

Estudio del envejecimiento acelerado del aroma, el color y los parámetros fisicoquímicos de vinos Tannat

Study of the accelerated aging on aroma, color and physicochemical parameters of Tannat wines

Estudo do envelhecimento acelerado no aroma, cor e parâmetros físico-químicos de vinhos Tannat

 **BRUNO GALEAZZI** (1)

 **EDUARDO BOIDO** (1)

 **SANTIAGO JORCIN** (2)

 **TOMÁS LÓPEZ** (2)

 **EDUARDO DELLACASSA** (3)

 **LAURA FARIÑA** (1)

(1) Área de Enología y Biotecnología de las Fermentaciones, Facultad de Química, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

(2) Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Facultad de Química, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

(3) Laboratorio de Biotecnología de Aromas, Facultad de Química, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

RECIBIDO: 16/11/2021 → APROBADO: 23/5/2022 ✉ Ifarina@fq.edu.uy

RESUMEN

En este trabajo se evaluaron diferentes técnicas para lograr un envejecimiento acelerado del vino: ultrasonido (US), radiaciones gamma (RG) y altas presiones (AP). Las condiciones experimentales para cada tratamiento fueron: US, se aplicaron secuencias de 30 y 60 minutos a 20 kHz; RG, se analizaron tres dosis (1, 3 y 6 kGy); AP, se sometieron las muestras a una presión constante de 650 MPa variando el tiempo de aplicación (15, 30, 60 y 120 minutos). Los vinos fueron caracterizados por sus parámetros fisicoquímicos básicos, su perfil volátil (GC-MS) y el análisis de color (CIELAB). Se utilizó como testigo el mismo vino sin tratar. Los resultados mostraron que el tratamiento de US no produjo diferencias significativas respecto al control en ninguna de las condiciones ensayadas. Aplicando AP se obtuvieron diferencias significativas respecto al control en el color (disminución de todos los parámetros cromáticos) y en el contenido de compuestos volátiles (aumento del contenido de terpenos y ésteres). El tratamiento GR produjo los mayores cambios respecto al vino control, con un incremento

de todos los parámetros cromáticos al aumentar la dosis de radiación. Mientras que en el perfil volátil se observó un aumento del contenido de 3-oxo- α -ionol, ho-diol y lactato de etilo, todos cambios deseables durante el envejecimiento natural.

Palabras clave: *Vitis vinifera*, añejamiento, ultrasonido, radiación gamma, altas presiones.

ABSTRACT

In this work, different techniques were evaluated to achieve accelerated aging of the wine: ultrasound (US), gamma irradiation (RG) and high pressure (AP). The experimental conditions for each treatment were as follows: US, sequences of 30 and 60 minutes at 20 kHz; RG, three doses were analyzed (1, 3 and 6 kGy); for AP a constant pressure of 650 MPa was applied varying the application time (15, 30, 60 and 120 minutes). The wines were characterized by their basic physicochemical characteristics, their volatile profile (GC-MS) and color analysis (CIELAB). The same wine but without any treatment was used as a control. The results obtained showed that US treatment did not produce significant differences with respect to the control for all the conditions tested. For AP, significant differences were obtained with respect to the control in color (decrease in all the chromatic parameters) and content of volatile compounds (increase in the terpenes and esters contents). The GR treatment produced the greatest changes with respect to the control wine, with an increase in all the chromatic parameters with increasing radiation dose. The volatile profile showed an increase in 3-oxo- α -ionol, ho-diol and ethyl lactate content, all desirable changes during natural ageing.

Keywords: *Vitis vinifera*, maturation, ultrasound, gamma irradiation, high pressure.

RESUMO

Neste trabalho, foram avaliadas diferentes técnicas para conseguir um envelhecimento acelerado do vinho: ultra-som (US), radiação gama (GR) e alta pressão (HP). As condições experimentais para cada tratamento foram: US, sequências de 30 e 60 minutos a 20 kHz; RG, foram analisadas três doses (1, 3 e 6 kGy); para AP, foi aplicada uma pressão constante de 650 MPa variando o tempo de aplicação (15, 30, 60 e 120 minutos). Os vinhos caracterizavam-se por características físicoquímicas básicas, perfil volátil (GC-MS) e análise de cor (CIELAB). O mesmo vinho não tratado foi utilizado como controlo. Os resultados mostraram que o tratamento dos EUA não produziu diferenças significativas no que diz respeito ao controlo em nenhuma das condições testadas. Quando o AP foi aplicado, foram obtidas diferenças significativas em relação ao controlo em cor (diminuição em todos os parâmetros de cor) e conteúdo de compostos voláteis (aumento em terpenos e ésteres). O tratamento GR produziu as maiores alterações em relação ao vinho de controlo, com um aumento de todos os parâmetros cromáticos, uma vez que a dose de radiação foi aumentada. Enquanto no perfil volátil, foi observado um aumento no teor de 3-oxo- α -ionol, ho-diol e lactato de etilo; todas alterações desejáveis durante o envelhecimento natural.

Palavras-chave: *Vitis vinifera*, maturação, ultra-som, radiação gama e alta pressão.

INTRODUCCIÓN

La vitivinicultura uruguaya realizó una transformación en la década de 1990, enfocando la producción hacia vinos finos de la variedad *Vitis vinifera* cv Tannat. Aunque es originaria de Francia, actualmente no es cultivada en gran proporción en Europa. Sin embargo, en Uruguay su cultivo ocupa casi el 25% de la superficie total de viñedos (Fariña, et al., 2021a; de Frutos y Beretta, 1999). Con esta variedad se elaboran vinos que en general se destinan a su envejecimiento. El proceso de envejecimiento de un vino comprende una combinación de etapas que comienza con la maduración en barricas de roble y termina en la botella. Durante este proceso se producen muchos cambios en la composición del vino que se ven reflejados en el desarrollo del color, aroma y sabor. La evolución del color, especialmente en los vinos tintos, representa un papel clave durante el proceso de envejecimiento (Boido, et al., 2006).

Aunque es un proceso muy variable dependiendo del estilo del vino y de quien lo elabora, en algunos casos se realiza la fermentación maloláctica en barricas de roble y se continúa en este recipiente un tiempo prolongado, mientras que en otras ocasiones solo se somete a un proceso de envejecimiento en la botella (sin maduración previa en barricas de roble) (Fariña, et al., 2021a).

La principal desventaja del envejecimiento del vino es el tiempo que requiere. Se trata de un proceso de largo plazo, y alto costo, que a veces es incompatible con los requisitos de los consumidores. En los últimos años se ha popularizado el uso de nuevas técnicas para el envejecimiento de bebidas fermentadas y el vino como una alternativa al envejecimiento natural (García Martín y Sun, 2013). Se han aplicado diferentes tecnologías físicas como ultrasonido (Lukić, et al., 2020), radiación gamma (Chang, 2003) y alta presión (Tao, et al., 2014) para acelerar el proceso de envejecimiento y acortar el ciclo de producción del vino.

Ultrasonido

El ultrasonido es una herramienta bien conocida y probada para la extracción de material vegetal intracelular y compuestos aromáticos (Martínez Lapuente, 2021; Raichel, 2000; Mason, 1998). El efecto mecánico del ultrasonido consiste en facilitar la difusión de solventes en los tejidos. A medida que el ultrasonido rompe la pared celular por acción de las fuerzas de cizallamiento de la cavitación facilita la transferencia de la célula al solvente. La reducción del tamaño de partícula por la cavitación ultrasónica aumenta el área de la superficie en contacto entre la fase sólida y la líquida.

De este modo, la aplicación de ultrasonido está asociada a los fenómenos complejos de cavitación gaseosa que explican la generación y evolución de microburbujas en un medio líquido. La cavitación se produce en una región de un líquido que se encuentra sometida a presiones de alta amplitud que alternan rápidamente. Durante la mitad negativa del ciclo de presión el líquido se encuentra sometido a un esfuerzo tensional y durante la mitad positiva del ciclo experimenta una compresión (Pérez-Porras, et al., 2021). El resultado es la formación ininterrumpida de microburbujas cuyo tamaño aumenta miles de veces en la alternancia de los ciclos de presión. Las microburbujas que alcanzan un tamaño crítico implosionan o colapsan violentamente. La implosión supone la liberación de toda la energía acumulada, ocasionando incrementos de temperatura instantáneos y focales que se disipan sin que supongan una elevación sustancial de la temperatura del líquido tratado. Sin embargo,

la energía liberada y el choque mecánico asociado al fenómeno de implosión afectan la estructura de las células situadas en el microentorno. Se considera que, dependiendo de la frecuencia empleada y la longitud de las ondas de sonido, se pueden generar diferentes cambios físicos, químicos y bioquímicos (Pérez-Porras, et al., 2021).

El proceso de envejecimiento de los vinos mediante la técnica de ultrasonido es un ejemplo de microextracción en el cual se registra un aumento de velocidad en las reacciones de oxidación. Debido a la cinética de formación y al colapso de microburbujas, la temperatura y la presión se pueden incrementar. Sin embargo, controlando las ondas ultrasónicas se pueden afectar positivamente las reacciones químicas en el vino (Sánchez-Córdoba, et al., 2021).

Radiación gamma

La radiación gamma es uno de los tres tipos de radiactividad natural junto a las radiaciones alfa y beta. Los rayos gamma son la forma más energética de radiación electromagnética, con una longitud de onda muy corta de menos de una décima parte de nanómetro. Este tipo de tratamiento puede producir un efecto primario derivado de la ruptura y pérdida de estabilidad de los átomos y/o moléculas que conduce a la formación de iones y radicales libres, y un efecto secundario derivado de la combinación y dimerización de los iones y radicales libres formados para dar lugar a nuevas moléculas o compuestos (Tao, et al., 2014). El efecto conjunto se denomina radiólisis y los nuevos compuestos resultantes, productos radiolíticos. La radiólisis produce alteraciones del ADN y formación de radicales a partir de las moléculas de agua con elevado potencial reductor y oxidante. Estos dos hechos son fundamentales para explicar el efecto conservador de este tratamiento y la afectación sensorial del alimento.

La utilización de la técnica de radiación gamma en muestras de vinos busca acelerar los procesos naturales de oxidación y alteraciones sensoriales irradiándolos a dosis seguras y controlables (Tao, et al., 2014).

Altas presiones

Actualmente existen dos procedimientos que aplican altas presiones: la presión dinámica (todavía no utilizada a nivel industrial) y la presión estática, que hoy tiene aplicación práctica.

La aplicación de alta presión estática se basa en someter un producto a elevados niveles de presión hidrostática (100-1000 MPa) de forma continua durante un determinado tiempo. A esta tecnología se la denomina comúnmente altas presiones hidrostáticas (Heinz y Knorr, 2000).

Aunque en un inicio la aplicación de altas presiones hidrostáticas se realizó fundamentalmente con fines de conservación, diversas investigaciones han puesto en evidencia su enorme potencial de transformación en la elaboración de diversos productos.

Además, se ha demostrado que estos tratamientos de presión tienen un impacto en las características fisicoquímicas y sensoriales del vino tinto, siendo similares a las de la crianza. A saber: un color más rojo anaranjado, menor astringencia, mayor intensidad de aroma de fruta cocida y menor intensidad de notas afrutadas (Santos, et al., 2013; Sun, et al., 2015). La mayoría de estas modificaciones de AP del vino tinto se relacionan con una disminución del contenido de antocianinas monoméricas, ácidos fenólicos y flavanoles debido a la ocurrencia de reacciones de polimerización y escisión de proantocianidinas (Santos, et al., 2016).

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de vino

Se utilizaron muestras de vino de la variedad *Vitis vinifera* cv Tannat pertenecientes a la vendimia 2016 (Bodega Bouza), obtenidas directamente de las instalaciones de la bodega, para el tratamiento de altas presiones (el tratamiento y sus análisis se realizaron el mismo año). Para los tratamientos de ultrasonido y radiación gamma se utilizó un vino Tannat de la vendimia 2017 producido por la misma bodega y obtenido de igual forma (los tratamientos y análisis se realizaron el mismo año). El proceso de vinificación utilizado por la bodega —desde el viñedo, la cosecha, la selección de la uva, la vinificación y el embotellado— se corresponde con las prácticas tecnológicas utilizadas para la producción de vinos tintos.

Tratamiento con ultrasonido

Se utilizó una sonda modelo CV334 (Sonics & Materials, Bélgica) que proporciona ondas ultrasónicas de 20 kHz y 500 W de potencia. Se programaron secuencias de 30 y 60 minutos, con un sistema de pulsos durante el cual se ejerce un segundo de ondas ultrasónicas y un segundo de relajación (el tiempo efectivo es de 15 y 30 minutos respectivamente). Durante todo el tratamiento se controló la temperatura en aproximadamente 18 °C utilizando un baño de agua/hielo.

Tratamiento con altas presiones

Para el tratamiento de altas presiones se utilizó un equipo S-IL-100-250-09-W HP (Food Processor, Stansted Fluid Power, Essex, UK). La presión proporcionada fue de 650 MPa. Las muestras fueron colocadas en bolsas Stomacher de 60 mL. Se ensayaron distintos tiempos de exposición: 15, 30, 60 y 120 minutos.

Tratamiento con radiación gamma

Para el proceso de irradiación el vino se colocó en frascos PET de 100 mL utilizando una dosis de 2 kGy mediante una fuente de radiación de cobalto 60 (Modular Equipment EMI-9, dry shield, Argentina).

Extracción de compuestos volátiles

Se realizó según el protocolo propuesto por Boido y otros (2003) mediante cartuchos SPE Isolute ENV+. Se tomaron 50 mL de la muestra de vino, se adicionó 0,1 mL de 2-octanol y n-heptanol (estándares internos) y se llevó a 100 mL con agua destilada. Se acondicionó un cartucho de extracción SPE (Isolute ENV), se realizó la elución de los 100 mL de la muestra con los estándares internos y se lavó el cartucho con 20 mL de agua destilada adicionales. Los compuestos volátiles libres se eluyeron con 30 mL de diclorometano, se recogieron en un frasco de vidrio color ámbar, y el extracto se secó con sulfato de sodio anhidro y se filtró por lana de vidrio. Se trasvasó la muestra a un balón de 100 mL y se concentró en un baño de agua a 45 °C utilizando una columna Vigeraux hasta un volumen aproximado de 4 mL. Por último, se llevó a un volumen final de 200 µL concentrando la muestra con corriente de nitrógeno.

Determinación de compuestos volátiles

Se utilizó un cromatógrafo de gases Shimadzu GC 2010 Plus acoplado a un espectrómetro de masa Shimadzu QP 2020, equipado con un inyector automático Shimadzu AOC 20i. Se utilizó una columna capilar DB-WAX (Agilent J&W, USA) (30 m x 0.25 mm d.i. x 0,25 µm de espesor). Las condiciones cromatográficas y de identificación se realizaron según Fariña y otros (2015).

Determinación de parámetros fisicoquímicos por Wine Scan

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos por FT-IR se utilizó un equipo Wine Scan (FOSS, modelo FT-120, FOSS Analytical A/S, Denmark) donde se midieron el etanol, la acidez total, el pH y la acidez volátil directamente sobre el vino.

Determinación de color en espacio CIELAB

Para la determinación de color se utilizó el espacio CIELAB mediante un colorímetro Konica Minolta CM-600D (Konica Minolta Sensing Americas, Inc.), con un área de medición de 8 mm, ángulo del observador de 10°, iluminante D65. Las mediciones se hicieron directamente sobre el vino utilizando el Software SpectraMagic NX para determinar los valores de coordenadas L*, a*, b*. La celda utilizada fue de vidrio blanco adaptada para el instrumento de medición.

Análisis estadístico

El tratamiento estadístico de los resultados se realizó utilizando el programa STATISTICA versión 7.0 (StatSoft Inc., 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto en los parámetros fisicoquímicos del vino Tannat tratado con US, RG y AP

Se evaluó el efecto de los distintos tratamientos —US, RG y AP— con el fin de simular condiciones de envejecimiento acelerado. El efecto de estos tratamientos se comparó con vinos testigo no sometidos a tratamientos. En una primera instancia se analizó el efecto sobre los parámetros fisicoquímicos que tradicionalmente se determinan en el vino como indicadores de calidad y se utilizan para caracterizarlo (etanol, acidez total, acidez volátil y pH).

Es esperable que durante el envejecimiento natural los valores de estos parámetros no sufran mayores alteraciones, a excepción de la acidez volátil, de la cual se espera un aumento pausado durante períodos prolongados de guarda debido a la formación de ácido acético (abiótica), sin llegar a valores superiores a 1 g/L en ningún caso. Un aumento brusco del pH y/o la acidez volátil durante el período de conservación es indicativo de un posible crecimiento microbiológico, lo cual no es deseable durante la conservación del vino (Ribereau-Gayón, et al., 2008).

En el caso de los vinos sometidos a distintos tiempos de ultrasonido (Tabla 1), el único parámetro que presentó una variación significativa fue el pH, que disminuyó una centésima de unidad. No se registró una variación en el resto de los parámetros fisicoquímicos, lo cual

concuera con lo previamente reportado para vinos de arroz, maíz, uvas blancas y tintas sometidos a ultrasonido en iguales condiciones que las utilizadas en este trabajo (Chang, 2004; Chang y Chen, 2002; Cui, et al., 2012; García Martín y Sun, 2013).

TABLA 1. Parámetros fisicoquímicos en el vino testigo y en el tratado por ultrasonido.

Muestra	Testigo Promedio ± D.M.	15 min Promedio ± D.M.	30 min Promedio ± D.M.	p
Etanol	14,09 ± 0,03	13,92 ± 0,02	13,87 ± 0,08	
Acidez total	2,90 ± 0,01	2,89 ± 0,01	2,91 ± 0,02	
Acidez volátil	0,71 ± 0,01	0,68 ± 0,00	0,69 ± 0,01	
pH	4,11 ± 0,00b	4,10 ± 0,00a	4,10 ± 0,00a	**

D.M.: Desviación estándar de la media; (*) Valor de confianza de 99,9% para test de Fisher; (**) Valor de confianza de 99% para test de Fisher; (***) Valor de confianza de 95% para test de Fisher.

Los efectos del tratamiento de RG sobre vinos Tannat se observan en la Tabla 2. Para la mayoría de los resultados se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los distintos parámetros. El etanol presentó un máximo de 1kGy, mientras que para acidez total y pH —a esa misma dosis de tratamiento— se obtuvieron los valores mínimos hallados en este estudio. En el caso del contenido de etanol, los resultados difieren de lo reportado por Harder y otros (2013), quienes no encontraron variaciones en este parámetro al utilizar las mismas condiciones experimentales. Los resultados de pH coinciden con los obtenidos por Harder y otros (2013) para dosis de 1KGy, donde se observa una disminución del pH al aumentar la dosis de radiación gamma. Sin embargo, en el trabajo de Harder y otros (2013) la disminución de pH fue constante con el aumento de la dosis, mientras que en nuestras condiciones el pH presentó oscilaciones al aumentar la dosis (Tabla 1).

TABLA 2. Parámetros fisicoquímicos en el vino testigo y en el tratado por radiación gamma.

Muestra	Testigo Promedio ± D.M.	1 kGy Promedio ± D.M.	3 kGy Promedio ± D.M.	6 kGy Promedio ± D.M.	p
Etanol	12,58 ± 0,01b	14,24 ± 0,07d	12,25 ± 0,05a	13,10 ± 0,01c	***
Acidez total	3,43 ± 0,01d	2,98 ± 0,01a	3,39 ± 0,01c	3,14 ± 0,01b	***
Acidez volátil	0,93 ± 0,05b	0,72 ± 0,02a	0,92 ± 0,01b	0,74 ± 0,01a	**
pH	4,67 ± 0,00c	4,10 ± 0,03a	4,68 ± 0,00c	4,43 ± 0,00b	***

D.M.: Desviación estándar de la media; (*) Valor de confianza de 99,9% para test de Fisher; (**) Valor de confianza de 99% para test de Fisher; (***) Valor de confianza de 95% para test de Fisher.

TABLA 3. Parámetros fisicoquímicos en el vino testigo y en el tratado por altas presiones.

Parámetro	Testigo Promedio ± D.M.	15 min Promedio ± D.M.	30 min Promedio ± D.M.	60 min Promedio ± D.M.	120 min Promedio ± D.M.	p
Etanol	14,71 ± 0,01a	14,95 ± 0,01c	14,90 ± 0,00b	14,99 ± 0,01c	14,98 ± 0,02c	***
Acidez total	3,51 ± 0,00	3,50 ± 0,00	3,51 ± 0,00	3,50 ± 0,00	3,49 ± 0,01	
Acidez volátil	0,47 ± 0,00	0,48 ± 0,01	0,47 ± 0,00	0,47 ± 0,01	0,50 ± 0,04	
pH	3,77 ± 0,00	3,76 ± 0,00	3,76 ± 0,01	3,75 ± 0,00	3,76 ± 0,00	

D.M.: Desviación estándar de la media; (*) Valor de confianza de 99,9% para test de Fisher; (**) Valor de confianza de 99% para test de Fisher; (***) Valor de confianza de 95% para test de Fisher.

En la Tabla 3 se muestran los resultados para altas presiones, donde no se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en cada uno de los tiempos de aplicación estudiados para cada uno de los parámetros fisicoquímicos.

Efecto en la composición volátil del vino Tannat tratado con US, RG y AP

La evolución del aroma durante el envejecimiento es un fenómeno complejo que involucra a un gran número de componentes y mecanismos de reacción. Esta evolución se produce como consecuencia de un equilibrio entre los procesos de oxidación y reducción que ocurre en el vino. Este equilibrio es único para cada vino según la opción seleccionada, la composición, el perfil sensorial y su capacidad para evolucionar durante largos periodos de tiempo.

Así, la crianza reductiva (con la menor oxidación posible) protege el potencial antioxidante natural y permite *a priori* un envejecimiento más prolongado. Sin embargo, se debe evitar someter el vino a condiciones excesivamente reductivas ya que pueden aparecer olores típicos (no deseados) y es posible que no se desarrollen de forma adecuada los fenómenos de estabilización del color (en vinos tintos).

En contraste, los cambios oxidativos del aroma son poco o nada reversibles. Las transformaciones inducidas por los radicales oxidantes alteran profundamente la naturaleza de los compuestos con interés organoléptico del vino, comunicando un perfil definitivamente diferente. De este modo, los vinos producidos con un efecto oxidativo pronunciado son a menudo productos con un potencial de crianza importante, aunque también depende del tipo de vino elaborado.

En este trabajo se analizó el efecto de los distintos tratamientos estudiados en la composición volátil de los vinos. En la Tabla 4 se presentan los 62 compuestos volátiles analizados, los cuales se clasificaron según su grupo funcional en alcoholes, ácidos, lactonas, terpenos, norisoprenoides, fenoles volátiles y misceláneos.

TABLA 4. Compuestos volátiles encontrados en el vino Tannat.

	Compuesto		Compuesto	
Ácidos	ácido isobutanoico	Fenoles	guaiacol	
	ácido butanoico		4-vinil guaiacol	
	ácido isovalérico		2,6-dimetoxifenol	
	ácido hexanoico		eugenol	
	ácido octanoico		zingerona	
	ácido decanoico		3-metoxifenol	
	ácido α -hidroxiglutarico		p-hidroxibenzaldehído	
	ácido glutámico		tirosol	
Alcoholes	isobutanol	Ésteres	hexanoato de etilo	
	n-butanol		lactato de etilo	
	isopentanol		octanoato de etilo	
	3-metil-3-buten-1-ol		3-hidroxibutirato de etilo	
	n-pentanol		succinato de dietilo	
	3-metil-pentanol		diacetato de 1,3 propanediol	
	1-hexanol		acetato de β -feniletanol	
	3-etoxi-1-propanol		4-hidroxibutirato de etilo	
	3-hexen-1-ol		malato de dietilo	
	2-butoxietanol		2-hidroxiglutarato de dietilo	
	2,3-butanodiol		succinato de etilo	
	3-metil-1-propanol		sabineno	
	alcohol bencílico		limoneno	
	alcohol β feniletílico		α -terpineol	
Lactonas	γ -butirolactona	Terpenos	nero	
	pantolactona		geraniol	
	4-carboetoxi- γ -butirolactona		ho-diol	
Otros	2,3-pentanediona		<i>trans</i> -8-hidroxiilinalol	
	etil isopropil éter		<i>cis</i> -8-hidroxiilinalol	
	isopropil propil éter		geraniol geraniol	
			Norisoprenoides	3-oxo- α -ionol
				3-hidroxi- β damascenona

A continuación, se discuten los valores determinados en la cuantificación de los compuestos volátiles por cromatografía gaseosa acoplada a un espectrómetro de masas para cada una de las técnicas de envejecimiento y su respectiva muestra testigo (sin tratar).

Efecto del tratamiento con ultrasonido en la composición volátil del vino

Para el caso del envejecimiento acelerado por ultrasonido se analizaron la muestra testigo (sin tratamiento), una muestra sometida a 15 minutos de ultrasonido con una frecuencia de 20 kHz por triplicado, y una muestra sometida a 30 minutos de ultrasonido con la misma frecuencia y también por triplicado.

En la Tabla 5 se puede observar cómo el tratamiento de ultrasonido afectó a las muestras, generando nuevos compuestos que no fueron detectados inicialmente en la muestra testigo. El compuesto 3-hexen-1-ol y el p-hidroxibenzaldehído fueron generados durante los tratamientos de US. El 3-hexen-1-ol es un compuesto que, cuando se detecta en los vinos, se origina durante los tratamientos prefermentativos a partir de los ácidos grasos de la película de la uva. En el vino testigo no se detectó la presencia del 3-hexen-1-ol, por lo que se puede haber generado a partir de la oxidación de ácidos grasos presentes en el vino durante el tratamiento con ultrasonido. El p-hidroxibenzaldehído es otro compuesto producto de la oxidación pero en este caso se origina a partir de un precursor de origen fenólico. El isobutanol, en tanto, disminuyó al aumentar el tiempo de exposición a ultrasonido, acompañado por un aumento en la formación del acetato respectivo, el cual no es significativo.

En la Figura 1 se muestra la suma de componentes durante el ensayo donde fue sometido el vino a distintos tiempos de ultrasonido. Allí se observa una disminución del contenido de alcoholes al aumentar el tiempo en que el vino fue sometido a ultrasonido. El contenido total de ésteres no disminuyó al ser sometido durante 15 minutos, pero sí se observó una disminución clara cuando fue sometido a un tiempo mayor. Los ésteres etílicos son compuestos característicos del aroma de vinos jóvenes. En el vino estudiado se encontraron hexanoato de etilo y octanoato de etilo, los cuales disminuyeron marcadamente en los dos tratamientos de ultrasonido. En el caso de los compuestos C6 (prefermentativos), su contenido aumentó durante el ensayo, lo cual no es algo buscado en vinos envejecidos ya que estos compuestos se relacionan con aromas herbáceos. En el caso de los terpenos se observó un aumento al ser sometidos durante 15 minutos de ultrasonido (debido al geranil geraniol), pero no se detectaron terpenos en el ensayo de 30 minutos. El incremento en la concentración de terpenos es buscado durante el envejecimiento del vino por los aromas característicos que aportan (Boido, et al., 2013). La hidrólisis de terpenos glicosidados (provenientes de las uvas) puede explicar el aumento que se observó a los 15 minutos de tratamiento.

TABLA 5. Compuestos volátiles cuya concentración cambió en forma significativa durante el tratamiento con ultrasonido en comparación con el testigo.

Compuesto	Testigo (µg/L) ± D.M.	15 min (µg/L) ± D.M.	30 min (µg/L) ± D.M.	p
isobutanol	27629 ± 885b	23937 ± 3008b	16937 ± 1265	*
3-hexen-1-ol	n.d. a	n.d. a	79 ± 4b	***
p-hidroxibenzaldehído	n.d. a	17 ± 6b	10 ± 3b	*

n.d.: No detectado; D.M.: Desviación estándar de la media; (*) Valor de confianza de 99,9% para test de Fisher; (**) Valor de confianza de 99% para test de Fisher; (***) Valor de confianza de 95% para test de Fisher.

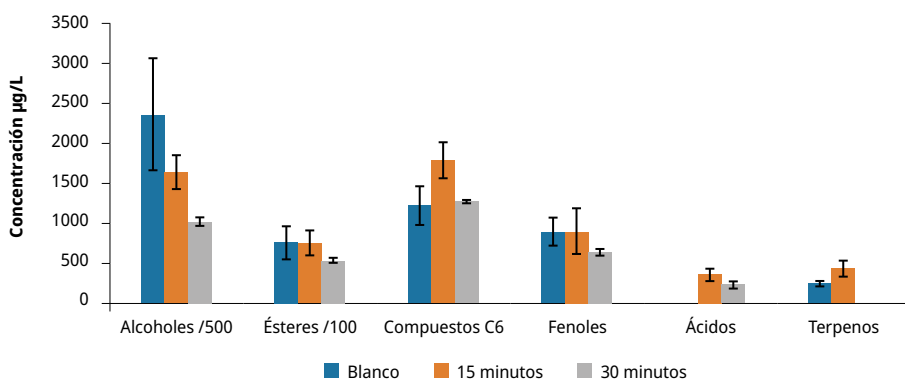


FIGURA 1. Efecto del tratamiento de ultrasonido en las familias de compuestos analizadas.

Efecto del tratamiento con altas presiones en la composición volátil del vino

El comportamiento de los compuestos volátiles del vino Tannat tratado con distintos tiempos de AP fue variable, con algunas tendencias marcadas para algunas familias de compuestos. Existen componentes cuya concentración disminuyó en forma significativa al aumentar el tiempo al que fueron sometidos al tratamiento con AP: hexanoato de etilo, 2,3-butanodiol, succinato de dietilo, diacetato de 1,3-propanediol, acetato de β -feniletilo, alcohol bencílico, 4-vinil guaiacol, 2,6-dimetoxi-fenol y zingerona. Tanto el hexanoato de etilo como el acetato de β -feniletilo son componentes que durante el envejecimiento del vino se van hidrolizando en forma natural. Por el contrario, otro grupo importante de componentes incrementó su concentración cuando aumentó el tiempo del tratamiento de AP hasta los 30 minutos y luego volvió a concentraciones iniciales o menores a las registradas en el testigo. Ejemplos de este comportamiento fueron: 2,3 pentanodiona, etil isopropiléter, acetato de isoamilo, 1-hexanol, γ -butirolactona, succinato de etilo y tirosol.

Una tercera tendencia encontrada fue la registrada por los compuestos isobutanol, sabineno, n-butanol, isopentanol y 4-hidroxi-butirato de etilo, cuyas concentraciones aumentaron hasta los tiempos más prolongados del tratamiento de AP. A su vez, algunos de estos compuestos no se encontraban presentes en el vino testigo y, por lo tanto, se obtuvieron como consecuencia de este tratamiento.

En la Figura 2 se muestra el comportamiento de los compuestos agrupados por familia: en el tratamiento de 30 minutos, alcoholes, ésteres y compuestos C6 aumentaron su concentración. Pero en otros casos fue evidente la degradación de componentes en cualquier tiempo de tratamiento con AP. El aumento de norisoprenoides a los 30 minutos se puede explicar por la presencia de 3 hidroxi- β -damascenona que fue determinada solo en ese tiempo de tratamiento de AP.

El comportamiento de los terpenos se justifica porque algunos (sabineno, *cis*- y *trans*-8-hidroxilinalol) aparecieron como consecuencia del tratamiento, mientras que otros como nerol y limoneno disminuyeron su concentración en los tiempos intermedios del tratamiento y volvieron a aumentar hacia el final.

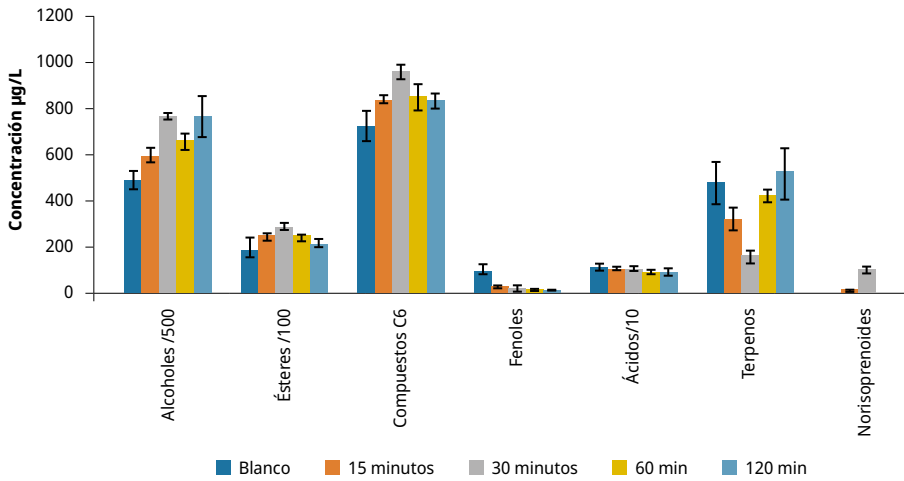


FIGURA 2. Efecto en la suma de componentes volátiles agrupados por familias en vinos Tannat sometidos a altas presiones.

TABLA 6. Compuestos volátiles cuya concentración cambió en forma significativa durante los tratamientos de altas presiones en comparación con el vino testigo.

Compuesto	Testigo (µg/l) ± D.M.	15 min (µg/L) ± D.M.	30 min (µg/L) ± D.M.	60 min (µg/L) ± D.M.	120 min (µg/L) ± D.M.	p		
2,3-pentanediona	107 ± 15a,b	160 ± 1b	193 ± 6b	43 ± 3a	52 ± 5a	***		
isobutanol	5103 ± 1352a	10916 ± 397b,c	12840 ± 433c	8882 ± 938b	11717 ± 751c	***		
sabineno	n.d.	a	n.d.	a	48 ± 1b	39 ± 6b	**	
acetato de isoamilo	1566 ± 1222a,b	2760 ± 281b,c	3524 ± 211c	1024 ± 284a	1278 ± 104a	***		
n-butanol	268 ± 95a	436 ± 27b,c	464 ± 26c	322 ± 29a,b	397 ± 35a,b,c	***		
limoneno	321 ± 45b	n.d.	a	n.d.	a	296 ± 8b	263 ± 44b	***
isopentanol	167793 ± 12005a	216993 ± 12771a,b	286870 ± 5444b,c	245915 ± 16405a,b,c	298204 ± 35854c	***		
hexanoato de etilo	287 ± 59b	130 ± 30a	105 ± 12a	137 ± 23a	106 ± 29a	***		
lactato de etilo	3611 ± 484a	5219 ± 267b,c	6156 ± 184c	4708 ± 445a,b	4963 ± 400a,b,c	***		
1-hexanol	725 ± 64a	841 ± 21a,b	956 ± 33b	847 ± 59a,b	832 ± 33a,b	***		
3-etoxi-1-propanol	n.d.	a	57 ± 6b	n.d.	a	29 ± 5a	**	
2,3-butanodiol	664 ± 56c,d	769 ± 24d	533 ± 55b,c	415 ± 36a,b	367 ± 45a	***		
β-butirolactona	491 ± 46a	581 ± 34a,b	751 ± 36b	578 ± 39a	492 ± 69a	***		
succinato de dietilo	380 ± 8c	239 ± 5b	249 ± 9b	193 ± 8a	197 ± 27a	***		
3-metil-1-propanol	360 ± 25a,b	350 ± 23a,b	397 ± 30b	314 ± 20a,b	283 ± 26a	***		
diacetato de 1,3 propanediol	278 ± 7c	237 ± 23b,c	224 ± 18a,b,c	181 ± 8a,b	173 ± 18a	***		
nerol	61 ± 11b	40 ± 4a	40 ± 1a	39 ± 6a	52 ± 6a,b	***		
acetato de β-fenil etilo	2348 ± 297b	184 ± 6a	175 ± 10a	137 ± 6a	111 ± 10a	***		
4-hidroxi butirato de etilo	n.d.	a	1283 ± 22c	1228 ± 53c	1021 ± 22b	1036 ± 121b	***	
alcohol bencílico	66 ± 9b	29 ± 3a	23 ± 4a	17 ± 2a	15 ± 2a	***		
4-vinil guaiacol	22 ± 10b	4 ± 1a	2 ± 1a	2 ± 1a	n.d.	a	**	
2,6-dimetoxi fenol	45 ± 5b	19 ± 2b	10 ± 1a	8 ± 2a	5 ± 1a	**		
succinato de etilo	11048 ± 2190a	15137 ± 1294a,b	18068 ± 1164b	17367 ± 671b	14482 ± 1155a,b	***		
zingerona	15 ± 3b	3 ± 2a	n.d.	a	2 ± 1a	n.d.	a	***
tirosol	9128 ± 1481a	10141 ± 466a	13023 ± 1038b	10375 ± 760a,b	10649 ± 332a,b	***		

n.d.: No detectado; D.M.: Desviación estándar de la media; (*) Valor de confianza de 99,9% para test de Fisher; (**) Valor de confianza de 99% para test de Fisher; (***) Valor de confianza de 95% para test de Fisher.

Efecto del tratamiento con radiación gamma en la composición volátil del vino

En la Tabla 6 se puede observar el efecto de los tratamientos de RG en vinos Tannat. En función de su comportamiento, los compuestos se pueden agrupar en componentes que aumentaron significativamente su concentración o que disminuyeron su concentración luego de ser expuestos al tratamiento de RG. Los alcoholes (isobutanol, isopentanol, 1-hexanol, alcohol β -feniletílico), ésteres (acetato de isoamilo, hexanoato de etilo, lactato de etilo, succinato de dietilo, acetato de β -feniletilo, succinato de etilo) y otros componentes como γ -butirolactona, *trans*-8-hidroxi-linalol, 3-oxo- α -ionol y p-hidroxibenzaldehído aumentaron su concentración en forma proporcional a la dosis utilizada.

Mientras que los ácidos grasos de cadena corta (ácido isobutanoico, ácido hexanoico ácido octanoico y ácido decanoico) y fenoles volátiles (guaiacol, 4-vinil guaiacol, 2,6-dimetoxifenol, eugenol) disminuyeron significativamente su concentración al aumentar la dosis de RG aplicada.

Tal como se puede observar en la Tabla 6, el tratamiento de mayor dosis logró degradar totalmente muchos compuestos (se ve reflejado en la suma de componentes en la Figura 3), pero bajo estas mismas condiciones aumentaron de forma muy significativa otros compuestos (se ve reflejado en la sumatoria de alcoholes, ésteres, compuestos C6, lactonas y norisoprenoides) (Figura 3).

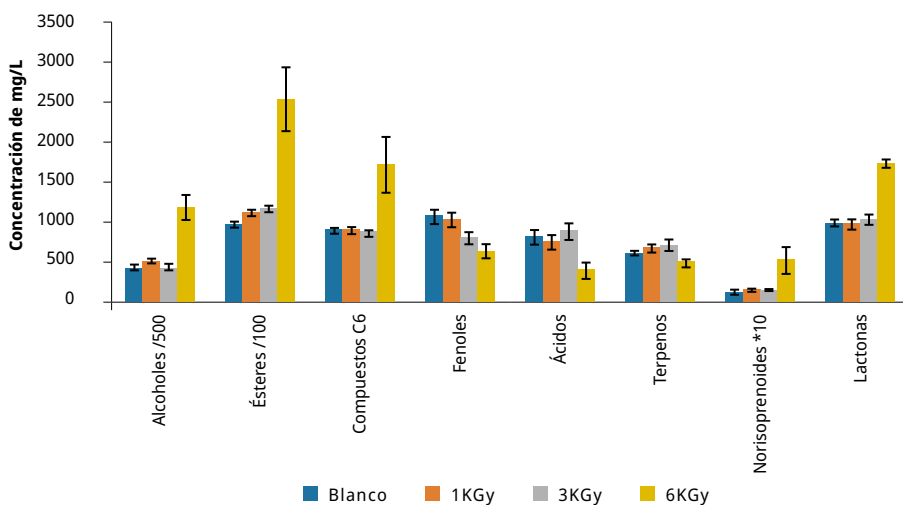


FIGURA 3. Efecto en la suma de componentes volátiles agrupados por familias en vinos Tannat irradiados con RG.

TABLA 7. Compuestos volátiles cuya concentración cambió en forma significativa durante los tratamientos de radiación gama en comparación con el vino testigo.

Nombre	Testigo (µg/L) ± D.M	1KGy (µg/L) ± D.M	3kGy (µg/L) ± D.M	6KGy (µg/L) ± D.M	p
Isobutanol	7276 ± 372a	9005 ± 430a	9045 ± 131a	19878 ± 3818b	*
acetato de isoamilo	1738 ± 91a	1942 ± 34a	2027 ± 9a	4079 ± 1001b	*
Isopentanol	150904 ± 11085a	186515 ± 7125a	192989 ± 3565a	431424 ± 59491b	**
hexanoato de etilo	264 ± 17a	280 ± 10a	292 ± 4a	552 ± 112b	*
3-metil-3-buten-1-ol	55 ± 3c	38 ± 5b	42 ± 4b	n.d. a	***
3-hidroxi-2-butanona	57 ± 5b	67 ± 4b	72 ± 13b	n.d. a	**
4-metil-1-pentanol	34 ± 3b,c	33 ± 2b	39 ± 8c	n.d. a	***
Pentanol	86 ± 1b	86 ± 2b	91 ± 11b	n.d. a	***
lactato de etilo	18489 ± 580a	22086 ± 1395a	22255 ± 657a	41501 ± 5763b	**
1-hexanol	900 ± 21a	911 ± 38a	877 ± 13a	1747 ± 342b	*
ácido isobutanoico	303 ± 46b,c	269 ± 67b	425 ± 80c	n.d. a	**
γ-butilolactona	575 ± 8a	612 ± 43a	648 ± 30a	1404 ± 103b	***
succinato de dietilo	4567 ± 111a	4486 ± 175a	4371 ± 126a	5311 ± 321b	*
3-metil-1-propanol	606 ± 11a,b	691 ± 26b,c	720 ± 52c	596 ± 27a	*
diacetato de 1,3-propanodiol	569 ± 3b	588 ± 24b	592 ± 47b	411 ± 31a	*
acetato de β-feniletilo	2249 ± 48a	2246 ± 50a	2214 ± 66a	3942 ± 150b	***
guaiaacol	180 ± 31b	171 ± 18b	177 ± 32b	58 ± 5a	*
alcohol bencílico	156 ± 8a	170 ± 4a,b	189 ± 10b	172 ± 23a,b	*
alcohol β-feniletílico	46752 ± 2008a	52373 ± 1732a	54591 ± 1265a	110814 ± 10210b	***
ho diol i	7 ± 0,4a	12 ± 2a,b	9 ± 1a	15 ± 2b	*
pantolactona	41 ± 3b	47 ± 9b	59 ± 3c	n.d. a	***
malato de dietilo	44 ± 2c	37 ± 7b	45 ± 8c	n.d. a	***
ácido octanoico	316 ± 40b	296 ± 18b	265 ± 21b	n.d. a	***
4-vinil guaiaacol	187 ± 10b	155 ± 15b	148 ± 9b	93 ± 23a	**
2-hidroxiglutarato de dietilo	934 ± 38b	884 ± 35b	908 ± 67b	643 ± 85a	*
2,6-dimetoxi fenol	623 ± 32b	606 ± 46b	342 ± 15a	294 ± 32a	***
succinato de etilo	69467 ± 2249a	80093 ± 1701a	86075 ± 3227a	200880 ± 32173b	**
ácido glutámico	176 ± 5a	173 ± 1a	184 ± 4a	405 ± 95b	*
3-oxo-α-ionol	14 ± 3a	15 ± 1a	16 ± 1a	54 ± 16b	**
eugenol	43 ± 3b	42 ± 3b	46 ± 3b	n.d. a	***
p-hidroxibenzaldehído	45 ± 3a	65 ± 13a,b	97 ± 12b	172 ± 17c	**
tirosol	15181 ± 1294a	15526 ± 417a	17229 ± 836a	37012 ± 8501b	*

n.d.: No detectado; D.M.: Desviación estándar de la media; (*) Valor de confianza de 99,9% para test de Fisher; (**) Valor de confianza de 99% para test de Fisher; (***) Valor de confianza de 95% para test de Fisher.

Se observó un incremento marcado de la 3-oxo-α-ionona, el único norisoprenoide detectado. Se trata de un compuesto cuyo aroma característico es buscado en vinos (Fariña, et al., 2015). Su formación puede darse mediante dos posibles vías: directamente por degradación de β-caroteno (Slaghenaufi y Ugliano, 2018) o por hidrólisis de compuestos glicosidados presentes en el vino (Fariña, et al., 2021b). Este comportamiento es razonable si se piensa

que los tratamientos con radiación gamma se utilizan en alimentos como la nuez moscada para inducir la hidrólisis de glicósidos (Ananthakumar, et al., 2006).

Efecto del envejecimiento en el color del vino

El color del vino es una de las primeras características que perciben los consumidores: influye tanto en la aceptación del vino como en su valoración ya que es un reflejo de su edad y de las condiciones en las cuales fue almacenado. Los antocianos son los pigmentos responsables del color de la uva que se extraen al mosto durante la elaboración del vino, proporcionando el característico tono rojo púrpura de los vinos tintos jóvenes. Una vez extraídos los antocianos de las uvas y a partir del final de la fermentación, su concentración comienza a disminuir debido a varias razones: la adsorción por las levaduras, las reacciones de condensación, la polimerización, la oxidación y la precipitación (Boido, et al., 2006). Algunas de estas reacciones implican la degradación de los antocianos mientras que otras dan lugar a nuevos productos que pueden proporcionar diferentes matices al vino. Como resultado, a medida que el vino envejece el color evoluciona hacia tonalidades anaranjadas y naranja-ladrillo (Boido, et al., 2006, Kunsági-Máté, et al., 2006; Zhang, et al., 2016).

Durante el envejecimiento natural del vino existe una disminución de la intensidad del color y se registra el pardeamiento que se refleja en una disminución de la densidad óptica y un desplazamiento del espectro de absorción hacia el azul (Jackson, 1994). En cuanto a los parámetros del CIELAB, en el envejecimiento natural se produce un aumento de la coordenada b^* (amarillo) y una ligera disminución de la coordenada a^* . Como resultado, el matiz (H^*) debería aumentar con el tiempo ya que se calcula a partir de a^* y b^* (International Organisation of Vine and Wine, 2021). Además, se suele observar un aumento de la claridad (L^*) y del croma o color (C^*) durante el envejecimiento (Iñiguez, 2000).

Efecto del tratamiento con ultrasonido en los parámetros de color del vino

En el caso del tratamiento de US aplicado al Tannat no se observaron diferencias significativas respecto al vino testigo (Tabla 8). Se observó una disminución en los parámetros L^* , a^* y b^* sin ser significativa en ninguno de los casos. Experiencias previas de uso del tratamiento de US en vinos jóvenes de la variedad Cabernet Sauvignon (Zhang y Wang, 2017) mostraron un aumento en la densidad de color del vino y las características visuales, sugiriendo que un tratamiento adecuado de US (baja frecuencia y potencia, y tiempo de exposición adecuado) podría ser una tecnología novedosa, factible y prometedora para que las bodegas produzcan vinos tintos con color similar al del vino envejecido tradicionalmente en un tiempo más corto. En el caso de nuestro estudio solo se evaluó el efecto luego del tratamiento y no se continuó en el tiempo, lo que podría explicar por qué no se encontraron diferencias significativas en los parámetros responsables del color.

TABLA 8. Valores de los parámetros de color de las muestras del vino testigo y el sometido a ultrasonido.

Muestra	Testigo Promedio ± D.M.	15 min Promedio ± D.M.	30 min Promedio ± D.M.
L*(D65)	2,147 ± 0,012	2,051 ± 0,046	1,991 ± 0,120
a*(D65)	14,776 ± 0,088	14,111 ± 0,315	13,695 ± 0,808
b*(D65)	3,703 ± 0,022	3,538 ± 0,079	3,433 ± 0,206

D.M.: Desviación estándar de la media

Efecto del tratamiento con altas presiones en los parámetros de color del vino

Para el tratamiento de altas presiones, solo los valores a los 30 minutos presentaron una disminución significativa respecto a los otros tiempos de tratamiento en todos los parámetros de color (Tabla 9). Durante un envejecimiento convencional se esperaría un aumento del parámetro b* (hacia amarillo) y del parámetro L*, lo cual no sucedió en las muestras tratadas con ultrasonido.

TABLA 9. Valores de los parámetros de color de las muestras del vino testigo y el sometido a altas presiones.

Muestra	Testigo Promedio ± D.M.	15 min Promedio ± D.M.	30 min Promedio ± D.M.	60 min Promedio ± D.M.	120 min Promedio ± D.M.	p
L*(D65)	0,770 ± 0,012b	0,791 ± 0,010b	0,682 ± 0,008a	0,804 ± 0,017b	0,783 ± 0,011b	*
a*(D65)	5,450 ± 0,075b	5,596 ± 0,067b	4,792 ± 0,071a	5,644 ± 0,088b	5,490 ± 0,035b	*
b*(D65)	1,327 ± 0,020b,c	1,363 ± 0,016c	1,120 ± 0,043a	1,349 ± 0,014b,c	1,263 ± 0,052b	*

D.M.: Desviación estándar de la media; (*) Valor de confianza de 99,9% para test de Fisher; (**) Valor de confianza de 99% para test de Fisher; (***) Valor de confianza de 95% para test de Fisher.

Efecto del tratamiento con radiación gamma en los parámetros de color del vino

En la técnica de radiación gamma se observaron diferencias significativas en todos los niveles de radiación aplicados (Tabla 10). Se puede ver cómo a mayor dosis de radiación los parámetros de color L*, a* y b* aumentaron en forma progresiva y significativa, lo que no sería esperado durante un envejecimiento convencional para los parámetros L* y a*. Una posible razón para el aumento de a* y b* podría ser la formación de derivados de antocianos, pero sería necesario realizar esta determinación específica para poder confirmarlo.

TABLA 10. Valores de los parámetros de color de las muestras del vino testigo y el sometido a radiación gamma.

Muestra	Testigo Promedio ± D.M.	1 kGy Promedio ± D.M.	3 kGy Promedio ± D.M.	6 kGy Promedio ± D.M.	p
L*(D65)	2,197 ± 0,011a	2,554 ± 0,024b	3,142 ± 0,032c	4,736 ± 0,022d	***
a*(D65)	15,057 ± 0,074a	17,362 ± 0,153b	20,979 ± 0,183c	28,290 ± 0,066d	***
b*(D65)	3,786 ± 0,017a	4,404 ± 0,041b	5,422 ± 0,054c	8,164 ± 0,036d	***

D.M.: Desviación estándar de la media; (*) Valor de confianza de 99,9% para test de Fisher; (**) Valor de confianza de 99% para test de Fisher; (***) Valor de confianza de 95% para test de Fisher.

CONCLUSIONES

En el tratamiento de US, para los tiempos de aplicación empleados, no se obtuvieron diferencias significativas en el color ni en los parámetros fisicoquímicos, pero sí en el aroma. El aumento de terpenos en los vinos es un cambio deseable por las notas aromáticas agradables que aportan, pero en el tratamiento con US estuvo acompañado de un incremento de compuestos C6, caracterizados por poseer aromas herbáceos no buscados en vinos con crianza. Sería necesario realizar más ensayos con tiempos menores a 15 minutos para evaluar si estos dos efectos se desacoplan.

Para el tratamiento de AP no se generaron cambios significativos a nivel de color ni en los parámetros fisicoquímicos. Pero en el aroma se destacó el aumento de la 3-hidroxi-β-damascenona a los 30 minutos de tratamiento, así como el aumento de terpenos en tratamientos de mayor duración. Aunque se necesita un mayor número de ensayos, es posible que estos cambios sean consecuencia de un efecto sobre los precursores glicosidados, el cual sería deseable durante el envejecimiento de los vinos.

De todas las técnicas utilizadas, el tratamiento con RG fue el que presentó mayores cambios respecto al vino testigo, ya sea en lo referente a cambios de color como fisicoquímicos y en la composición aromática. Para los ensayos de color, se observaron cambios en todos los niveles de radiación aplicados con un aumento significativo de todos los parámetros cromáticos. Los mejores resultados se obtuvieron a la dosis más baja aplicada (1 kGy), por lo que sería interesante realizar nuevos ensayos.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Mariela Pistón del Área de Química Analítica (DEC, Facultad de Química) por facilitarnos el uso de la sonda de ultrasonido, así como a Alejandra Soria, de la Unidad de Irradiación del LATU, donde se realizaron los ensayos para este trabajo; y finalmente a Patricia Lema y Sofía Barrios por facilitarnos el uso del colorímetro.

REFERENCIAS

- Ananthakumar, A., Variyar, P.S. y Sharma, A., 2006. Estimation of aroma glycosides of nutmeg and their changes during radiation processing. En: *Journal of Chromatography A*, 1108(2), pp. 252-257. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.01.009>
- Boido, E., Lloret, A., Medina, K., Fariña, L., Carrau, F., Versini, G. y Dellacassa, E., 2003. Aroma composition of *Vitis vinifera* cv Tannat, the typical red wine from Uruguay. En: *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 51(18), pp. 5408-5413. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf030087i>
- Boido, E., Alcalde-Eon, C., Carrau, F., Dellacassa, E. y Rivas-Gonzalo, J., 2006. Aging effect on the pigment composition and color of *Vitis vinifera* L. Cv. tannat wines. Contribution of the main pigment families to wine color. En: *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 54(18), pp. 6692-6704. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf061240m>
- Boido, E., Fariña, L., Carrau, F., Dellacassa, E. y Cozzolino, D., 2013. Characterization of glycosylated aroma compounds in Tannat grapes and feasibility of the Near Infrared Spectroscopy application for their prediction. En: *Food Analytical Methods*, 6(1), pp. 100-111. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-012-9423-5>
- Chang, A.C., 2004. The effects of different accelerating techniques on maizewine maturation. En: *Food Chemistry*, 86(1), pp. 61-68, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.010>
- Chang, A., 2003. The effects of gamma irradiation on rice wine maturation, En: *Food Chemistry*, 83(3), pp. 323-327. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00050-5)
- Chang, C.A. y Chen, C., 2002. The application of 20 kHz ultrasonic waves to accelerate the aging of different wines. En: *Food Chemistry*, 79(4), pp. 501-506. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00226-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00226-1)
- Cui, Y., Lu, W., Liu, J.F. y Wang, B., 2012. Effect of different ending fermentation technologies on microbial stability of Italian Riesling low alcohol sweet white wine. En: *Advances in Material Research.*, 393-395, pp. 1165-1168. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.393-395.1165>
- de Frutos, E. y Beretta, A., 1999. *Un siglo de tradición: primera historia de uvas y vinos del Uruguay*. Montevideo: Ediciones Aguilar, 1999. ISBN: 9974653665.
- Fariña, L., Medina, K., Martín, V., Carrau, F., Dellacassa, E. y Boido, E. 2021a. Tannat wine: Characteristics and key stages in its production. En: Machado de Castilhos, Maurício Bonatto, Del Bianchi, Vanildo Luiz, Manfroí, Vitor, eds. *Fermented and distilled alcoholic beverages: a technological, chemical and sensory overview. Red wines*. pp. 163-196. Nueva York: Nova Science Publishers, Inc. ISBN 978-153619052-6.
- Fariña, L., Carrau, F., Moser, S., Dellacassa, E., Boido, E., 2021b. Aromatic composition of wine. En: Joshi, V.K., ed. *Concise Encyclopedia of Science and Technology of Wine*. London: Taylor and Francis Ltda, CRC Press. ISSN/ISBN: 9781138071506.
- Fariña, L., Villar, V., Áres, G., Carrau, F., Dellacassa, E. y Boido, E., 2015. Volatile composition and aroma profile of Uruguayan Tannat wines. En: *Food Research International.*, 69, pp. 244-255. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.029>
- García Martín, J.M. y Sun, D.W., 2013. Ultrasound and electrical fields as novel techniques for assisting the wine ageing process: the state of the art research. En: *Food Science and Technology*, 33(1), pp. 40-53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.06.005>

- Harder, M., Silva, L., Pires, J., Scanholato, M. y Arthur, W., 2013. Physical-chemical evaluation of wines subjected to gamma irradiation for aging. En: *Food Science and Technology*, 1(3), pp. 62-65. DOI: <https://doi.org/10.13189/fst.2013.010304>
- Heinz, V. y Knorr, D., 2000. Effect of pH, ethanol addition and high hydrostatic pressure on the inactivation of *Bacillus subtilis* by pulsed electric fields. En: *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1(2), pp. 151-159. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(00\)00013-8](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(00)00013-8)
- International Organisation of Vine and Wine, 2021. *Compendium of international methods of wine and must analysis* [En línea]. Paris: OIV. OIV-MA-AS2-11 [Consulta: 23 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://www.oiv.int/public/medias/7907/oiv-vol1-compendium-of-international-methods-of-analysis.pdf>
- Iñiguez, M., 2000. Color y envejecimiento en vinos tintos de Rioja. En: *Acenología*, (2). ISSN: 1697-4123
- Jackson, R.S., 1994. *Wine science. Principles and applications*. San Diego: Academic Press.
- Kunsági-Máté, S., Szabó, K., Nikfardjam, M.P. y Kollár, L., 2006. Determination of the thermodynamic parameters of the complex formation between malvidin-3-O-glucoside and polyphenols. Copigmentation effect in red wines. En: *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 69(1-2), pp. 113-119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbbm.2006.03.014>

- Lukić, K., Brnčić, M., Ćurko, N., Tomašević, M., Jurinjak Tušek, A. y Kovačević Ganić, K., 2020. Quality characteristics of white wine: the short- and long-term impact of high power ultrasound processing. En: *Ultrason Sonochem.*, 68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105194>
- Martínez Lapuente, L., Guadalupe, Z., Ayestarán, B., Pérez-Porras, P., Bautista-Ortín, A.B. y Gómez-Plaza, E., 2021. Ultrasound treatment of crushed grapes: effect on the must and red wine polysaccharide composition. En: *Food Chemistry*, 356(10). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129669>
- Mason, T.J., 1998. Power ultrasound in food processing. The way forward. En: Povey J.J.W. y Mason T., eds. *Ultrasound in food processing*. Londres: Blakie Academic and Professional. pp. 17-29.
- Pérez-Porras, P., Bautista-Ortín, A.B., Jurado, R. y Plaza, E., 2021. Using high-power ultrasounds in red winemaking: effect of operating conditions on wine physico-chemical and chromatic characteristics. En: *LWT*, 138, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110645>
- Raichel, D.R., 2000. *The science and applications of acoustics*. New York: Springer-Verlag. ISBN 13:9780387260624.
- Ribereau-Gayón, P., Dubourdieu, D., Doneche, B., Lonvaud, A., Glories, Y. y Maugean, A., 2008. *Tratado de enología de Ribereau-Gayón*. Montevideo: Hemisferio Sur. ISBN: 978950504571.
- Sánchez-Córdoba, C., Durán-Guerrero, E. y Castro, R., 2021. Olfactometric and sensory evaluation of red wines subjected to ultrasound or microwaves during their maceration or ageing stages. En: *LWT*, 144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111228>
- Santos, M.C., Nunes, C., Cappelle, J., Gonçalves, F.J., Rodrigues, A., Saraiva, J.A. y Coimbra, M.A., 2013. Effect of high pressure treatments on the physicochemical properties of a sulphur dioxide-free red wine. En: *Food Chemistry*, 141(3), pp. 2558-2566, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.022>
- Santos, M.C., Nunes, C., Jourdes, M., Teissedre, P.L., Rodrigues, A., Amado, O., Saraiva, J.A. y Coimbra, M.A., 2016. Evaluation of the potential of high pressure technology as an enological practice for red wines. En: *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, pp. 76-83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.018>
- Slaghenaufi, D. y Ugliano, M., 2018. Norisoprenoids, sesquiterpenes and terpenoids content of valpolicella wines during aging: investigating aroma potential in relationship to evolution of tobacco and balsamic aroma in aged wine. En: *Frontiers in Chemistry*, 6, pp. 66. DOI: 10.3389/fchem.2018.00066
- StatSoft Inc., 2004. *Electronic statistics textbook*. V.7. Tulsa: StatSoft.
- Sun, X., Li, L., Ma, T., Zhao, F., Yu, D., Huang, W. y Zhan, J., 2015. High hydrostatic pressure treatment: an artificial accelerating aging method which did not change the region and variety non-colored phenolic characteristic of red wine. En: *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, pp. 123-134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.10.017>
- Tao, Y., Garcia, J.F. y Sun, D.W., 2014. Advances in wine aging technologies for enhancing wine quality and accelerating wine aging process. En: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(6), pp. 817-835. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.609949>

- Zhang, Q. y Wang, T.T., 2017. Effect of ultrasound irradiation on the evolution of color properties and major phenolic compounds in wine during storage. En: *Food Chemistry*, 234, pp. 372–380. DOI: [1 https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.022](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.022)
- Zhang, B., He, F., Zhou, P. P., Liu, Y. y Duan, C.Q., 2016. The color expression of copigmentation between malvidin-3-O-glucoside and three phenolic aldehydes in model solutions: The effects of pH and molar ratio. En: *Food Chemistry*, 199, pp. 220–228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.008>