



Efectos del déficit hídrico en pre-envero sobre la composición de vinos tintos jóvenes (*Vitis vinifera* L., cv. Cabernet sauvignon) en Madrid. España.

O. Fernández¹, P. Baeza¹, P. Junquera¹ y J.R. Lissarrague¹.

¹ Grupo de Investigación de Viticultura. Universidad Politécnica de Madrid E.T.S.I. Agrónomos. Dpto. de Producción Vegetal: Fitotecnia. C/ Senda del Rey, s/n 28040. Madrid. olga.fernandez@upm.es

Resumen

El cultivo de vid en zonas cálidas y secas, habitualmente compromete el crecimiento de la baya así como el de su composición, y por lo tanto la de sus vinos, y en particular su composición fenólica. Como consecuencia del cambio climático, existen desfases en la madurez de las uvas, dificultando en ocasiones la obtención de uvas con taninos suficientes y maduros y con buenas sensaciones gustativas y aromáticas para vinos de calidad. Este ensayo tiene como objetivo estudiar posibles herramientas a utilizar para atenuar dichos efectos, estimulando el metabolismo y crecimiento mediante la aplicación de distintas estrategias de riego. Durante los períodos de crecimiento 2010 y 2011, se establecieron cuatro estrategias de riego: i) déficit moderado continuo ($T_{0,45-0,6}$), ii) déficit severo continuo ($T_{0-0,3}$), iii) déficit severo después de envero ($T_{0,45-0,3}$), iv) déficit severo antes de envero ($T_{0-0,6}$). Se llevaron a cabo las microvinificaciones correspondientes a las tres repeticiones de cada uno de los tratamientos y se realizaron los análisis de los vinos resultantes una vez finalizada la fermentación alcohólica, impidiendo el inicio de la fermentación maloláctica. A pesar de que en el análisis interanual, no hay efectos significativos de los tratamientos en la composición básica del vino, a excepción de la concentración de ácido málico, sí se observó en la relación entre peso de baya y composición polifenólica del vino, una menor concentración de antocianos a medida que la baya incrementa su tamaño.

Palabras clave: Cabernet sauvignon, composición, riego, vino tinto, cambio climático.

Effects of pre-veraison water deficit on Cabernet sauvignon (*Vitis vinifera* L.) wine composition in Madrid. Spain.

Abstract

Winegrowing in warm, dry areas usually compromises berry growth and must composition, and therefore the composition of the resulting wines. Phenol metabolism is particularly affected. As a consequence of global warming, berry ripening processes are often delayed, reducing the likelihood of obtaining berries with the adequate composition, taste and aroma necessary in the making top quality wines. The purpose of this trial was to study different viticulture practices in order to use them in mitigating said negative effects; by stimulating vine metabolism and development through the use of different irrigation strategies. To this end, a study on water availability along the different phenological stages was carried out in order to understand its influence on must and wine composition. During the 2010 and 2011 growing periods, four irrigation strategies were established: i) irrigation from flowering to harvest ($T_{0,45-0,6}$), ii) regulated deficit irrigation throughout the whole season ($T_{0-0,3}$), iii) irrigation from flowering to veraison ($T_{0,45-0,3}$), iv) irrigation from veraison to harvest ($T_{0-0,6}$). All irrigation treatments were microvinificated and basic and phenol analyses of must and were carried out avoiding malolactic fermentation. International statistical analysis showed no effect of irrigation management on basic wine composition –but malic acid–. However there was a significant negative relationship between berry size and phenol content when all data were plot together.

Keywords: Cabernet Sauvignon, composition, irrigation, red wine, global warming.

Introducción

La preocupación por las consecuencias que puede ocasionar a la viticultura el cambio climático, se ven reflejadas en muchos de los estudios que existen en los últimos años. El último estudio realizado por el

Laboratorio Internacional en Cambio Global (LINCGlobal), sugiere que el aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones, están afectando el delicado equilibrio entre temperatura y humedad, elementos principales para el cultivo de uvas de vino de alta calidad (Hannah et al., 2013). Por lo tanto, mejorar la eficiencia del uso del agua en la vid se ha convertido en un asunto de creciente interés para los investigadores, agrónomos y agricultores, tanto para explorar fórmulas hacia la más alta calidad de la cosecha de un cultivo, así como aumentar la sostenibilidad (Chaves et al., 2007; Flexas et al., 2010).

En zonas áridas, el riego es una herramienta importante para regular la disponibilidad de agua del suelo en la vid. Su papel es decisivo en la cantidad y calidad de uva (Smart y Coombe, 1983; Williams y Matthews, 1990; Jackson y Lombard, 1993; Lissarrague, 1997; Behboudian y Singh, 2001; McCarthy et al., 2004), con evidencias sobre los efectos positivos de la calidad del vino (Hepner et al., 1985) y negativos (Reyero et al., 2003). El aumento de los rendimientos en regadío se debe en gran medida a las diferencias en el peso de la baya según varios autores (Williams y Matthews, 1990; García-Escudero et al., 1997; Esteban, Villanueva y Lissarrague, 1999; Tandonnet et al., 1999; Ojeda, Deloire y Carbonneau, 2001; Rubio, Yuste y Baeza, 2001). La composición de la uva, y por lo tanto la calidad del vino, están determinadas en gran medida por el equilibrio entre el rendimiento y el crecimiento vegetativo (Bravdo et al., 1985; Murisier y Zufferey, 1997; Howell, 2001; Kliwer y Dokoozlian, 2005).

Estudios sobre la influencia del agua en la vid, en la concentración de compuestos fenólicos en la piel de las bayas, han producido resultados variables. Generalmente, los aumentos en la concentración de antocianos se han observado en las pieles de baya en respuesta al déficit de agua, como resultado del aumento de la síntesis de antocianos, que se produce cuando el déficit se aplica pre-verano (Castellarín et al., 2007). El mismo autor demostró que las vías de síntesis de compuestos fenólicos de la piel fueron insensibles al déficit de agua, tanto en pre-verano como en post-verano. Un déficit hídrico durante el desarrollo de la baya generalmente se considera beneficioso para la calidad del vino (Matthews et al., 1990), pero se logra a menudo a expensas de una pérdida de rendimiento (Shellie, 2006; Keller et al., 2008).

Material y Métodos

Localización ensayo y dispositivo experimental

El ensayo se llevó a cabo en un viñedo comercial localizado en el Sureste de la Comunidad de Madrid (España), con unas coordenadas geográficas de 40° 12' Norte y 3° 28' Oeste, a 550 m de altitud. La toma de datos experimentales se realizó durante los años 2010 y 2011. La variedad ensayada fue Cabernet sauvignon (clon 15) injertada sobre 41 B Millardet-Grasset, plantado en el año 2005, a un marco de plantación 3m x 1m. El sistema de formación fue en cordón Royat unilateral, con una poda corta a 2 yemas vistas y la conducción de los pámpanos fue vertical en espaldera. El dispositivo experimental es totalmente al azar, con 3 repeticiones por cada tratamiento. Se establecieron cuatro tratamientos experimentales con cuatro grados de disponibilidad hídrica, $T_{0,45-0,6}$: riego con un Kc de 0,45 durante pre-verano y un Kc de 0,6 en post-verano; $T_{0-0,3}$: riego en post-verano con un Kc de 0,3; $T_{0,45-0,3}$: riego con un Kc de 0,45 durante pre-verano y un Kc de 0,3 post-verano; $T_{0-0,6}$: riego en post-verano con un Kc de 0,6.

Determinaciones experimentales

Para la determinación del rendimiento de vendimia y el peso de la baya, se seleccionaron 10 plantas por tratamiento y repetición, se vendimiaron y realizaron las microvinificaciones correspondientes. Se sulfitaron una vez finalizada la fermentación alcohólica, para impedir el inicio de la fermentación maloláctica. Los parámetros físico-químicos del vino fueron analizados de acuerdo a los métodos oficiales de la OIV (2012): Grado alcohólico (% vol), acidez total ($\text{g}_{\text{ác. tartárico}} \cdot \text{L}^{-1}$), pH, ácidos tartárico y L-Málico ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), taninos ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), antocianos ($\text{mg}_{\text{de malvidina}} \cdot \text{L}^{-1}$) e IPT.

Análisis estadísticos

El análisis de los resultados se realizó mediante análisis de varianza para niveles de probabilidad de $p \leq 0.05$ (*), $p \leq 0.01$ (**) y $p \leq 0.001$ (***), y las diferencias entre tratamientos fueron evaluadas por el test múltiple de Duncan para un nivel de probabilidad de $p \leq 0.05$. Se empleó el programa SPSS 20.0 para Windows (SPSS Inc. Headquarters, Chicago, Illinois).

Resultados y Discusión

La calidad del vino es el resultado de un complejo conjunto de interacciones, que incluyen variables de suelo, clima y muchas decisiones vitivinícolas, como son las referidas al riego. En nuestro ensayo, la disponibilidad hídrica, no influyó al pH del vino a lo largo de los dos años de estudio (Tabla 1), pero sí afectó de forma notable a su grado alcohólico, alcanzándose los mayores valores en el tratamiento de déficit severo continuo ($T_{0-0,3}$) en 2010, y el menor para el déficit hídrico severo antes de enero ($T_{0-0,6}$) en el año 2011. La acidez total del vino, obtuvo sus menores tasas en los tratamientos con déficit severo antes de enero ($T_{0-0,3}$ y $T_{0-0,6}$), en 2010, sin embargo en el segundo año, el valor más favorable de acidez total, 5,7 g ácido TH_2L^{-1} , se logró bajo un déficit severo antes de enero ($T_{0-0,6}$). Las concentraciones medias de ácido L-Málico, incrementaron significativamente en los tratamientos sin estrés hídrico antes del periodo de enero, contrariamente a la de taninos en el año 2011, logrando los mayores ratios para los dos tratamientos con déficit hídrico en pre-enero.

Tabla 1. Composición físico-química del vino: Grado alcohólico (Grado Alcoh., %vol), Acidez total (A.T., g ácido TH_2L^{-1}), pH, Ácido Tartárico (Ác. Tartárico, g ácido TH_2L^{-1}), ácido L-Málico (Ac. L-Málico, g L^{-1}), taninos (g L^{-1}). Años 2010 y 2011, para cada uno de los tratamientos de riego.

Año	Tratamientos (Kc)	Grado Alcoh. (% vol)	A.T. (g TH_2L^{-1})	pH	Ác. Tartárico (g TH_2L^{-1})	Ác. L-Málico (g L^{-1})	Taninos (g L^{-1})
2010	$T_{0,45-0,6}$	15,0 b ^y	5,6 a	3,53	2,0	1,7 a	2,8
	$T_{0-0,3}$	16,2 a	4,9 b	3,65	1,6	1,3 b	3,0
	$T_{0,45-0,3}$	15,1 b	5,2 ab	3,63	2,0	1,7 a	2,8
	$T_{0-0,6}$	14,8 b	5,1 b	3,56	1,6	1,4 b	2,9
Sig. ^x		**	*	ns	ns	**	ns
2011	$T_{0,45-0,6}$	15,3 bc	5,0 b	3,66	1,9 ab	1,9 a	3,5 c
	$T_{0-0,3}$	15,9 ab	5,1 b	3,61	2,3 a	1,6 ab	4,1 a
	$T_{0,45-0,3}$	16,4 a	5,2 b	3,64	1,5 b	1,8 a	3,7 bc
	$T_{0-0,6}$	14,6 c	5,7 a	3,43	2,4 a	1,3 b	4,0 ab
Sig.		**	*	ns	*	*	**
Año Medio	$T_{0,45-0,6}$	15,2	5,3	3,6	1,9	1,8 a	3,1
	$T_{0-0,3}$	16,0	5,0	3,6	1,9	1,4 b	3,6
	$T_{0,45-0,3}$	15,8	5,2	3,6	1,8	1,8 a	3,3
	$T_{0-0,6}$	14,7	5,4	3,5	2,0	1,3 b	3,5
Sig. Tratamiento		-	-	ns	-	***	ns
Año	2010	15,3	5,2	3,6	1,8	1,5	2,9
	2011	15,5	5,2	3,6	2,0	1,7	3,9
Sig. Año		ns	ns	ns	ns	ns	***
Sig. Tratamiento x Año		*	**	ns	**	ns	ns

^x: Significación estadística (Sig.): *, **, ***, ns: diferencias significativas para $p \leq 0.05$, 0.01, 0.001, o no significativas, respectivamente. Efectos simples: coeficiente de riego y año. Interacción: riego x año.

^y: Separación de medias mediante el test múltiple de Duncan para $p \leq 0.05$.

Un déficit hídrico durante el desarrollo de la baya generalmente se considera beneficioso para la calidad del vino (Matthews et al., 1990), pero se logra a menudo a expensas de una pérdida de rendimiento (Shellie, 2006; Keller et al., 2008). El grado de azúcar es un parámetro muy influenciado por el régimen hídrico, la mayor síntesis y acumulación se da entre cuajado y envero. En zonas semiáridas, en las que se dan frecuentes épocas de estrés a lo largo de la segunda mitad del ciclo, el riego, va a aumentar la concentración en azúcares de la baya, y por lo tanto la del grado alcohólico de los vinos (Yuste, 1995; Sánchez-Llorente, 2004). En numerosos estudios (Stevens, Harvey y Aspinall, 1995; Reynolds, Molek y De Savigny, 2005; Baeza et al., 2007), no queda muy claro si el riego afecta de manera directa a la cantidad de ácidos, no encontrándose relaciones significativas entre el régimen hídrico y pH, mientras que Esteban et al., (1999) e Intrigliolo y Castel, (2010) sí las hallaron. El ácido málico tiende a disminuir con menor humedad en el suelo, disminuyendo la concentración de ATT de la cosecha (Keller, Smithyman y Mills, 2008; Stevens, Harvey y Aspinall, 1995). El déficit de agua también puede dar como resultado un aumento en la proporción de complejos pigmento-tanino (Kennedy, Matthews y Waterhouse, 2002), lo que podría explicar el aumento de la concentración de antocianos relacionada con el leve déficit de agua (Ribéreau-Gayon et al., 2006).

Se estudió la relación entre las concentraciones de IPT (Figura 1.I.) y antocianos (Figura 1.II.) del vino y el peso de la baya, resultando altamente significativas, de tal modo que a menor tamaño de baya la concentración polifenólica del vino es claramente mayor. Diferentes resultados se obtuvieron al relacionar el rendimiento de cosecha con la concentración de IPT (Figura 1.III.) y antocianos (Figura 1.IV.) del vino, ya que no afectaron a la calidad polifenólica del vino.

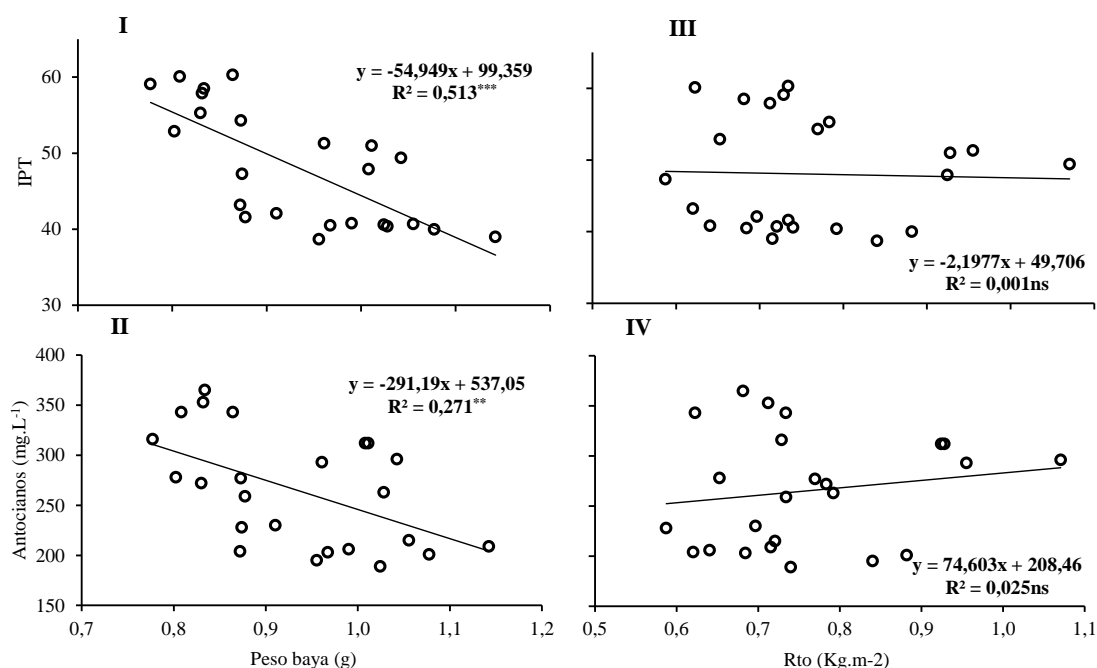


Figura 1. Relación entre el peso de baya (g) y (I) el índice de polifenoles totales (IPT), y (II) antocianos (mg de malvidina.L⁻¹) del vino; Relación entre el rendimiento de cosecha (Kg uva.m⁻²) y (III) el índice de polifenoles totales (IPT), y (IV) antocianos (mg de malvidina.L⁻¹) del vino, para cada uno de los tratamientos de riego.

Significación del coeficiente de determinación R² mediante análisis de varianza: **, *, ns: diferencias significativas para p ≤ 0.01, 0.001, o no significativas, respectivamente.**

Según varios autores (Kennedy, Matthews y Waterhouse, 2002; Ojeda et al., 2002; van Leeuwen et al., 2004), aunque el déficit hídrico sea suave, el tamaño de las bayas se limita y mejora la composición del fruto. La composición fenólica de la baya depende del estado hídrico de la vid, debido al crecimiento de la baya y a los efectos causados en su concentración (Matthews y Anderson, 1988; Ojeda et al., 2002). En general, el déficit hídrico aumenta la concentración en compuestos fenólicos (Matthews y Anderson, 1988; Do y Cornier, 1991; Esteban, Villanueva y Lissarrague, 2001; Ojeda et

al., 2002), principalmente asociado a un menor tamaño de baya y a una mayor relación hollejo pulpa (Kennedy, Matthews y Waterhouse, 2002). Algunos estudios han demostrado, que existiendo pequeñas diferencias en la composición fenólica de la baya en respuesta al déficit hídrico, pueden llegar a alcanzar aumentos significativos de dicha composición en el vino, a raíz de distintos tipos de vinificación (Kennedy, Matthews y Waterhouse, 2002; Peterlunger et al., 2002).

Conclusiones

Las estrategias de riego en viñedo, frente al cambio climático, deben ir dirigidas a atenuar los efectos negativos del déficit hídrico. En el ensayo realizado, los resultados mostraron que la composición y la calidad polifenólica de los vinos, no se vieron afectadas al aumentar el rendimiento de cosecha, pero sí al modificarse el tamaño de baya. De forma general, se obtuvieron mayores concentraciones de ácido málico en vino, cuando no hubo déficit hídrico en pre-envero, contrariamente a la concentración de taninos y grado alcohólico, que se vieron favorecidos por el déficit antes del envero, durante el segundo año de ensayo.

Agradecimientos

El presente proyecto ha sido financiado por el CDTI dentro del plan de impulso a la investigación del sector industrial español, programa INGENIO 2010. Al Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEIGRAM).

Bibliografía

- Baeza P., Sánchez-de-Miguel, P., Centeno, A., Junquera, P., Linares, R., and Lissarrague, J.R. (2007). Water relations between leaf water potential, photosynthesis and agronomic vine response as a tool for establishing thresholds in irrigation scheduling. *Sci. Hort.* **114**, 151-158.
- Behboudian, M.H., and Singh, Z. (2001). Water relations and irrigation scheduling in grapevine. *Horticultural Review* **27**, 189-225.
- Bravdo, B., Hepner, Y., Loinger, C., Cohen, S., and Tabacman, H. (1985). Effect of crop level and crop load on growth, yield, must and wine composition, and quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* **36**, 125-131.
- Castellarín, S., Matthews, M., Di Gaspero, G., and Gambetta, G. (2007). Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Plant Physiol.* **227**, 101-112.
- Chaves, M.M., Santos, T.P., Souza, C.R., Ortuño, M.F., Rodriz, M.L., Lopez, C.M., Maroco, J.P., and Pereira, J.S. (2007). Deficit irrigation in grapevine improves water-use-efficiency without controlling vigour and production quality. *Ann. App. Biol.* **150**, 237-252.
- Do, C. B., and Cornier, F. (1991). Accumulation of peonidin-3-glucoside enhanced by osmotic stress in grape (*Vitis vinifera* L.) cell suspension. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* **24**, 49-54.
- Esteban, M.A., Villanueva, M.J., and Lissarrague, J.R. (1999). Effect of irrigation on changes in berry composition of Tempranillo during maturation. Sugars, organic acids and mineral elements. *Am. J. Enol. Vitic.* **50**, 418-434.
- Esteban, M.A., Villanueva, M.J., and Lissarrague, J.R. (2001). Effect of irrigation on changes in the anthocyanin composition of the skin of cv. Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) grape berries during ripening. *J. Sci. Food Agric.* **81**, 409-420.
- Flexas, J., Galmés, J., Gallé, A., Gulías, J., Pou, A., Ribas-Carbo, M., Tomás, M., and Medrano, H. (2010). Improving water use efficiency in grapevines: potential physiological targets for biotechnological improvement. *Aust. J. Grape and Wine Res.* **16**, 106-121.
- García-Escudero, E., López, R., Santamaría, P., and Zaballa, O. (1997). Ensayos de riego localizado en viñedos productivos de cv. Tempranillo. *Vitic. Enol. Prof.* **50**, 35-47.
- Hannah, L., Roehrdanz, P.R., Ikegami, M., Shepard, A.V., Shaw, M.R., Tabor, G., Zhi, L., Marquet, P.A., and Hijmans, R.J. (2013). Climate change, wine and conservation. *PNAS*. Doi, 10.1073/pnas.1210127110.
- Hepner, Y., Bravdo, B., Loinger, S., Cohn, S., and Tabacman, H. (1985). Effect of drip irrigation schedules on growth, yield, must composition and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* **36**, 77-85.

- Howell, G.S. (2001). Sustainable grape productivity and the growth-yield relationship: A review. *Am. J. Enol. Vitic.* **52**, 165-174.
- Intrigliolo, D.S., and Castel, J.R. (2010). Response of grapevine cvTempranillo to timing and amount of irrigation: water relations, vine growth, yield and berry and wine composition. *Irrigation Science* **28**, 113-125.
- Jackson, D.I., and Lombard, P.B. (1993). Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality- A review. *Am. J. Enol. Vitic.* **44**, 409-430.
- Keller M., Smithyman R.P., Mills L.J., (2008). Interactive effects of deficit irrigation and crop load on Cabernet sauvignon in an arid climate. *Am. J. Enol. Vitic.* **59**, 221-234.
- Kennedy, J.A., Matthews, M.A., and Waterhouse A.L. (2002). Effect of maturity and vine water status on grape skin and wine flavonoids. *Am. J. Enol. Vitic.* **53**, 268-274.
- Kliewer W.M., and Dokoozlian, N.K. (2005). Leaf area / crop weight ratios of grapevines: Influence on fruit composition and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.* **56**, 170-181.
- Lissarrague J.R. (1997). Necesidades de agua de la vid. Consecuencias del estrés hídrico y del riego en el viñedo. *Agricultura* 943-950.
- Matthews, M.A., Ishii, R., Anderson, M.M., and O'Mahony, M. (1990). Dependence of wine sensory attributes on vines water status. *J. Sci. Food Agric.* **51**, 321-335.
- Matthews, M., and Anderson, M. (1988). Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* **39**, 313-320.
- Murisier, F., and Zufferey, V. (1997). Rapport feuille-fruit de la vigne et qualité du raisin. *Revue Suisse. Vitic. Arboric. Hortic.* **29**, 355-362.
- OIV. (2012). OIV (Ed.), Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis, Edition 2012. Paris.
- Ojeda, H., Deloire, A., and Carbonneau, A. (2001). Influence of water deficits on grape berry growth. *Vitis* **40**, 141-147.
- Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A., and Deloire, A. (2002). Influence of pre and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *Am. J. Enol. Vitic.* **53**, 261-267.
- Peterlunger, E., Celotti, E., Da Dalt, G., Stefanelli, S., Gollino, G., and Zironi, R. (2002). Effect of training system on Pinot noir grape and wine composition. *Am. J. Enol. Vitic.* **53**, 14-18.
- Reyero J.R., Garijo, J., Pardo, F., and Alinas, M.R. (2003). Influencia del riego excesivo en la producción y en el contenido polifenólico de diferentes variedades viníferas. *Investigación y Ciencia* 17-21.
- Reynolds, A.G., Molek, T., and De Savigny, C. (2005). Timing of shoot thinning in *Vitis vinifera*: Impacts on yield and fruit composition variables. *Am. J. Enol. Vitic.* **56**, 343-356.
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donéche, B., and Lonvaud, A. (2006). Handbook of Enology Volume 1 The Microbiology of Wine and Vinifications 2nd Edition. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, England.
- Rubio, J.A., Yuste J., and Baeza, P. (2001). Effects of cluster thinning and water regime on productivity, development, must composition, and physiologic behaviour on Tempranillo cultivar trained in a vertical trellis system. *12èmes Journées GESCO* **2**, 533-539.
- Sanchez-Llorente, P. (2004). Respuestas de la vid (*Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo) en relación a la evolución del contenido de agua en el suelo en regímenes hídricos deficitarios. *Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid*.
- Shellie, K.C. (2006). Vine and berry response of Merlot (*Vitis vinifera* L.) to differential water stress. *Am. J. Enol. Vitic.* **57**, 514-518.
- Smart, R.E., and Coombe, B.G. (1983). Water relations of the grapevine. In: Water deficits and plant growth. Vol. VII: Additional woody crop plants. Kozlowski, T.T. Academic Press, New York.
- Stevens, R.M., Harvey, G., and Aspinall, D. (1995). Grapevine growth of shoots and fruit linearly correlate with water stress indices based on root-weighted soil matric potential. *Aust. J. Grape Wine Res.* **16**, 58-66.
- Tandonnet, J.P., Ollat, N., Neveux, M., and Renoux, J.L. (1999). Effect of three levels of water supply on the vegetative and reproductive development of Merlot and Cabernet Sauvignon grapevines. *Acta Hort.* **493**, 301-307.
- van Leeuwen, C., Friant, P., Choné, X., Tregoat, O., Koundouras, S., and Dubourdieu, D. (2004). Influence of Climate, Soil, and Cultivar on Terroir. *Am. J. Enol. Vitic.* **55**, 207-217.
- Williams, L.E., and Matthews, M.A. (1990). Grapevines. Irrigation of Agricultural Crops. Vol. 30. B.A. Stewart y D.R. Nielsen. Madison, Wisconsin.
- Yuste, J. (1995). Comportamiento fisiológico y agronómico de la vid (*Vitis vinifera* L.) en diferentes sistemas de conducción en secano y regadío. *Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid*.