

XLIV JORNADAS DE VITICULTURA Y ENOLOGÍA TIERRA DE BARROS

IV Congreso Agroalimentario de Extremadura

CENTRO UNIVERSITARIO SANTA ANA ALMENDRALEJO



Del 3 al 6 de Mayo 2022

XLIV JORNADAS DE VITICULTURA Y ENOLOGÍA
DE LA TIERRA DE BARROS
IV CONGRESO AGROALIMENTARIO DE EXTREMADURA

Edita:

Centro Universitario Santa Ana
C/ IX Marqués de la Encomienda, nº 2
Almendralejo
Tel. 924 661 689
<http://www.univsantana.com>

Colabora: Cajalmendralejo

Ilustración de portada:

© ALBERTO CATILLO

Diseño original:

Tecnigraf S.A.

Maquetación: Virginia Pedrero

ISBN: 978-84-7930-112-0

D.L.:

Imprime: Impresal

Elaboración de vino blanco sin anhídrido sulfuroso, un desafío para la industria enológica

GUTIÉRREZ-ESCOBAR, R.

ALIAÑO-GONZÁLEZ, M.J.

JIMÉNEZ-HIERRO, M.J.

PUERTAS, B.

CANTOS-VILLAR, E.

Instituto de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA). Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Centro Rancho de la Merced. Ctra. Cañada de la Loba (CA-3102), Km 3.1. 11471, Jerez de la Frontera, Cádiz, España.

RESUMEN

La búsqueda de alternativas al dióxido de azufre (SO_2) en la elaboración de vinos blancos es un reto complicado para la industria enológica. En el presente trabajo se investigó la eficacia de varios conservantes como una alternativa al uso de en vinos blancos de Verdejo. Se elaboraron los siguientes vinos: sin conservante (vinos CT), con SO_2 (vinos SO_2), con extracto rico en estilbenos (vinos ST99), con glutatión (vinos GSH) y finalmente con la combinación de extracto de estilbenos y glutatión (vinos ST99-GSH). El extracto ST99 inhibió la fermentación maloláctica (FML), mantuvo los parámetros enológicos de calidad, pero

afectó al color del vino desde el inicio del proceso. Tras 12 meses de envejecimiento en botella, los vinos con SO₂ fueron los mejor evaluados desde un punto de vista sensorial. Finalmente, el extracto ST99 puede proponerse como una alternativa al SO₂ solo en vinos de consumo a corto plazo. Su combinación con GSH no prolonga su vida útil.

Palabras claves: Verdejo, calidad, color, estilbenos, glutatión, análisis sensorial.

ABSTRACT

The search on alternatives to sulfur dioxide (SO₂) in white wine production is a tricky challenge for the oenological industry. In the current work, the effectiveness of several preservatives in protecting Verdejo white wines was investigated. The following wines were elaborated: without preservative (CT wines), with SO₂ (SO₂ wines), with stilbene-enriched extract (ST99 wines), with glutathione (GSH wines) and finally with the combination stilbene extract plus glutathione (ST99-GSH wines). ST99 extract preserved the wines from malolactic fermentation (MLF), maintained quality oenological parameters but affected wine colour from the beginning of the process. After 12 months of ageing in bottle, SO₂ wines showed the highest score in sensory analysis. The reasons for the evolution of treated wines and the implications of this study for maintenance of quality in free SO₂ white wines are discussed. ST99 may be proposed as an alternative to SO₂ just in wines of short-term consumption. Its combination with GSH do not prolong its shelf-life period.

Key words: Verdejo, quality, colour, stilbenes, glutathione, safety, sensory analysis.

INTRODUCCIÓN

El anhídrido sulfuroso (SO₂) es el conservante más utilizado en la industria agroalimentaria y enológica por sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Sin embargo, el SO₂ es un alérgeno que puede provocar problemas de salud, como dermatitis, urticaria, angioedema, diarrea, dolor abdominal, broncoconstricción y anafilaxia, en personas sensibles a él, siendo su concentración acumulativa en el organismo (Guerrero & Cantos-Villar, 2015). Por esta razón, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) recomienda no superar una Ingesta Diaria Admisibles (IDA) de 0,7 mg de SO₂/kg de peso corporal y día (EFSA, 2016).

La preocupación por sustituir o reducir el empleo de SO₂ en la industria enológica ha aumentado en los últimos años, prueba de ello es el incremento de investigaciones sobre alternativas al SO₂. Continuamente se revisan las alternativas físicas y químicas al SO₂ (Silva & van Wyk, 2021). Centrándonos en las alternativas químicas probadas en vinos blancos, se ha probado el uso de diferentes extractos fenólicos de piel de almendra y hojas de eucalipto en vinos de Verdejo durante la crianza en barrica (González-Rompinelli et al., 2013), extractos de hidroxitirosol en vinos de Sauvignon Blanc (Raposo et al., 2016) y un extracto de sarmiento de vid comercial también en vinos de Sauvignon Blanc (Cruz et al., 2018). Sin embargo, en todos los estudios se han descrito efectos secundarios negativos sobre las propiedades sensoriales del vino blanco para todas las alternativas anteriores.

Parece por tanto que en vinos blancos, la búsqueda de alternativas al SO₂ en un tema complejo, donde no hay una alternativa única, sino que habrá que combinar diferentes alternativas al SO₂ buscando efectos sinérgicos, como por ejemplo el empleo de plata por sus propiedades antimicrobianas (Izquierdo-Cañas et al., 2012) o el uso de glutatión por sus propiedades antioxidantes (Fracassetti et al., 2011). De esta forma, se han combinado extractos de pepitas y hollejos de uva con coloides de plata en vinos de la variedad Airén (Marchante et al., 2019), se ha estudiado el efecto de la saturación de los mostos con dióxido de carbono (CO₂) sobre las propiedades organolépticas de los vinos para reducir el SO₂ (Izquierdo-Cañas et al., 2021) y el efecto que tiene sobre la vida útil del vino la combinación de glutatión y elagitaninos añadidos en el embotellado (Panero et al., 2015).

De hecho, el tripéptido glutatión (γ -L-Glutamil-L-cisteinil-glicina) es un antioxidante natural contenido en las uvas, que juega un papel clave en la elaboración del vino. El glutatión en su forma reducida (GSH) se ha propuesto en enología para disminuir el empleo de SO₂ (Webber et al., 2014).

Finalmente, resultados previos en vinos blancos sin SO₂ elaborados con un extracto comercial de sarmientos de vid (29% de estilbenos) concluyeron que tanto el color, como el análisis sensorial y el perfil aromático de los vinos se vio afectado (Cruz et al., 2018). Los autores concluyeron que las alteraciones provenían del extracto, al menos parcialmente, por lo que se recomendó 1) aumentar la riqueza en estilbenos del extracto, para evitar los efectos secundarios producidos por otros componentes, y 2) combinar el extracto con otros antioxidantes. Con este objetivo, en nuestro laboratorio se elaboró un extracto puro de estilbenos (99%, ST99), a partir de la madera

de poda de la vid. La caracterización de este extracto ST99 nos permitió proponerlo como un potencial conservante adecuado en vino, incluido el vino blanco, ya que es estable, presenta buena actividad antimicrobiana y no contiene compuestos volátiles (Gutiérrez-Escobar et al., 2021a).

A pesar de los esfuerzos realizados, la sustitución del SO₂ por otro conservante en el vino blanco sigue siendo un reto. En el presente trabajo se ha ensayado la combinación de GSH con un extracto puro de estilbenos (ST99), previamente desarrollado en nuestro laboratorio. Se han analizado los parámetros enológicos y el perfil sensorial de los vinos en el embotellado y a los 12 meses de envejecimiento en botella.

MATERIAL Y MÉTODOS

Extracto puro de estilbenos

El extracto puro de estilbenos (ST99) se elaboró a partir de la madera de poda de la vid en colaboración con el laboratorio MIB de la Unidad de Investigación en Enología (UMR 1366 OENO, Univ. Burdeos, INRAE, Burdeos INP) perteneciente al Instituto Superior de Ciencias de la Vid y del Vino (ISVV) de la Universidad de Burdeos. El extracto presentaba una riqueza en estilbenos del 99% (p/p), siendo los principales estilbenos encontrados *E-ε-viniferina* (70%) y *E-resveratrol* (18%) (Gutiérrez-Escobar et al., 2021).

Vinificación del vino blanco con la variedad verdejo

Las uvas de la variedad Verdejo (1000 Kg) se vendimiaron manualmente y se almacenaron en cámara frigorífica (4 °C durante 24 horas). Al día siguiente, las uvas fueron despalilladas, estrujadas y prensadas (prensa neumática, PST5, Eslovenia). El mosto (560 L) se trasegó a un depósito de acero inoxidable de 600 L, donde se le agregaron 2,5 mL/hL de enzimas pectolíticas (Blanco L, Enartis, Italia) para favorecer el desfangado (24h para 4 °C). Posteriormente el mosto se homogeneizó y se dividió en quince depósitos de acero inoxidable de treinta litros cada uno. Los depósitos se agruparon aleatoriamente en cinco lotes según los tratamientos, cada uno por triplicado, de la siguiente manera: CT sin conservante, SO₂: se añadió 80 mg/L de SO₂, GSH: se añadió 20 mg/L de GSH, ST99: se añadió 40 mg/L de ST99, ST99-GSH: se añadieron 40 mg/L de ST99 y 20 mg/L de GSH.

La fermentación alcohólica (FA) fue inducida por levaduras (Viniferm Revelación, Agrovin, España), seleccionadas por su baja capacidad de producir SO₂. La evolución de la FA se controló diariamente midiendo la temperatura y densidad de los depósitos. Los vinos se desliaron cuando el valor de densidad fue de 990 g/L. Luego, se colocaron en el interior de una cámara frigorífica durante dos meses (2°C) para su estabilización. Los vinos de SO₂ se corrigieron hasta 30 mg/L de SO₂ libre antes del embotellado y una vez embotellados, todos los vinos se almacenaron durante 12 meses en condiciones controladas (oscuridad, 14 °C y 80% de humedad relativa).

Parámetros enológicos

Los parámetros enológicos, grado alcohólico, acidez total y volátil, pH, SO₂ total y libre, azúcares reductores, ácidos orgánicos, glicerol y acetaldehído se determinaron utilizando los métodos analíticos oficiales (OIV, 2021). El nitrógeno fácilmente asimilable (NFA) se obtuvo mediante la suma de los aminoácidos totales y el ion amonio previamente identificados y cuantificados mediante un equipo HPLC (Waters, Mildford, MA, USA) compuesto por una bomba binaria modelo 1525 y un detector de fotodiodo Waters 2996 según el método descrito por (Gómez-Alonso et al., 2007).

Los parámetros relacionados con el color (Abs 420 nm y Abs 470 nm) se determinaron mediante medidas espectrofotométricas (Lambda 25, Perkin-Elmer, Massachusetts). Los parámetros CIELab* (L*, a*, b*, C* y h) se determinaron con un espectrofotómetro CIELab Konica Minolta CM-3600d utilizando el software SpectraMagic v.3.61G (Cyberchrome Inc., Minolta Co. Ltd.).

Análisis sensorial

El perfil sensorial descriptivo de los vinos de Verdejo fue evaluado por un panel de catadores formado por 12 expertos (7 mujeres y 5 hombres), con edades comprendidas entre los 35 y los 65 años. Los vinos (50 mL) fueron evaluados en copas oscuras, para evitar sugerencias causadas por el color. El perfil olfativo y gustativo de los vinos fue evaluado mediante diferentes atributos según la norma ISO 6564:1985 (ISO,1985). Los panelistas utilizaron una escala de 10 puntos, de 0 (sin atributo) a 10 (atributo muy fuerte), para calificar la intensidad de los atributos.

Tratamiento estadístico de los datos

Los datos se analizaron mediante el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de diferencia mínima significativa (Tukey) con un nivel de significación de $p \leq 0.05$. Se utilizó el programa de análisis estadístico Statistix versión 9.0 (Tallahassee, FL, EE. UU.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fermentación alcohólica

La cinética fermentativa fue similar para todos los mostos tratados, con una duración de 7-9 días dependiendo del tratamiento (Figura 1). El inicio de la FA se retrasó en los vinos SO_2 , coincidiendo con lo descrito por otros autores que estudian alternativas al SO_2 (Ancín-Azpilicueta et al., 2012; Izquierdo-Cañas et al., 2021).

Los vinos GSH fueron los primeros en terminar la FA, seguidos de los vinos ST99-GSH, mientras que los vinos con SO_2 terminaron tres días después. Todos los vinos terminaron la FA correctamente, con una concentración de azúcares reductores por debajo de 2 gr/L, como es deseable en los vinos blancos secos.

Parámetros enológicos

En el momento del embotellado los tratamientos aplicados no afectaron la mayoría de los parámetros enológicos como grado alcohólico, densidad relativa, azúcares reductores, pH, acidez total y volátil (Tabla 1). Sin embargo, la adición prefermentativa de los diferentes conservantes (SO_2 , GSH y ST99) modificó la concentración de algunos compuestos enológicos. Hubo diferencias en el extracto seco y el glicerol encontrándose mayores concentraciones en los vinos con GSH y ST99. Este hecho puede estar relacionado con la capacidad del glicerol de reajustar el gradiente osmótico a través de la membrana celular para mantener las funciones celulares de las levaduras en condiciones de estrés osmótico, como puede ser la adición prefermentativa de solutos (es decir, GSH y ST99), como se describe en vinos tintos tratados con quitosano (Marchante et al., 2021).

Los ácidos orgánicos mostraron valores adecuados para vinos blancos. Solo el ácido tartárico mostró diferencias significativas entre tratamientos

(Tabla 1), lo que se relaciona con diferencias en potasio, debido a la precipitación tartárica. Cabe destacar que, en el momento del embotellado, ninguno de los vinos tratados había realizado la fermentación maloláctica (FML), como es deseable en los vinos blancos.

La mayor concentración de acetaldehído se encontró en los vinos con SO₂. De hecho, el SO₂ induce la formación de acetaldehído por las levaduras (Jackowetz et al., 2011) Resultados similares se han descrito en vinos blancos elaborados sin SO₂ (Cruz et al., 2018; Marchante et al., 2019).

En cuanto al nitrógeno fácilmente asimilable (NFA), se encontraron ligeras diferencias solo para los vinos con GSH y ST99-GSH, siendo estos los que obtuvieron los valores más bajos en el momento del embotellado. Mientras que no se encontraron diferencias significativas a los 12 meses del embotellado entre los tratamientos (Tabla 1).

En general, los parámetros enológicos no evolucionaron durante los 12 meses de envejecimiento en botella (Tabla 1), salvo en el caso de los ácidos orgánicos. El ácido acético aumentó en todos los vinos tratados, especialmente en los vinos CT y GSH, aunque su concentración fue inferior a la máxima fijada por el Reglamento CEE 2676/90 (1 g/L). Cabe destacar que los vinos CT y GSH realizaron FML, mientras que los vinos tratados con SO₂ o ST99 inhibieron la FML, como es deseable en vinos blancos, durante el envejecimiento (Tabla 1). Resultados similares se han descrito en vinos blancos, donde vinos tratados con 100% de CO₂ y sin SO₂ también realizaron la FML (Izquierdo-Cañas et al., 2021).

A los 12 meses de envejecimiento, el acetaldehído prácticamente desapareció en los vinos CT y GSH (Tabla 1), probablemente catabolizado por *Oenococcus oeni*, dando lugar a la formación de etanol y acetato de etilo (datos no mostrados) (Liu & Pilone, 2000; Webber et al., 2014).

El color es un parámetro clave de calidad en los vinos, especialmente en los vinos blancos. En el momento del embotellado (Tabla 1), los vinos más amarronados (Abs 470 nm) fueron los tratados con ST99, solo o en combinación con GSH, seguidos de los vinos GSH, los vinos CT y finalmente los vinos con SO₂. El extracto ST99 era de color marrón claro y eso afectó definitivamente al color del vino. El GSH era una solución incolora, por lo que en este caso el color amarronado de los vinos con GSH probablemente estaba relacionado con la oxidación. Los vinos con SO₂ presentaron mayor luminosidad (L*), tonos verdosos (a*) y amarillentos (b*) que los demás

vinos. Otros autores también han descrito modificaciones de color cuando probaron alternativas al SO_2 (Cruz et al., 2018; Marchante et al., 2019; Panero et al., 2015). De hecho, la preservación del color es uno de los desafíos más difíciles en los vinos blancos libres de SO_2 .

Tras 12 meses de envejecimiento en botella (Tabla 1), el color de todos los vinos tratados evolucionó, manteniéndose las diferencias entre los tratamientos. Sin embargo, la evolución fue mayor en los vinos CT y GSH. Así, los vinos con GSH no protegieron al vino de la oxidación, de acuerdo con datos recientes sobre vinos Sauvignon Blanc (Díaz et al., 2021).

En resumen, los parámetros enológicos fueron correctos en los vinos tratados, a pesar de que algunos parámetros mostraron diferencias significativas. Sin embargo, el color del vino se vio afectado por los tratamientos, especialmente en los vinos tratados con ST99.

Análisis sensorial

El análisis sensorial se realizó tras el embotellado (Figura 2a) y después de 12 meses de envejecimiento en botella (Figura 2b). Los vinos de Verdejo en el momento del embotellado fueron descritos como vinos afrutados. Se encontraron pocas diferencias entre los vinos tratados. Los vinos con SO_2 y GSH destacaron por presentar matices de frutas tropicales y de hueso, mientras que los vinos ST99 obtuvieron la puntuación más alta para frutas maduras, sin significación estadística (Figura 2a). Todos los vinos tratados mostraron buenas puntuaciones en equilibrio, persistencia, complejidad y poco amargor, sin diferencias significativas entre ellos (Figura 2a).

Tras el envejecimiento en botella, los vinos tratados con ST99 y ST99-GSH evolucionaron más que los demás, especialmente en fruta madura, lo que suele estar relacionado con la oxidación (Alañón et al., 2018), mientras que las puntuaciones en fruta tropical y de hueso disminuyeron significativamente. Además, se describieron atributos de olores desagradables (matices sucios, oxidados y químicos) para algunos catadores en los vinos ST99 y ST99-GSH, mientras que los vinos tratados con SO_2 obtuvieron puntuaciones más altas en los atributos equilibrio y complejidad en comparación con los demás.

CONCLUSIONES

La adición prefermentativa de diferentes conservantes en el mosto Verdejo afectó de manera diferente tanto a la composición como a las propiedades sensoriales del vino. Todos los vinos tratados realizaron correctamente la FA. Aparte del SO_2 , solo el extracto ST99 fue capaz de inhibir la FML durante el envejecimiento del vino en botella, como es deseable en los vinos blancos. Los parámetros enológicos fueron correctos para todos los vinos tratados, a pesar de que algunos parámetros mostraron diferencias significativas. Sin embargo, el color del vino se vio afectado por los tratamientos, especialmente en los vinos tratados con ST99.

Finalmente, los conservantes ensayados en este trabajo fueron capaces de producir vinos blancos con buenas puntuaciones en el análisis sensorial en el momento de embotellado. Sin embargo, los vinos tratados con ST99 evolucionaron más rápido que los demás, independientemente de si estaban o no combinados con GSH. Por tanto, se puede concluir que ST99 puede proponerse como alternativa al SO_2 solo en vinos de consumo a corto plazo. Su combinación con GSH no prolonga su vida útil.

Por otro lado, el uso de ST99, rico en estilbenos bioactivos, produce vinos saludables y favorece la economía circular al agregar valor a un subproducto de la industria enológica (objetivo principal del Green Deal). Por este motivo, proponemos el uso de extractos obtenidos a partir de la madera de poda de la vid como conservante en la elaboración de vinos blancos, con ciertas limitaciones.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) por financiar el proyecto: "Estilbenos como una alternativa al anhídrido sulfuroso en vinos" (RTA2015-00005-CO2-00). Rocío Gutiérrez Escobar agradece a la Agencia Estatal de Investigación del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (MINECO), la concesión de la ayuda para la formación de doctores (convocatoria 2017).

BIBLIOGRAFÍA

- Alañón, M. E., Díaz-Maroto, M. C., & Pérez-Coello, M. S. (2018). New strategies to improve sensorial quality of white wines by wood contact. *Beverages*, 4(4), 1–11. <https://doi.org/10.3390/beverages4040091>
- Ancín-Azpilicueta, C., Barriuso-Esteban, B., Nieto-Rojo, R., & Aristizábal-López, N. (2012). SO₂ protects the amino nitrogen metabolism of *Saccharomyces cerevisiae* under thermal stress. *Microbial Biotechnology*, 5(5), 654–662. <https://doi.org/10.1111/j.1751-7915.2012.00343.x>
- CEE. (2005). Commission Regulation (EEC) No 2676/90 of 17 September 1990. Determining Community methods for the analysis of wines. Official Journal of the European Communities, 000, 194.
- Cruz, S., Raposo R., Ruiz-Moreno, M.J., Garde-Cerdán T., Puertas B., Gonzalo-Diago, A., Moreno-Rojas J.M., Cantos-Villar, E. (2018). Grapevine-shoot stilbene extract as a preservative in white wine. *Food Chemistry*, 197(August), 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.102>
- Díaz, I., Castro, R. I., Ubeda, C., Loyola, R., & Laurie, V. F. (2021). Combined effects of sulfur dioxide, glutathione and light exposure on the conservation of bottled Sauvignon blanc. *Food Chemistry*, 356(November 2020), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129689>
- EFSA. (2016). Scientific Opinion on the re-evaluation of sulfur dioxide (E 220), sodium sulfite (E 221), sodium bisulfite (E 222), sodium metabisulfite (E 223), potassium metabisulfite (E 224), calcium sulfite (E 226), calcium bisulfite (E 227) and potassium bisulfite. *EFSA Journal*, 14(4), 4438. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4438>
- Fracassetti, D., Lawrence, N., Tredoux, A. G. J., Tirelli, A., Nieuwoudt, H. H., & Du Toit, W. J. (2011). Quantification of glutathione, catechin and caffeic acid in grape juice and wine by a novel ultra-performance liquid chromatography method. *Food Chemistry*, 128(4), 1136–1142. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.001>
- Gómez-Alonso, S., Hermosín-Gutiérrez, I., & García-Romero, E. (2007). Simultaneous HPLC analysis of biogenic amines, amino acids, and ammonium ion as aminoenone derivatives in wine and beer samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(3), 608–613. <https://doi.org/10.1021/jf062820m>

González-Rompinelli, E. M., Rodríguez-Bencomo, J. J., García-Ruiz, A., Sánchez-Patán, F., Martín-Álvarez, P. J., Bartolomé, B., & Moreno-Arribas, M. V. (2013). A winery-scale trial of the use of antimicrobial plant phenolic extracts as preservatives during wine ageing in barrels. *Food Control*, 33, 440–447.

Guerrero, Raúl F., Cantos-Villar, E. (2015). Demonstrating the efficiency of sulphur dioxide replacements in wine: A parameter review. *Trends Food Sci .Technology*, 42, 27–43. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.11.004>

Gutiérrez-Escobar, R., Fernández-Marín, M. I., Richard, T., Fernández-Morales, A., Carbú, M., Cebrian-Tarancón, C., Torija, M. J., Puertas, B., & Cantos-Villar, E. (2021). Development and characterization of a pure stilbene extract from grapevine shoots for use as a preservative in wine. *Food Control*, 121 (September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107684>

Izquierdo-Cañas, P. M., García-Romero, E., Huertas-Nebreda, B., & Gómez-Alonso, S. (2012). Colloidal silver complex as an alternative to sulphur dioxide in winemaking. *Food Control*, 23(1), 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.06.014>

Izquierdo-Cañas, P. M., Mena-Morales, A., Pérez-Navarro, J., García-Romero, E., Cejudo-Martín de Almagro, V. M., Guri-Baiget, S., & Mallén-Pomes, J. (2021). Saturation of grape musts with CO₂: A technique to reduce the use of SO₂ in white wines. *Lwt*, 152(August). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112318>

Jackowetz, J. N., Dierschke, S., & Orduña, R. M. De. (2011). Multifactorial analysis of acetaldehyde kinetics during alcoholic fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. *FRIN*, 44(1), 310–316. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.014>

Liu, S. Q., & Pilone, G. J. (2000). An overview of formation and roles of acetaldehyde in winemaking with emphasis on microbiological implications. *International Journal of Food Science and Technology*, 35(1), 49–61. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2000.00341.x>

Marchante, L., Loarce, L., Izquierdo-Cañas, P. M., Alañón, M. E., García-Romero, E., Pérez-Coello, M. S., & Díaz-Maroto, M. C. (2019). Natural extracts from grape seed and stem by-products in combination with colloidal silver as alternative preservatives to SO₂ for white wines: Effects on chemical

composition and sensorial properties. *Food Research International*, 125(July). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108594>

Marchante, L., Mena, A., Izquierdo-Cañas, P. M., García-Romero, E., Pérez-Coello, M. S., & Díaz-Maroto, M. C. (2021). Effects of the pre-fermentative addition of chitosan on the nitrogenous fraction and the secondary fermentation products of SO₂-free red wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(3), 1143–1149. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10725>

OIV. (2021). International Code of Oenological Practices (19th ed., Issue June 2017).

Panero, L., Motta, S., Petrozziello, M., Guaita, M., & Bosso, A. (2015). Effect of SO₂, reduced glutathione and ellagitannins on the shelf life of bottled white wines. *European Food Research and Technology*, 240, 345–356. <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2334-5>

Raposo, R., Ruiz-Moreno, M. J., Garde-Cerdán, T., Puertas, B., Moreno-Rojas, J. M., Zafrilla, P., Gonzalo-Diago, A., Guerrero, R. F., & Cantos-Villar, E. (2016). Replacement of sulfur dioxide by hydroxytyrosol in white wine: Influence on both quality parameters and sensory. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.005>

Silva, F. V. M., & van Wyk, S. (2021). Emerging non-thermal technologies as alternative to so₂ for the production of wine. *Foods*, 10 (9), 1–18. <https://doi.org/10.3390/foods10092175>

Webber, V., Dutra, S. V., Spinelli, F. R., Marcon, Â. R., Carnieli, G. J., & Vanderlinde, R. (2014). Effect of glutathione addition in sparkling wine. *Food Chemistry*, 159, 391–398. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.031>

TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Parámetros enológicos en los vinos de Verdejo.

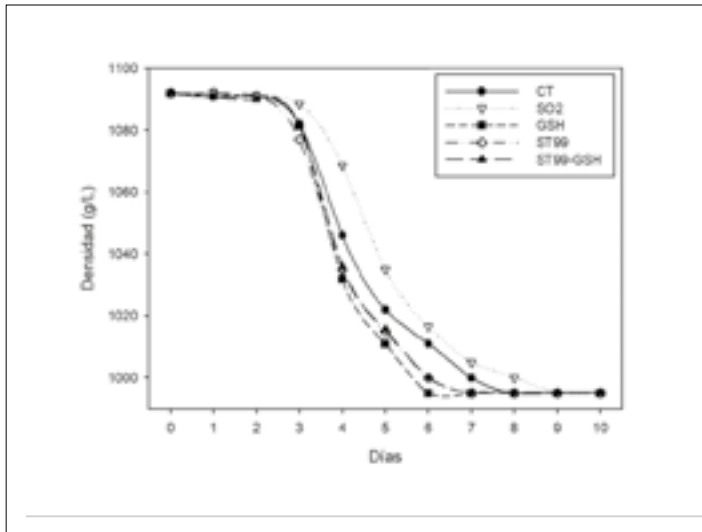
	Embotellado					
	CT	SO ₂	GSH	ST99	ST99-GSH	LS
Grado alcohólico (% vol)	13,3	13,3	13,2	13,3	13,3	ns
Densidad relativa	0,9893	0,9899	0,9901	0,9902	0,9901	ns
Azúcares reductores (g/L)	1,30	1,22	1,36	1,16	1,16	ns
Extracto seco (g/L)	17,23 ^b	16,75 ^c	17,01 ^{bc}	17,27 ^b	17,87 ^a	***
Glicerol (g/L)	5,51 ^c	5,56 ^c	5,76 ^b	5,99 ^a	5,78 ^b	***
pH	3,20	3,21	3,26	3,28	3,28	ns
Acidez total (g/L TH ₂)	5,55	5,45	5,68	5,75	5,67	ns
Acidez volátil (g/L Ach)	0,41	0,44	0,42	0,42	0,37	ns
Ácido acético (g/L)	0,40	0,41	0,43	0,44	0,41	ns
Ácido cítrico (g/L)	0,21	0,21	0,20	0,22	0,21	ns
Ácido tartárico (g/L)	2,17 ^c	2,47 ^b	2,53 ^b	2,70 ^a	2,69 ^a	***
Potasio (mg/L)	537 ^b	567 ^b	644 ^a	649 ^a	634 ^a	***
Ácido succínico (g/L)	0,59	0,58	0,65	0,66	0,61	ns
Ácido málico (g/L)	1,60	1,59	1,60	1,62	1,61	ns
Ácido láctico (g/L)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	ns
Acetaldehído (mg/L)	15,05 ^{bc}	31,56 ^a	14,19 ^{cd}	12,85 ^d	15,99 ^b	***
NFA (mg/L)	683,10 ^{ab}	738,66 ^a	641,15 ^b	686,59 ^{ab}	653,18 ^b	**
Abs 420 nm	0,117 ^c	0,077 ^d	0,130 ^b	0,157 ^a	0,151 ^a	***
Abs 470 nm	0,052 ^c	0,030 ^d	0,058 ^b	0,070 ^a	0,068 ^a	***
L*	93,74 ^b	96,63 ^a	94,19 ^b	90,34 ^c	90,85 ^c	***
a*	-0,90 ^c	-1,74 ^d	-0,77 ^c	-0,13 ^a	-0,35 ^b	***
b*	16,08 ^c	10,74 ^d	16,79 ^c	24,29 ^a	22,45 ^b	***

CT, vino sin conservantes; SO₂, vino con 80 mg/L de anhídrido sulfuroso; GSH, vino con 20 mg/L de glutatión; ST99, vino con 40 mg/L de extracto ST99; ST99-GSH, vino con 40 mg/L de extracto ST99 y 20 mg/L de glutatión. TH₂, ácido tartárico; NFA, nitrógeno fácilmente asimilable. Diferentes letras en superíndice (a, b o c) para el mismo parámetro denotan diferencias significativas (p < 0,05). Análisis de varianza, nivel de significación (LS): * (p < 0,05), ** (p < 0,01), *** (p < 0,001); ns: no significativo.

	12 meses de envejecimiento en botella					
	CT	SO ₂	GSH	ST99	ST99-GSH	LS
Grado alcohólico (% vol)						
Densidad relativa						
Azúcares reductores (g/L)						
Extracto seco (g/L)						
Glicerol (g/L)						
pH	3,58	3,31	3,58	3,42	3,44	ns
Acidez total (g/L TH ₂)	4,50	5,05	4,38	5,23	4,98	ns
Acidez volátil (g/L AcH)	0,55	0,45	0,49	0,59	0,59	ns
Ácido acético (g/L)	0,57 ^{ab}	0,40 ^c	0,60 ^a	0,48 ^{bc}	0,49 ^{bc}	**
Ácido cítrico (g/L)	0,05 ^b	0,28 ^a	0,05 ^b	0,24 ^a	0,20 ^a	**
Ácido tartárico (g/L)	2,46 ^b	2,24 ^c	2,57 ^{ab}	2,71 ^a	2,68 ^a	***
Potasio (mg/L)						
Ácido succínico (g/L)	0,25	0,27	0,30	0,30	0,28	ns
Ácido málico (g/L)	0,04 ^b	1,44 ^a	0,02 ^b	1,48 ^a	1,46 ^a	***
Ácido láctico (g/L)	0,98 ^a	0,01 ^b	0,94 ^a	0,02 ^b	0,02 ^b	***
Acetaldehído (mg/L)	1,59 ^c	36,62 ^a	nd	11,70 ^b	13,14 ^b	***
NFA (mg/L)	1000,62	915,00	1051,99	959,10	1056,18	ns
Abs 420 nm	0,152 ^c	0,092 ^d	0,165 ^b	0,174 ^a	0,173 ^a	***
Abs 470 nm	0,068 ^c	0,040 ^d	0,075 ^b	0,077 ^{ab}	0,079 ^a	***
L*	94,73 ^{bc}	97,51 ^a	95,15 ^b	93,63 ^d	94,16 ^{cd}	***
a*	-1,82	-2,01	-2,00	-1,85	-2,01	ns
b*	20,81 ^b	12,64 ^c	20,78 ^b	23,41 ^a	22,93 ^a	***

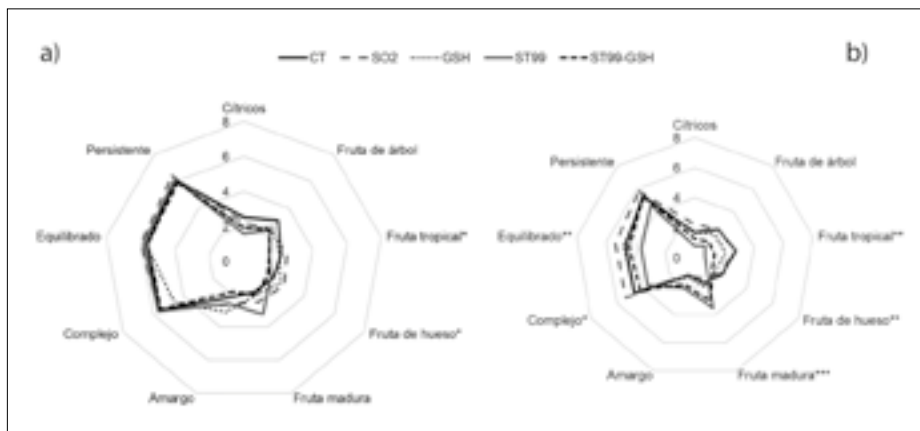
CT, vino sin conservantes; SO₂, vino con 80 mg/L de anhídrido sulfuroso; GSH, vino con 20 mg/L de glutatión; ST99, vino con 40 mg/L de extracto ST99; ST99-GSH, vino con 40 mg/L de extracto ST99 y 20 mg/L de glutatión. TH₂, ácido tartárico; NFA, nitrógeno fácilmente asimilable. Diferentes letras en superíndice (a, b o c) para el mismo parámetro denotan diferencias significativas (p < 0,05). Análisis de varianza, nivel de significación (LS): * (p < 0,05), ** (p < 0,01), *** (p < 0,001); ns: no significativo.

Figura 1. Cinética fermentativa del mosto de Verdejo.



CT, vino sin conservantes; SO₂, vino con 80 mg/L de anhídrido sulfuroso; GSH, vino con 20 mg/L de glutatión; ST99, vino con 40 mg/L de extracto ST99; ST99-GSH, vino con 40 mg/L de extracto ST99 y 20 mg/L de glutatión.

Figura 2. Análisis sensorial de los vinos de Verdejo en el momento del embotellado (a) y a los 12 meses de envejecimiento en botella (b).



CT, vino sin conservantes; SO₂, vino con 80 mg/L de anhídrido sulfuroso; GSH, vino con 20 mg/L de glutatión; ST99, vino con 40 mg/L de extracto ST99; ST99-GSH, vino con 40 mg/L de extracto ST99 y 20 mg/L de glutatión. Los descriptores con * denotan diferencias significativas ($p < 0,05$). Análisis de varianza, niveles de significación: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.