

ORIGINAL

El ácido fumárico en enología

Violeta García-Viñola, Daniel Fernández-Vázquez, Jordi Gombau, Cristina Reguant, Joan Miquel Canals, Nicolas Rozès y Fernando Zamora

Universitat Rovira i Virgili (URV)

Recibido 24 de octubre de 2025 / Aceptado 27 de octubre de 2025 / Publicado 1 de marzo de 2026

1. Introducción

El vino es una bebida compleja cuya calidad y estabilidad dependen de una amplia variedad de compuestos químicos presentes en equilibrio dinámico. Entre estos, los ácidos orgánicos desempeñan un papel fundamental en el pH, la acidez total y las características sensoriales del producto final, especialmente su frescor (Morata *et al.*, 2019b). Tradicionalmente, los principales ácidos considerados en la enología han sido el tartárico, el L-málico, el L-láctico y el cítrico (Jackson, 2020). Sin embargo, recientemente otro ácido, concretamente el ácido fumárico, ha despertado un creciente interés por su potencial tecnológico como acidificante y su impacto en la estabilidad microbiológica del vino (Morata *et al.*, 2019a; Gancel *et al.*, 2022).

El ácido fumárico (C₄H₄O₄) es el nombre común de un ácido orgánico denominado según la nomenclatura de la IUPAC como ácido (2E)-but-2-enedioico (número CAS 110-17-8). Está presente en pequeñas cantidades en una amplia variedad de sistemas biológicos, incluidos el mosto y el vino, ya que es un metabolito intermediario del ciclo de Krebs (Guo *et al.*, 2020). Se presenta como un sólido blanco, con una acidez pronunciada y baja solubilidad en agua (entre 5 y 7 g/L a temperatura ambiente), si bien presenta una mayor solubilidad en etanol al 95 % (46 g/L a 25 °C) (Dang *et al.*, 2009; Yang, *et al.*, 2013). Sus grupos ácido carboxílico se encuentran en posición trans (E) y está reconocido como un aditivo alimentario seguro por diversas agencias de seguridad alimentarias (EFSA, 2013; FDA, 2020).

El ácido fumárico ha sido ampliamente utilizado en la industria alimentaria desde 1946 debido a sus propiedades acidificantes en alimentos y jugos (Straathof y Van Gulik, 2012), sustituyendo en ocasiones el uso de los ácidos cítrico y tartárico. El umbral sensorial del ácido fumárico es de aproximadamente 1 g/L en vino tinto (Gancel *et al.*, 2022), y parece que su presencia puede contribuir a la reducción del pH del vino, mejorando así su frescor y, en el caso de los vinos tintos, la intensidad del color (Morata *et al.*, 2020).

El ácido fumárico fue autorizado recientemente por la OIV como inhibidor de las bacterias lácticas en el vino (OIV, 2021) y algo más tarde como acidificante (OIV, 2024). Más recientemente la OIV ha autorizado su uso en mostos para su control microbiológico (OIV, 2025). La dosis máxima autorizada es de 0,6 g/L como inhibidor de la fermentación maloláctica en vinos, mientras que es de 0,8 g/L para el control microbiológico en mostos. En el caso de su empleo como acidificante queda limitado por las reglas generales de acidificación. Por otra parte, su uso está ampliamente extendido en la industria alimentaria como aditivo (E297), donde cumple ambas funciones, acidificante e inhibidor de ciertos microorganismos, con dosis autorizadas de hasta 4 g/kg o L (European Union, 2008). De hecho, se ha descrito su efecto inhibidor sobre diversos microorganismos como serían *Escherichiacoli*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella sp* (Barnes y Karatzas, 2020).

En el contexto enológico, su incorporación ha sido estudiada principalmente por sus propiedades antimicrobianas, especialmente frente a bacterias lácticas responsables de la fermentación maloláctica no deseada. De hecho, su uso para inhibir la fermentación maloláctica ya fue propuesto en la década de los 70 (Tchelistcheff *et al.*, 1971; Ough y Kunkee, 1974; Pilone *et al.*, 1974) si bien no fue hasta mucho después que el interés por su uso en el vino (Morata *et al.*, 2019a, Morata *et al.*, 2020, Fernández-Vázquez *et al.*, 2021; Morata *et al.*, 2023; García-Viñola *et al.*, 2025) y en el mosto (Davaux *et al.*, 2023; García-Viñola *et al.*, 2023; García-Viñola *et al.*, 2025) cobró interés. Es necesario señalar que el uso del ácido fumárico como inhibidor de la fermentación maloláctica puede ser de gran utilidad para reducir la utilización del dióxido de azufre especialmente en vinos blancos y rosados (Morata *et al.*, 2023; Torres-Díaz *et al.*, 2025). Asimismo, su potencial como acidificante ha sido destacado en investigaciones recientes (Gancel *et al.*, 2022; Payan *et al.*, 2023), que señalan su utilidad para mitigar los efectos negativos del cambio climático sobre el frescor del vino.

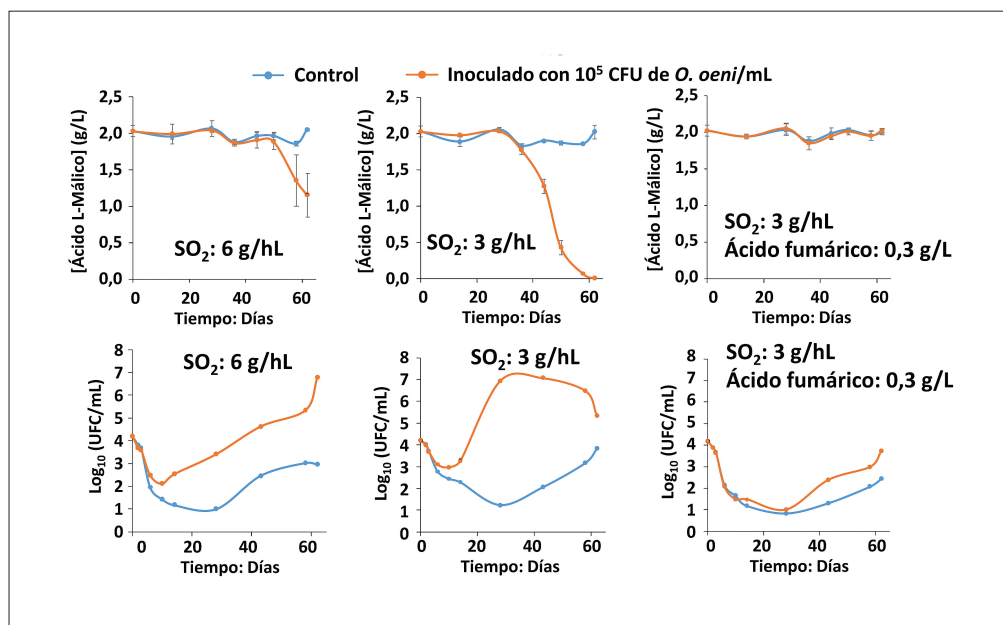


Figura 1. Influencia del SO_2 y del ácido fumárico sobre el desarrollo de la fermentación maloláctica en el vino. Todos los datos se expresan como el promedio de tres repeticiones $\pm$ desviación estándar.

Este interés se debe a su doble acción sobre la acidez: por un lado, ejerce un efecto directo al aumentar la acidez, y por otro, actúa de forma indirecta al preservar el ácido L-málico (Morata *et al.*, 2019a; Gancel *et al.*, 2022; Payan *et al.*, 2023).

En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo evaluar el papel del ácido fumárico en la estabilidad química y microbiológica del vino, analizando su impacto sobre parámetros enológicos clave y su potencial como herramienta tecnológica en vinificación.

2. Inhibición de la fermentación maloláctica

Probablemente, la principal funcionalidad del ácido fumárico en enología es su gran efecto inhibitor sobre las bacterias lácticas sin que afecte para nada a las levaduras o a las bacterias acéticas. Tal y como se ha comentado anteriormente, este efecto inhibitor de la fermentación maloláctica en vinos ya fue descrito en los años 70 (Tchelistcheff *et al.*, 1971; Ough y Kunkee, 1974; Pilone *et al.*, 1974), si bien ha sido mucho más recientemente cuando se ha autorizado su uso en vinificación.

Se ha postulado que la acción inhibitor del ácido fumárico responde al mecanismo típico de los ácidos orgánicos débiles. A pH extracelular bajo, su forma no disociada atraviesa la membrana celular y, al disociarse en el interior, reduce el pH citoplasmático, alterando la homeostasis e interfiriendo con procesos metabólicos esenciales. Además, se ha observado que el fumarato puede inhibir el sistema GAD, responsable de transformar el glutamato en ácido γ -aminobutírico (GABA). Este sistema elimina un protón durante la reacción y contribuye a la resistencia

de la célula frente a condiciones ácidas (Barnes y Karatzas, 2020; Morata *et al.*, 2023). Las levaduras, como *Saccharomyces cerevisiae*, no son sensibles a este mecanismo debido a que poseen diversas proteínas transportadoras, entre ellas Pma1 y Pdr12, capaces de expulsar protones y aniones carboxilato fuera de la célula. Esta capacidad les permite mantener su equilibrio iónico interno y reducir la toxicidad asociada a la acumulación de ácidos orgánicos (Vital-Lopez *et al.*, 2013). Por lo tanto, el ácido fumárico constituye una herramienta interesante para inhibir la fermentación maloláctica sin afectar la fermentación alcohólica por lo que, tal y como se comentará más adelante, puede utilizarse en mostos e incluso en la segunda fermentación en botella de vinos espumosos naturales.

Para ilustrar el efecto inhibitor del ácido fumárico sobre la fermentación maloláctica se muestra la **Figura 1**. En el estudio se comparó un mismo vino base para Cava bajo tres condiciones experimentales: a) sulfitado con una dosis elevada de SO_2 (6 g/hL), b) con una dosis moderada (3 g/hL) y c) sulfitado con 3 g/hL de SO_2 y suplementado con 0,3 g/L de ácido fumárico. En todos los casos, los vinos se mantuvieron en condiciones control o se inocularon con 10^5 UFC/mL de una cepa de *Oenococcus oeni* aislada de Cavas que habían realizado la fermentación maloláctica en botella.

Los resultados son concluyentes y muestran que, en el vino sulfitado con 6 g/hL, el control no desarrolló la fermentación maloláctica, mientras que en el vino inoculado se observó un leve descenso en la concentración de ácido L-málico, acompañado de un claro aumento en la

El ácido fumárico en enología

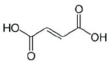
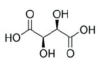
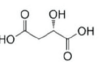
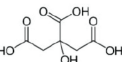
Características	Ácido				
	Fumárico	Tartárico	Málico	Cítrico	Láctico
					
Masa molar (g/mol)	116,07	150,02	134,08	192,12	90,08
Masa equivalente (g/equivalente)	58,04	75,01	67,04	64,04	90,08
<i>pK</i> 1	3,03	2,98	3,40	3,09	3,81
<i>pK</i> 2	4,44	4,34	5,05	4,39	-
<i>pK</i> 3	-	-	-	5,74	-

Tabla 1. Características de los diferentes ácidos.

población de bacterias lácticas. En el caso del vino sulfitado a 3 g/hL se observó que el vino control tampoco realizó la fermentación maloláctica pero en el vino inoculado todo el ácido L-málico fue degradado y la población de bacterias lácticas aumentó de forma drástica. Finalmente, en el vino sulfitado a 3 g/hL y suplementado con 0,3 g/L de ácido fumárico no se observó degradación alguna de ácido L-málico ni un aumento muy significativo de la población de bacterias lácticas. Por todo lo expuesto se puede concluir que el ácido fumárico es efectivamente un potente inhibidor de las bacterias lácticas y que por tanto puede utilizarse como herramienta para inhibir la fermentación maloláctica sin tener que recurrir a continuos sulfitados del vino.

3. Efecto acidificante

La [Tabla 1](#) muestra las características del ácido fumárico en comparación con las de los otros ácidos autorizados: tartárico, cítrico, málico y láctico. En ella se puede ver claramente que el ácido cítrico es un ácido tricarboxílico, que los ácidos tartárico, málico y fumárico son dicarboxílicos, y que el ácido láctico es monocarboxílico. En dicha tabla también se muestra su masa molar, su masa equivalente y sus *pK*s. De acuerdo con los valores de *pK*₁ de los ácidos analizados, siendo este el parámetro que ejerce mayor influencia sobre el pH de una disolución, se puede establecer que el ácido más fuerte es el ácido tartárico. A este le siguen, en orden decreciente de acidez, el ácido fumárico, el ácido cítrico, el ácido málico y, finalmente, el ácido láctico. Esta clasificación se fundamenta en la relación inversa entre el valor del *pK*₁ y la fuerza del ácido: a menor *pK*₁, mayor es la tendencia del ácido a

disociarse y, por tanto, mayor su capacidad para acidificar el medio.

No obstante, es fundamental considerar la masa equivalente de cada ácido para evaluar adecuadamente su efecto acidificante en función de la cantidad de masa utilizada. Desde esta perspectiva, el ácido fumárico presenta la masa equivalente más baja, seguido, en orden creciente, por el ácido cítrico, el ácido málico, el ácido tartárico y, finalmente, el ácido láctico. Esto implica que, para lograr un mismo incremento en la acidez total, se requeriría una menor cantidad de ácido fumárico en comparación con los demás, manteniéndose el mismo orden previamente mencionado. La [Tabla 2](#) ilustra este fenómeno mostrando la concentración de cada ácido (g/L) necesaria para aumentar la acidez total en 1 gramo de ácido tartárico/L. En consecuencia, la eficiencia acidificante (sobre la acidez total) por unidad de concentración sería mayor en el ácido fumárico.

Ahora bien, es importante recordar que todos estos compuestos son ácidos débiles. Por ello, cabe preguntarse: ¿cuál es el efecto de cada uno sobre el pH del vino? La [Tabla 3](#) presenta la concentración necesaria de cada ácido (en g/L) para reducir el pH del vino en 0,1 unidades (Gancel *et al.*, 2022). Como se observa, el ácido fumárico es el más eficaz, seguido del ácido tartárico. Los demás ácidos muestran una eficacia similar entre sí, aunque inferior a la de los dos primeros.

4. Utilización en el mosto

Tal como se mencionó en apartados anteriores, el ácido fumárico permite inhibir el desarrollo de las bacterias lácticas sin afectar a las levaduras. Por este motivo, su incorpo-

Violeta G^a-Viñola, Daniel Fernández-Vázquez, Jordi Gombau, Cristina Reguant, Joan Miquel Canals, Nicolas Rozès y Fernando Zamora

Ácido	Concentración (g/L)
Fumárico	0,77
Tartárico	1,00
Málico	0,89
Cítrico	0,85
Láctico	1,20

Tabla 2. Concentración de ácido (g/L) necesaria para aumentar la acidez total en 1 g de ácido tartárico/L.

Ácido	Vino blanco (Sauvignon Blanc)	Vino tinto (Cabernet Sauvignon)
Fumárico	0,22 ± 0,04 A	0,20 ± 0,03 A
Tartárico	0,34 ± 0,03 B	0,31 ± 0,02 B
Málico	0,51 ± 0,02 C	0,39 ± 0,04 C
Cítrico	0,47 ± 0,04 C	0,53 ± 0,03 D
Láctico	0,44 ± 0,01 C	0,45 ± 0,01 C

Tabla 3. Concentración de ácido (g/L) necesaria para disminuir el pH en 0,1 unidades (Extraído de Gancel et al., 2022)

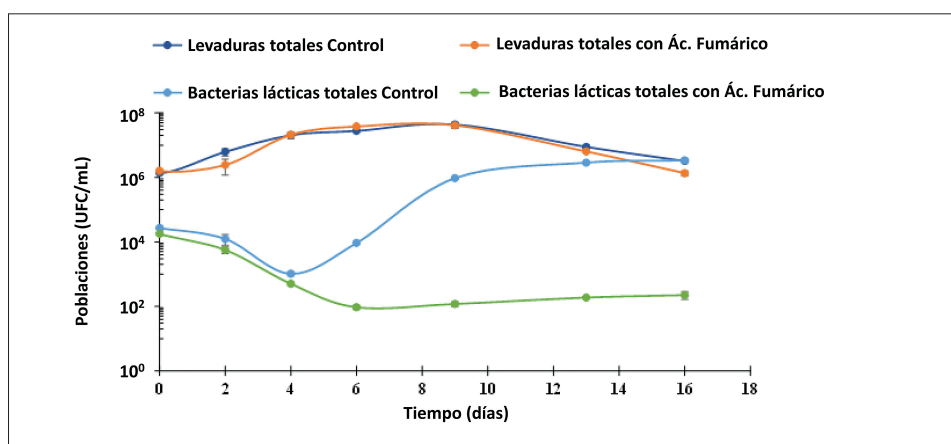


Figura 2. Influencia del ácido fumárico en la evolución de la población de levaduras y bacterias lácticas en un mosto en fermentación.

Todos los datos se expresan como el promedio de tres repeticiones ± desviación estándar.

ración al mosto podría resultar de gran interés para reducir los niveles de SO₂. Esta aplicación sería especialmente útil en mostos con pH elevado, donde el efecto inhibitor del SO₂ es más limitado y, en consecuencia, el riesgo de proliferación de bacterias lácticas es mayor.

Para ilustrar los efectos del ácido fumárico en mostos se

muestra la **Figura 2**. En ella se presenta la evolución de las poblaciones de levaduras totales y de bacterias lácticas en un mosto sin sulfitar, mantenido en condiciones control o suplementado con 0,6 g/L de ácido fumárico. Esta gráfica muestra claramente que el ácido fumárico no afecta a las poblaciones de levaduras y que sin embargo disminuye

El ácido fumárico en enología

	Control	+ Ácido fumárico
pH	3.47 ± 0.02 ^a	3.33 ± 0.04 ^b
Ác. L-málico	0.00 ± 0.00 ^b	1.44 ± 0.01 ^a
Ác. L-láctico	0.71 ± 0.00 ^a	0.00 ± 0.01 ^b
Ác. D-láctico	0.73 ± 0.03 ^a	0.09 ± 0.01 ^b
Ác. cítrico	0.00 ± 0.00 ^b	0.23 ± 0.02 ^a
Ác. acético	1.37 ± 0.03 ^a	0.51 ± 0.02 ^b
Ác. fumárico	0.00 ± 0.00 ^b	0.10 ± 0.00 ^a
Ác. succínico	0.38 ± 0.02 ^b	0.62 ± 0.02 ^a

Tabla 4. Influencia del ácido fumárico en la composición de los vinos.

Todos los datos se expresan como el promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$).

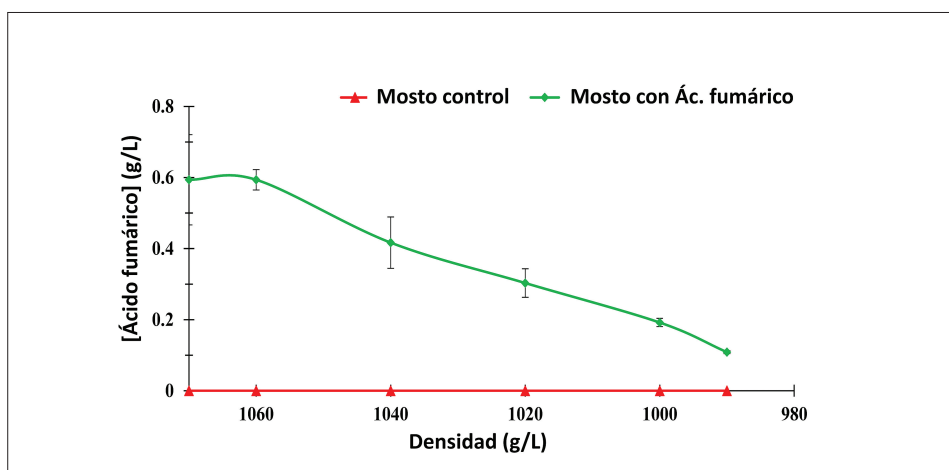


Figura 3. Evolución del ácido fumárico a lo largo de la fermentación alcohólica.

Todos los datos se expresan como el promedio de tres repeticiones ± desviación estándar.

drásticamente la población de bacterias lácticas.

Las características analíticas de los vinos obtenidos se muestran en la [Tabla 4](#). En ella se puede ver que en el vino control, el ácido L-málico ha desaparecido completamente y que los niveles de ácidos L-láctico, D-láctico y acético son muy notables. Estos datos indican que el desarrollo de las bacterias lácticas descrito en la [Figura 2](#) se tradujo en un desarrollo de la fermentación maloláctica acompañado de un picado láctico. Por el contrario, en el mosto suplementado con ácido fumárico se observa que presenta una concentración de ácido L-málico de 1,44 g/L y que sus concentraciones de ácidos L-láctico y D-láctico son prácticamente inexistentes, unido a una concentración de ácido acético mucho menor. Estos datos confirman que el ácido fumárico fue capaz de inhibir la fermentación maloláctica y de impedir el picado láctico. Por otra parte, el pH del vino suplementado con ácido fumárico fue notablemente inferior al del vino con-

trol, debido a dos factores: el efecto acidificante propio de este compuesto y la conservación de los niveles de ácido L-málico.

Cabe señalar que los niveles de ácido fumárico en el vino suplementado con 0,6 g/L fueron significativamente inferiores a la concentración inicialmente añadida. En concreto, el vino final presentó solo 0,1 g/L, lo que indica que las levaduras son capaces de metabolizar parcialmente este ácido. Dado que los niveles de ácido succínico son algo mayores en el vino suplementado con ácido fumárico, se puede deducir que una parte de dicho ácido fue transformada en ácido succínico. No obstante, es imaginable que el ácido fumárico pudiese ser transformado en otros metabolitos como ácido L-málico o incluso incorporado a la biomasa. Lo que resulta evidente es que las levaduras son capaces de metabolizar el ácido fumárico tal y como se observa en la [Figura 3](#), que muestra su evolución a lo largo de la fermentación alcohólica. En ella se aprecia que

Ácido	Agua	12 % Etanol	Vino blanco (Sauvignon Blanc)	Vino tinto (Cabernet Sauvignon)
Fumárico	35	78	1275	987
Tartárico	42	114	1035	777
Málico	62	117	1051	555
Cítrico	67	114	1656	1051
Láctico	64	188	1064	1406

Tabla 5. Umbral de percepción de los diferentes ácidos (mg/L) en diferentes medios.

las levaduras degradan casi por completo el ácido fumárico inicialmente añadido al mosto.

Este es un aspecto importante a tener en cuenta, ya que, en teoría, permitiría tratar los mostos con ácido fumárico sin impedir el posterior desarrollo de la fermentación maloláctica, dado que, al finalizar la fermentación alcohólica, apenas permanece dicho ácido.

5. Impacto sensorial

Es importante tener en cuenta que, en cualquier proceso de acidificación del vino, deben distinguirse dos efectos principales: por un lado, el impacto sobre la acidez y el pH del vino; y por otro, el sabor característico que aporta cada ácido en particular.

La **Tabla 5** muestra el umbral sensorial de los diferentes ácidos en diferentes medios: agua, etanol al 12 %, un

vino blanco (Sauvignon Blanc) y un vino tinto (Cabernet Sauvignon). En estos ensayos, realizados por Gancel *et al.*, 2022, el pH fue ajustado al valor original de antes de la adición con el fin de evitar posibles sesgos derivados de la variación del pH y de este modo determinar el impacto sensorial del sabor propio de cada ácido. En dicha tabla se observa que los umbrales de percepción de todos los ácidos eran muy bajos en agua y en etanol al 12%. Sin embargo, en vino blanco y tinto, estos umbrales eran considerablemente más altos: superiores a un gramo por litro en el vino blanco, y en un rango de aproximadamente 0,55 a 1,4 g/L en el vino tinto. En el caso específico del ácido fumárico, su umbral de percepción en vino blanco es de 1,28 g/L, y en vino tinto, de 0,99 g/L. Estos valores son superiores al límite establecido por la OIV para la inhibición de la fermentación malo-

Análisis - Innovación - Tradición

Desde 1933, al servicio de la excelencia enológica

Acreditados por ENAC desde 1999.
La acreditación garantiza la competencia técnica, el cumplimiento de normas internacionales y reconocimiento de los resultados a nivel nacional e internacional.

Con más de 90 años de experiencia somos referencia en análisis de **vinos, bebidas espirituosas y vinagres**.

- ✓ Análisis físico-químico y microbiológico.
- ✓ Control de calidad y asesoramiento técnico.
- ✓ Estudios de estabilidad y envejecimiento.
- ✓ Especialistas en extractos naturales y aromas.



M.REAL
LABORATORIO ENOLÓGICO DESDE 1933



C/ Armas de Santiago, 17. Jerez de la Fra.
956 185 171 | contacto@laboratoriomreal.com
@laboratoriomreal | laboratoriomreal.com

láctica (0,6 g/L). Por lo tanto, puede afirmarse que la adición de ácido fumárico en las dosis habitualmente empleadas (0,3-0,6 g/L) no debería tener un impacto sensorial apreciable, salvo por su efecto acidificante, que en muchos de nuestros vinos resultaría beneficioso.

6. Conclusión

Se puede concluir que el ácido fumárico es una herramienta de gran utilidad para inhibir el desarrollo de las bacterias lácticas e impedir por tanto la fermentación maloláctica y proteger el vino de un posible picado láctico. Dado que no afecta a las levaduras, puede ser utilizado tanto en mostos como en vinos, pudiéndose incluso ser utilizado en la segunda fermentación de los vinos espumosos. Es necesario señalar que el uso del ácido fumárico para inhibir la fermentación maloláctica de los vinos blancos y rosados puede permitir reducir la dosificación de SO₂.

Por otra parte, y salvo por su baja solubilidad, el ácido fumárico parece ser un buen candidato como alternativa económica para la acidificación del vino ya que presenta el mayor poder acidificante de entre todos los ácidos legales y tiene un impacto leve en la química y las cualidades organolépticas del vino.

7. Agradecimientos

Financiación gracias los proyectos Cava-noFMLPDR 2014-2020 Grupos Operativos para la Innovación en Materia de Productividad y Sostenibilidad Agrícolas y 56-30161-2021-2A Actividades de Demostración (Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural, Generalitat de Catalunya). Violeta García-Viñola ha sido beneficiaria de un contrato predoctoral Martí Franquès (Universitat Rovira i Virgili).

8. Referencias

-Barnes, R.H., Karatzas, K.A.G. (2020) Investigation into the antimicrobial activity of fumarate against *Listeria monocytogenes* and its mode of action under acidic conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 324, 108614.
Dang, L., Du, W., Black, S., Wei, H. (2009). Solubility of fumaric acid in propan-2-ol, ethanol, acetone, propan-1-ol, and water. *Journal of Chemical & Engineering Data* 54(11), 3112-3113.
-Davaux, F., Cottureau, P., Dubernet, M. (2023). Use of fumaric acid on must or during alcoholic fermentation. *BIO Web of Conferences*, 68, 02022 (2023).
-EFSA (2013). European Food Safety Authority. Scientific Opinion on the Safety and Efficacy of Fumaric Acid as a Feed Additive for All Animal Species. *EFSA Journal* 11, 3102.
-European Union (2008). Official Journal of European

Union. Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and Council of 16 December 2008 on Food Additives. *Official Journal of the European Union* 1333, 16-33. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2008/1333/oj/eng>.
-FDA (2020). Food and Drug Administration. Code of Federal Regulations Indirect Food Additives: Adhesives and Components of Coatings. <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=175.105&SearchTerm=fumaric acid> (July 21, 2020).
-Fernández-Vázquez, D., Rozès, N., Canals, J.M., Bordons, A., Reguant, C., Zamora, F. (2021). New enzymatic method for estimating fumaric acid in wines. *Oeno One*, 2021, 3, 273-281.
-Gancel, A.L., Payan, C., Koltunova, T., Jourdes, M., Christmann, M., Teissedre, P.L. (2022) Solubility, acidifying power and sensory properties of fumaric acid in water, hydro-alcoholic solutions, musts and wines compared to tartaric, malic, lactic and citric acids. *Oeno One*, 56(3), 137-154.
-García-Viñola, V., Ezenarro, J., Reguant, C., Rozès, N., Malfeito-Ferreira, M. (2025). Interaction effects of fumaric acid, pH and ethanol on the growth of lactic and acetic acid bacteria in planktonic and biofilm states. *Food Microbiology*, 131, October 2025, 104808.
-García-Viñola, V., Poblet, M., Bordons, A., Reguant, C., Rozès, N. (2025). Effects of the addition of fumaric acid on the spontaneous alcoholic fermentation of white grape must. *Food Research International*. 220, 2025, 117064.
García-Viñola, V., Poblet, M., Bordons, A., Zamora, F., Canals, J.M., Reguant, C., Rozès, N. (2023). Effect of fumaric acid on spontaneous fermentation in grape must. *IVES Conference Series, OENO Macrowine 2023*.
-Guo, F., Wu, M., Dai, Z., Zhang, S., Zhang, W., Dong, W., Zhou, J., Jiang, M., Xin, F. (2020). Current advances on biological production of fumaric acid. *Biochemical Engineering Journal*, 153, 107397.
-Jackson, R. S. (2020). Wine Science: Principles and Applications (5th ed.). *Academic Press*.
-Morata, A., Adell, E., López, C., Palomero, F., Suárez, E., Pedrero, S., Bañuelos, M.A., González, C. (2023). Use of fumaric acid to inhibit malolactic fermentation in bottled rioja wines: effect in pH and volatile acidity control. *Beverages*, 2023, 9, 16.
-Morata, A., Bañuelos, M.A., López, C., Chenli, S., Vejarano, R., Loira, I., Palomero, F., Lepe, J.A. (2019a). The oenological interest of fumaric acid: Stop malolactic fermentation and preserve the freshness of wines. *BIO Web of Conferences*, 15, 02034 (2019).
-Morata, A., Bañuelos, M. A., López, C., Song, C., Vejarano, R., Loira, I., Palomero, F., Suarez Lepe, J. A. (2020). Use of fumaric acid to control pH and inhibit malolactic fermentation in wines. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 37(2), 228-238.

Violeta G^a-Viñola, Daniel Fernández-Vázquez, Jordi Gombau, Cristina Reguant, Joan Miquel Canals, Nicolas Rozès y Fernando Zamora

-Morata, A., Loira, I., del Fresno, J.M., Escott, C., Bañuelos M.A., Tesfaye, W., Gonzáles, C., Palomero, F., Suárez-Lepe, J.A. (2019b). Strategies to improve the freshness in wines from warmarears. *Advances in Grape and Wine Biotechnology*. Intech Open, London.

-OIV (2021). Treatment of wines with fumàric acid to inhibit malolactic fermentation. *Resolution OIV-OENO 581A-2021*.

-OIV (2024). Treatment with fumàric acid in wine for acidification. *Resolution OIV-OENO 581B-2024*.

-OIV (2025). Treatment of musts with fumaric acid for microbiological control. *Resolution OIV-OENO 738-2025*.

-Ough, C.S., Kunkee, R.E. (1974). The effect of fumaric acid on malo-lactic fermentation in wines from warmarears. *American Journal of Enology and Viticulture*, 25, 188-190.

-Payan, C., Gancel, A.L., Omiliadis, K., Christmann, M., Teissedre, P.L. (2023). Impact of acidification at bottling by fumaric acid on red wine after 24 months. *BIO Web of Conferences*, 68, 02005 (2023).

-Pilone, G.J., Rankine, B.C., Pilone, D.A. (1974). Inhibiting malo-lactic fermentation in australian dryred wines by adding fumaric acid. *American Journal of Enology and*

Viticulture, 25, 99-107.

-Straathof, A.J.J., & van Gulik, W.M. (2012) Production of Fumaric Acid by Fermentation. In: Wang X., Chen J., Quinn P. (eds) Reprogramming Microbial Metabolic Pathways. *Subcellular Biochemistry*, vol 64. Springer, Dordrecht.

-Torres-Díaz, L.L., González-Lázaro, M., Sáenz de Urturi, I., Murillo-Peña, R., Pérez-Álvarez, E.P., Garde-Cerdán, T. (2025). Assessment of fumaric acid, ascorbic acid, and glutathione as alternatives to SO₂: Effects on red and white wine volatile composition. *LWT – Food Science and Technology*, 220, 2025, 117525.

-Tchelistcheff, A., Peterson, R.G., Van Gelderen, M. (1971) Control of malolactic fermentation in wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 22, 1–5.

-Vital-Lopez, F.G., Wallqvist, A., Reifman, J. (2013) Bridging the gap between gene expression and metabolic phenotype via kinetic models. *BMC Systems Biology*, 7, article number 63.

-Yang, W., Jiang, X., Hu, Y., Shi, Y., Sun, H., Li, Y. (2013). Solubility of fumaric acid in aqueous alcohol solutions. *Journal of Solution Chemistry*, 42(8), 1591-1601.



Nuevo sistema de prefiltración



www.multifiltration.com - 977 65 31 35 - info@multifiltration.com