabernet Sauvignon	20	25 <sup>3</sup>	25	3	12,7	18,07	52,58	30,11	4,65	0,3, 6	Lukić et al., (2019)
Cabernet Sauvignon	20	50 <sup>3</sup>	25	3	12,7	17,86	52,37	29,92	4,34	0,3, 6	
Cabernet Sauvignon	20	75 <sup>3</sup>	25	3	12,7	18,16	52,74	30,31	4,90	0,3, 6	
Cabernet Sauvignon	20	100 <sup>3</sup>	25	3	12,7	17,89	52,35	29,90	4,32	0,3, 6	
<b>Vino blanco</b>											
Graševina	20	100 <sup>3</sup>	25	6	12,7	96,35	-0,76	6,03	4,57	0,3, 6, 12, 18	Lukić et al., (2020)

Cuadro elaborado por el autor a partir de datos recopilados de los autores N.A: no aplica. Potencia nominal de equipo ultrasónico: <sup>1</sup>300 W, <sup>2</sup>380 W, <sup>3</sup>700 W.

**Cuadro 4.8** Envejecimiento de vinos asistida por ultrasonido y sus efectos sobre las propiedades organolépticas de un vino

Material	Frecuencia (KHz)	Amplitud (%)	Tratamiento			Efectos	Días medición	Referencias
			Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Diámetro (mm)			
Lias	20	30, 60, 90 <sup>1</sup>		1, 3, 5	13	i. US solo a) Aumento de coloides en suspensión (5 min y 60%, 3 y 5 min a 90%).	0,	Cacciola <i>et al.</i> , (2013)
	20	90 <sup>1</sup>	47,6 <sup>A</sup>	3	13	ii. US + enzimas $\beta$ -glucanasas. a) Aumento de coloides totales al utilizar enzimas $\beta$ -glucanasas. b) Efectos ultrasónicos son equivalente a muestras sin tratar (3 y 7 meses), mientras que las muestras tratadas a 10 días son equivalentes a aquellas luego de 30 días (tratamiento testigo) ii. US + enzimas $\beta$ -glucanasas (corto plazo) a) Aumento de contenido proteico a los 20 días (3 min, 5 min, 90%).	10, 30, 90, 210	
Lias	20	90 <sup>1</sup>	N.E	3	13	iii. US + enzimas $\beta$ -glucanasas (corto plazo)	0, 10, 20	
	20	60 <sup>1</sup>	N.E	5	13	a) Aumento de contenido proteico a los 20 días (3 min, 5 min, 90%).		
Lias	20	30, 60, 90 <sup>1</sup>	N.E	1, 3, 5	13	i. Liberación de glicoproteínas eficiente en tiempos cortos independiente de la amplitud.	2, 3, 4	Ferrarello <i>et al.</i> , (2013)
	20	60 <sup>1</sup>	N.E	3	13	ii. Aumento de conductividad eléctrica en mayor magnitud a 60% y 90% de amplitud.		
Lias	20	10-100 <sup>2</sup>	N.E	0,5 1,5 5	19	i. Aplicaciones US no son eficiente para la recuperación de antocianinas desde lias.	0	Romero-Diez <i>et al.</i> , (2019)
Lias livianas	40	N.E <sup>3</sup>	20, 30, 40, 50, 60	5, 10, 15, 30, 60, 90	N.A	i. Solvente etanol a) Incremento de extracción de compuestos fenólicos totales (18,09%) y antocianinas totales (20,5%). ii. Estabilidad de compuestos fenólicos. a) Disminución de entre un 12,5 y 12,1%. b) Antocianinas libres y poliméricas constantes.	0 30	Tao <i>et al.</i> , (2014c)
<b>CHIPS DE ROBLE</b>								
Vino modelo <sup>A</sup>	24	N.E <sup>4</sup>	N.E	20	22	i. Aumento del contenido de polisacáridos (día 30) 20 mg L <sup>-1</sup> ii. Niveles de oxígeno disuelto cercanos a 0,4 mg L <sup>-1</sup> . iii. Vinos sonicados con intensidad más baja y tonalidad (lias y virutas). iv. Antocianinas: disminución del contenido de antocianinas (día 60) mayor pérdida en vinos control con lias y virutas. v. Muestras tratadas con menor contenido de vitisinas y piranoantocianina fenólica.	0	Del Fresno <i>et al.</i> , (2019)
Vino modelo <sup>B</sup>	25	N.E <sup>5</sup>	15, 20, 25	5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 150	N.A	i. Rangos de degradación y extracción de compuestos fenólicos no significativa entre tratamientos (6,3 W L <sup>-1</sup> , 14,9 W L <sup>-1</sup> , 25,8 W L <sup>-1</sup> )	0	Tao <i>et al.</i> , (2014a)

Cuadro elaborado por el autor a partir de información recopilada. N.A: no aplica. N.E: no especificado. Potencias nominales de equipos ultrasónicos: <sup>1</sup>200 W, <sup>2</sup>potencia no especificada, <sup>3</sup>potencia no especificada (intensidad aplicada 48 W L<sup>-1</sup>). <sup>4</sup>potencia no especificada (intensidad aplicada 52 W cm<sup>-2</sup>). <sup>5</sup>potencia no especificada

(intensidad aplicada 6,3 W L<sup>-1</sup>, 14,9 W L<sup>-1</sup>, 25,8 W L<sup>-1</sup>): Vino modelo<sup>A</sup>: solución hidroalcohólica (13,5% v/v), ácido acético, ácido láctico) Vino modelo<sup>B</sup>: etanol (12% v/v) y ácido tartárico.

### 4.3 Los compuestos volátiles

Se dice que un vino es la expresión de entre un 20 y 30 % del potencial de las bayas (Ribéreau-Gayon *et al.*, 1998), por lo que no es extraño que se desarrollen nuevas técnicas que optimicen la extracción de estos constituyentes químicos indispensables para la elaboración de vinos. Recientemente, se ha comprobado que aplicaciones ultrasónicas en bayas como en vinos terminados podrían mejorar la complejidad e intensidad aromática en los vinos, ya sea por el incremento de compuestos aromáticos o por la disminución sustancias neutralizadoras de aromas que aportan descriptores positivos en su personalidad (Cocito *et al.*, 1995; Roman *et al.*, 2020; Pozzati *et al.*, 2020; Zhang, Xu, Chen, Zhao & Hue, 2020).

En general, mejoras en las características aromáticas se atribuyen a una mayor liberación de contenido celular (Pozzati *et al.*, 2020) así como también la escisión de sustancias odorantes conjugadas por efecto cavitatorio (Roman *et al.*, 2020). A pesar de lo anterior, al mismo tiempo se ha registrado la pérdida de compuestos volátiles luego de tratamientos de ultrasonido. Se cree que la causa de aquello podría deberse a su interacción con especies radicalarias, o a la pérdida de sustancias volátiles por desgasificación al incrementar la temperatura del sistema ultrasónico (Lukić *et al.*, 2019; Roman *et al.*, 2020; Ruiz-Rodríguez *et al.*, 2019). No obstante, esta última puede ser controlada de manera que, el efecto cavitatorio es aislado del efecto de incrementos extremos de temperatura (Roman *et al.*, 2020; Pozzati *et al.*, 2020).

Se ha detectado que la evolución de los compuestos aromáticos, al igual que, la evolución de los compuestos fenólicos depende de las magnitudes de las variables del sistema ultrasónico. Un ejemplo concreto es el caso del uso de sonotrodos de diámetro pequeño (12,7 mm). Por un lado, los autores Ćurko *et al.*, (2017) señalan que en combinación de bajas amplitudes (120 W) y cortos tiempos de procesamiento (2 min) tienen consecuencias positivas sobre el aroma de los vinos (Cuadro 3.9). Mientras que, los autores Lukić *et al.*, (2019) indican que el mismo tipo de diámetro en un sistema de amplitudes altas o mayores tiempos de exposición disminuyen el contenido de compuestos volátiles a excepción del contenido de terpenos que disminuyen a diámetros mayores (25,4 mm).

Probablemente, los ésteres son una de las familias aromáticas más estudiadas durante las aplicaciones ultrasónicas. En vinos elaborados a partir del cultivar Marselan, se ha observado que el uso de ondas sonoras durante el proceso de maceración (40 kHz, 127 W, 25 °C, 30 min), además de aumentar su concentración y aportar aromas afrutados, también podrían disminuir la expresión de notas vegetales (alcoholes C6) (Pozzati *et al.*, 2020). Algunos factores críticos descritos por Ćurko *et al.*, (2017) en vinos tintos como Cabernet Sauvignon, Merlot y Plavac Mali, son aumentos en la amplitud (210 y 280 W) y tiempos de exposición (4 y 6 min) los que afectan principalmente a etil ésteres y ésteres de acetato (Cuadro 3.9). Mientras que, los autores Lukić *et al.*, (2019) señalan que altas temperaturas (40 y 60°C) y tiempos continuos de mayor escala (65 y 90 min) de igual manera disminuyen la concentración de ésteres en general, afectando al mismo tiempo los niveles de alcoholes superiores (Lukić *et al.*, 2019). Aparentemente, el efecto cavitatorio podría acelerar la tasa de degradación de alcoholes superiores en vinos (150 W, 30°C, 30 min)

(Cuadro 3.9) (Zhang *et al.*, 2020). Sin embargo, se sabe que, dependiendo del cultivar y técnicas enológicas utilizadas durante el proceso de maceración (Pozzati *et al.*, 2020) así como también las diferentes condiciones de tratamientos ultrasónicos, como, por ejemplo, la utilización de sondas de distinto diámetro (Ćurko *et al.*, 2017) podría observarse un fenómeno inverso.

Aplicaciones ultrasónicas durante la maceración de pieles y semillas en la variedad Marselan no han afectado el contenido de terpenos totales como linalool y (-)-mirtenol (Cuadro 3.3) (Pozzati *et al.*, 2020). No siendo así, bajo condiciones de fermentación alcohólica en la cual se ha constatado un aumento de terpenos, ésteres y alcoholes superiores (Cuadro 3.3) (Ruiz-Rodríguez *et al.*, 2016). Es posible que el ultrasonido acelere la síntesis de compuestos volátiles al aumentar de tamaño las levaduras, en consecuencia, de un mayor contenido de oxígeno disuelto en el mosto como también por una mayor pérdida de CO<sub>2</sub> por desgasificación (Lanchun *et al.*, 2003; Matsuura *et al.*, 1994). Asimismo dependiendo del equipo, tratamiento y volumen de las muestras, podrían existir zonas de baja presión y temperatura por ondas estacionarias producida por la intersección de ondas de igual frecuencia con direcciones opuestas, en las que las células solo experimenten modificaciones estructurales o rupturas en sus membranas (Chisti, 2003).

Potencialmente, además de aumentar la concentración de los principales grupos aromáticos mencionados anteriormente, el ultrasonido podría aumentar la concentración de compuestos que aportan notas sutiles como sensaciones a mantequilla (2,3-butadieno) y almendras (benzaldehído) del grupo carbonilos (Pozzati *et al.*, 2020). Del mismo modo, disminuye la concentración de tioles precursores y aumenta el número de tioles volátiles 3MH (1,3%) y 4 MMP (1,1%) durante mayores tiempos de exposición (3 y 5 min) (Cuadro 3.3) (Roman *et al.*, 2020).

**Cuadro 4.9** Efectos de aplicación de ultrasonidos de sonda y de baño sobre la composición aromática de vinos tintos y blancos

Material	Tratamiento						Efectos	Medición (días)	Referencias
	Frecuencia (kHz)	Amplitud (%)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Diámetro (mm)				
Cabernet Sauvignon	20	20, 30, 40 <sup>1</sup>	25	2, 4, 6	12, 7, 19		i. Variación en las concentraciones de 2-feniletanol en función del diámetro de las sondas 12,7 mm (5-39%), 19 mm (6-47%).	0	Curko et al., (2017)
Merlot	20	20, 30, 40 <sup>1</sup>	25	2, 4, 6	12, 7, 19		ii. Diferencias de incremento dietil succinato entre variedades CS 17-33%, M 11-34%, PM 25-40%.		
Plavac Mali	20	20, 30, 40 <sup>1</sup>	25	2, 4, 6	12, 7, 19				
Cabernet Sauvignon	37, 80	40, 60, 80 <sup>2</sup>	20, 40, 60	20, 50, 65, 90	N. A		i. Baños ultrasónicos, mayor tasa de degradación de compuestos aromáticos a combinaciones de amplitud con factor de tiempo o frecuencia alta/a.	0, 90, 210	Lukić et al., (2019)
	20	25, 50, 75 <sup>3</sup>	25	3, 6, 9	12, 7, 19, 1; 25, 4		ii. Ultrasonido de sonda, mayor tasa de degradación de compuestos aromáticos a combinaciones de puntas de menor diámetro con factor de tiempo o amplitud tiempo alta/a.		
Grasevina (Riesling itálico)	37, 80	40, 60, 80 <sup>2</sup>	20, 40, 60	20, 50, 65, 90	N. A		i. Disminución de cc de esteres totales y alcoholes superiores en condiciones extremas de baño ultrasónico (80 KHz, 60%, 60°C, 90 min) a diferencia de ácidos grasos totales y terpenos totales.	0, 90, 210	Lukić et al., (2020)
	20	25, 50, 75 <sup>3</sup>	25	3, 6, 9	12, 7, 19, 1; 25, 4		ii. Disminución de las cc de ácidos grasos totales y terpenos totales a mayor diámetro (19,1 mm), incrementos a 25, 4 mm.		
Vinos modelo	20	30 <sup>4</sup>	30	30	N. A		i. Disminución de alcoholes superiores (40,44%).	0	Zhang et al., (2020)
Cabernet Sauvignon							ii. Baja incidencia de concentraciones de etanol en la degradación de HA.		
							iii. Altas dosis de iones de hierro y cobre podrían limitar las tasas de degradación de HA a diferencia de bajas concentraciones.		
							iv. Manitol y ácido tartárico posible inhibidor de degradación de alcoholes superiores por ultrasonido.		

Cuadro elaborado por el autor a partir de información recopilada. N.A: no aplica. Potencia nominal de equipos ultrasónicos: <sup>1</sup> no especificado, <sup>2</sup> 380 W, <sup>3</sup> 700 W, <sup>4</sup> 500 W.

#### 4.4 El pH y la acidez total

En general, los autores Zhang *et al.*, (2016a) y Zhang *et al.*, (2016b), señalan nulas modificaciones de pH a causa de las variables ultrasónicas en distintos niveles de intensidad sobre un vino de la variedad Cabernet Sauvignon. Este hecho que también se constata sobre vinos de la variedad Monastrell, elaborados a partir de bayas cosechadas a 14°Brix, dos grados bajo lo habitual (Martínez-Pérez *et al.*, 2020). En lo que concierne a los niveles de acidez total, bajo condiciones de sonificación se presenta un patrón similar al pH. Por el contrario, incrementos de la variable de temperatura (> 20°C) producirían disminuciones en sus concentraciones debido a la disminución del total de ácidos volátiles. Es probable que variaciones considerables en la acidez total podrían aumentar el pH (Zhang *et al.*, 2016). Como se señaló con anterioridad, un desajuste de pH implica cambios en la estabilidad de vinos; en tanto que un desequilibrio de ácidos orgánicos distorsiona la percepción gustativa y olfativa. Por consiguiente, exposiciones ultrasónicas a temperatura elevadas (> 30°C) probablemente sea contraproducente en vinos de estilos ácidos y en vinos blancos con alto contenido residual de azúcares. Adicionalmente, aumentos de pH implicaría una mayor inversión de tecnología para mantener los vinos químicamente estables.

**Cuadro 4.10** Efecto de las aplicaciones ultrasónicas sobre el pH y la acidez titulable en vinos de Cabernet Sauvignon

Tratamientos				pH inicial	pH final	Acidez Titulable inicial	Acidez Titulable final
Frecuencia (kHz)	Potencia (W)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)				
45, 80, 100	300	20	20	3.40 ± 0.00	3.40 ± 0.01	6.16 ± 0.02	6.16 ± 0.02
100	120, 150, 180, 210, 240, 270, 300	20	20	3.40 ± 0.00	3.40 ± 0.01	6.16 ± 0.02	6.16 ± 0.02
100	300	20	20, 40, 60, 80, 100	3.40 ± 0.00	3.40 ± 0.01	6.16 ± 0.02	6.16 ± 0.02 6.10 ± 0.01
100	300	20, 30, 40, 50, 60	20	3.40 ± 0.00	3.40 ± 0.01	6.16 ± 0.02	6.16 ± 0.02

Cuadro elaborado con datos experimentales de estudios preliminares del efecto de las variables ultrasónicas de los autores Zhang *et al.*, (2016a) & Zhang *et al.*, (2016b).

#### 4.5 El grado alcohólico

Mayoritariamente, los objetivos de estudio de las aplicaciones ultrasónicas durante la elaboración de vinos se han concentrado en comprender los efectos sobre la composición fenólica, la composición aromática y la evolución de color, este último dirigido principalmente en vinos tintos. Por consiguiente, pocos estudios hacen mención directa sobre su alcance en las concentraciones de alcohol etílico a excepción de los investigadores Martínez *et al.*, (2020) que proponen el uso de ultrasonido como herramienta útil para la producción de vinos tintos de la variedad Monastrell con menor graduación alcohólica. A causa del cambio climático, el aumento de temperaturas y la disminución en los índices de precipitaciones, especialmente en zonas subtropicales, ha provocado un desbalance en la composición química de bayas. En ese sentido, no es raro observar en zonas climáticas frías una maduración incompleta, mientras que, en zonas climáticas más calurosas, un bajo contenido de polifenoles totales y un alto contenido de sólidos solubles, que más tarde significan una calidad cromática inferior y elevados niveles de alcohol (Mozell & Thachn, 2014). No

obstante, de acuerdo a lo señalado por Martínez-Pérez *et al.*, (2020), emplear equipos de ultrasonido de flujo constante como técnica complementaria durante procesos de maceración pre-fermentativa en cosechas tempranas o uvas de menor maduración (°Brix) despalladas y trituradas, no solo ayuda a reducir la concentración de alcoholes durante la producción de vinos, sino que también, este tendría la ventaja de conservar parámetros sensoriales como la intensidad de color y tonalidad en los vinos, además de incrementar notas aromáticas y sensación en boca a pesar de elaborarse con bayas de madurez fenólica inferior.

A la necesidad de controlar los altos niveles de etanol que pueden enmascarar sensaciones ligadas al gusto y el olfato, además de inhibir procesos como la fermentación alcohólica y maloláctica, se adhiere la nueva tendencia global de consumo de vinos con menor graduación alcohólica. De acuerdo a la agencia de investigación británica Wine Intelligence, enfocada en el análisis de consumo y el comportamiento de los consumidores de vino, esta nueva variante se correlaciona con el perfil de un consumidor más consciente y responsable con su persona y el medio ambiente, que al momento de comprar un vino toman en cuenta como factor extrínseco el contenido de alcohol (Atkin & Thach, 2012; Zhou, 2019).

El avance del cambio climático y los cambios en las preferencias de consumo promueven la exploración de nuevas regiones vitivinícolas junto a la incorporación de nuevas tecnologías físicas, químicas o biológicas que preserven o mejoren la calidad de un vino considerando los niveles de etanol y otros compuestos involucrados, como, por ejemplo, los fenoles (Mozell & Thachn, 2014).

## 5 CONCLUSIONES

De acuerdo a la información recopilada, la implementación de tecnología ultrasónica durante la elaboración de vinos puede modificar la composición química y atributos sensoriales de éstos, interviniendo desde etapas tempranas como la extracción de compuestos volátiles y no volátiles (procesos pre-fermentativos y fermentativos) hasta procesos más avanzados en vinos terminados o en vinos destinados a crianza.

Se señala como principales responsables de la mejora en los atributos sensoriales la formación de radicales libres gatillados por la oxidación de moléculas, como también, el daño celular del impacto de implosión de micro-burbujas por cavitación. De esta manera, se puede conseguir una aceleración en la tasa de formación de nuevos pigmentos a la par de aromas más complejos e intensos.

A pesar de los estudios publicados a la fecha, no ha sido posible descifrar en su totalidad los patrones de comportamientos del ultrasonido en vinos, por lo que este tipo de estudios debieran continuar. Idealmente, se sugiere la posibilidad de construir modelos de predicción de comportamiento y evolución de los tratamientos de ultrasonidos que consideren aspectos varietales, de composición química y de aplicación de ultrasonido, de forma de limitar la variabilidad de resultados observados a la fecha.

Por último, pero no menos importante el uso de esta nueva tecnología podría contribuir a modificar los procesos fermentativos, la estabilidad química de vinos y el control de microorganismos, además de contribuir de una economía circular más sustentable, recuperando y revalorizando desechos vitícolas como es el caso de los compuestos fenólicos desde las pieles y semillas y barricas de descarte.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amer, M. A., Novoa-Díaz, D., Chávez, J. A., Turó, A., García-Hernández, M. J., & Salazar, J. (2015a). Temperature compensation of ultrasonic velocity during the malolactic fermentation process. *Measurement Science and Technology*, 26(12). <https://doi.org/10.1088/0957-0233/26/12/125602>
- Amer, M. A., Novoa-Díaz, D., Puig-Pujol, A., Capdevila, J., Chávez, J. A., Turó, A., García-Hernández, M. J., & Salazar, J. (2015b). Ultrasonic velocity of water-ethanol-malic acid-lactic acid mixtures during the malolactic fermentation process. *Journal of Food Engineering*, 149, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.042>
- Ashokkumar, M., Lee, J., Iida, Y., Yasui, K., Kozuka, T., Tuziuti, T., & Towata, A. (2010). Spatial distribution of acoustic cavitation bubbles at different ultrasound frequencies. *ChemPhysChem*, 11(8), 1680–1684. <https://doi.org/10.1002/cphc.200901037>
- Atkin, T., & Thach, L. (2012). Millennial wine consumers: Risk perception and information search. *Wine Economics and Policy*, 1(1), 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.wep.2012.08.002>
- Bachtler, S., & Bart, H. J. (2018). Polyphenols from red vine leaves using alternative processing techniques. *Processes*, 6(12). <https://doi.org/10.3390/pr6120262>
- Bartowsky, E. J. (2009). Bacterial spoilage of wine and approaches to minimize it. *Letters in Applied Microbiology*, 48(2), 149–156. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2008.02505.x>
- Bhaskaracharya, R. K., Kentish, S., & Ashokkumar, M. (2009). Selected applications of ultrasonics in food processing. *Food Engineering Reviews*, 1(1), 31–49. <https://doi.org/10.1007/s12393-009-9003-7>
- Boulton, R.B., Singleton, V.L., Bisson, L.F., & Kunkee, R.E. (1995). *Teoría y práctica de la elaboración del vino* (pp. 45-50, 91-95). Zaragoza, España: Editorial ACRIBIA S.A.
- Brotchie, A., Grieser, F., & Ashokkumar, M. (2009). Effect of Power and Frequency on Bubble-Size Distributions in Acoustic Cavitation. 084302(February), 1–4. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.102.084302>
- Cacciola, V., Batllò, I. F., Ferraretto, P., Vincenzi, S., & Celotti, E. (2013). Study of the ultrasound effects on yeast lees lysis in winemaking. *European Food Research and Technology*, 236(2), 311–317. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1893-6>
- Cameleyre, M., Lytra, G., Tempere, S., & Barbe, J. (2015). Olfactory Impact of Higher Alcohols on Red Wine Fruity Ester Aroma Expression in Model Solution. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03489>
- Çelik, D. A., Amer, M. A., Novoa-Díaz, D. F., Chávez, J. A., Turó, A., García-Hernández, M. J., & Salazar, J. (2018). Design and implementation of an ultrasonic sensor for rapid monitoring of industrial malolactic

fermentation of wines. *Instrumentation Science and Technology*, 46(4), 387–407. <https://doi.org/10.1080/10739149.2017.1394878>

Celotti, E., Stante, S., Ferraretto, P., Nicolini, G., & Natolino, A. (2020). High Power Ultrasound Treatments of Red Young Wines: Effect on Anthocyanins and Phenolic Stability Indices.

Chemat, F., Zill-E-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>

Chidi, B. S., Bauer, F. F., & Rossouw, D. (2018). Organic acid metabolism and the impact of fermentation practices on wine acidity - A review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 39(2), 315–329. <https://doi.org/10.21548/39-2-3172>

Chisti, Y. (2003). Sonobioreactors: Using ultrasound for enhanced microbial productivity. *Trends in Biotechnology*, 21(2), 89–93. [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(02\)00033-1](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(02)00033-1)

Comarella, C. G., Sautter, C. K., Dossin, M. F., & Penna, N. G. (2018). Ultrasound in the postharvest treatment of grapes: Impact on the extractability and phenolic composition of juice and wine. *Semina: Ciencias Agrarias*, 39(1), 143–156. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n1p143>

Crum, L. A. (1984). Rectified diffusion. *Acoustic Cavitation Series: Part Five, September*, 215–223.

Ćurko, N., Kelsin, K., Rezek Jambrak, A., Tomasevic, M., Gracin, L., Poturica, V., Ruzman, E., & Kovacevic Ganic, K. (2017). The effect of high power ultrasound on phenolic composition, chromatic characteristics, and aroma compounds of red wines. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 9(2), 136–144. <https://doi.org/10.17508/cjfst.2017.9.2.08>

Del Álamo Sanza, M., & Domínguez, I. N. (2012). " Tanto los vinos blancos como los tintos pueden consumir oxígeno en tasas similares": Entrevista a Roger B. Boulton. *ACE: Revista de enología*, (131), 4. Recuperado en <[http://www.acenologia.com/enfoques/roger\\_boulton\\_enf0612\\_esp.htm](http://www.acenologia.com/enfoques/roger_boulton_enf0612_esp.htm)>. Consultado el día 9 de abril de 2021

Del Fresno, J. M., Morata, A., Escott, C., Loira, I., Cuerda, R., & Suárez-Lepe, J. A. (2019). Sonication of yeast biomasses to improve the ageing on lees technique in red wines. *Molecules*, 24(3). <https://doi.org/10.3390/molecules24030635>

De-La-Fuente-Blanco, A., Sáenz-Navajas, M. P., & Ferreira, V. (2016). On the effects of higher alcohols on red wine aroma. *Food Chemistry*, 210, 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.021>

Delgado, J. O. Application of Ultrasound in the Food Industry. Recuperado en <<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1098>>. Consultado el

día 6 de diciembre de 2020.

Dhanalakshmi, N. P., & Nagarajan, R. (2011). Ultrasonic Intensification of the Chemical Degradation of Methyl Violet: An experimental Study. *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, 5(11), 1019–1024.

Drosou, C., Kyriakopoulou, K., Bimpilas, A., Tsimogiannis, D., & Krokida, M. (2015). A comparative study on different extraction techniques to recover red grape pomace polyphenols from vinification byproducts. *Industrial Crops and Products*, 75, 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.063>

El Darra, N., Grimi, N., Maroun, R. G., Louka, N., & Vorobiev, E. (2013). Pulsed electric field, ultrasound, and thermal pretreatments for better phenolic extraction during red fermentation. *European Food Research and Technology*, 236(1), 47–56. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1858-9>

Elvira, L., Vera, P., Cañadas, F. J., Shukla, S. K., & Montero, F. (2016). Concentration measurement of yeast suspensions using high frequency ultrasound backscattering. *Ultrasonics*, 64, 151–161. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2015.08.009>

Favre, G., González-Neves, G., Piccardo, D., Gómez-Alonso, S., Pérez-Navarro, J., & Hermosín-Gutiérrez, I. (2018). New acylated flavonols identified in *Vitis vinifera* grapes and wines. *Food Research International*, 112(May), 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.019>

Ferraretto, P., & Celotti, E. (2016). Preliminary study of the effects of ultrasound on red wine polyphenols. *CYTA - Journal of Food*, 14(4), 529–535. <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1149520>

Ferraretto, P., Cacciola, V., Ferran Batlló, I., & Celotti, E. (2013). Ultrasounds application in winemaking: Grape maceration and yeast lysis. *Italian Journal of Food Science*, 25(2), 160–168.

Forino, M., Gambuti, A., Luciano, P., & Moio, L. (2019). Malvidin-3- O-glucoside Chemical Behavior in the Wine pH Range. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(4), 1222–1229. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05895>

Forino, M., Picariello, L., Rinaldi, A., Moio, L., & Gambuti, A. (2020). How must pH affects the level of red wine phenols. *Lwt*, 129(May), 109546. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109546>

Fu, X. Z., Zhang, Q. A., Zhang, B. S., & Liu, P. (2018). Effect of ultrasound on the production of xanthylum cation pigments in a model wine. *Food Chemistry*, 268(June), 431–440. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.120>

Gambacorta, G., Trani, A., Punzi, R., Fasciano, C., Leo, R., Fracchiolla, G., & Faccia, M. (2017). Impact of ultrasounds on the extraction of polyphenols during winemaking of red grapes cultivars from southern Italy. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 43(July), 54–59.

<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.029>

García Martín, J. F., Guillemet, L., Feng, C., & Sun, D. W. (2013). Cell viability and proteins release during ultrasound-assisted yeast lysis of light lees in model wine. *Food Chemistry*, *141*(2), 934–939. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.081>

Gerardi, C., D'amico, L., Migoni, D., Santino, A., Salomone, A., Carluccio, M. A., & Giovinazzo, G. (2020). Strategies for Reuse of Skins Separated From Grape Pomace as Ingredient of Functional Beverages. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *8*(June), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00645>

Goula, A. M., Thymiatis, K., & Kaderides, K. (2016). Valorization of grape pomace: Drying behavior and ultrasound extraction of phenolics. *Food and Bioproducts Processing*, *100*, 132–144. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.016>

Gracin, L., Jambrak, A. R., Juretić, H., Dobrović, S., Barukčić, I., Grozdanović, M., & Smoljanić, G. (2016). Influence of high power ultrasound on *Brettanomyces* and lactic acid bacteria in wine in continuous flow treatment. *Applied Acoustics*, *103*, 143–147. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.05.005>

Gutiérrez, I. H. (2007). Copigmentación y piranoantocianos: el papel de los flavonoles y los ácidos hidroxicinámicos en el color del vino tinto. ACE: Revista de enología, (81), 2. Recuperado en: <[http://www.acenologia.com/ciencia81\\_2.htm](http://www.acenologia.com/ciencia81_2.htm)>. Consultado el día 8 de abril de 2021

Gutiérrez-Escobar, R., Aliaño-González, M. J., & Cantos-Villar, E. (2021). Wine Polyphenol Content and Its Influence on Wine Quality and Properties: A Review. *Molecules (Basel, Switzerland)*, *26*(3). <https://doi.org/10.3390/molecules26030718>

Lamberti, N., Ardia, L., Albanese, D., & Di Matteo, M. (2009). An ultrasound technique for monitoring the alcoholic wine fermentation. *Ultrasonics*, *49*(1), 94–97. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2008.06.003>

Lanchun, S., Bochu, W., Zhiming, L., Chuanren, D., Chuanyun, D., & Sakanishi, A. (2003). The research into the influence of low-intensity ultrasonic on the growth of *S. cerevisiae*s. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *30*(1–2), 43–49. [https://doi.org/10.1016/S0927-7765\(03\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0927-7765(03)00023-7)

Leong, T., Ashokkumar, M., & Kentish, S. (2011). The fundamentals of power ultrasound-A review. [En línea] Recuperado en: <[https://minerva-access.unimelb.edu.au/bitstream/handle/11343/123494/Leong\\_ASA.pdf?sequence=1](https://minerva-access.unimelb.edu.au/bitstream/handle/11343/123494/Leong_ASA.pdf?sequence=1)>. Consultado el día 21 de junio de 2019.

Lerm, E., & Engelbrecht, L. (2010). Malolactic Fermentation: The ABC's of MLF. *S. Afr. J. Enol. Vitic*, *31*(2), 186–212. [http://www.sasev.org/journal-sajev/sajev-articles/volume-31-2/Lerm et al pp 186 to 212.pdf](http://www.sasev.org/journal-sajev/sajev-articles/volume-31-2/Lerm%20et%20al%20pp%20186%20to%20212.pdf)

Lukić, K., Brnčić, M., Ćurko, N., Tomašević, M., Jurinjak Tušek, A., & Kovačević Ganić, K. (2020). Quality

characteristics of white wine: The short- and long-term impact of high power ultrasound processing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 68, 105194. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105194>

Lukić, K., Brnčić, M., Ćurko, N., Tomašević, M., Valinger, D., Denoya, G. I., Barba, F. J., & Ganić, K. K. (2019). Effects of high power ultrasound treatments on the phenolic, chromatic and aroma composition of young and aged red wine. *Ultrasonics Sonochemistry*, 59(August). <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104725>

Luo, H., Schmid, F., Grbin, P. R., & Jiranek, V. (2012). Viability of common wine spoilage organisms after exposure to high power ultrasonics. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19(3), 415–420. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.06.009>

Luo, H., Schmid, F., Grbin, P. R., & Jiranek, V. (2012). Viability of common wine spoilage organisms after exposure to high power ultrasonics. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19(3), 415–420. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.06.009>

Marín, F. Z. (2013). La química del color del vino. *ACE: Revista de enología*, (140), 2

Martínez-Pérez, M. P., Bautista-Ortín, A. B., Pérez-Porras, P., Jurado, R., & Gómez-Plaza, E. (2020). A new approach to the reduction of alcohol content in red wines: The use of high-power ultrasounds. *Foods*, 9(6), 1–17. <https://doi.org/10.3390/FOODS9060726>

Mason, T. J., Lorimer, J. P., & Bates, D. M. (1992). Quantifying sonochemistry: on a 'black art.' *Ultrasonics*, 30(1), 40–42.

Matsuura, K., Hirotsune, M., Nunokawa, Y., Satoh, M., & Honda, K. (1994). Acceleration of cell growth and ester formation by ultrasonic wave irradiation. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 77(1), 36–40. [https://doi.org/10.1016/0922-338X\(94\)90205-4](https://doi.org/10.1016/0922-338X(94)90205-4)

McClements, D. J. (1995). Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science and Technology*, 6(9), 293–299. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)89139-6](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)89139-6)

Mendes-Ferreira, A., Barbosa, C., Lage, P., & Mendes-Faia, A. (2011). the Impact of Nitrogen on Yeast Fermentation and Wine Quality Impacto Do Azoto Na Actividade Fermentativa Das Leveduras E Na Qualidade Do Vinho. *Ciência Téc. Vitiv*, 26(1), 17–32. <http://www.scielo.mec.pt/pdf/ctv/v26n1/v26n1a03.pdf>

Ministerio de Agricultura. (31 de octubre de 1985). Artículo 36 [Título VI]. Ley que fija normas de Producción, Elaboración y Comercialización de Alcoholes etílicos, Bebidas alcohólicas y Vinagres. Ley 18.455. Recuperado en <<http://bcn.cl/2k1ep>>. Consultado el día 28 de marzo de 2021

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.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.014>

Mozell, M. R., & Thachn, L. (2014). The impact of climate change on the global wine industry: Challenges & solutions. *Wine Economics and Policy*, 3(2), 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.wep.2014.08.001>

Nascentes, C. C., Korn, M., Sousa, C. S., & Arruda, M. A. Z. (2001). Use of Ultrasonic Baths for Analytical Applications: A New Approach for Optimisation Conditions. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 12(1), 57–63. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532001000100008>

Novoa-Díaz, D., Rodríguez-Nogales, J. M., Fernández-Fernández, E., Vila-Crespo, J., García-Álvarez, J., Amer, M. A., Chávez, J. A., Turó, A., García-Hernández, M. J., & Salazar, J. (2014). Ultrasonic monitoring of malolactic fermentation in red wines. *Ultrasonics*, 54(6), 1575–1580. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultras.2014.04.004>

OIV. (2019). *Oiv-oeno 616-2019*.

Ojha, K. S., Mason, T. J., O'Donnell, C. P., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. (2017). Ultrasound technology for food fermentation applications. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 410–417. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.001>

Peña-Neira, A. (2006) Los taninos y su importancia en la calidad de uvas y vinos. Grupo de Investigación Enológica (GIE), Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de Chile Recuperado en: <<http://www.gie.uchile.cl/publicaciones/index.html>> Consultado el: 1 de marzo de 2021

Pinto, L., Baruzzi, F., Cocolin, L., & Malfeito-Ferreira, M. (2020). Emerging technologies to control *Brettanomyces* spp. in wine: Recent advances and future trends. *Trends in Food Science and Technology*, 99(March), 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.013>

Plaza, E. G., Jurado, R., Iniesta, J. A., & Bautista-Ortín, A. B. (2019). High power ultrasounds: A powerful, non-thermal and green technique for improving the phenolic extraction from grapes to must during red wine vinification. *BIO Web of Conferences*, 12, 02001. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191202001>

Porter, G. W., Lewis, A., Barnes, M., & Williams, R. (2011). Evaluation of high power ultrasound porous cleaning efficacy in American oak wine barrels using X-ray tomography. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12(4), 509–514. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.06.007>

Pozo-Bayón, M. Á., Martínez-Rodríguez, A., Pueyo, E., & Moreno-Arribas, M. V. (2009). Chemical and biochemical features involved in sparkling wine production: from a traditional to an improved winemaking technology. *Trends in Food Science & Technology*, 20(6), 289–299. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.03.011>

- Radel, S., McLoughlin, A. J., Gherardini, L., Doblhoff-Dier, O., & Benes, E. (2000). Viability of yeast cells in well controlled propagating and standing ultrasonic plane waves. *Ultrasonics*, 38(1), 633–637. [https://doi.org/10.1016/S0041-624X\(99\)00211-5](https://doi.org/10.1016/S0041-624X(99)00211-5)
- Rapp, A., & Versini, G. (1995). Influence of nitrogen compounds in grapes on aroma compounds of wines. *Developments in Food Science*, 37(C), 1659–1694. [https://doi.org/10.1016/S0167-4501\(06\)80257-8](https://doi.org/10.1016/S0167-4501(06)80257-8)
- Resa, P., Elvira, L., Montero De Espinosa, F., & Gómez-Ullate, Y. (2005). Ultrasonic velocity in water-ethanol-sucrose mixtures during alcoholic fermentation. *Ultrasonics*, 43(4), 247–252. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2004.06.005>
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., & Lonvaud, A. (2003). *Tratado de enología: microbiología del vino vinificaciones* (1a ed., pp. 91-98). Buenos Aires, Argentina: Editorial Hemisferio Sur & Ediciones Mundi Prensa.
- Romero-Díez, R., Matos, M., Rodrigues, L., Bronze, M. R., Rodríguez-Rojo, S., Cocero, M. J., & Matias, A. A. (2019). Microwave and ultrasound pre-treatments to enhance anthocyanins extraction from different wine lees. *Food Chemistry*, 272(April 2018), 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.016>
- Ruiz-Rodríguez, A., Carrera, C., Palma Lovillo, M., & García Barroso, C. (2019). Ultrasonic treatments during the alcoholic fermentation of red wines: Effects on “Syrah” wines. *Vitis - Journal of Grapevine Research*, 58(83), 83–88. <https://doi.org/10.5073/vitis.2019.58.special-issue.83-88>
- Sanz, R., Battu, S., Puignou, L., Galceran, M. T., & Cardot, P. J. P. (2003). Sonication effect on cellular material in sedimentation and gravitational field flow fractionation. *Journal of Chromatography A*, 1002(1–2), 145–154. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(03\)00643-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(03)00643-5)
- Stadler, E., & Fischer, U. (2020). Sanitization of Oak Barrels for Wine - A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(19), 5283–5295. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00816>
- Sunartio, D., Ashokkumar, M., & Grieser, F. (2007). *Study of the Coalescence of Acoustic Bubbles as a Function of Frequency, Power, and Water-Soluble Additives*. 22, 6031–6036.
- Suslick, K. S. (1989). The Chemical Effects of Ultrasound. *Scientific American*, 260(2), 80–86. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0289-80>
- Swiegers, J. H., Bartowsky, E. J., Henschke, P. A., & Pretorius, I. S. (2005). Yeast and bacterial modulation of wine aroma and flavour. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11(2), 139–173. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2005.tb00285.x>
- Tacchini, M., Burlini, I., Maresca, I., Grandini, A., Bernardi, T., Guerrini, A., Lerin, L., & Sacchetti, G. (2019). Polyphenols from vitis vinifera lambrusco by-products (Leaves from Pruning): Extraction parameters

evaluation through design of experiment. *Natural Product Communications*, 14(7). <https://doi.org/10.1177/1934578X19862906>

Tao, Y. S., Zhang, Z., & Sun, D. W. (2014a). Experimental and modeling studies of ultrasound-assisted release of phenolics from oak chips into model wine. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(5), 1839–1848. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.03.016>

Tao, Y., Wu, D., Zhang, Q. A., & Sun, D. W. (2014c). Ultrasound-assisted extraction of phenolics from wine lees: Modeling, optimization and stability of extracts during storage. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(2), 706–715. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.09.005>

Tao, Yang, García, J. F., & Sun, D. W. (2014b). 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. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.609949>

Tomaz, I., Maslov, L., Stupic, D., Preiner, D., Ašperger, D., & Karoglan Kontic, J. (2016). Multi-response optimisation of ultrasound-assisted extraction for recovery of flavonoids from red grape skins using response surface methodology. *Phytochemical Analysis*, 27(1), 13–22. <https://doi.org/10.1002/pca.2582>

Tuziuti, T., Yasui, K., Lee, J., Kozuka, T., Towata, A., & Iida, Y. (2008). Mechanism of enhancement of sonochemical-reaction efficiency by pulsed ultrasound. *Journal of Physical Chemistry A*, 112(22), 4875–4878. <https://doi.org/10.1021/jp802640x>

Van Sint Jan, M., Guarini, M., Guesalaga, A., Ricardo Pérez-Correa, J., & Vargas, Y. (2008). Ultrasound based measurements of sugar and ethanol concentrations in hydroalcoholic solutions. *Food Control*, 19(1), 31–35. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2006.11.009>

Vatandas, M., Koc, A. B., & Koc, C. (2007). Ultrasonic velocity measurements in ethanol-water and methanol-water mixtures. *European Food Research and Technology*, 225(3–4), 525–532. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0448-0>

Vitis, D. E., Blanc, L. S., La, D., Walteros, I. Y., Molano, D. C., & Almanza-merchán, P. J. (2012). *MADURACIÓN EFFECT OF PRUNING ON FRUIT QUALITY OF Vitis vinifera L . SAUVIGNON BLANC DURING MATURATION.*

Waterhouse, A. L., & Laurie, V. F. (2006). Oxidation of wine phenolics: A critical evaluation and hypotheses. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(3), 306-313.

Waterhouse, A. L., Sacks, G. L., & Jeffery, D. W. (2016). *Understanding wine chemistry*. John Wiley & Sons. (pp. 278-293). <https://doi.org/10.1002/9781118730720.ch24>

Wood, R. J., Lee, J., & Bussemaker, M. J. (2017). A parametric review of sonochemistry: Control and

augmentation of sonochemical activity in aqueous solutions. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38, 351–370. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.03.030>

Xu, B. W., Shen, Y., Zhang, Q. A., Zhao, W. Q., & Yi, X. (2019). Effect of ultrasound irradiation on the particle size distribution and rheological properties of red wine. *CYTA - Journal of Food*, 17(1), 180–188. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1569167>

Yan, Y. Y., Zhang, Q. A., Li, E. C., & Zhang, Y. F. (2017). Ions in wine and their relation to electrical conductivity under ultrasound irradiation. *Journal of AOAC International*, 100(5), 1516–1523. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.17-0024>

Zhang, Q. A., & Wang, T. T. (2017). Effect of ultrasound irradiation on the evolution of color properties and major phenolic compounds in wine during storage. *Food Chemistry*, 234, 372–380. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.022>

Zhang, Q. A., Shen, Y., Fan, X. H., & García Martín, J. F. (2016a). Preliminary study of the effect of ultrasound on physicochemical properties of red wine a. *CYTA - Journal of Food*, 14(1), 55–64. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1045036>

Zhang, Q. A., Shen, Y., Fan, X. H., Martín, J. F. G., Wang, X., & Song, Y. (2015). Free radical generation induced by ultrasound in red wine and model wine: An EPR spin-trapping study. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 96–101. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.05.003>

Zhang, Q. A., Shen, Y., Fan, X. H., Yan, Y. Y., & García Martín, J. F. (2016b). Online monitoring of electrical conductivity of wine induced by ultrasound b. *CYTA - Journal of Food*, 14(3), 496–501. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1111423>

Zhou, C. (2019, 19 de febrero). Global trends in wine: The who, what and how. Wine intelligence. Recuperado en <<https://www.wineintelligence.com/global-trends-in-wine-the-who-what-and-how/>>. Consultado el día 20 de febrero de 2021

## 7 ANEXOS

**Cuadro 7.1 Otras alternativas de uso potencial de ultrasonido en la industria vitivinícola**

N°	Tratamiento	Fundamento	Referencias
i	Recuperación de compuestos bioactivos: a) Hojas de vid b) Escobajos c) Orujos d) Lías e) Otros desechos	Tomando ventaja de la erosión superficial de superficies o tejidos vegetales, se puede optimizar la recuperación de compuestos como fenóles, fibras (solubles e insolubles), grasas insaturadas, esteroles y vitaminas, desde las películas de las bayas o desde sus semillas. Aplicar ondas sonoras para la recuperación de compuestos bioactivos podría mejorar la estabilidad debido al uso de bajas temperaturas. Del mismo modo, la recuperación de compuestos de interés industrial y farmacológico, podría disminuir el impacto ambiental de la manufactura de vinos en términos de energía eléctrica y el uso de solventes químicos.	Bachtler & Bart, (2018); Carrera <i>et al.</i> , (2012); Drosou <i>et al.</i> , (2015); Gerardi <i>et al.</i> , (2020); Goula <i>et al.</i> , (2016); Tacchini <i>et al.</i> , (2019); Tomaz <i>et al.</i> , (2016)
ii	Seguimiento en tiempo real de: a) Fermentación alcohólica b) Fermentación maloláctica c) Estabilidad química d) Poblaciones de levaduras	A diferencia de los mecanismos descritos anteriormente, el uso de ultrasonido como herramienta analítica se desempeña a frecuencias >1 MHz e intensidades <1 W cm <sup>-2</sup> , por lo que la integridad de los compuestos en procesos de conversión no es comprometida por efecto cavitatorio. La caracterización o cuantificación analíticas de alimentos correlaciona la densidad y velocidad de propagación de una onda sonora con una frecuencia determinada en un soluto como, por ejemplo, sacarosa, etanol, ácido málico o ácido láctico. Se ha comprobado que el ácido málico es directamente proporcional en soluciones hidroalcohólicas e inversamente en el caso de soluciones acuosas, de igual manera, la velocidad de propagación del ácido láctico evidencia una relación directamente proporcional a su densidad en soluciones acuosas como hidroalcohólicas. Se cree que la implementación de más de una frecuencia, con un alto número de oscilaciones de diferencia entre sí podría permitir la determinación de tasas de conversión de procesos químicos como es el caso de fermentaciones.	Amer <i>et al.</i> , (2015a); Amer <i>et al.</i> , (2015b); Çelik <i>et al.</i> , (2018); Elvira <i>et al.</i> , (2016) Lambert <i>et al.</i> , (2009); Resa <i>et al.</i> , (2005); Van Sint Jan <i>et al.</i> , (2008); Valandas <i>et al.</i> , (2007); Novoa-Díaz <i>et al.</i> , (2014); Zhang <i>et al.</i> , (2016a); Zhang <i>et al.</i> , (2016b)
iii	Control microbiológico a) Hongos b) Bacterias	Se ha reportado ser un método eficiente para la inactivación de microorganismos como <i>Lactobacillus</i> sp y <i>Brettanomyces</i> presentes en el vino, invitando la pérdida de calidad del perfil sensorial de un vino. A diferencia de algunas técnicas tradicionales, el uso de ondas sonoras debe su eficacia a un mecanismo físico, que en un futuro podría contribuir a limitar el uso de preservantes de origen químico. No obstante, se debe tener en cuenta la posibilidad de la formación de aromas a oxidación y una erosión en los poros de la madera.	Bartowsky, (2009); Gracin <i>et al.</i> , 2016; Luo <i>et al.</i> , (2012); Morata <i>et al.</i> , (2017); Pinto <i>et al.</i> , (2020); Porter <i>et al.</i> , (2011); Stadler & Fischer, (2020)