

Winegrowing strategies for adapting to climate change in a warm climate zone

Pau Sancho-Galán, Antonio Amores-Arrocha, Víctor Palacios y Ana Jiménez-Cantizano

Departamento de Ingeniería Química y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias, Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (ceiA3), Universidad de Cádiz, 11510, Puerto Real, España

Abstract. Climate predictions and simulations forecast that climate change will be one of the major challenges for wine production in the future, as grape quality and vine yields depend on interactions between temperature, water availability, plant material and viticultural techniques employed. Climate change is leading to earlier harvesting, accelerated vine growth and grape over-ripening, leading to the production of grape musts with higher potential alcohol content, higher pH, lower acidity and severe nutritional deficiencies. In order to mitigate these effects, it is necessary to establish short-term viticultural or oenological strategies to minimise the effects of global warming on current wine-growing regions. Therefore, this work presents research results related to the potential of autochthonous grape cultivars from a warm climate area, which could be better adapted to the agro-climatic conditions associated with climate change; as well as the results of the application and recovery of ancestral oenological techniques in the area of sherry wine production (sun-drying and skin contact fermentation), which could contribute to this new climatic scenario as an alternative in wine production.

1 Introducción

La vid (*Vitis vinifera L.*) es una de las especies de cultivo más antigua [1-2] y extendida a nivel mundial [3], lo que ha contribuido a que presente una amplia diversidad genética y fenotípica [4-5]. Actualmente, según las previsiones de la Organización Internacional de la Viña y el Vino [6], la superficie de viñedo a nivel mundial asciende a 7,3 millones de hectáreas (mha) y se producen unos 260 millones de hectolitros (mhl) de vino. Sin embargo, las predicciones y simulaciones climáticas pronostican que el cambio climático será uno de los grandes desafíos para la producción de vino en un futuro próximo, dado que la calidad de la uva y el rendimiento de la vid dependen de una compleja interacción entre la temperatura, la disponibilidad de agua, el material vegetal y las técnicas vitivinícolas empleadas [7]. Los cambios observados en 27 regiones vitivinícolas de calidad reconocida a nivel mundial, mostraron un aumento de la temperatura media de 1,3 °C durante la fase de crecimiento de la planta, desde 1950 hasta el año 2000 [8-10]. De manera general, el cambio climático está provocando un adelanto generalizado de la vendimia de 10-24 días en los últimos 30-50 años [11], un crecimiento acelerado de la vid y un exceso de maduración en las uvas, que conllevan a la producción de mostos con altos grados

alcohólicos potenciales, pH más elevados, con menor acidez y con importantes carencias nutricionales que se traducen generalmente en bajos niveles en nitrógeno fácilmente asimilable (NFA) [10, 12-14]. Si bien es cierto, las consecuencias de muchas variables del cambio climático no están bien estudiadas y podrían ser muy dependientes, tanto de la variedad de uva como de la zona donde se cultive [15].

Para hacer frente a los efectos asociados al cambio climático, se han establecido estudios sobre la adaptación de diferente material vegetal a las nuevas condiciones de cultivo. Cada variedad tiene un genotipo específico, una morfología y un contenido en sus metabolitos secundarios que la hacen única [16]. Todos estos elementos explican la adaptación de las distintas variedades a diferentes climas o ambientes. La mayoría de las variedades que hoy se cultivan han sido identificadas con marcadores moleculares como los microsatélites y caracterizadas con descriptores ampelográficos [17-23]. Sin embargo, son pocos los estudios que incluyen datos sobre las composiciones físicoquímicas de los mostos obtenidos a partir de los frutos de estas variedades cultivadas en diferentes condiciones ambientales, siendo esta información decisiva para determinar el potencial enológico y la capacidad de adaptación de estas variedades a las nuevas condiciones climáticas.

Por otro lado, junto a la búsqueda de estrategias de adaptación al cambio climático, se hace necesario el estudio de nuevas herramientas tecnológicas que permitan una adaptación a corto plazo, ya sea mediante la adición de productos naturales para paliar los desequilibrios en la maduración de la uva [24-25], o mediante la búsqueda de nuevos procesos de vinificación [26]. En este sentido, una de las estrategias podría ser la elaboración de nuevos vinos a partir de uvas sobremaduradas. A modo de ejemplo, en los últimos años, algunos elaboradores de vinos tranquilos de la provincia de Cádiz (España), han empezado a emplear la sobremaduración de la uva para elaborar vinos de añada con alta graduación alcohólica sin necesidad de alcoholizar, mejorando así la calidad organoléptica de los vinos que elaboran. Esta estrategia de adaptación permitiría seguir produciendo vinos en regiones de clima cálido tradicionales como es el Marco de Jerez (Cádiz, España).

En este trabajo se presentan resultados obtenidos de la identificación y caracterización de variedades locales o autóctonas y variantes somáticas de una zona cálida y la elaboración de nuevas tipologías de vinos a partir de uva sobremadura.

2 Material y métodos

En esta investigación se emplearon las variedades locales o autóctonas identificadas como: Mantúo de Pilas (MP), Castellano (CS), Cañocazo (CÑ) y Palomino Fino (PF), cultivadas en una misma parcela situada en Jerez de la Frontera (Cádiz, España) a 20 metros sobre el nivel del mar. Por otro lado, se han estudiado 3 variantes somáticas (Palomino Pelusón (PP), Palomino Gacho (PG) y Palomino de Jerez (PJ)) de la variedad Palomino Fino, considerada la variedad mayoritaria en el Marco de Jerez [27]. Este material se encuentra en una parcela, situada en el término municipal de San José del Valle (Cádiz, España) a 150 sobre el nivel del mar. Se llevó a cabo una identificación genética mediante marcadores moleculares tipo microsatélites para comprobar el genotipo de las diferentes variedades y variantes somáticas sujetas a estudio, siguiendo la metodología empleada por Sancho-Galán et al., [28-29]. El análisis morfológico de los distintos cultivares se llevó a cabo mediante el empleo de una lista de descriptores morfológicos seleccionados del Código de Descriptores de la Organización Internacional de la Vid y el Vino (OIV) [30]. Finalmente, para la caracterización fisicoquímica de los mostos, se tomaron muestras de uvas de cepas seleccionadas siguiendo el criterio de Santesteban et al., [31] y se analizaron siguiendo los métodos de referencia propuestos por la OIV [42].

Para los estudios relacionados con la elaboración de vino a partir de uva sobremadura, se empleó la variedad Palomino Fino, procedente de la parcela situada en la localidad de San José del Valle (Cádiz, España). El estudio del efecto del empleo de uva sobremadurada para la elaboración de nuevos vinos se llevó a cabo durante dos añadas (2018 y 2019). Para ello, se empleó un control (C) sin sobremaduración y dos técnicas de sobremaduración distintas. Por un lado, la sobremaduración natural (SN) de la uva al sol durante 48 y 96 horas (SN48h, SN96h), la cual se llevó a cabo extendiendo la uva a 20 cm sobre el suelo y en una sola capa. Por otro lado, con la intención de comparar la SN con otra en condiciones de temperatura y humedad controladas, se realizó la sobremaduración en cámara climática (SC) durante 48 y 96 horas (SC48h, SC96h) a 35 ± 1 °C y un 10% de humedad relativa. Las uvas sobremaduras, fueron despalilladas y prensadas en una prensa vertical. El mosto obtenido fue homogeneizado y se llevó a cabo una corrección de acidez con ácido tartárico y posterior sulfitado con metabisulfito potásico. El mosto se distribuyó en tanques de 5 litros por duplicado para su fermentación. La fermentación se llevó a cabo mediante un inóculo de *Saccharomyces cerevisiae* Lalvin 71B añadido a una concentración de 10 g/hL y a una temperatura controlada de 18 °C. Los vinos obtenidos fueron clarificados con gelatina (40 g/hL) y bentonita (4 g/hL), filtrados, y embotellados empleando nitrógeno como gas inerte. Posteriormente se analizaron los parámetros enológicos básicos (pH, acidez total, acidez volátil, grado alcohólico, Índice de Polifenoles Totales (IPT) y azúcares residuales) siguiendo la metodología propuesta por la OIV [32].

En todos los casos, el análisis de los datos obtenidos se llevó a cabo mediante un ANOVA bidireccional con test de Bonferroni con $p < 0.05$ (GraphPad Prism, San Diego, Estados Unidos).

3 Resultados y Discusión

3.1 Análisis morfológico de variedades de vid locales o autóctonas y variantes somáticas

La identificación genética permitió corroborar el genotipo de estas variedades de vid locales o autóctonas y las variantes somáticas, comparándose el genotipo obtenido con los publicados en la base de datos del Catálogo Internacional de variedades de vid (VIVC: www.vivc.de) [28-29]. En las Tablas 1 y 2 se destacan las diferencias encontradas para las distintas variedades autóctonas y variantes somáticas de la variedad Palomino Fino.

Tabla 1. Número de descriptores morfológicos distintos para las distintas variedades autóctonas.

	CÑ	CS	MP	PF
CÑ	X			
CS	11	X		
MP	10	13	X	
PF	18	17	19	X

CÑ: Cañocazo, CS: Castellano, MP: Mantúo de Pilas y PF: Palomino Fino.

Tabla 2. Número de descriptores morfológicos distintos para las distintas variantes somáticas.

	PF	PJ	PG	PP
PF	X			
PJ	10	X		
PG	8	10	X	
PP	19	17	17	X

PF: Palomino Fino, PJ: Palomino de Jerez, PG: Palomino Gacho y PP: Palomino Pelusón.

En cuanto a las variedades de uva Cañocazo y Palomino Fino, ambas han mostrado un fenotipo similar al previamente descrito por García de Luján et al. [35], mientras que Castellano mostró un alto grado de similitud con la descrita previamente por Serrano et al. [36]. En general, para todas las variedades autóctonas estudiadas, se observó un alto grado de densidad en cuanto a los descriptores que describen la vellosidad en las hojas adultas (OIV 084, OIV 085, OIV 086 y OIV 087). Diferencias fenotípicas similares se han publicado para otras variedades como Garnacha y Garnacha Peluda [37] y Zalema y Zalema Peluda [17] consideradas ambas como variantes somáticas. Esta vellosidad, o tricomas no glandulares, presentan un rol funcional en las hojas, dado que restringen el movimiento del aire alrededor de los poros estomatales de las hojas, y por lo tanto pueden modular los procesos de evapotranspiración [38]. De este modo, estas variedades autóctonas podrían considerarse mejor adaptadas a las condiciones de clima cálido dada su alta densidad en cuanto a la vellosidad. En cuanto a la descripción de las distintas variantes somáticas de la variedad Palomino Fino caracterizadas, en la Tabla 2 se muestran las principales diferencias fenotípicas encontradas entre las distintas variantes somáticas. Estas variaciones fenotípicas encontradas deben considerarse como un recurso fitogenético de interés a conservar con el objetivo de usarse en nuevos programas de selección clonal [39-40].

Igualmente, entre los distintos biotipos de Palomino, una de las características morfológicas

consideradas de interés en relación a la adaptación al cambio climático es la mayor densidad de vellosidad [38] observada en la variante somática Palomino Pelusón, al igual que en alguna de las variedades locales o autóctonas como se ha comentado anteriormente.

3.2 Composición fisicoquímica de los mostos de variedades autóctonas y variantes somáticas

En las Tablas 3 y 4 se muestra la caracterización enológica básica de los mostos de las variedades y variantes somáticas estudiadas. Tras el análisis del contenido en metabolitos secundarios, se observó como el ciclo fenológico de éstas es un factor predominante e influye en la concentración de azúcares y ácidos orgánicos. Así pues, los resultados de esta investigación muestran como las accesiones Mantúo de Pilas y Cañocazo presentan un ciclo fenológico más largo que Castellano o Palomino Fino (Tabla 3). En cuanto al contenido en Nitrógeno Fácilmente Asimilable, los mostos de todas las variedades mostraron el contenido considerado como mínimo para poder llevar a cabo una vinificación sin problemas [41]. Así pues, se ha podido observar como las variedades de vid autóctonas presentan un mayor potencial en cuanto a la acidez si se compara con Palomino Fino. Este hecho, combinado con las condiciones de clima cálido de la región, puede constituir una ventaja para la elaboración de vinos blancos sobre todo en lo que respecta a obtener un adecuado equilibrio dulce/acidez. No obstante, los resultados también indican que las variedades de vid estudiadas fueron vendimiadas de en una etapa temprana y requieren un mayor tiempo de maduración, en especial la variedad Mantúo de Pilas. Por lo que refiere a las distintas variantes somáticas estudiadas, se observa una tendencia similar a la mostrada por las variedades autóctonas. De este modo, la variedad Palomino Fino mostró mayores índices de maduración si se compara con sus variantes somáticas Palomino Gacho, Palomino Pelusón y Palomino de Jerez (Tabla 4).

De este modo, el estudio de las variantes somáticas de la variedad Palomino Fino, así como de las variedades autóctonas, ha permitido determinar la viabilidad para su cultivo en zonas de clima cálido. Así pues, su empleo puede establecerse como una alternativa viable y natural para la producción de vinos blancos de calidad en una región de clima cálido, a la vez que permitirá contribuir a conservar la diversidad genética de estas variedades. No obstante, con la intención de promover su cultivo en la región andaluza, en las Denominaciones de Origen del Marco de Jerez y en otras regiones vitivinícolas con climas parecidos, se hace necesario solicitar su inclusión en el registro oficial de variedades autorizadas.

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica de los mostos de las variedades autóctonas.

	Cañocazo		Castellano		Mantúo de Pilas		Palomino Fino	
°Bé	10.88	± 0.02 ^a	11.54	± 0.01 ^b	9.12	± 0.02 ^c	11.10	± 0.01 ^d
pH	3.72	± 0.02 ^a	3.94	± 0.01 ^b	3.93	± 0.07 ^b	3.77	± 0.01 ^a
Acidez Total(g·L ⁻¹ TH ₂)	3.79	± 0.06 ^a	3.47	± 0.04 ^b	3.51	± 0.07 ^b	3.24	± 0.06 ^c
Índice de madurez	2.87	± 0.02 ^a	3.32	± 0.06 ^b	3.51	± 0.01 ^c	3.42	± 0.04 ^b
Ácido Tartárico (g/L)	2.80	± 0.03 ^a	2.96	± 0.01 ^b	2.88	± 0.05 ^a	2.37	± 0.04 ^c
Ácido Málico (g/L)	1.08	± 0.08 ^a	0.80	± 0.03 ^b	1.20	± 0.10 ^c	0.24	± 0.00 ^d
NFA (mg/L)	184.73	± 1,07 ^a	188.50	± 1.54 ^{a,c}	143.57	± 2.50 ^b	192.57	± 2.14 ^c

NFA: Nitrógeno Fácilmente Asimilable. Letras distintas en el superíndice indican diferencias significativas entre las muestras (ANOVA $p < 0.05$) determinado por un ANOVA bidireccional aplicando test de Bonferroni (BSD) test.

Tabla 4. Caracterización fisicoquímica de los mostos de las variantes somáticas.

	Palomino Fino	Palomino Gacho	Palomino Pelusón	Palomino de Jerez
°Bé	12.85 ± 0.00 ^a	11.98 ± 0.09 ^b	11.10 ± 0.01 ^c	10.35 ± 0.10 ^d
pH	3.87 ± 0.01 ^a	3.53 ± 0.01 ^b	3.61 ± 0.03 ^b	3.53 ± 0.03 ^b
Acidez Total (g·L ⁻¹ TH ₂)	3.15 ± 0.05 ^a	4.58 ± 0.10 ^b	3.32 ± 0.06 ^a	4.17 ± 0.06 ^c
Índice de madurez	4.07 ± 0.02 ^a	2.61 ± 0.08 ^b	3.34 ± 0.07 ^c	2.48 ± 0.01 ^b
Ácido Tartárico (g/L)	2.340 ± 0.050 ^a	2.460 ± 0.062 ^b	2.663 ± 0.041 ^c	4.002 ± 0.055 ^d
Ácido Málico (g/L)	0.622 ± 0.064 ^a	0.104 ± 0.006 ^b	0.264 ± 0.040 ^c	0.200 ± 0.009 ^d
NFA (mg/L)	200.16 ± 2.13 ^a	247.54 ± 2.61 ^b	189.27 ± 1.54 ^a	196.47 ± 5.69 ^a

NFA: Nitrógeno Fácilmente Asimilable. Letras distintas en el superíndice indican diferencias significativas entre las muestras (ANOVA $p < 0.05$) determinado por un ANOVA bidireccional aplicando test de Bonferroni (BSD) test.

3.3 Elaboración de vinos a partir de uva sobremadura

Con el fin de comprobar la viabilidad enológica de la elaboración de vinos blancos secos a partir de uva sobremadura en una región de clima cálido, se llevaron a cabo distintos ensayos en condiciones de secado natural o al sol (asoleo) y en cámara climática, para ver sus efectos sobre la composición del vino. Los resultados obtenidos muestran que el proceso de sobremaduración de la uva es capaz de generar un incremento del contenido en parámetros como la acidez total,

azúcares totales o nitrógeno fácilmente asimilable (Tabla 5), observándose un mayor aumento de estos valores en los mostos obtenidos a partir de uva sobremadura en cámara climática. Este hecho se debe a que la sobremaduración en cámara climática es un proceso continuo de tratamiento y, a diferencia del proceso llevado a cabo de forma natural, no se ve influenciado por las horas de luz naturales. Los aumentos en la concentración de dichos parámetros con respecto al control se deben, principalmente, a la pérdida por evaporación del contenido en agua de vegetación presente en la uva [42].

Tabla 5. Caracterización fisicoquímica de los mostos tras la sobremaduración.

	Control	SN48h	SN96h	SC48h	SC96h
2018					
pH	3.470 ± 0.014 ^a	3.440 ± 0.014 ^b	3.420 ± 0.028 ^c	3.300 ± 0.014 ^d	3.200 ± 0.014 ^e
AT (g/L)	3.630 ± 0.117 ^a	3.640 ± 0.175 ^a	3.920 ± 0.058 ^b	4.106 ± 0.058 ^c	4.996 ± 0.058 ^d
NFA (mg/L)	145.600 ± 0.000 ^a	183.40 ± 1.980 ^b	208.600 ± 5.940 ^c	189.000 ± 1.980 ^b	246.400 ± 3.960 ^d
°Bé	11.300 ± 0.140 ^a	12.800 ± 0.140 ^b	13.500 ± 0.140 ^c	12.800 ± 0.000 ^b	15.000 ± 0.140 ^d
2019					
pH	3.360 ± 0.021 ^a	3.290 ± 0.042 ^b	3.230 ± 0.035 ^c	3.280 ± 0.078 ^b	3.230 ± 0.070 ^c
AT (g/L)	3.620 ± 0.080 ^a	4.310 ± 0.053 ^b	5.525 ± 0.053 ^c	5.063 ± 0.043 ^d	5.780 ± 0.070 ^e
NFA (mg/L)	162.500 ± 2.256 ^a	200.230 ± 1.978 ^b	224.600 ± 1.450 ^c	207.650 ± 2.465 ^b	265.130 ± 3.472 ^d
°Bé	12.180 ± 0.020 ^a	12.770 ± 0.040 ^b	13.910 ± 0.090 ^c	14.210 ± 0.060 ^{e,d}	15.680 ± 0.030 ^e

AT: Acidez Total; NFA: Nitrógeno Fácilmente Asimilable. Letras distintas en el superíndice indican diferencias significativas entre las muestras (ANOVA $p < 0.05$) determinado por un ANOVA bidireccional aplicando test de Bonferroni (BSD) test.

En cuanto a la composición fisicoquímica de los vinos finales (Tabla 6), los valores de acidez total y volátil fluctuaron en función de la técnica de sobremaduración empleada y el tiempo, obteniéndose los mayores valores en los vinos elaborados con uva sobremadurada durante 96 horas en cámara climática. En cuanto al grado alcohólico de los vinos elaborados, a mayor concentración del contenido en azúcares presentes en el mosto, se obtuvo un mayor grado alcohólico

en los vinos finales. En vista a los resultados obtenidos, se puede considerar que el asoleo puede ser una herramienta tecnológica viable para la elaboración de vinos blancos. A su vez, la recuperación de una técnica ancestral como el asoleo permitiría aprovechar las condiciones impuestas por el cambio climático, dar encuentro con las tendencias de los actuales consumidores de vino y diversificar la producción en una zona de clima cálido como el Marco de Jerez.

Tabla 6. Caracterización fisicoquímica de los vinos obtenidos a partir de uvas sobremadura.

	2018				
	Control	SN48h	SN96h	SC48h	SC96h
AT (g/L)	4.629 ± 0.027 ^a	4.763 ± 0.067 ^a	4.905 ± 0.080 ^a	5.102 ± 0.241 ^b	5.554 ± 0.013 ^b
AV (g/L)	0.162 ± 0.012 ^a	0.184 ± 0.031 ^a	0.400 ± 0.024 ^b	0.231 ± 0.012 ^a	0.366 ± 0.021 ^b
% Alc.	11.854 ± 0.182 ^a	13.430 ± 0.060 ^a	14.633 ± 0.159 ^{a,b}	13.656 ± 0.398 ^a	16.584 ± 0.016 ^c
AR (g/L)	1.418 ± 0.285 ^a	1.922 ± 0.330 ^b	2.220 ± 0.509 ^b	1.733 ± 0.107 ^{a,b}	2.998 ± 0.264 ^c
IPT	7.990 ± 0.141 ^a	6.540 ± 0.170 ^b	6.090 ± 0.269 ^b	6.450 ± 0.891 ^b	8.160 ± 0.085 ^a
Abs 420	0.074 ± 0.015 ^a	0.093 ± 0.008 ^a	0.093 ± 0.001 ^a	0.109 ± 0.008 ^b	0.110 ± 0.002 ^b
	2019				
	Control	SN48 h	SN96 h	SC48h	SC96 h
AT (g/L)	5.570 ± 0.098 ^a	5.810 ± 0.104 ^a	6.480 ± 0.057 ^b	6.320 ± 0.421 ^b	6.460 ± 0.268 ^b
AV (g/L)	0.189 ± 0.030 ^a	0.214 ± 0.012 ^a	0.256 ± 0.036 ^b	0.296 ± 0.016 ^b	0.489 ± 0.080 ^c
% Alc.	10.756 ± 0.430 ^a	12.380 ± 0.320 ^{a,d}	14.299 ± 0.190 ^b	13.420 ± 0.598 ^{b,d}	16.240 ± 0.480 ^c
AR (g/L)	1.356 ± 0.018 ^a	1.976 ± 0.143 ^b	1.447 ± 0.169 ^{a,b}	1.238 ± 0.188 ^a	4.813 ± 0.268 ^c
IPT	6.513 ± 0.091 ^a	4.976 ± 0.100 ^b	3.790 ± 0.082 ^c	5.713 ± 0.712 ^b	10.268 ± 0.55 ^d
Abs 420	0.040 ± 0.010 ^a	0.051 ± 0.010 ^{a,d}	0.062 ± 0.001 ^{b,d}	0.073 ± 0.010 ^b	0.110 ± 0.01 ^c

AT: Acidez Total; AV: Acidez volátil; AR: Azúcares Residuales; IPT: Índice de Polifenoles Totales. Letras distintas en el superíndice indican diferencias significativas entre las muestras (ANOVA $p < 0.05$) determinado por un ANOVA bidireccional aplicando test de Bonferroni (BSD) test.

4 Conclusiones

Los principales resultados de esta investigación muestran la existencia de variedades autóctonas y variantes somáticas que presentan características de adaptación frente a las condiciones impuestas por el cambio climático. Por otro lado, la elaboración de vinos blancos a partir de uva asoleada, puede ser considerada como técnicas de resiliencia muy indicadas cuando se registran altas temperaturas durante la fase de maduración. A su vez, la recuperación de esta técnica histórica podría considerarse como un estímulo para la producción de nuevos vinos que se adaptan a las nuevas tendencias de los consumidores actuales.

Bibliografía

1. P. E. McGovern, *Ancient Wine. The search for the origins of viticulture* (Princeton University Press, Princeton, 2003)
2. D. Maghradze, L. Rustioni, J. Turok, A.

3. A. Bouquet, *Genetics, genomics, and breeding of grapes* (CRC Press, Boca Ratón, 2016)
4. S. Riaz, G. De Lorenzis, D. Velasco, A. Koehmstedt, D. Maghradze, Z. Bobokashvili, M. Musayev, G. Zdunic, V. Laucou, M. A. Walker, O. Failla, J. E. Preece, M. Aradhya, R. Arroyo-García, *BMC Plant Biol.* **18**(1), 1-14 (2018)
5. P. This, T. Lacombe, M. R. Thomas, *Trends Genet.* **22**, 511-519 (2006)
6. Organisation International de la Vigne et du Vin. State of the Vitiviculture World Market 2021: Paris, France, 2021
7. C. Van Leeuwen, P. Darriet, *J. Wine Econ.* **11**(1), 150-167 (2016)
8. E. Duchêne, C. Schneider, *Agron. Sustain. Dev.* **25**(1), 93-99 (2005)
9. G. V. Jones, M. A. White, O. R. Cooper, K. Storchmann, *Clim. Change* **73**, 319-343 (2005)
10. H. Fraga, A. C. Malheiro, J. Moutinho-Pereira,

- J. A. Santos, *Food Energy Secur.* **1**, 94–110 (2012)
11. R. Mira de Orduña, *Food Res. Int.* **43**, 1844–1855 (2010)
12. K. J. Hennessy, P. H. Whetton, L. Webb, K. L. McInnes, *Aust. N. Z. Grapegrow. Winemak.* **469**, 40 (2003)
13. L. B. Webb, P. H. Whetton, E. W. R. Barlow, *Proceedings of the MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation* (Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, Canberra, Australia, 2005)
14. G. V. Jones, G. B. Goodrich, *Clim. Res.* **35**(3), 241-254 (2008)
15. V. Sotés, *El sector vitivinícola frente al desafío del cambio climático* (Monografías Cajamar, Murcia, España, 2018)
16. A. Gismondi, S. Impei, G. Di Marco, M. Crespan, D. Leonardi, A. Canini, *Genome* **57**, 111–118 (2014)
17. A. Jiménez-Cantizano. *Caracterización molecular del banco de germoplasma de vid del Rancho de la Merced*. Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz, España (2014)
18. A. Jiménez-Cantizano, A. Amores-Arrocha, R. Gutiérrez-Escobar, V. Palacios, *Span. J. Agric. Res.* **16**, e07SC02 (2018)
19. G. Marsal, J. J. Méndez, J. M. Mateo, S. Ferrer, J. M. Canals, F. Zamora, F. Fort, *Oeno one* **4**, 667–680 (2019)
20. E. Maletić, I. Pejić, J. K. Kontić, D. Zdunić, D. Preiner, S. Šimon, Z. Andabaka, M. Z. Mihaljevic, M. Bubola, Z. Markovic, D. Stupic, A. Mucalo, *Vitis* **54**, 93-98 (2015)
21. V. Ganich, L. Naumova, *Proceedings of the Innovative Technologies in Science and Education 2020 (ITSE-2020)* (EDP Sciences, France)
22. J. P. Martín, J. Borrego, F. Cabello, J. M. Ortiz, *Genome* **46**, 10-18 (2003)
23. M. S. Lopes, F. M. Sefc, E. Eiras Dias, H. Steinkellner, *Theor. Appl. Genet.* **99**, 733-739 (1999)
24. A. Amores-Arrocha, P. Sancho-Galán, A. Jiménez-Cantizano, V. Palacios, *Agronomy* **10**, 634 (2020)
25. A. Amores-Arrocha, A. Roldán, A. Jiménez-Cantizano, I. Caro, V. Palacios, *Molecules* **23**, 1321 (2018)
26. P. Sancho-Galán, A. Amores-Arrocha, A. Jiménez-Cantizano, V. Palacios, *Agronomy* **11**, 452 (2021)
27. A. Jiménez-Cantizano, B. Puertas, M. J. Serrano. *Acta Horticulturae* **910**, 89-101 (2011)
28. P. Sancho-Galán, A. Amores-Arrocha, V. Palacios, A. Jiménez-Cantizano, *Agronomy* **10**, 654 (2020)
29. P. Sancho-Galán, A. Amores-Arrocha, V. Palacios, A. Jiménez-Cantizano, *Agronomy* **10**, 205 (2020)
30. Organisation Internationale de la Vigne et du Vin (OIV). *OIV Descriptor List for Grape Varieties and Vitis Species* (OIV, Paris, France, 2009)
31. L. G. Santesteban, C. Miranda, J. B. Royo, *Methodologies and Results in Grapevine Research* (Springer, New York, United States, 2010)
32. Organisation Internationale de la Vigne et du Vin (OIV). *Recueil des Méthodes Internationales D'analyse des vins et des Moûts* (OIV, Paris, France, 2014)
33. A. García de Luján, B. Puertas, M. Lara, *Varietades de vid en Andalucía*, (Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla, España, 1990)
34. M.J. Serrano, B. Puertas, L. Velasco, J. A. Pérez, A. Jimenez-Cantizano, *Proceedings of the XVI Congreso Nacional de Enólogos* (Jerez de la Frontera, España, 2014)
35. P. Carbonell-Bejerano, C. Royo, N. Mauri, J. Ibáñez, J. M. Martínez-Zapater, *Advances in Grape and Wine Biotechnology* (Intechopen, London, United Kingdom, 2016)
36. P. Gago, G. Conéjero, M. C. Martínez, S. Boso, P. This, J. L. Verdeil, *Aust. J. Grape Wine Res.* **22**, 494–503 (2016)
37. M. M. Thompson, H. P. Olmo, *Am. J. Bot.* **50**, 901–907 (1963)
38. J. Ibáñez, J. Carreño, J. Yuste, J.M. Martínez-Zapater, *Grapevine breeding programs for the wine industry*, (Woodhead Publishing, Sawston, Reino Unido, 2015)
39. P. Ribéreau-Gayon, D. Dubourdieu, B. Donéche, A. Lonvaud, Y. Glories, A. Maugean, *Traité D'oenologie: Microbiologie du vin. Vinifications*, (Dunod Editions, Paris, France, 2017)
40. R. R. Nemani, M. A. White, D. R. Cayan, G. V. Jones, S. W. Running, J. C. Coughlan, D. L. Peterson, *Clim. Res.* **19**, 25–34 (2001)