

Grape overripening as an innovation strategy in response to climate change

Pablo Andreu-García¹, Ana Jiménez-Cantizano¹, Pau Sancho-Galán², Victor Palacios², Remedios Castro-Mejías³ y Antonio Amores-Arrocha¹

¹ Departamento de Ingeniería Química y Tecnología de los Alimentos, Área de Producción Vegetal, Universidad de Cádiz, Campus de Excelencia Internacional Agroalimentaria (ceiA3), IVAGRO, 11510, Puerto Real, España.

² Departamento de Ingeniería Química y Tecnología de los Alimentos, Área de Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias, IVAGRO, Universidad de Cádiz, Campus Agroalimentario de Excelencia Internacional (ceiA3), Apartado de Correos 40, 11510 Puerto Real, España.

³ Departamento de Química Analítica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, Campus de Excelencia Internacional Agroalimentaria (ceiA3), IVAGRO, 11510, Puerto Real, España.

Abstract. The current viticulture is confronted with a new climatic scenario with temperature increases and rainfall deficits, generated by the effect of climate change. Several strategies are suggested to mitigate these effects. One of these, short-term, could be the use of sun ripening or over-ripening, a practice that would allow diversification with the production of new types of sweet wines. In this study, various oenological parameters were studied during the “asoleo” process of Pedro Ximénez and Palomino Fino grapes in a warm climate region such as the Marco de Jerez (Cádiz, Spain), to elaborate naturally sweet wines, fermented with different yeast strains, with and without skins. The obtained results show the potential of grapes of these varieties to be sun-dried under the conditions of the Marco de Jerez, resulting in musts with high sugar content enriched in compounds of interest regarding the elaboration of naturally sweet wines.

1. Introducción

Las condiciones agroclimáticas de una región inciden de forma directa en el comportamiento agronómico y enológico de la vid (*Vitis vinifera* L.) [1]. Actualmente, se está experimentando un aumento de las temperaturas y una disminución en las precipitaciones, influyendo el período de maduración de las variedades de vid [2-5], produciéndose una aceleración en la acumulación de azúcares en las bayas, dando lugar a vinos con elevado contenido en alcohol potencial, menor acidez y déficit en compuestos nitrogenados. Temperaturas elevadas pueden provocar una disminución en la síntesis de ciertos aminoácidos, como prolina y arginina, dando lugar a problemas durante la fermentación alcohólica [6,7]. Para mitigar estos efectos, se hace necesario la implementación de estrategias de adaptación en el viñedo [8]. Diversos estudios se han focalizado en el empleo de variedades de vid mejor adaptadas o resistentes a las nuevas condiciones agroclimáticas [9], el traslado del viñedo a zonas más frías o de mayor altitud [10], así como el empleo de diferentes técnicas vitícolas [11-14].

Por otro lado, a corto plazo, una posible estrategia de adaptación a los efectos del cambio climático podría ser la elaboración de vinos dulces a partir de uvas

sobremaduras o asoleadas. El incremento de temperatura y descenso en precipitaciones durante el período de maduración, provocado por el nuevo escenario climático, favorecerían el proceso de sobremaduración de la uva cortada expuesta al sol [15]. Se trata de una técnica tradicional en algunas regiones del sudoeste de España, donde se conoce con el nombre de ‘asoleo’ [16]. Rescatar esta técnica en otras regiones de clima cálido, permitiría la continuación del cultivo de la vid en las actuales condiciones agroclimáticas y diversificar las tipologías de vinos elaborados.

En este trabajo se ha realizado un estudio sobre la evolución de diferentes parámetros enológicos durante el proceso de asoleo de uva de las variedades Pedro Ximénez y Palomino Fino, en una región de clima cálido como es el Marco de Jerez (Cádiz, España), para elaborar vinos naturalmente dulces, fermentados con diferentes cepas de levaduras, con y sin hollejos.

2. Materiales y métodos

2.1. Materia prima utilizada

Para el desarrollo de este trabajo se empleó uva de las dos variedades blancas Palomino Fino (PF) y Pedro

Ximénez (PX). La uva de cada variedad fue recolectada de forma manual, de dos viñedos situados en el municipio de Trebujena (Cádiz, España). Una vez fue determinada la fecha de vendimia para cada variedad, toda la uva recolectada se dispuso sobre una malla para su sobremaduración al sol o asoleo, durante 6 días para la uva de Palomino Fino y 3 días para la uva de Pedro Ximénez. Una vez concluido el tiempo de sobremaduración, la uva fue recolectada de forma manual y transportada a las Instalaciones del Instituto de Investigación Vitivinícola y Agroalimentaria (IVAGRO) de la Universidad de Cádiz. Para la obtención del mosto, la uva se prensó en una prensa vertical a una presión de 3 bares. Previamente al desfangado, el mosto fue corregido de acidez y se le adicionó sulfuroso (60 mg/L SO₂ total). El mosto resultante fue repartido en microfermentadores de 2 litros de capacidad para realizar la fermentación alcohólica. Para ello, se emplearon dos cepas de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* (Actiflore BO213) y *Saccharomyces cerevisiae bayanus* (AB Biotek). A su vez, se realizaron fermentaciones con la adición de hollejos y sin la presencia de éstos, con ambas cepas de levaduras, realizándose cada fermentación por triplicado.

2.2. Metodología analítica

Para realizar la caracterización fisicoquímica (pH, acidez total, °Bé y peso de racimos) de los mostos fresco y de los mostos sobremadurados, se emplearon los protocolos elaborados por la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV). El contenido en azúcar (°Bé) se caracterizó por hidrómetro Baumé (HYBE-010-001 y HY-BE-020-001) y el pH, se caracterizó mediante pHmetro (CRISON-2001, Crison, Barcelona, España) [17]. El análisis de ácidos orgánico (Ácido L-tartárico, D-glucónico, cítrico, L-málico y acético) y contenido en Nitrógeno Fácilmente Asimilable (NFA) fueron determinados usando un equipo analizador multiparamétrico (Micro Miura®, TDI, Barcelona; España) [17].

Durante la fermentación alcohólica de los mostos, se realizó un seguimiento de la biomasa viable, la evolución de la densidad y la evolución del contenido en Nitrógeno Fácilmente Asimilable (NFA). Para el análisis diario de densidad se empleó un densímetro DMA 5000 M de Anton Paar (Graz, Austria). Para la cuantificación de la biomasa viable en cada uno de los fermentadores, se utilizó la técnica de tinción con azul de metileno de cada muestra en una cámara Neubauer (Brightline, Germany) utilizando un microscopio óptico Leica CME (Houston, Texas, USA) [17].

Una vez parada la fermentación alcohólica y obtenidos los vinos resultantes para ambas variedades, se realizó su caracterización fisicoquímica: alcohol (% v/v), azúcar residual (g/L), acidez Total (g/L), ácidos orgánicos (L-tartárico, D-glucónico, cítrico, L-málico y acético), glicerina y contenido en NFA [17].

3. Resultados y discusión

3.1. Ensayos de sobremaduración

En las Figuras 1 y 2 se muestra la evolución del grado Baumé y el peso de racimo (A); el pH y la acidez total (B);

los ácidos orgánicos (L-tartárico, D-glucónico, cítrico, L-málico y acético) (C) y el contenido en NFA (D), durante la sobremaduración de uvas de Pedro Ximénez y Palomino Fino, respectivamente.

Cabe destacar que durante el tiempo de asoleo (3 días para Pedro Ximénez y 6 días para Palomino Fino), se experimentó un incremento en el grado Baumé de un 69% para PX y un 50% para PF, con respecto a los valores del mosto de partida (Figura 1A). A pesar de estar la mitad de tiempo expuesta al sol, la uva de la variedad Pedro Ximénez mostró una gran capacidad para su deshidratación. En este sentido y en relación con el aumento del contenido en azúcar debido a la pérdida de agua durante el asoleo, se obtuvo una reducción en el peso de racimo de un 45% en la variedad Pedro Ximénez y un 36% en Palomino Fino, con respecto al valor inicial (Figura 1A).

Por otro lado, en ambos ensayos se observó un aumento en los valores de pH, mientras que la acidez total mostró un valor oscilante, observándose valores finales próximos a los iniciales, en ambas variedades (Figuras 1B y 2B). Este hecho podría ser debido a la disminución en la concentración de algunos ácidos durante la sobremaduración,

Respecto a la evolución de los ácidos orgánicos, se observó un ligero incremento en el nivel de ácido glucónico en la uva de la variedad Palomino Fino en comparación con los niveles cuantificados en la uva de Pedro Ximénez. No obstante, es importante indicar que, en ningún caso, los niveles de ácido glucónico alcanzados superaron la concentración de 1 g/L, indicando una ausencia de desarrollo de *Botrytis cinerea* en la uva [18]. Este resultado puede ser de gran interés enológico dado que podría corroborar que, en una región de clima cálido, se podría desarrollar la sobremaduración de uva sin riesgos importante en mantener un buen estado sanitario de la uva. Durante la sobremaduración, el contenido en ácido tartárico mostró un comportamiento oscilante y ligeramente diferente en ambas variedades. Mientras que en el ensayo de Pedro Ximénez se experimentó un ligero incremento de un 7,46% en la concentración, en Palomino Fino se observó un ligero descenso de un 8,49%, en comparación con los niveles iniciales (Figuras 1C y 2C). Mientras que los ácidos málico y cítrico mostraron un aumento en su concentración en ambas variedades, siendo el incremento más significativo el producido en el ensayo de Palomino Fino, con incremento en la concentración de cada ácido del 36% y 78%, respectivamente (Figuras 1C y 2C).

Con respecto a la evolución del contenido en NFA del mosto (Figuras 1D y 2D), en ambos ensayos se experimentó un incremento importante debido al fenómeno de concentración. Cabe destacar el significativo incremento en la concentración de NFA producido en el ensayo de sobremaduración de Palomino Fino (Δ82%), en comparación con Pedro Ximénez (Δ9,86%). Los niveles de NFA observados en ambos ensayos tras el proceso de sobremaduración, mostraron valores muy superiores a los niveles necesarios como mínimo para una correcta fermentación alcohólica durante el proceso de vinificación [19].

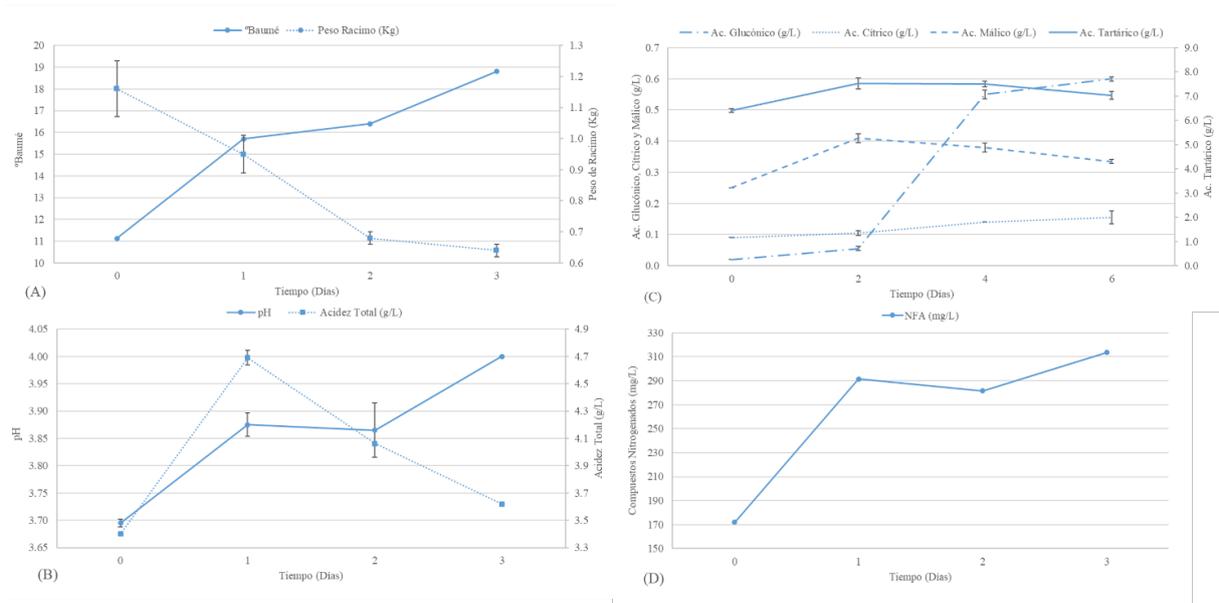


Figura 1. Evolución del grado Baumé y el peso de racimo (A); el pH y la acidez total (B); los ácidos orgánicos (L-tartárico, D-glucónico, cítrico, L-málico y acético) (C) y NFA (D), durante la sobremaduración de uvas de Pedro Ximénez.

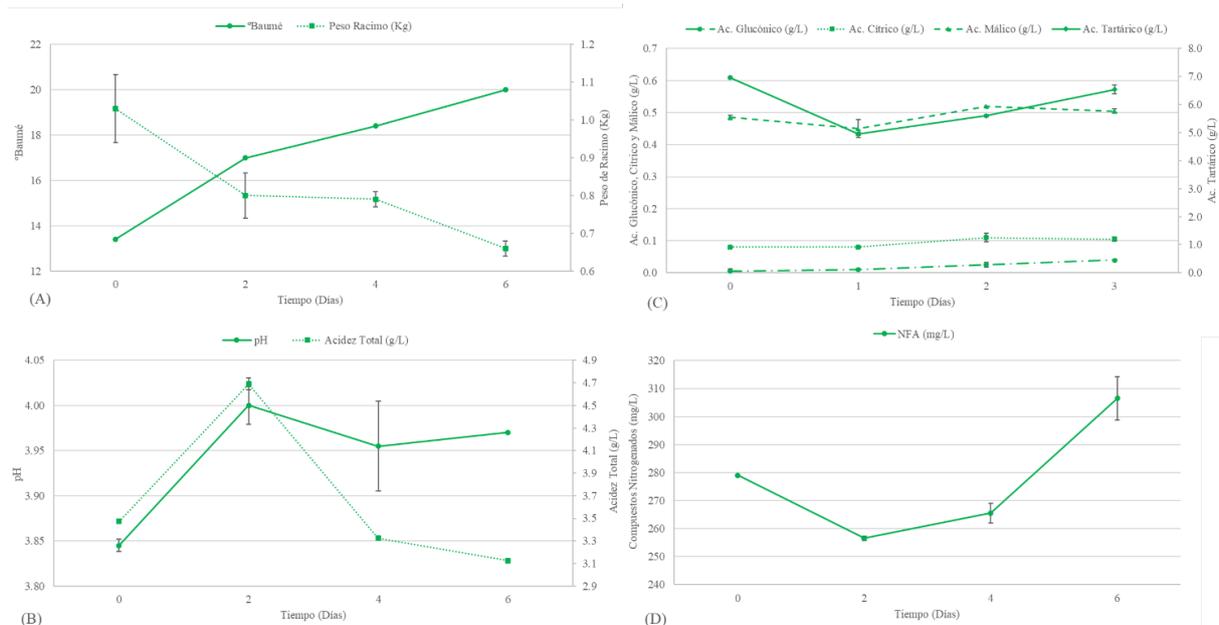


Figura 2. Evolución del grado Baumé y el peso de racimo (A); el pH y la acidez total (B); los ácidos orgánicos (L-tartárico, D-glucónico, cítrico, L-málico y acético) (C) y NFA (D), durante la sobremaduración de uvas de Palomino Fino.

3.2. Ensayos de vinificación

En las Figuras 3 y 4 muestran la evolución de la biomasa viable (A), de la densidad relativa (B) y del contenido en NFA (C), durante la fermentación alcohólica de los mostos de Pedro Ximénez (Figura 3) y Palomino Fino (Figura 4).

La evolución de la biomasa viable durante la fermentación alcohólica mostró que, para ambas variedades, las poblaciones máximas de levaduras se alcanzaron durante la fase estacionaria (días 9-10) (Figuras 3A y 4A). Cabe destacar que durante la fermentación de

los mostos de la variedad Pedro Ximénez se alcanzaron poblaciones significativamente más elevadas de levaduras (ANOVA $p < 0.05$), siendo 10 veces mayores que en el caso de la Palomino Fino, incluso presentando niveles cercanos de azúcares fermentables (Figura 1A y 2A) y NFA (Figura 1D y 2D). Una vez concluida la fase estacionaria, se produjo un descenso acusado de la biomasa viable en todos los casos, posiblemente debido al agotamiento de NFA y otros nutrientes, a lo largo de la fermentación.

El seguimiento de la evolución de la densidad relativa (Figuras 3B y 4B), mostró un comportamiento diferente entre las fermentaciones con hollejos (CH) y sin hollejos (SH). Las fermentaciones de Pedro Ximénez llevadas a cabo en ausencia de hollejos, mostraron una pendiente de descenso un 9,76% más acusada en las fermentaciones llevadas a cabo con *Saccharomyces cerevisiae*, en comparación con las fermentaciones desarrolladas con hollejos. Sin embargo, las elaboraciones desarrolladas con *Saccharomyces cerevisiae bayanus*, en ausencia de hollejos, presentaron una pendiente un 17,95% más acusada. Por otro lado, en las fermentaciones llevadas a cabo con Palomino Fino, destacó el comportamiento de *Saccharomyces cerevisiae*, mostrando una pendiente más

acusada (18%) en comparación con *Saccharomyces cerevisiae bayanus*, tanto en presencia como ausencia de hollejos.

Respecto a la evolución de la concentración de NFA, se observó un comportamiento similar al observado en la evolución de la densidad relativa. Cabe destacar, que el consumo de NFA fue mayor en las elaboraciones realizadas con mosto de Palomino Fino (NFA promedio: 72,47 mg/L) en comparación con las fermentaciones desarrolladas con mosto de Pedro Ximénez (NFA promedio: 119,83 mg/L), a pesar de haberse alcanzado poblaciones de levaduras viables más altas durante la fermentación alcohólica (Figura 3A).

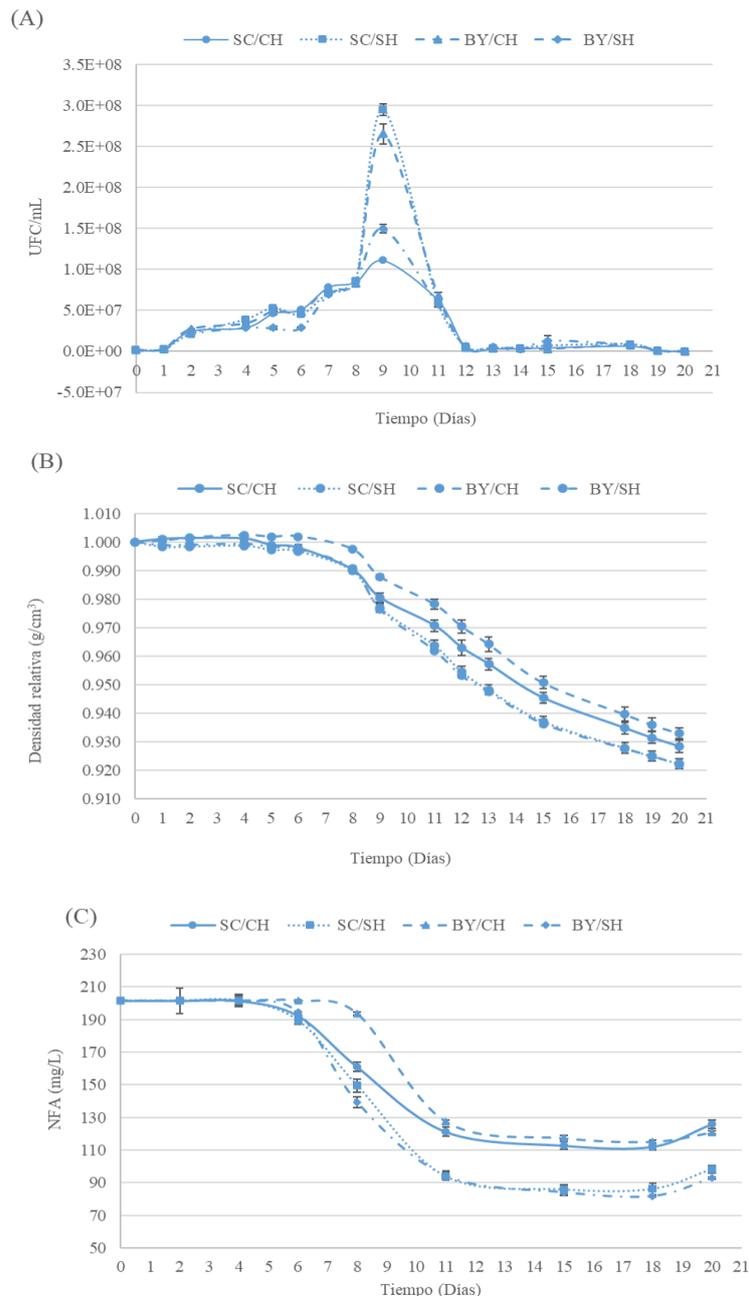


Figura 3. Evolución de la biomasa viable de levaduras (A), densidad relativa (B) y evolución de NFA (C), durante la fermentación alcohólica de mosto de uva Pedro Ximénez. *SC/CH*; Vino Naturalmente Dulce con levadura *S. cerevisiae* Con Hollejos, *SC/SH*; Vino Naturalmente Dulce con levadura *S. cerevisiae* Sin Hollejos, *BY/CH*; Vino Naturalmente Dulce con levadura *S. cerevisiae bayanus* Con Hollejos, *BY/SH*; Vino Naturalmente Dulce con levadura *S. cerevisiae bayanus* Sin Hollejos.

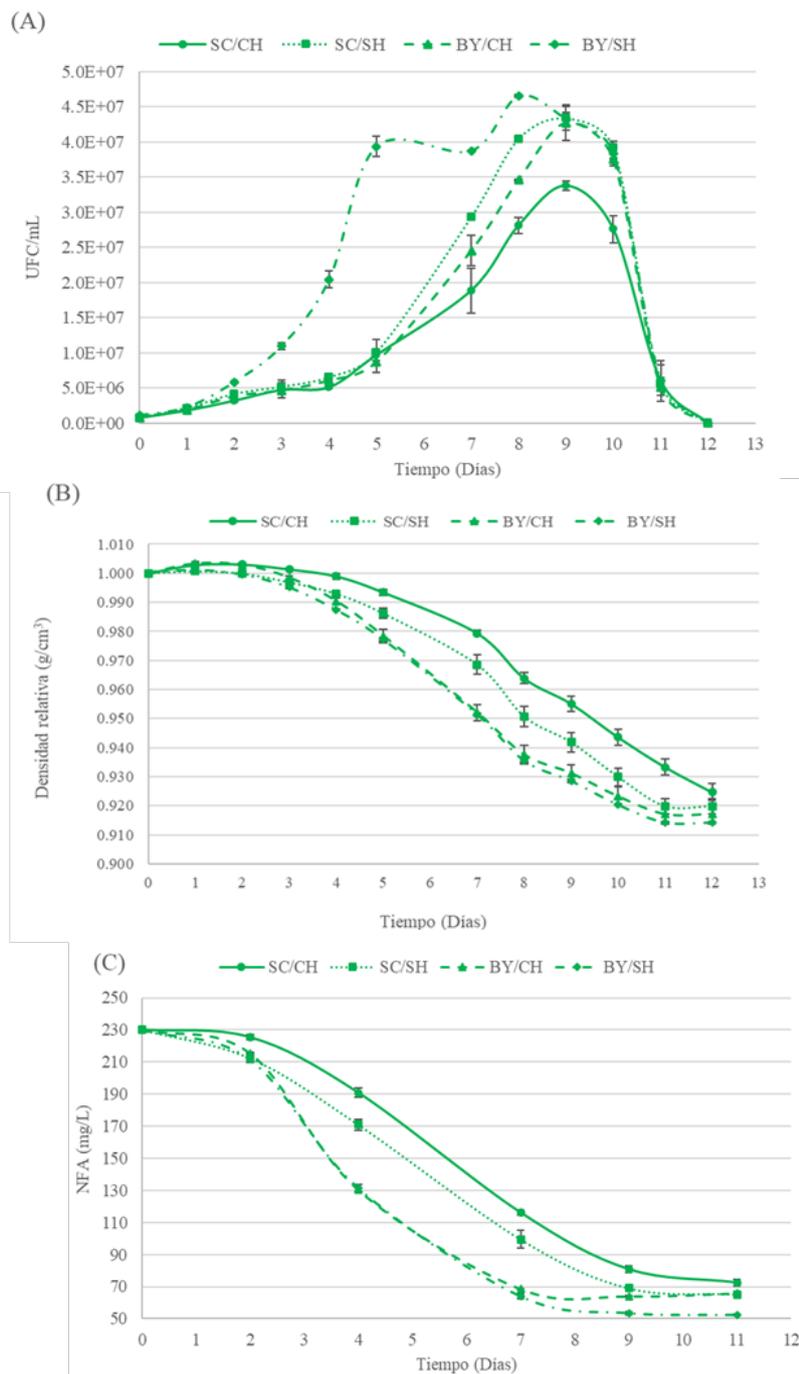


Figura 4. Evolución de la biomasa viable de levaduras (A), evolución de la densidad relativa (B) y evolución de NFA (C), durante la fermentación alcohólica de mosto de uva Palomino Fino. *SC/CH*; Vino Naturalmente Dulce con levadura *S. cerevisiae* Con Hollejos, *SC/SH*; Vino Naturalmente Dulce con levadura *S. cerevisiae* Sin Hollejos, *BY/CH*; Vino Naturalmente Dulce con levadura *S. cerevisiae bayanus* Con Hollejos, *BY/SH*; Vino Naturalmente Dulce con levadura *S. cerevisiae bayanus* Sin Hollejos.

3.3. Caracterización fisicoquímica de los vinos resultantes.

En la Tablas 1 y 2 se muestran todos los parámetros fisicoquímicos de la caracterización de los vinos naturalmente dulces de la variedad de uva Pedro Ximénez y Palomino Fino, respectivamente, obtenidos tras el final de la fermentación alcohólica.

De manera general, con respecto a los vinos elaborados con la variedad Pedro Ximénez, las elaboraciones con hollejos fueron las que mostraron un menor grado alcohólico en comparación con los vinos elaborados sin hollejos (ANOVA $p < 0.05$), independientemente del tipo de cepa de levadura. Coincidiendo estos resultados con los valores de densidad relativa de la Figura 3 (B) en el que los vinos sin hollejos finalizaron la fermentación alcohólica con una densidad ligeramente mayor. El contenido en azúcares residuales fue mayor en los vinos

con hollejos, dado que fueron los vinos con menor graduación alcohólica. Respecto a los ácidos orgánicos, cabe destacar que aquellos vinos fermentados con hollejos presentaron un menor contenido de ácido tartárico (ANOVA $p < 0.05$). Esto podría ser debido posiblemente a precipitaciones tartáricas provocadas por la maceración de las pieles de uva [20]. En relación con el ácido málico, los vinos elaborados sin presencia de hollejos fueron los que presentaron niveles más bajos en comparación con los vinos elaborados con hollejos (ANOVA $p < 0.05$). En cuanto al contenido de ácido acético, todos los vinos mostraron valores superiores a 1 g/L, aunque este nivel de concentración no se considere como un factor negativo en la elaboración de vinos dulces a diferencia que en vinos secos. Esta tipología de vinos suele precisar de un elevado nivel de acidez total para balancear su dulzor además de no presentar defectos organolépticos [19]. Con respecto al contenido en glicerol, los vinos elaborados con la cepa de levadura *Saccharomyces cerevisiae bayanus* presentaron valores superiores que los vinos elaborados con *Saccharomyces cerevisiae* (ANOVA $p < 0.05$) [21]. El contenido de NFA residual en los vinos, presentó un comportamiento similar en relación con el grado alcohólico y a los niveles de azúcar residual. Fueron los

vinos elaborados con hollejos los que presentaron significativamente valores más altos de NFA que los elaborados sin hollejos (ANOVA $p < 0.05$).

En relación con los vinos elaborados con Palomino Fino, a rasgos generales, el contenido de azúcar residual y ácido tartárico presentó un comportamiento sin pauta marcada en todas las elaboraciones (ANOVA $p < 0.05$). Sin embargo, cabe destacar que en relación con la concentración de ácido málico y de ácido acético los vinos elaborados con *Saccharomyces cerevisiae bayanus* presentaron valores significativamente superiores que aquellos fermentados con *Saccharomyces cerevisiae* (ANOVA $p < 0.05$). En el caso de los vinos de Palomino Fino, los valores de ácido acético fueron significativamente más bajos con respecto a los vinos elaborados con la variedad Pedro Ximénez (ANOVA $p < 0.05$). En cuanto al contenido en glicerol, los vinos en donde se han utilizado los hollejos presentaron valores más bajos que aquellos en los que no se utilizaron (ANOVA $p < 0.05$). Por último, los vinos presentaron valores oscilantes de NFA, siendo en todos los casos, significativamente más bajos que los niveles de los vinos de Pedro Ximénez (ANOVA $p < 0.05$).

Tabla 1. Caracterización de los vinos naturalmente dulces variedad Pedro Ximénez.

Parámetros	SC/CH	SC/SH	BY/CH	BY/SH
Alcohol (% v/v)	14,89 ± 0,01 _a	15,79 ± 0,00 ^b	15,06 ± 0,00 ^a	16,05 ± 0,01 ^b
Azúcar residual (g/L)	109,0 ₇ ± 0,08 _a	87,60 ± 0,90 ^b	111,9 ₈ ± 0,04 ^c	85,16 ± 0,59 ^d
Acidez Total (g/L)	5,05 ± 0,09 _a	6,17 ± 0,05 ^b	6,87 ± 0,02 ^c	6,85 ± 0,04 ^c
Ac. Tartárico (g/L)	2,17 ± 0,02 _a	2,51 ± 0,04 ^b	2,21 ± 0,01 ^a	2,48 ± 0,04 ^b
Ac. Glucónico (g/L)	0,10 ± 0,07 _a	0,11 ± 0,11 ^a	0,10 ± 0,04 ^a	0,09 ± 0,02 ^a
Ac. Cítrico (g/L)	0,88 ± 0,01 _a	1,01 ± 0,04 ^b	0,90 ± 0,01 ^{a,c}	0,95 ± 0,00 ^{b,c}
Ac. L-Málico (g/L)	0,46 ± 0,00 _a	0,32 ± 0,00 ^b	0,53 ± 0,00 ^c	0,39 ± 0,00 ^d
Ac. Acético (g/L)	2,12 ± 0,02 _a	2,45 ± 0,02 ^b	1,86 ± 0,01 ^c	2,07 ± 0,06 ^a
Glicerol (g/L)	0,49 ± 0,00 _a	0,51 ± 0,02 ^a	0,57 ± 0,00 ^{b,c}	0,58 ± 0,00 ^c
NFA (mg/L)	139,5 ₀ ± 3,06 _a	110,1 ₇ ± 3,54 ^b	126,0 ₀ ± 2,36 ^{c,d}	103,6 ₇ ± 0,47 ^d

NFA: Nitrógeno Fácilmente Asimilable. Diferentes letras en superíndice indican diferencias significativas entre los mismos parámetros para los diferentes ensayos mediante el test de múltiple rango de Bonferroni (two-way ANOVA $p < 0.05$).

Tabla 2. Caracterización de los vinos naturalmente dulces variedad Palomino Fino.

Parámetros	SC/CH		SC/SH		BY/CH		BY/SH	
Alcohol (% v/v)	13,54	± 0,02 ^a	14,42	± 0,01 ^b	14,53	± 0,01 ^b	14,37	± 0,04 ^b
Azúcar residual (g/L)	95,02	± 0,11 ^a	79,62	± 0,67 ^b	77,69	± 0,74 ^c	80,49	± 0,74 ^d
Acidez Total (g/L)	5,01	± 0,10 ^a	5,19	± 0,03 ^a	5,19	± 0,08 ^a	5,77	± 0,04 ^b
Ac. Tartárico (g/L)	1,83	± 0,00 ^a	2,19	± 0,01 ^b	1,80	± 0,00 ^c	2,38	± 0,01 ^d
Ac. Glucónico (g/L)	0,60	± 0,02 ^a	0,65	± 0,02 ^a	0,61	± 0,00 ^a	0,65	± 0,09 ^a
Ac. Cítrico (g/L)	0,33	± 0,00 ^a	0,34	± 0,00 ^a	0,35	± 0,00 ^a	0,35	± 0,00 ^a
Ac. L-Málico (g/L)	0,53	± 0,03 ^a	0,51	± 0,00 ^a	0,64	± 0,00 ^b	0,67	± 0,03 ^b
Ac. Acético (g/L)	0,62	± 0,02 ^a	0,60	± 0,01 ^a	0,74	± 0,04 ^b	0,78	± 0,04 ^b
Glicerol (g/L)	0,61	± 0,00 ^a	0,74	± 0,02 ^b	0,64	± 0,00 ^a	0,70	± 0,00 ^c
NFA (mg/L)	90,56	± 0,47 ^a	75,84	± 0,24 ^b	72,33	± 0,94 ^c	55,17	± 0,24 ^d

NFA: Nitrógeno Fácilmente Asimilable. Diferentes letras en superíndice indican diferencias significativas entre los mismos parámetros para los diferentes ensayos mediante el test de múltiple rango de Bonferroni (two-way ANOVA $p < 0.05$).

4. Conclusión

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este estudio cabe destacar el potencial de la variedad de vid Palomino Fino, para su sobremaduración o asoleo bajo las condiciones climáticas del Marco de Jerez y la elaboración de vinos naturalmente dulces.

Con relación a la fermentación alcohólica de los mostos, el empleo de cepas de levaduras como *Sacharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces cerevisiae bayanus*, en presencia o ausencia de los hollejos de la uva durante el proceso de vinificación, presentaron resultados con gran interés desde el punto de vista enológico, sin encontrarse diferencias concluyentes en la cinética fermentativa entre las diferentes elaboraciones. Sería interesante poder seguir desarrollando estos mismos ensayos con otras variedades y en otras regiones vitícolas.

Para poder llevar a cabo esta investigación se han empleado los datos obtenidos del proyecto GOPC-20-0010 (GO INNOVAVINO) financiado por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER), la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Agua y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía e Inversión Territorial Integrada Provincia de Cádiz.

5. Bibliografía

1. A. Fonseca, H. Fraga, J.A. Santos, *Foods* 31 (2013)
2. A.M. Martínez Gil, G. Gutierrez Gamboa, T. Garde Cerdán, E.P. Pérez Álvarez, Y. Moreno Simunovic, *J. Sci. Food Agric* 98, 1 (2018)
3. S. del Rio, R. Álvarez Esteban, R. Alonso Redondo, C. Hidalgo, Á. Penas, *Eur. J Agron* 131 (2021)
4. I. Viveros Santos, C. Renaud Gentié, P. Roux, A. Levasseur, C. Bulle, L. Deschênes, A.M. Boulay, *Sci. Total Environ* 880 (2023)
5. S.Y. Rogiers, D.H. Greer, Y. Liu, T. Baby, Z. Xiao, *Front. Plant Sci* 13 (2022)
6. P. Sancho, Estrategias vitivinícolas de adaptación al cambio climático en una zona de clima cálido (2022)
7. A. Amores, Aplicación de polen de abeja como activador en el proceso de fermentación alcohólica (2018)
8. M. Keller, *Am. J. Enol. Vitic* 74, 2 (2023)
9. P. Resco, A. Iglesias, I. Bardají, V. Sotés, *Reg Environ. Change* 16, 4 (2016)
10. H. Fraga, I. García de Cortázar, J.A. Santos, *Agric. Water Manag* 196 (2018)
11. A. Palliotti, S. Tombesi, O. Silvestroni, V. Lanari, M. Gatti, S. Poni, *Scientia Horti* 178 (2014)
12. N. Vaillant, G. Wojnarowicz, A.N. Petit, L. Jacques, L. Panigai, C. Clément, F. Fontaine, *OENO One* 48, 4 (2014)
13. F. Helder, A.S. Joao, *Agric. Syst* 164 (2018)
14. H. Medrano, M. Tomás, S. Martorell, J.M. Escalona, A. Pou, S. Fuentes, J. Flexas, J. Botas, *Agron. Sustain. Dev* 35, 2 (2015)
15. P. Li, Y. Jia, D. Cai, X. Wang, J. Liu, R. Zhu, Z. Wang, Y. He, L. Wen, *Food Chem* 20 (2023)
16. O. Corona, D. Planeta, P. Bambina, S. Giacosa, M.A. Paisonni, M. Squadrito, F. Torchio, S.R. Segade, L. Cinquanta, V. Gerbi, L. Rolle *Foods* 9, 5 (2020)
17. Organisation Internationale de la Vigne et du Vin (OIV), Recueil des Méthodes Internationales D'analyse des vins et des Moûts (2023)

18. R.A. Peinado, O. Maestr, J.C. Mauricio, J.J. Moreno, *J. Agric. Food Chem* 57, 6 (2009)
19. G.M. Pigeau, E. Bozza, K. Kaiser, D.L. Inglis, J. *Appl. Microbiol* 103, 5 (2007)
20. L.F. Casassa, C.W. Beaver, M.S. Mireles, J.F. Harbertson, *Aust. J. Grape Wine Res* 19 (2013)
21. J.M. Eglinton, S.J. McWilliam, M.W. Fogarty, I.L. Francis, M.J. Kwiatkowski, P.B. Høj, P.A. Henschke, *Aust J. Grape Wine Res* 6, 3 (2000)