

RIEGO CUALITATIVO DE PRECISIÓN EN VID

Hernán OJEDA

UE999 Pech Rouge, INRA, F-11430 GRUISSAN, Francia

Sintesis de la relacion presentada en el Enoforum 2007, 13-15 marzo, Piacenza, Italia

Resumen

El cambio climático y la crisis vitivinícola actual imponen una adaptación evolutiva de las técnicas culturales en los viñedos mediterráneos. El aumento de las temperaturas medias, acompañado de un incremento significativo de la evapotranspiración, generan una sequía creciente durante el ciclo vegetativo de la vid inducida por un balance hídrico fuerte y tempranamente deficitario.

Los viticultores cada vez más se enfrentan al dilema de aceptar las consecuencias de restricciones hídricas severas o utilizar la irrigación para evitar los graves problemas de disminución de rendimientos y de calidad de la vendimia.

Sobre la base de los conocimientos científicos desarrollados principalmente durante los últimos 15 años, hoy es posible proponer a los viticultores modelos de riego razonado en función del control del estado hídrico, elemento explicativo fundamental del funcionamiento fisiológico de la cepa, teniendo en cuenta los objetivos de producción (rendimientos, calidad, tipo de vino, etc.). Este enfoque, utilizado cada vez más en países donde el riego es una técnica imprescindible para la viticultura, comienza a ser una demanda tangible de una importante parte del sector vitícola europeo.

Este artículo presenta una cierta cantidad de información en relación a los efectos de diferentes niveles de restricción hídrica sobre el rendimiento y la calidad de uvas y vinos; describe un modelo general óptimo para la vid en función de su estado fenológico; propone diferentes estrategias de riego en función de los objetivos del viñedo; y da ejemplos prácticos en viñedos comerciales de diferentes países vitivinícolas.

Las características de un vino son el resultado de la interacción de numerosos factores naturales, biológicos, agronómicos y enológicos. El hombre, a través del manejo de ciertas variables agronómicas, como la arquitectura de la planta, el manejo del suelo y la protección fitosanitaria o de algunas variables enológicas como el tipo de vinificación, de crianza o la elección de los cortes puede, dentro de ciertos límites, controlar la calidad y tipicidad del vino (Morlat y Asselin 1983). Sin embargo, la posibilidad de intervención del viticultor sobre ciertos factores naturales como el clima y el efecto añada (“*millésime*”) es muy limitada.

El agua y el clima

El clima es un elemento fundamental en la calidad de la uva, a través del comportamiento de sus principales componentes: la radiación solar, la temperatura, la humedad y las precipitaciones (Jackson 1986). Un claro ejemplo de la importancia que se le otorga al clima en viticultura es el gran número de índices climáticos descritos en la bibliografía científica (Amerine y Winkler 1944, Branas *et al.* 1946, Huglin 1983, Constantinescu 1971, Hidalgo 1980, Jackson y Cherry 1988). La mayoría de estos índices se basan en la temperatura y en la heliofanía. Recientemente, Tonietto y Carbonneau (2004), han resaltado la importancia del estado hídrico del viñedo introduciendo un índice de sequía y proponiendo un sistema de clasificación climática multicriterio.

En la vid, el agua es un elemento fundamental para su crecimiento vegetativo / reproductivo y su funcionamiento fisiológico y bioquímico. Por consiguiente, es un factor determinante en el rendimiento y en la calidad de las uvas y en las características de los vinos. (Carbonneau 1998, Deloire *et al.* 2003a, 2003b, Ojeda *et al.* 2002, 2005).

Una sequía progresiva durante el período de maduración, de una intensidad limitada para no afectar significativamente la fotosíntesis, favorece la acumulación de azúcares y, sobre todo, de

compuestos fenólicos a expensas del crecimiento vegetativo (Seguin 1975, Bravdo *et al.* 1985, Carbonneau 1987). En efecto, a medida que los niveles de restricción hídrica aumentan, la riqueza de componentes relacionados con la calidad (fenoles, azúcares,..) se acentúa a pesar de una reducción del rendimiento debido principalmente a la disminución del tamaño de la baya. Sin embargo si se sobrepasa un cierto nivel de restricción hídrica (óptimo ?), la uva deja de ganar en componentes denominados “de calidad” mientras que los rendimientos siguen disminuyendo (Ojeda *et al.* 2005). Las restricciones hídricas muy severas provocan un fuerte debilitamiento de las plantas que pueden ocasionar problemas de supervivencia para determinadas variedades si, esta situación persiste durante muchos años sucesivos.

El cambio climático

La zona vitícola mediterránea no escapa al contexto mundial del recalentamiento climático (Tondut *et al.* 2006). Desde hace diez años los viñedos de ésta región sufren el aumento de la temperatura, principalmente durante ciclo vegetativo de la vid. Esta situación plantea la necesidad de estudiar más profundamente las consecuencias del recalentamiento climático sobre la dinámica de crecimiento de la vid, sobre el desarrollo de la maduración de la uva y sobre la adaptación de variedades.

Este aumento de las temperaturas medias es acompañado de un incremento significativo de la evapotranspiración (Figura 1). Esta situación genera condiciones de déficit hídrico creciente, que se ha ido acentuando los últimos diez años, y los viticultores cada vez más frecuentemente se enfrentan al dilema de aceptar las consecuencias de sequías severas o utilizar la irrigación para evitar los graves problemas de disminución de rendimientos y de calidad de la vendimia.

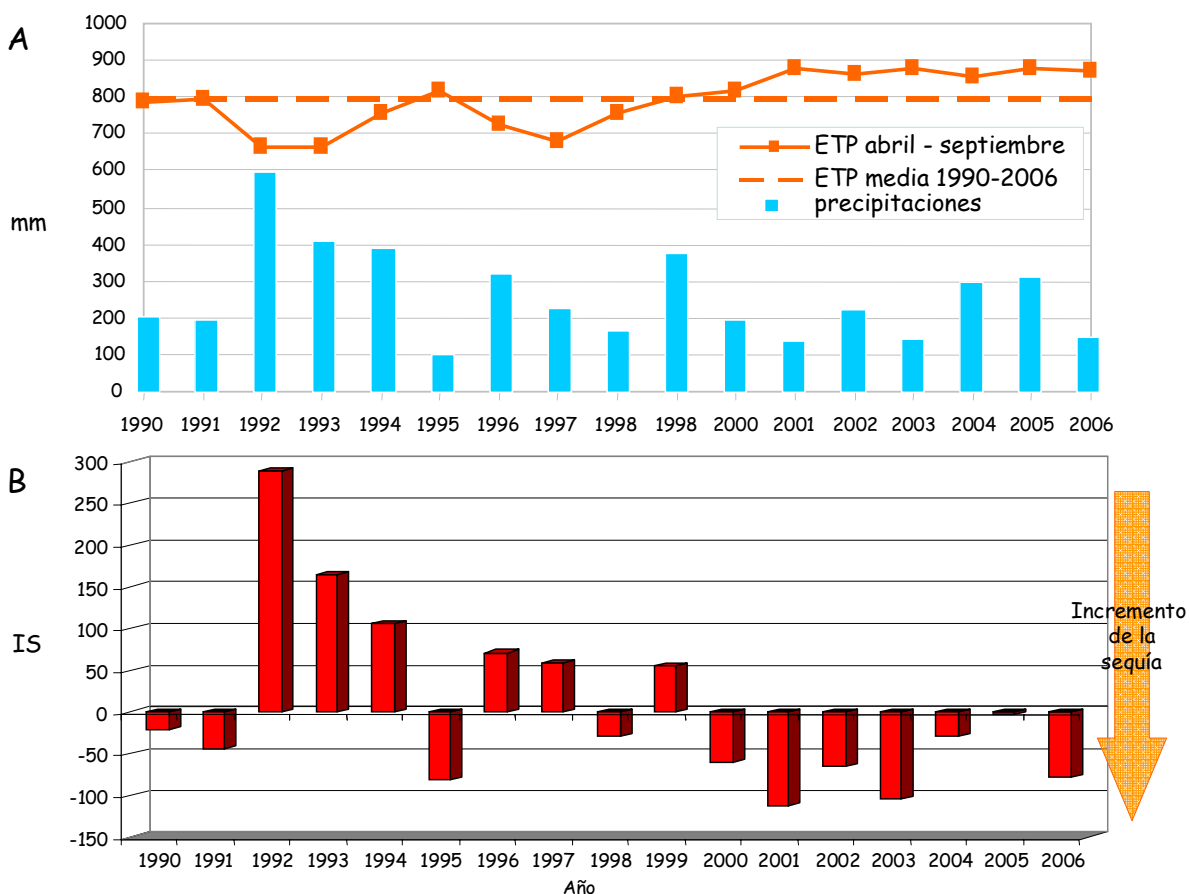


Figura 1: A: Evolución de la evapotranspiración potencial total (ETP) y de las precipitaciones; B: Evolución del Índice de Sequía (IS: Tonietto y Carbonneau, 2004). Período abril-septiembre. Años 1990-2006. INRA, Unidad Experimental de Pech Rouge.

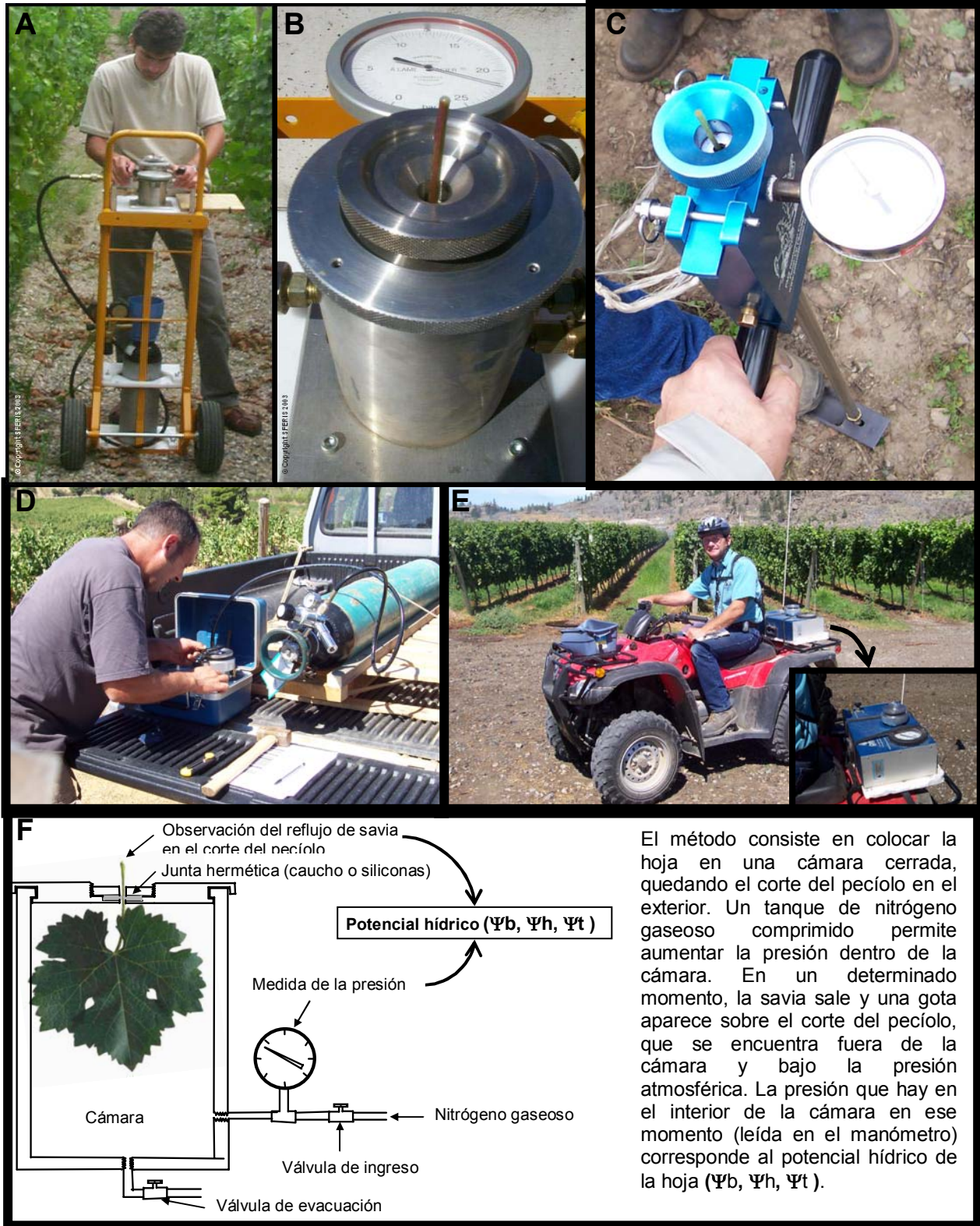


Figura 2: La Cámara de Presión

A y B: Modelo francés con carro incorporado para el traslado dentro del viñedo (fotografías gentileza de Sferis, Francia); C: Modelo americano tipo "inflador de bicicleta" que evita el uso del tanque de nitrógeno gaseoso (Chile); D: utilización de una gran tanque de nitrógeno gaseoso para asegurar un gran número de determinaciones diarias (Italia); E: Quad 4x4 equipado con cámara de presión para un desplazamiento fácil y rápido entre hileras (Canadá); F: explicación esquemática del uso de la cámara de presión.

Ψ_b : potencial de base; Ψ_t : potencial de "tallo" al mediodía solar y Ψ_h : potencial de hoja al mediodía solar)

Métodos de control del estado hídrico

En los viñedos el agua es aportada por las lluvias y las napas freáticas. Cuando este aporte no es suficiente para el cultivo de la vid, se debe regar o aceptar las consecuencias de la restricción hídrica que, según la intensidad y el momento del período vegetativo en que ocurra, serán favorables o desfavorables para la calidad de la uva y del vino. Por ello es importante poder medir el estado hídrico del viñedo a escala de la parcela o de un grupo de parcelas. Existen numerosas técnicas directas e indirectas (Ortega-Farías 1999, Hunter y Archer 2001, Hunter y Myburgh 2001, Gaudillère *et al.* 2002, Deloire *et al.* 2004) pero la técnica de referencia sigue siendo, incuestionablemente, el potencial hídrico foliar (Carbonneau 1998, Choné *et al.* 2001, Ojeda *et al.* 2001, Williams y Araujo 2002, Deloire *et al.* 2004).

La utilización del potencial hídrico foliar, que se determina con una cámara de presión (Scholander *et al.*, 1965), a permitido establecer sólidos umbrales de referencia, validados a escala internacional y con significado universal.

Hasta hace poco tiempo, el uso de este método había estado restringido al ámbito científico pero durante los últimos cinco años ha sido progresivamente adoptado por las empresas vitivinícolas como herramienta confiable para determinar el momento oportuno de riego (Figura 2).

Estado hídrico del viñedo: modelo para el seguimiento y control

Sobre la base del conjunto actual de conocimientos científicos y empíricos, es posible establecer estados hídricos óptimos para la vid en relación al momento del ciclo vegetativo y a la intensidad de la restricción (Figura 3).

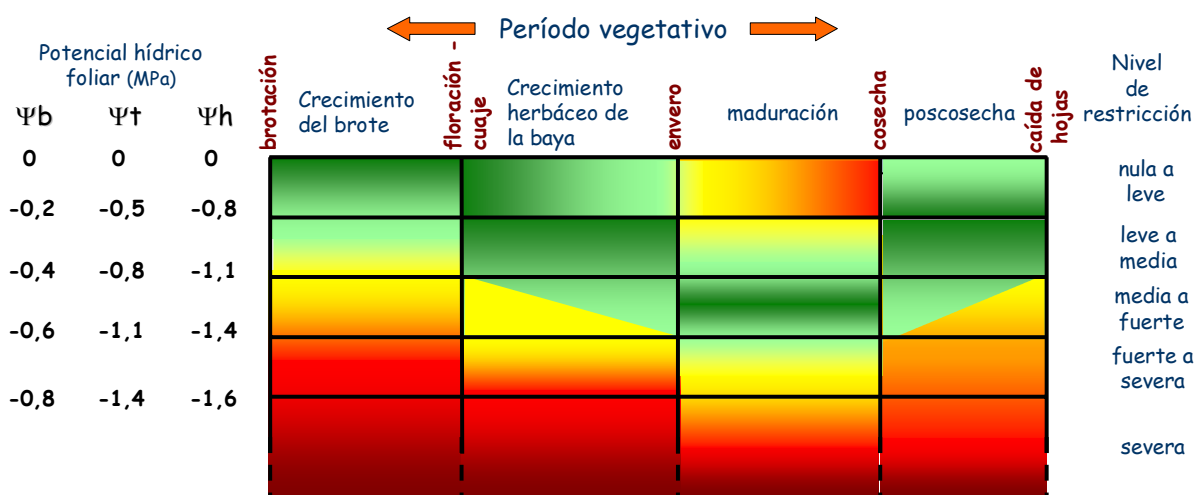


Figura 3: Estados hídricos óptimos (zonas en verde), desfavorables (amarillo) y perjudiciales (zonas en rojo) en función del período vegetativo del viñedo.

Los niveles de restricción hídrica están expresados en Mega Pascales (MPa).

La equivalencia entre los diferentes potenciales (Ψ_b : potencial de base; Ψ_t : potencial de "tallo" al mediodía solar y Ψ_h : potencial de hoja al mediodía solar) está basada en los trabajos de Carbonneau 2002, Williams y Araujo 2002, Sibille *et al.* 2005.

Período Brotación – Floración:

Es conveniente que durante el período entre brotación y floración la planta no sufra restricción hídrica o que ésta sea leve (Ψ_b entre 0 MPa y -0,3 MPa) para no afectar el normal crecimiento del brote, imprescindible para un buen desarrollo de la superficie foliar que permitirá una buena alimentación de los racimos y la adecuada provisión de reservas de la planta. Recordemos que el crecimiento vegetativo es lo primero que se afecta cuando la vid comienza a estar sometida a una restricción hídrica. El crecimiento de los brotes disminuye o, incluso, se detiene a niveles de restricción más bajos que los que afectan el crecimiento reproductivo o la fotosíntesis (Williams *et al.* 1994). Para evitar este tipo de restricciones es común que en zonas irrigadas el viticultor aplique riegos durante la época de reposo invernal para iniciar el ciclo vegetativo con suficiente agua en el perfil del suelo.

Período Floración – Cuaje:

Una restricción hídrica demasiado severa durante los primeros días después de floración (valores de $\Psi_b \leq -0,6$ MPa) puede reducir la tasa de cuaje y el número de bayas por racimo, por desecación (Hardie y Considine 1976). El racimo completo puede ser también afectado por la deshidratación parcial o total del raquis provocado por una restricción hídrica temprana.

Período Cuaje – Envero:

Entre cuaje y envero, el estado hídrico tendrá una fuerte influencia sobre el rendimiento del viñedo a través del efecto que ejerce sobre el tamaño de la baya (Hardie y Considine 1976, Becker y Zimmermann 1984, McCarthy 1997, Ojeda *et al.* 2001). Durante este período la restricción hídrica no afecta la división celular pero disminuye el volumen celular (Ojeda *et al.* 2001). Esta disminución es irreversible, aunque la restricción se interrumpa desde envero a madurez. En la práctica, este tipo de restricción puede presentarse en zonas con bajas precipitaciones donde el riego es una técnica absolutamente necesaria para el cultivo de la vid, como en el caso de algunas zonas vitícolas argentinas y chilenas. También puede presentarse con cierta frecuencia, según los años, en las zonas vitivinícolas del sur de Europa. Estas restricciones precoces son poco probables en las zonas donde la irrigación no es necesaria.

En ciertas circunstancias, una fuerte demanda evapotranspiratoria durante este período puede generar una aguda deshidratación de la baya, disfunción fisiológica llamada “fla” en Francia, como resultado de una competencia por el agua entre el racimo y el resto de la planta, particularmente en viñedos con fuertes cargas (Champagnol 1984, Galet 1995). Este fenómeno aparece con cierta frecuencia en viñedos de Merlot de la zona central de Chile (Moreno Simunovic *et al.* 2003, Ortega-Farías *et al.* 2004).

La reducción controlada del tamaño de la baya puede ser un objetivo de calidad considerando que la dimensión de las bayas condiciona la relación superficie/volumen y, por lo tanto, la dilución de los constituyentes específicos del hollejo en el volumen de mosto o de vino (Singleton 1972, Cordonnier 1976, Ojeda *et al.* 2002). Así, una restricción hídrica moderada (Ψ_b entre $-0,3$ MPa y $-0,4$ MPa), iniciada precozmente luego del cuaje, reducirá el tamaño de la baya aumentando la concentración final de polifenoles y aromas. Habrá una reducción de la producción debido, exclusivamente, a la disminución del tamaño de la baya, único componente del rendimiento que será afectado, dando como resultado racimos más sueltos, mejor aireados y, consecuentemente, más sanos.

Sin embargo si la restricción hídrica es excesiva durante este período ($\Psi_b \leq -0,6$ MPa) el peso de la baya disminuirá significativamente y será afectada la biosíntesis de algunos polifenoles como los taninos, las proantocianidinas y, en ciertos casos, la posterior síntesis de antocianinas (Ojeda *et al.* 2002). En consecuencia, la cosecha de un viñedo puede verse reducida en un 30 a 50% con el agravante de una importante pérdida de calidad.

La asimilación de nutrientes también puede verse afectada si una restricción hídrica importante se produce prematuramente durante el ciclo vegetativo. La absorción de agua y de nutrientes están estrechamente asociadas debido a que los elementos minerales están disueltos en la solución del suelo explorable por las raíces (Keller 2005) y el período de mayor consumo de nitrógeno, potasio, fósforo y calcio se produce entre cuaje y envero (Fregoni 1985).

Período Envero – Maduración/cosecha:

La ausencia de restricción hídrica durante este período (Ψ_b entre 0 y $-0,2$ MPa) produce un vigor excesivo y favorece rendimientos elevados en el viñedo pero los componentes “cualitativos” de la uva, como polifenoles y azúcares, disminuyen por un efecto de dilución provocado por el aumento del tamaño de la baya (Ojeda *et al.* 2002). No obstante, esto puede ser una estrategia de manejo ventajosa para un viñedo cuyo objetivo es una producción elevada de azúcar por hectárea como es el caso de la industria de mostos concentrados o de jugos de uva.

En contraste, una restricción progresiva hacia el período de maduración es propicia para una reducción del tamaño de las bayas y, por consiguiente, de los rendimientos, favoreciendo además la concentración de los compuestos fenólicos, principalmente las antocianinas.

El estado hídrico del viñedo durante este período determina, en gran medida, el tipo de vino a obtener (Deloire *et al.* 2005). En un extremo, la ausencia total de restricción (Ψ_b entre 0 y -0,3 MPa), produce vinos de tipo herbáceos, diluidos, ácidos. Ante una restricción muy severa (Ψ_b inferiores a -0,8 MPa) los vinos tintos tienden a ser excesivamente tánicos, duros, astringentes y alcohólicos y los blancos pierden gran parte de sus aromas. Es en los estados hídricos intermedios (Ψ_b entre -0,3 y -0,7 MPa) donde los vinos son más equilibrados, dando desde perfiles con una mayor expresión de la fruta hasta más concentrados.

Período Cosecha – Caída de hojas

Finalmente, es conveniente que en el período de poscosecha la planta recupere su estado hídrico (Ψ_b superiores a -0,4 MPa). En efecto, durante este período la cepa, ya exenta de uva, orienta sus fotoasimilados hacia las zonas de reservas, raíces, troncos y sarmientos (Champagnol 1984); aumenta la asimilación de nutrientes minerales (Conradie 2005) y retoma el crecimiento de sus raíces (Freeman y Smart 1976, Van Zyl 1984).

Estrategias de riego en función de los objetivos del viñedo

Como hemos visto, la respuesta de la vid al estado hídrico está estrechamente ligada al período vegetativo. En zonas irrigadas, es posible plantear una estrategia de riego en función de los objetivos del viñedo, su período vegetativo, y el nivel de la restricción hídrica (Figura 4).

Así, para un viñedo orientado hacia la producción de mosto concentrado, cuyo objetivo es una producción elevada de azúcar por hectárea, la estrategia de riego a seguir será de evitar una restricción hídrica durante la totalidad del período vegetativo (Fig. 4A) para favorecer los rendimientos elevados a partir de la mayoría de sus componentes. Esta misma estrategia debe seguirse en los viñedos jóvenes en etapa de formación o, en ciertos casos, para la producción de vinos varietales a partir de cepajes blancos o tintos donde se busque privilegiar ciertas notas “vegetales” o “especiadas” por una característica de tipicidad buscada.

Para un viñedo cuyo objetivo es un vino blanco aromático o un vino tinto ligero y frutado, una estrategia interesante es producir una restricción hídrica ligera y progresiva hacia el final del período comprendido entre envero y madurez (Fig. 4B) para no afectar significativamente el tamaño de las bayas ni la fotosíntesis, favorecer la acumulación de azúcares y de antocianinas (color, en el caso de los tintos) a expensas del crecimiento vegetativo.

Para vinos tintos más concentrados, la estrategia de producir una restricción progresiva hacia el período de maduración es propicia para una reducción del tamaño de las bayas y, por consiguiente, de los rendimientos (Fig. 4C). Esto favorece además la concentración de los compuestos fenólicos, principalmente las antocianinas.

Otra opción posible es seguir una evolución del tipo de la figura 4D, para asegurar un control más fuerte del tamaño de la baya, un aumento significativo de la concentración de fenoles (más estructura y color) aunque a expensas de una cierta pérdida en intensidad de aromas. Esta estrategia es muy adecuada para vinos tintos de guarda pero es desaconsejada para vinos blancos, donde se debe privilegiar el componente aromático de la uva.

Sea cual sea la estrategia elegida, durante todo el ciclo vegetativo el estado hídrico del viñedo debe situarse dentro de los umbrales óptimos (zonas verdes del modelo) para asegurar el máximo de rentabilidad (Fig. 5.4) y para evitar los problemas causados por exceso de agua (Figura 5.2) o la falta de ella (Fig. 5.3).

Cuando el viticultor no dispone del riego como herramienta de control, no tiene más remedio que aceptar las consecuencias de sequías severas que disminuyen significativamente el rendimiento y la calidad de la uva y del vino (Fig.5.1).

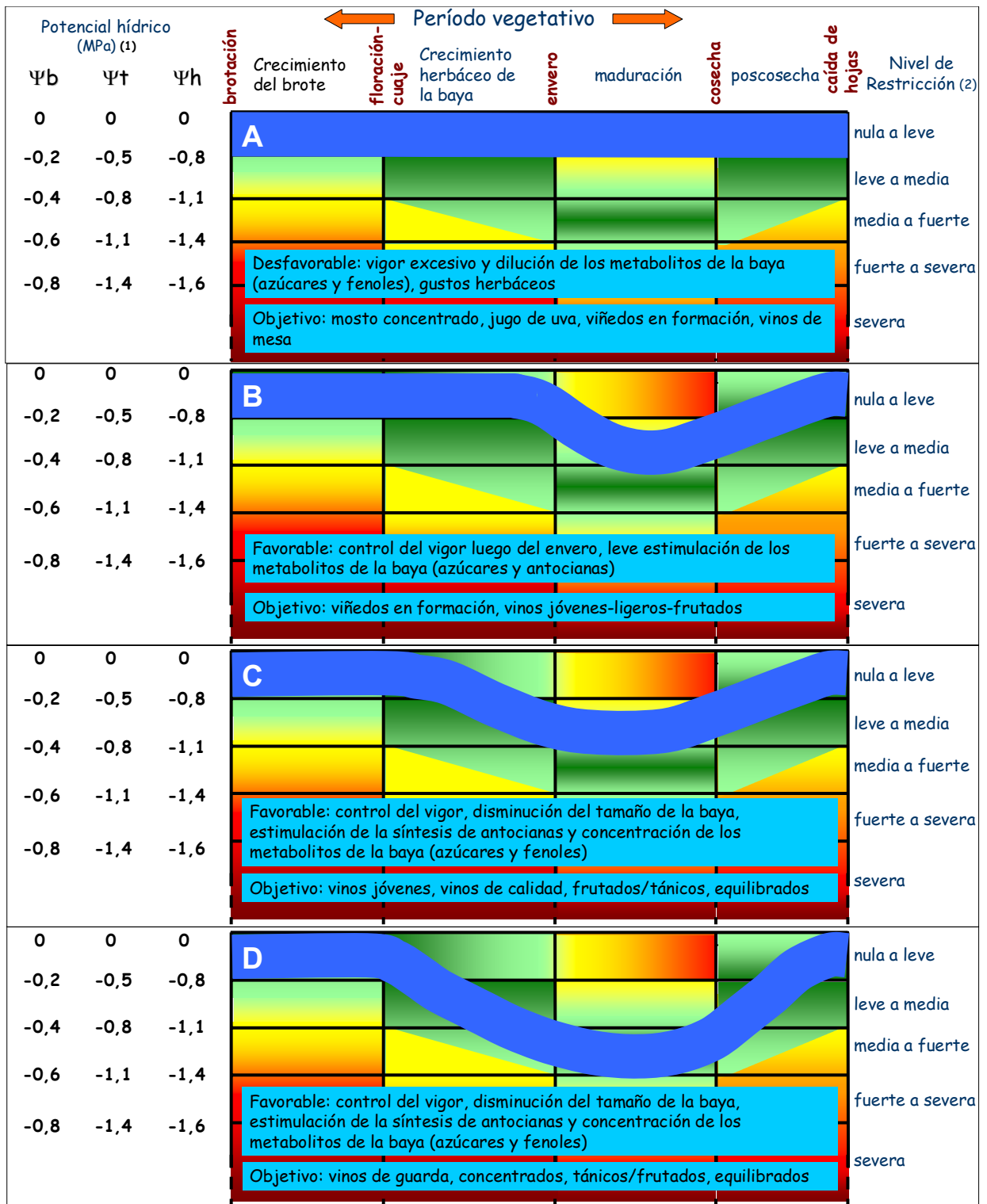


Figura 4: Diferentes modelos de estrategias de riego posibles en función del período vegetativo y del tipo de producto buscado: (A) mosto concentrado, jugo de uva, vinos básicos y jóvenes viñedos en formación; (B) vinos básicos, ligeros, frutados; (C) vinos de calidad, equilibrados pero con predominancia de la fruta sobre la estructura y (D) vinos de calidad, concentrados, equilibrados y aptos para guarda.

(1) Los niveles de restricción hídrica están expresados en Mega Pascales (MPa). La equivalencia entre los distintos potenciales (Ψ_b : potencial de base; Ψ_t : potencial de "tallo" al mediodía solar y Ψ_h : potencial de hoja al mediodía solar) está basada en los trabajos de Carbonneau 2002, Williams y Araujo 2002, Sibille et al. 2005.

(2) Umbrales aproximados para apreciar el nivel de la restricción hídrica (Carbonneau 1998).

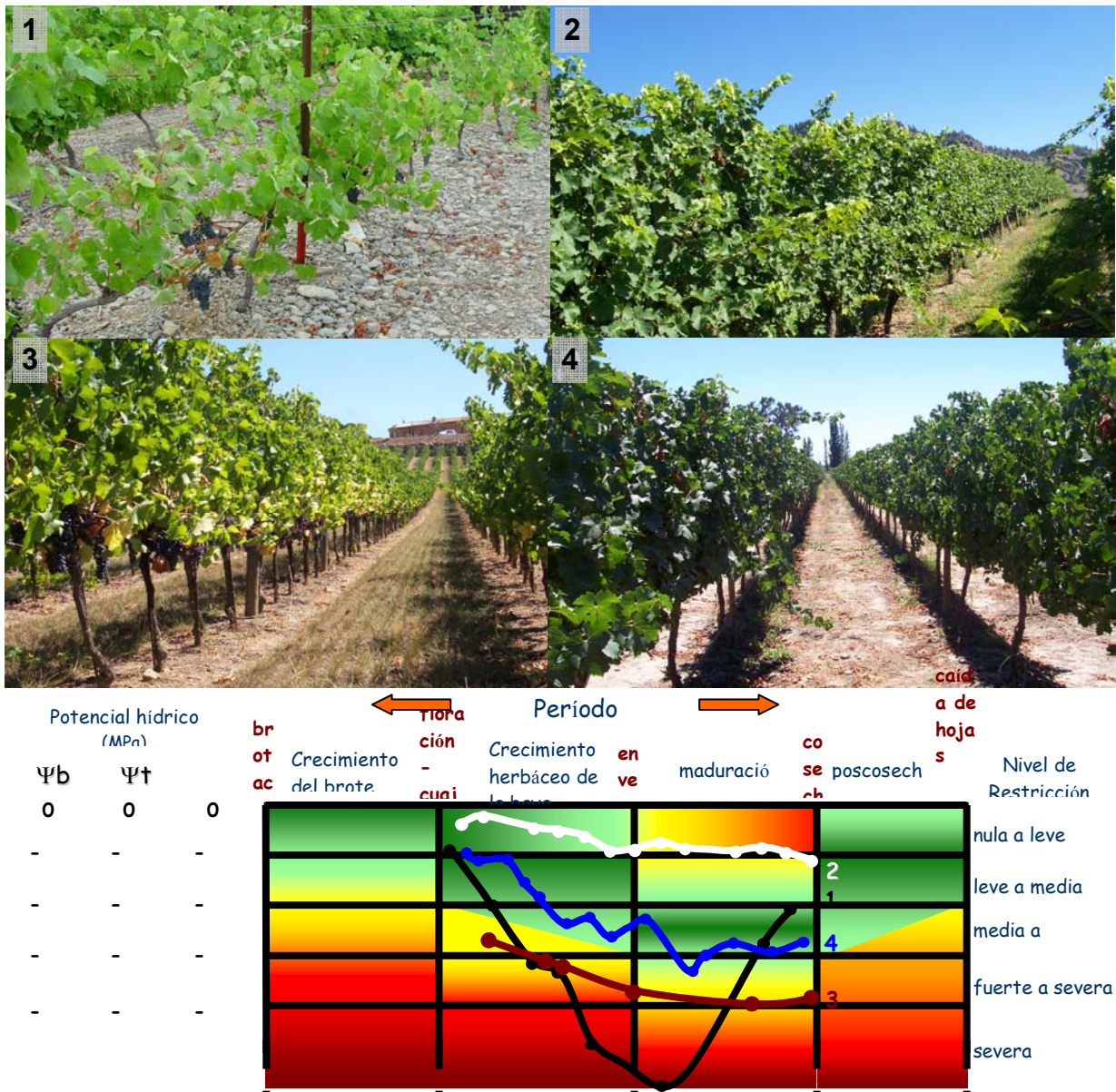


Figura 5. Ejemplo de distintos casos de evolución del estado hídrico en viñedos comerciales (los números de las fotos de la parte superior corresponden a los de las curvas de evolución de los potenciales hídricos de la figura inferior):

- 1) Viñedo de Syrah en secano del sur de Francia con restricción hídrica severa y temprana. Obsérvese el débil desarrollo de los brotes y la sobre exposición de los racimos con importantes pérdidas de rendimiento y de calidad (los potenciales hídricos bajan bruscamente luego de floración, situándose en zona de sequía severa durante gran parte del ciclo vegetativo. El ascenso de los potenciales hacia el final del ciclo, debido a la influencia de vientos marinos cargados de humedad, permite la recuperación parcial de las reservas del viñedo y asegura su supervivencia año a año).
- 2) Plantas de Sauvignon b. de la zona Osoyoos al Este de Canadá con riego excesivo, principalmente luego del invierno, que favorece el exceso de crecimiento vegetativo de feminelas con el consiguiente perjuicio sobre la maduración normal de la uva y el exceso de notas herbáceas (entre invierno y cosecha los potenciales muestran una restricción hídrica nula a leve).
- 3) Viñedo de Merlot de la zona de la Toscana, Italia, sometido a un excesivo déficit hídrico por un mal funcionamiento del sistema de riego. Las plantas presentan síntomas de amarillamiento e inicio de caída de hojas de la base de los brotes luego del invierno (los potenciales hídricos

Conclusiones

La restricción hídrica es una herramienta fundamental como reguladora del rendimiento y de la calidad de uvas y vinos. Para regar de manera correcta y precisa, es imprescindible caracterizar el estado hídrico del viñedo con una metodología confiable que refleje, sin ninguna duda, la realidad del cultivo. La determinación del potencial hídrico es, por ahora, la única técnica que reúne dichas características. Sin embargo, otras técnicas más económicas o fáciles de manipular pueden ser útiles a condición de correlacionar sus valores a las mediciones del potencial hídrico.

En zonas donde la irrigación no es necesaria, como ocurre en gran parte de los viñedos europeos, el control del estado hídrico del viñedo se realiza, con ciertos límites, a través del manejo del suelo y de la conducción del viñedo. En estos casos, el estado hídrico del viñedo, en relación con las reservas de agua útil del suelo, es uno de los factores que mejor explican la variabilidad de la añada (efecto “*millésime*”) y las características del “*terroir*”.

En zonas con bajas precipitaciones donde el riego es una técnica absolutamente necesaria para el cultivo de la vid, como en el caso de las zonas vitícolas de la mayoría de los países denominados “del nuevo mundo vitivinícola”, es fundamental conocer con precisión las respuestas de la cepa al estado hídrico para poder elegir con éxito las estrategias de riego a seguir en función de los objetivos del viñedo.

Citas bibliográficas

- Amerine M.A., Winkler A.J. 1944. Composition and quality of musts and wines California Grapes. *Hilgardia* 15, 493-673.
- Becker N., Zimmermann H. 1984. Influence de divers apports d'eau sur des vignes en pots, sur la maturation des sarments, le développement des baies et la qualité du vin. *Bull. O. I. V.*, 573-583.
- Branas J., Bernon G., Levadoux L. 1946. Eléments de viticulture générale. Ec. Nat. Agr. Montpellier, France.
- Bravdo B., Hepner Y., Loinger C., Cohen S., Tabacman H., 1985. Effect of irrigation and crop level on growth, yield and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* 36 (2), 132-139.
- Carbonneau A. 1987. Stress modérés sur feuillage induits par le système de conduite et régulation photosynthétique de la vigne. 3^{ème} *Symposium International sur la Physiologie de la Vigne*, Bordeaux, 24-27 Juin 1986. O.I.V. Edit., 378-385.
- Carbonneau A. 1998. Irrigation, vignoble et produit de la vigne. In : *Traité d'Irrigation*. J.-R. Tiercelin, coord.. Paris, Lavoisier Tec & Doc. Chapitre IV: Aspects Qualitatifs, 257-298.
- Carbonneau A. 2002. Gestion de l'eau dans le vignoble : théorie et pratique. *Le Progrès Agricole et Viticole*. 21, 455-467.
- Champagnol F. 1984. Eléments de Physiologie de la vigne et de viticulture générale. Montpellier, 315 p. Impr. Déhan.
- Choné X., Van Leeuwen C., Dubourdieu D., Gaudillere J.P. 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of Botany*, 97 (4), 477-483.
- Conradie W.J. 2005. Partitioning of mineral nutrients and timing of fertilizer applications for optimum efficiency. In *Proceedings of the Soil Environment and Vine Mineral Nutrition Symposium*. P.Christensen and DR Smart (Eds.), pp. 69-81. American Society for Enology and Viticulture, Davis, CA.
- Cordonnier R. 1976. Qualité de la vendange et méthodologie de la sélection viticole. *Le Progrès Agricole et Viticole* 93 (24), 760-762.
- Costantinescu G. 1971. Caractéristiques bioclimatiques des cépages et des vignobles. *Bull. OIV* 44, 483, 399-427.
- Deloire A., Carbonneau A., Federspiel B., Ojeda H., Wang Z., Costanza P. 2003. La vigne et l'eau. *Le Progrès Agricole et Viticole*, 4, 79 – 90.
- Deloire A., Silva P., Martin-Pierrat S. 2003. Terroirs et état hydrique du Grenache noir. Premiers résultats. *Le Progrès Agricole et Viticole*, 17, 367 – 373.
- Deloire A., Carbonneau A., Wang Z., Ojeda H. 2004. Vine and Water, a short review, *J. Int. Sci. Vigne vin*, 38, 1, 1 – 13.
- Deloire A, Ojeda H, Zebic O, Bernard N., Hunter J-J, Carbonneau A. 2005. Influence of grapevine water status on the style of wine. *Le Progrès Agricole et Viticole*, 122 (21): 455-462, 2005.
- Fregoni, M. 1999. Viticoltura di qualità. Edizioni *l'Informatore Agrario* S.R.L. Verona, Italia.

- Freeman B. M., Smart R.E. 1976. A root observation laboratory for studies with grapevines. *Amer. J. Enol. Vitic.* 27 (1): 36-39.
- Gaudillère J.P., Van Leeuwen C., Ollat N. 2002. Carbon isotope composition of sugars in grapevine, an integrated indicator of vineyard water status. *Journal of Experimental Botany*, 53 (369), 757-763.
- Galet P. 1995. Précis de pathologie viticole. Pierre Galet Ed. 2eme Edition.
- Hardie W. J., Considine J. A. 1976. Response of grapes to water-deficit stress in particular stages of development. *Am. J. Enol. Viticult.* 27 (2), 55-61.
- Hidalgo L. 1980. Caracterización macrofísica del ecosistema medio-planta en los viñedos españoles. Madrid, *Comunicaciones INIA Serie Producción Vegetal*, 29.
- Huglin P. 1983. Possibilités d'appréciation objective du milieu viticole. *Bulletin de l'OIV*, 634, 823-833.
- Hunter J.J., Archer E. 2001. Long-term cultivation strategies to improve grape quality. *Proc. 8th Viticulture and Oenology Latin-American Congress*, 12-16 Nov., Montevideo, Uruguay.
- Hunter J.J., Myburgh P.A. 2001. Ecophysiological basis for water management of vineyards in South Africa, with particular reference to environmental limitations. *Proc. 12th Meeting of the Study Group for Vine Training Systems (GESCO)*, 3 – 7 July, Montpellier, France. Pp. 23 – 43.
- Jackson D.I. 1986. Factors affecting soluble solids, acid, pH, and colour in grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 37, 179-183.
- Jackson D.I., Cherry N.J. 1988. Prediction of a district's grape-ripening capacity using a latitude-temperature index (LTI). *Amer. J. Enol. Vitic.*, 39 (1): 19-28.
- Keller M. 2005. Déficit irrigation and vine mineral nutrition. *Am. J. Enol. Vitic.* 56 (3): 267-283.
- McCarthy M. G. 1997. The effect of transient water deficit on berry development of cv. Shiraz. (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research* 3, 102-108.
- Moreno Y., Pardo C., Ortega S., 2003. Deshidratación prematura de bayas en cv. Merlot. Conferencias técnicas Vinitech América Latina, Pp. 65-71. 10-12 julio 2003, Santiago, Chile.
- Morlat R., Asselin C. 1993. Une approche objective des terroirs et typologie des vins en Val de Loire. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 79 (3), 199-212.
- Ojeda H., Deloire A., Carbonneau A. 2001 – Influence of water deficits on grape berry growth. *Vitis*, 40 (3), 141-145.
- Ojeda H., Andary C., Kraeva E., Carbonneau A., Deloire A. 2002 - Influence of pre and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* L., cv Shiraz. *Am. J. of Enol. and Vitic.*, 53 (4), 261 – 267.
- Ojeda H., Carillo N., Deis L., Tisseyre B., Heywang M., Carbonneau A. 2005. Viticulture de précision et état hydrique. II : Comportement quantitatif et qualitatif de zones intra-parcellaires définies à partir de la cartographie des potentiels hydriques. *XIV èmes Journées GESCO*. Geisenheim, Allemagne. 23-27 Août.
- Orgega-Farias S. 1999. Avances sobre programación del riego en el viñedo: La experiencia chilena. *Seminario Internacional de Programación del Riego, Universidad de Talca*, Talca-Chile. 57-64.
- Orgega-Farias S., Acevedo C., Moreno Y., Pardo C. 2004. Deshidratación prematura de bayas en cv. Merlot: ¿Un desequilibrio hídrico del viñedo ?. *Tópicos de Actualización en Viticultura*. Centro de Extensión, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Seguin G. 1975. Alimentation en eau de la vigne et composition chimique des moûts dans les grands crus du Médoc. Phénomènes de régulation. *Connaissance de la Vigne et du Vin* 9 (1), 23-34.
- Sibille I., Ojeda H., Prieto J., Maldonado S., Lacapere J-N. 2005. Determinación de la relación entre las tres aplicaciones de la cámara de presión (potenciales hídricos) y evaluación de la respuesta en el comportamiento isohídrico y anisohídrico de cuatro cepajes. *Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología* organizado por la Asociación Brasileña de Enología y EMBRAPA Uva y Vino. Bentos Gonçalves, 07 a 11 de noviembre.
- Singleton V. L. 1972. Effects on red wine quality of removing juice before fermentation to simulate variation in berry size. *Amer. J. Enol. Vitic.* 23 (3), 106-113.
- Scholander P. F., Hammel H. T., Brandstreet E. T., Hemmingsen E. A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148, 339-346.
- Tondut J-L., Laget F., Deloire A. 2006. Climat et Viticulture : Evolution des températures sur le Département de l'Hérault. Un exemple de réchauffement climatique. *Revue Française d'oenologie*, N° 219.
- Tonietto, J., Carbonneau, A. 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology* 124: 81-97.
- Van Zyl J. K. 1984. Reponse of colombar grapevines to irrigation as regards quality aspects and growth. *S. Afr. Enol. Vitic.* 5 (1), 19-28.
- Williams L. E., Dokoozlian N. K., Wample R. 1994. Grape. In : *Handbook of Environmental Physiology of fruit crops*. Vol. I. Temperature crops. B. Shaffer and P. Andersen (Eds.) pp. 85-133. CRC Press, Inc. Florida - USA.
- Williams L.E., Araujo F.J. 2002. Correlation among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127 (3): 448 – 454.