

## **GESTIÓN DEL RIEGO EN VIÑEDOS DE VINIFICACIÓN**

### **1. OBJETIVOS**

### **2. EFECTOS DEL RIEGO EN LA VID**

- 2.1. Efectos del exceso/defecto de agua desde brotación hasta tamaño guisante
- 2.2. Efectos del exceso/defecto de agua entre los estados fenológicos tamaño guisante y envero
- 2.3. Efectos del exceso/defecto de agua durante la maduración de las bayas

### **3. ESTRATEGIAS DE RIEGO**

- 3.1. Determinación de la fecha de inicio de riego
- 3.2. Necesidades de agua de la planta
  - 3.2.1. Método del balance de agua
  - 3.2.2. Método basado en la medida del estado hídrico de la planta
- 3.3. Necesidades de riego
- 3.4. Parada del riego
- 3.5. Estrategias de riego
  - 3.5.1. Estrategia basada en coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) constantes
  - 3.5.2. Estrategia basada en distintos umbrales de déficit hídrico a lo largo de la campaña

### **4. ASPECTOS PRÁCTICOS**

### **5. EJEMPLOS APLICADOS DE ESTRATEGIAS DE RIEGO**

## ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DEL RIEGO EN VIÑEDOS DE VINIFICACIÓN

Una estrategia de riego es el conjunto de decisiones que van a determinar la cantidad y momento de aplicación del agua de riego.

Antes de decidir una estrategia de riego es necesario fijar en cada finca o parcela unos objetivos cuantitativos y cualitativos de la cosecha así como conocer la respuesta de la planta al exceso/déficit hídrico en cada momento del ciclo. La consecución del objetivo final es muy difícil si no se fijan objetivos parciales y evaluables en determinados intervalos fenológicos, de forma que se garantice el seguimiento del proceso en cada paso hasta su meta.

### 1. OBJETIVOS

Los objetivos a satisfacer por una estrategia de riego pueden venir marcados por:

- la **estrategia comercial de la empresa**, por ejemplo, elaborar determinados tipos de vinos o dirigir sus productos a un determinado segmento del mercado.
- los **condicionantes de la explotación vitícola**, como por ejemplo, tener asignada una dotación de agua fija y restringida, bien por cantidad o por tiempo.
- **condicionantes legales** que limiten los rendimientos por superficie o bien, limitan el periodo de riego, o ambas cosas, tal es el caso de algunos Reglamentos de Denominaciones de Origen.

Desde el punto de vista de la adaptación de la planta al medio y, siempre refiriéndonos a situaciones generales, los **objetivos agronómicos** a conseguir en cada etapa del ciclo anual pueden ser los siguientes:

#### a) Objetivos desde brotación a tamaño guisante

- Conseguir una longitud del entrenudo medio entre 7-10 cm y unas 12-15 hojas por pámpano.
- Tener completamente desarrollado el canopy hacia tamaño guisante (diámetro de la baya 7 mm), justo antes de iniciar la fase de maduración de la baya (fase III de desarrollo del fruto).
- Atenuar o parar crecimiento vegetativo antes de envero
- Influir sobre el tamaño de las bayas ya sea favoreciendo un tamaño grande o por el contrario limitando su tamaño.
- Atenuar la senescencia foliar
- Favorecer la fertilidad de yemas que llevarán la cosecha de la siguiente campaña
- Favorecer la renovación de raíces.

#### b) Objetivos desde tamaño guisante a vendimia

- Alcanzar los rendimientos prefijados.
- Limitar el desarrollo de hojas nuevas procedentes de la actividad del meristemo terminal del pámpano principal o de la brotación de anticipados.
- Alargar la fase adulta de las hojas lo más posible, para mantener niveles altos de fotosíntesis retrasando su envejecimiento hasta después de vendimia.
- Limitar el desarrollo del tamaño de la baya.
- Garantizar la acumulación de azúcares en la baya y la completa maduración de éstas.
- Limitar la pérdida de superficie foliar por defoliación.

- Favorecer el agostamiento

c) Objetivos de vendimia a caída de hoja

- Favorecer la acumulación de sustancias de reserva hasta la caída de las hojas.
- Favorecer la renovación de raíces.

Las estrategias de riego y el resto de las técnicas de cultivo tendrán que adecuarse a cada situación ecológica y a los objetivos propuestos.

**2. EFECTOS DEL RIEGO EN LA VID**

La decisión de cuándo y cuánto se ha de regar requiere un conocimiento previo de los factores que afectan al estado hídrico de la planta y de su respuesta a través de los efectos cuantitativos y cualitativos.

2.1 Efectos del exceso/defecto de agua desde brotación hasta tamaño guisante

En esta etapa la planta prioriza desarrollo vegetativo frente a desarrollo fructífero. Durante esta fase no es frecuente la falta de agua pues las lluvias invernales y primaverales garantizan el abastecimiento del perfil del suelo, de manera que la brotación de la vid y los primeros estados de desarrollo se producen en condiciones de contenido de agua en el suelo próximas a capacidad de campo. Por otro lado, al inicio del ciclo anual el desarrollo foliar es aún pequeño y dada la marcha de las temperaturas en este periodo y el régimen de lluvias, la demanda atmosférica es aún baja; todo ello hace que el consumo de agua sea bajo y no sea frecuente la falta de agua, salvo esporádicamente, en años anormalmente secos.

La falta de agua en esta fase es responsable de una brotación irregular, crecimiento muy ralentizado del pámpano e incluso de falta de desarrollo vegetativo.

El crecimiento y desarrollo vegetativo son muy sensibles a la falta de agua en el suelo (Figura 1) por lo que es necesario mantener contenidos de agua en el suelo altos, próximos a capacidad de campo o lo que es lo mismo, potencial hídrico de hoja a mediodía solar de -0.6 MPa (Girona et al. 2006) o potencial hídrico antes de amanecer superior a -0.2 MPa (Deloire et al. 2004) para asegurar el crecimiento vegetativo.

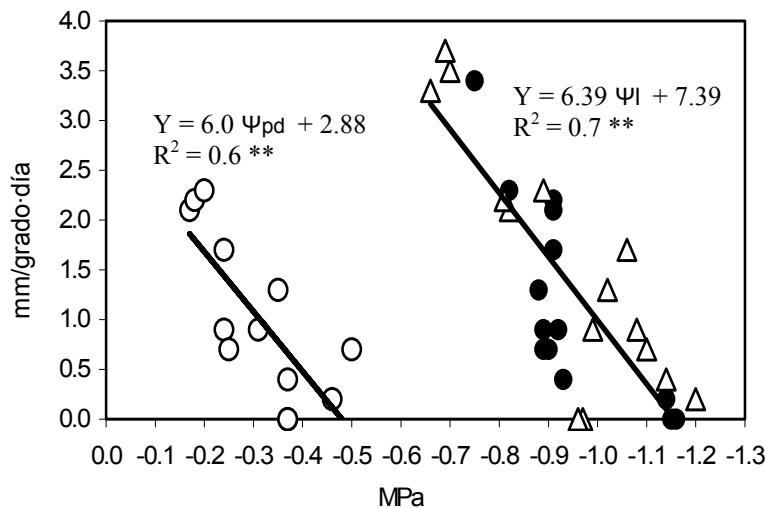


Figura 1. Respuesta del crecimiento del pámpano a medida que disminuye la disponibilidad hídrica del suelo expresada a través del potencial hídrico antes de amanecer (O) y durante la mañana (●) y a mediodía solar (Δ). Datos obtenidos en condiciones de campo durante las campañas 2002 y 2003 en Cabernet-Sauvignon/SO4 en Colmenar de Oreja – Madrid -.

Se ha observado distinta sensibilidad varietal frente a la disminución del contenido de agua en el suelo, resultando que unas variedades se autorregulan más que otras. Gómez del Campo et al. (2002, 2003) obtuvieron diferencias en el desarrollo foliar entre variedades al ser sometidas a diferente régimen hídrico; Airén generó más materia seca por planta que Chardonnay debido al mayor desarrollo foliar, sin embargo, no obtuvieron diferencias intervarietales en la respuesta fotosintética. Schultz (2003) y Medrano et al. (2003) encontraron distinta respuesta de adaptación al estrés hídrico entre cultivares y clasificaron las variedades considerando dos tipos de comportamiento: las variedades isohídricas, como Garnacha tinta, cuando alcanzan un potencial hídrico foliar “umbral” responden manteniendo este potencial foliar, cierran estomas, ralentizando su actividad y economizan agua; mientras que las anisohídricas, como Shiraz, siguen consumiendo agua siempre que la puedan extraer del suelo, es decir, siguen disminuyendo su potencial hídrico foliar mientras haya agua en el suelo, aún a costa de su propia supervivencia (Schultz 2003).

En un estado más avanzado de déficit hídrico, la planta responde reduciendo la actividad fotosintética (Kriedemann y Smart 1971, During 1991, Iandolino 2004, Sánchez de Miguel 2005). Esta merma de capacidad fotosintética de las hojas provoca una mayor dependencia en el tiempo de los pámpanos por las reservas y, si la situación persiste a lo largo del ciclo, se produce un debilitamiento de la cepa.

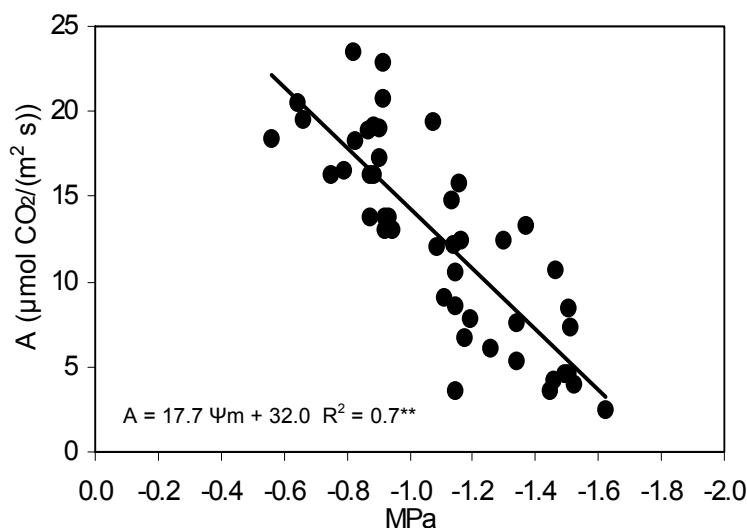


Figura 3. Variación de la tasa de fotosíntesis neta (A) en Cabernet- Sauvignon al disminuir la disponibilidad hídrica, medida a través del potencial hídrico foliar (MPa) a las 9:00 horas solares. Datos obtenidos en condiciones de campo durante las campañas 2002, 2003 y 2004 en Cabernet-Sauvignon/SO4 en Colmenar de Oreja – Madrid -.

Un déficit hídrico severo afectará al cuajado del año en curso y a la iniciación floral de las yemas de ese año, efecto que se visualizará en la siguiente campaña. Bartolomé et al. (1995) obtuvieron un efecto significativo del estrés hídrico en la fertilidad de las yemas pero no en el número de bayas por racimo.

Más frecuentes son los problemas por exceso de agua en esta fase y, sin embargo, los viticultores no les dan suficiente importancia, en parte por la mayor espectacularidad de los efectos de la sequía y en parte, porque sus resultados no se perciben de inmediato, sino en fases posteriores del ciclo, haciendo difícil que se imputen estos efectos a lo que aconteció en la pasada primavera. Uno de los efectos más negativos es un crecimiento vegetativo desmesurado que se traduce tanto en rapidez de crecimiento del pámpano como en una fuerte emisión de nietos. La rapidez de crecimiento provoca entrenudos muy largos y hojas grandes lo que supone que para una misma longitud total de pámpano tengamos menos hojas, muy grandes y muy similares en cuanto a edad a lo largo del pámpano. El bajo número de hojas por metro lineal de pámpano, así como la falta de escalonamiento de la edad, produce un envejecimiento casi simultáneo de las hojas del sarmiento, resintiéndose la maduración del racimo en sus últimas fases por falta de hojas adultas. Por otro lado, la caída de hojas grandes provoca una gran pérdida de superficie foliar durante el proceso de envejecimiento, produciendo una pérdida proporcionalmente más cuantiosa para la planta y menos gradual que si la misma superficie foliar estuviera distribuida en hojas más pequeñas de edad escalonada. Independientemente del régimen hídrico existe una predisposición varietal a esta conducta; por ejemplo, Cabernet-Sauvignon es menos vegetativa que Tempranillo en condiciones de regadío (Figura 5). Las diferencias estadísticas entre variedades en secano y su ausencia en regadío muestran que el desarrollo vegetativo de Cabernet – Sauvignon es menos sensible a la disponibilidad de agua en el suelo que Garnacha o Tempranillo, circunstancia que puede ser ventajosa en regadío pero no así en condiciones de déficit hídrico.

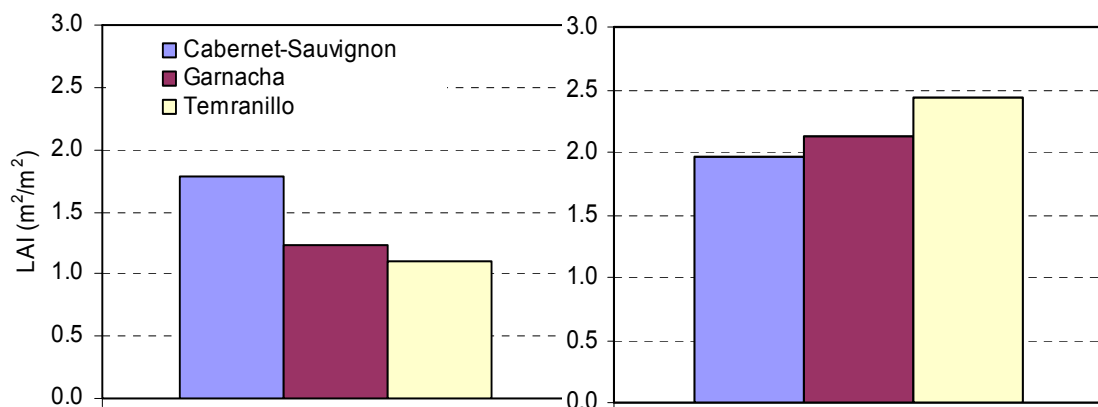


Figura 5. Respuesta varietal de la expresión vegetativa (LAI) a condiciones de secano (izquierda) y de regadío (derecha,  $K_c = 0.45$ ). Se obtuvieron diferencias altamente significativas (\*\* para  $P < 0.05$ ) en secano y no-significativas en regadío.

El exceso de desarrollo vegetativo en primavera produce un mayor consumo de agua del suelo, al haber mayor superficie transpirante y acentúa el déficit hídrico en épocas posteriores en las que el agua disponible por a la planta es escasa, como durante la maduración de los racimos (Hunter 1998 a y b) e implica mayores costes por despunte. En algunos casos, poco frecuentes, de primaveras anormalmente cálidas, se puede producir una competencia muy

fuerte entre la actividad del ápice meristemático del pámpano y la diferenciación floral del racimo, este último detiene su desarrollo pues la planta no es capaz de satisfacer a todos los puntos de demanda con sus reservas y en esta fase prioriza y asegura su propia supervivencia frente a la de la especie. El resultado es un aborto de las inflorescencias conocido con el nombre de *filage* en la que están implicados tanto el exceso de agua como las altas temperaturas antes de brotación.

Para paliar los efectos del exceso de agua en primavera se puede recurrir a la regulación del régimen hídrico mediante el manejo del suelo con cubiertas vegetales.

## 2.2 Efectos del exceso/defecto de agua entre los estados fenológicos tamaño guisante y envero

Durante este periodo queda determinado el número de células que van a formar cada baya (Figura 6) y la elasticidad o capacidad de distensión de la pared celular (Ojeda et al. 2001), por tanto, queda condicionado el tamaño potencial de la baya y el rendimiento de la cosecha. Algunas estrategias de riego tienen como objetivo conseguir una baya pequeña (1.0 – 1.2 g/baya). Al ser este aspecto menos importante en vinos blancos se recomiendan bayas más grandes y un menor déficit hídrico a fin de evitar renunciar a un rendimiento de cosecha. Ojeda et al. (2002) obtuvieron un menor contenido de proantocianos (PA) en el tratamiento con más restricción de agua quedando inhibida la biosíntesis posterior de antocianos.

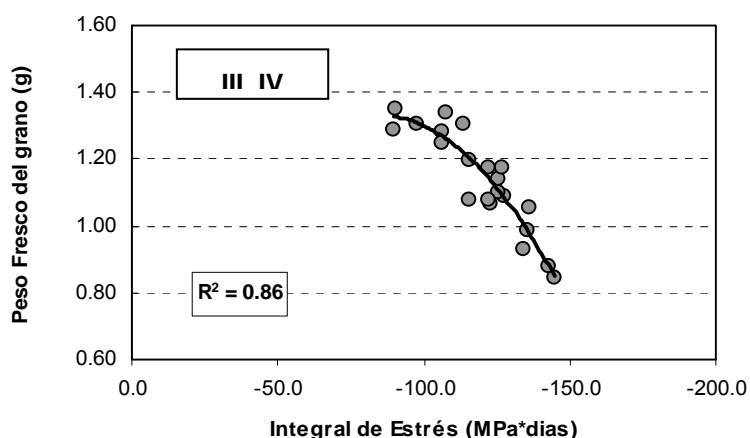


Figura 6. Relación entre la integral de estrés hídrico en las fases de crecimiento de la baya y el tamaño de la baya a la vendimia en Cabernet-Sauvignon (Girona 2005)

Inicio de riego      Envero

Al igual que en la fase anterior, la disminución de la disponibilidad hídrica afecta a la tasa de fotosíntesis y acelera el envejecimiento de la hoja. Durante esta fase interesa tener controlado el desarrollado vegetativo sin que la fotosíntesis se vea afectada por lo que será necesario restringir el agua a la planta a niveles de potencial hídrico foliar a mediodía solar y antes de amanecer a de -1.2 MPa y -0.4 MPa (Deloire et al. 2004) respectivamente.

El exceso de agua en esta fase produce un crecimiento vegetativo continuo compitiendo con los racimos y con la inducción floral de las yemas del año en curso por lo que puede afectar a

la tasa de cuajado y a la fertilidad de yemas. Los efectos sobre la fertilidad son debidos tanto a la competencia por los productos de la fotosíntesis como a una falta de iluminación favorecida por un exceso de desarrollo vegetativo (Buttrose 1974, Smart et al 1982).

### 2.3 Efectos del exceso/defecto de agua durante la maduración de las bayas

Durante esta fase la disponibilidad hídrica es el factor más determinante de la maduración de la baya. El déficit hídrico es el responsable de la disminución de las tasas fotosintéticas.

La falta de agua durante fase III de desarrollo de la baya produce menor concentración de azúcares en casos de fuerte déficit hídrico (Ojeda et al. 2002) y un menor peso de la baya (Esteban et al. 2001, García-Escudero 1991, Ojeda et al. 2002, Peterlunger et al. 2005, Petrie et al. 2004, Girona 2005, Girona et al. 2006) (Figuras 9 y 10), una menor acumulación de azúcares por baya (Figura 11) y una ralentización de la maduración, aunque no suelen encontrarse diferencias en contenido de azúcares cuando se expresa como concentración de azúcar por L de mosto (Esteban et al. 1999, 2001 y 2002, Myburgh 2003 a y b).

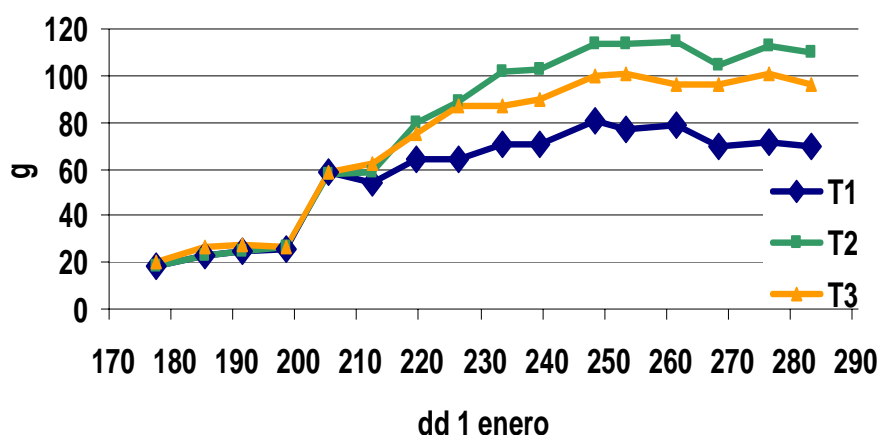


Figura 9. Evolución del peso de la baya en 2003 en un viñedo de cv Cabernet-Sauvignon/SO4 en la finca El Socorro (Colmenar de Oreja, Madrid) con tres regímenes hídricos: T1 = secano, T2 =  $0.4 \cdot E_{To}$  y T3 =  $0.2 \cdot E_{To}$

En general, la acidez total aumenta en condiciones de regadío, debido principalmente al incremento de ácido málico, y el pH disminuye (García-Escudero 1991, Bartolomé et al. 1995, Esteban et al. 1999, 2002).

El contenido de antocianos suele ser mayor en mostos procedentes de parcelas con déficit hídrico durante la maduración (Esteban et al. 2001, 2002, Peterlunger et al. 2005, Petrie et al. 2004, Roby y Matthews 2004) (Figura 12) excepto en situaciones extremadamente secas (Tabla 1), como la campaña 2005 (Junquera et al. 2006). Esta menor concentración de antocianos en regadío es resultado tanto de un efecto dilución (Figura 12) a consecuencia del aumento del tamaño de la baya debido al riego, como a la diferente respuesta de multiplicación y crecimiento entre las células del epicarpio – hollejo – y las del mesocarpio – pulpa – frente a la disponibilidad hídrica (Roby et al. 2004). Ojeda et al. (2002) observaron que el estado de desarrollo de la baya en el momento en que se produce el déficit hídrico tiene

consecuencias en la posterior evolución del contenido de antocianos y el grado de polimerización de los flavonoides y por tanto en la percepción organoléptica del vino.

Tabla 1. Composición fenólica de la uva en vendimia. -.

	IPT	Antocianos Totales (mg·L <sup>-1</sup> )	Antocianos Extraíbles (mg·L <sup>-1</sup> )
T <sub>0</sub>	60	1401	775 <sup>b</sup>
T <sub>20</sub>	64	1472	816 <sup>b</sup>
T <sub>45</sub>	58	1473	954 <sup>a</sup>
Sig.	ns	ns	*

Datos obtenidos en condiciones de campo durante la campaña 2005 en Cabernet-Sauvignon/SO4 en la finca El Socorro (Colmenar de Oreja, Madrid). IPT: índice de polifenoles totales. ns, \*, \*\*: no significativo, significativo para  $p \leq 0.05$  y significativo para  $p \leq 0.01$ , respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para  $p \leq 0.05$

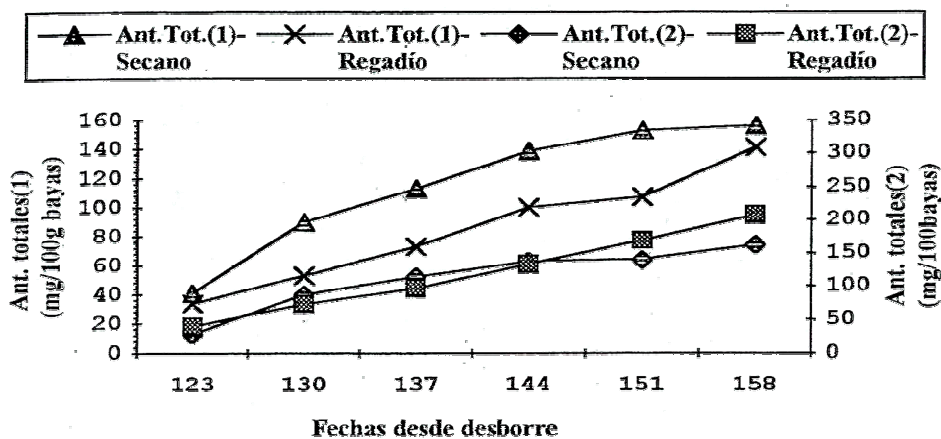


Figura 12. Evolución estacional del contenido de antocianos expresado por peso de baya o por baya en cv tempranillo/110R en Madrid (Esteban et al. 2001).

### 3. ESTRATEGIAS DE RIEGO

#### 3.1. Determinación de la fecha de inicio de riego

La primera respuesta de la planta ante la mínima señal de agotamiento de agua en el suelo es ralentizar la multiplicación celular. Durante el periodo brotación-floración la planta prioriza el desarrollo de los pámpanos frente al desarrollo de las estructuras fructíferas. Las reservas de la planta – los aportes de la fotosíntesis actual son negativos o muy pequeños pues las hojas son aún órganos consumidores en formación – se dirigen hacia el crecimiento de los esbozos de tallos y hojas y neoformación de nudos y entrenudos. La falta de agua se reflejará en una ralentización del desarrollo vegetativo de forma que la extremidad del pámpano pasa de estar arqueada o combada a mantenerse erguida, con hojas nuevas, pero no tan separadas unas de otras en la extremidad, se produce una parada en la emisión de hojas nuevas, ausencia de gradación en el tamaño de las hojas al acercarnos al ápice y finalmente, desecación del ápice que aunque puede estar presente ya no es funcional y terminará por caerse (Foto 3).





Foto 3. Estados de crecimiento del ápice vegetativo en crecimiento activo (A), ralentización del crecimiento (B), parada (C) y caída (D).

La metodología a seguir para determinar la velocidad de crecimiento del pámpano y el comienzo de la campaña de riego es una adaptación de la propuesta por Hardie y Martin (2000). Aproximadamente cuando el pámpano tiene 3-5 hojas desplegadas se marcan en cada parcela objeto de estudio unos 10 pámpanos representativos del comportamiento medio. Semanalmente se mide su longitud con una cinta métrica flexible. La velocidad de crecimiento del pámpano entre dos fechas dadas vendrá dada por el incremento de crecimiento por día entre el número de días del intervalo (cm/día). Se recomienda, siempre que se pueda, expresarlo como incremento de longitud por cada unidad de calor acumulada (mm/grado·día) (Figura 14).

Cuando la velocidad de crecimiento del pámpano entre dos fechas consecutivas decrezca será el momento de analizar si está todo el canopy desarrollado y queremos detener el desarrollo de los pámpanos retrasando el riego hasta que la velocidad de crecimiento sea cero, o si falta por completar el desarrollo total del canopy, en cuyo caso, el comienzo del riego no puede dilatarse más en el tiempo.

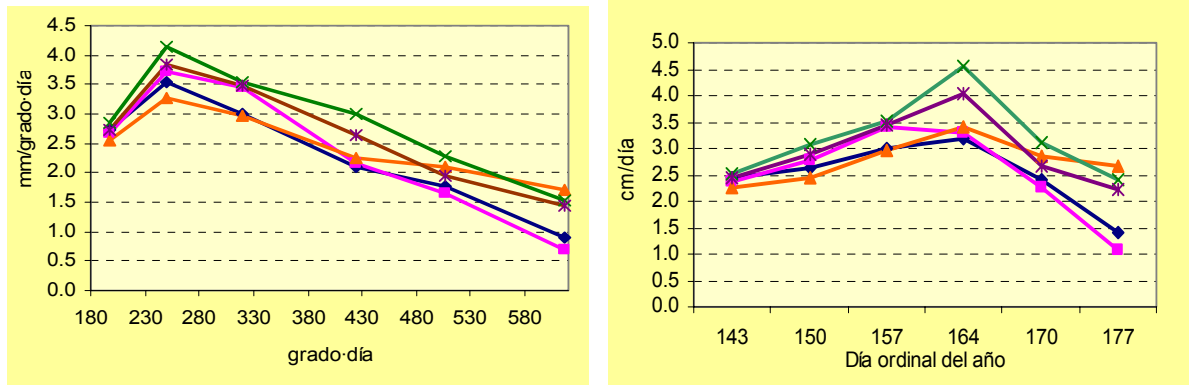


Figura 14. Evolución de la velocidad de crecimiento del pámpano expresada en mm/grado·día (izquierda) y cm/día (derecha). Datos tomados en Cabernet Sauvignon/SO4 durante la campaña 2003 en la finca El Socorro (Colmenar de Oreja, Madrid).

Otros parámetros que sirven para determinar el comienzo del riego son las medidas del potencial hídrico foliar antes de amanecer ( $\psi_{aa}$ ) o durante la mañana ( $\psi_l$ ) así como mediante el control del potencial matricial del suelo. Según nuestra experiencia y, coincidiendo con Deloire et al. (2004), cuando  $\psi_{aa}$  alcanzan -0.2 MPa se reduce la velocidad de crecimiento del pámpano y también según resultados del equipo de la UPM y Girona et al. (2006) cuando  $\psi_l$  alcanza -0.7 – 0.8 MPa es cuando comienza a ralentizarse el crecimiento del pámpano (Figura 15) y es el momento de estudiar el desarrollo del canopy y si decidir si se ha de iniciar el riego. Williams (2001) recomienda no iniciar el riego antes de que  $\psi_l$  alcance -1.0 MPa.

El contenido volumétrico de agua en el suelo  $\theta_v$  (%) también se suele utilizar para decidir la fecha de inicio de riego. Se considera que cuando el contenido de agua fácilmente utilizable por la planta (AFU) desciende entre el 40–60 % es momento de iniciar el riego (Figura 15). Hardie y Martin (2000) obtuvieron que cuando el potencial matricial del suelo ( $\psi_m$ ) alcanza -0.07 MPa (70 cbar) se comienza a limitar el desarrollo vegetativo.

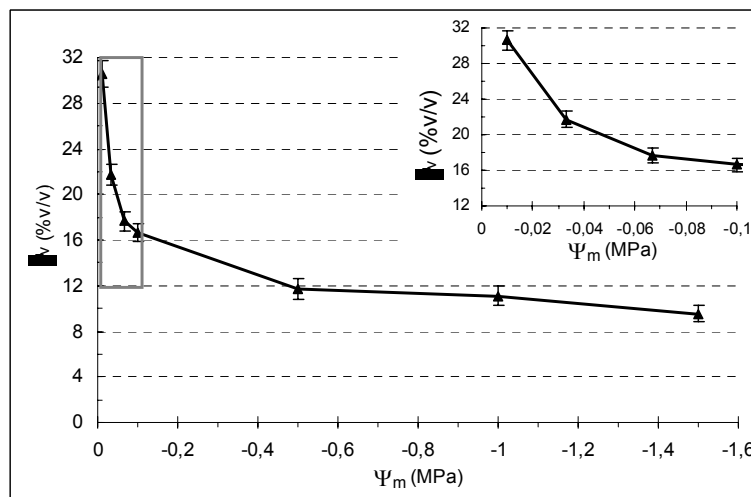


Figura 15. Relación entre el potencial matricial del suelo y su contenido de humedad (Cuevas 2001).

Cuando el déficit de presión de vapor es excesivamente alto durante el día y hay abundante agua en el suelo pero la planta no es capaz de absorberla y translocarla con la suficiente rapidez para compensar tal demanda, se produce la senescencia precoz y amarillamiento de las hojas basales y posteriormente la pérdida de superficie foliar sin que necesariamente haya parada de crecimiento. En consecuencia, la presencia de hojas basales envejecidas, aún habiendo actividad meristemática del ápice, sería una señal para iniciar el riego. Se produce en suelos muy arcillosos o por el contrario con muy poca capacidad de retención de agua en el suelo. En estos casos se recomienda iniciar el riego aún sin haber alcanzado los niveles de agotamiento de agua en el suelo señalados anteriormente a fin de favorecer conductividades hidráulicas altas así como frecuencia de riegos alta (diaria).

En general, en el viñedo español no suele ser frecuente la necesidad de agua antes de floración, salvo excepciones debidas a la climatología de años con inviernos extremadamente secos o viñedos en suelos poco profundos o con muy poca disponibilidad hídrica.

### 3.2. Necesidades de agua de la planta

Del total de agua consumida por el viñedo a lo largo de la estación, aproximadamente el 9-14% se consume desde brotación a floración, un 28-31% entre floración y enero y un 55-63% se consume a lo largo de la maduración (Tabla 2).

Tabla 2. Distribución estacional (%) del consumo de agua del viñedo con distintos regímenes hídricos en cv Tempranillo/110R en Madrid (datos medios calculados 2002 – 2004). Centeno (2005).

	Brotación-Floración	Floración-Enero	Enero-Vendimia
kc = 0.45	9.2	27.0	63.8
kc = 0.30	13.7	27.9	58.4
kc = 0.20	13.7	29.9	56.4
secano	13.6	31.1	55.3

Cuanto mayor es la cantidad de agua disponible y más uniformemente está distribuida en el tiempo más se desplaza el consumo máximo hacia enero-vendimia, coincidiendo con el máximo desarrollo vegetativo y los máximos de demanda atmosférica (Tabla 2)

Por lo general, en viñedos situados en zonas de clima mediterráneo, las lluvias de otoño, invierno y gran parte de la primavera son capaces de satisfacer las necesidades de las plantas en estas épocas, por lo que no suele ser frecuente el déficit hídrico desde vendimia hasta final de primavera.

#### 3.2.1. Método del balance de agua

Una vez determinada la fecha de inicio de riego, el siguiente paso es cuantificar la dosis de agua a aportar, para lo que hay que conocer las necesidades hídricas del viñedo. Para su cálculo se puede recurrir al método del balance de agua. Este método consiste en aplicar una cantidad proporcional (coeficiente de cultivo, Kc) de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) – calculada según método Penman-Monteith (Allen et al. 1998) de modo que garantice la satisfacción de los objetivos cuantitativos y cualitativos de la cosecha.

El coeficiente Kc dependerá de la superficie foliar desarrollada en el viñedo (Figuras 17, 18 y Tabla 3) – que depende a su vez de la altura de la vegetación y de la distancia entre líneas - ,

variedad, portainjerto, cantidad de cosecha, características cualitativas de la misma, etc. En algunos cultivos se utiliza el porcentaje de radiación solar interceptada por el cultivo (IR(%)) como un indicador de los Kc a utilizar en cada momento (Ayars et al. 2003, Girona et al. 2005), en viña Williams et al. (2003) y Williams y Ayars (2005) aportan información sobre esta relación entre Kc e IR(%).

Durante el ciclo anual, el consumo de agua depende del desarrollo de la superficie foliar y de la demanda evaporativa de la atmósfera (Figura 18). El riego debe adaptarse a esta demanda creciente teniendo en cuenta la disponibilidad de la reserva hídrica del suelo y los objetivos cuantitativos y cualitativos de la cosecha.

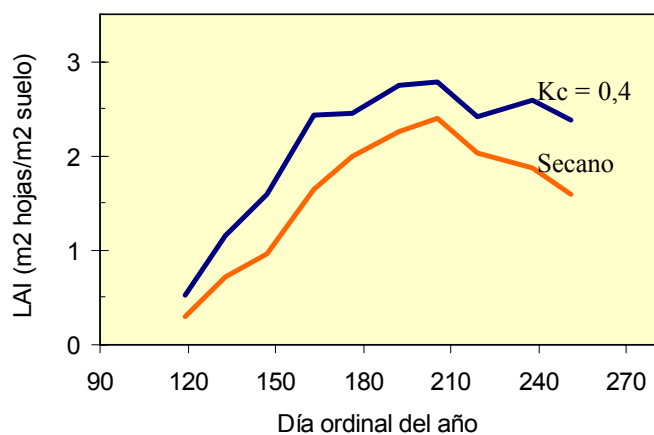


Figura 17. Evolución del desarrollo de la superficie foliar total ( $m^2/m^2$ ) a lo largo de la estación para un régimen hídrico con una Kc = 0.4 (azul) y en secano (rojo). (Cuevas 2001).

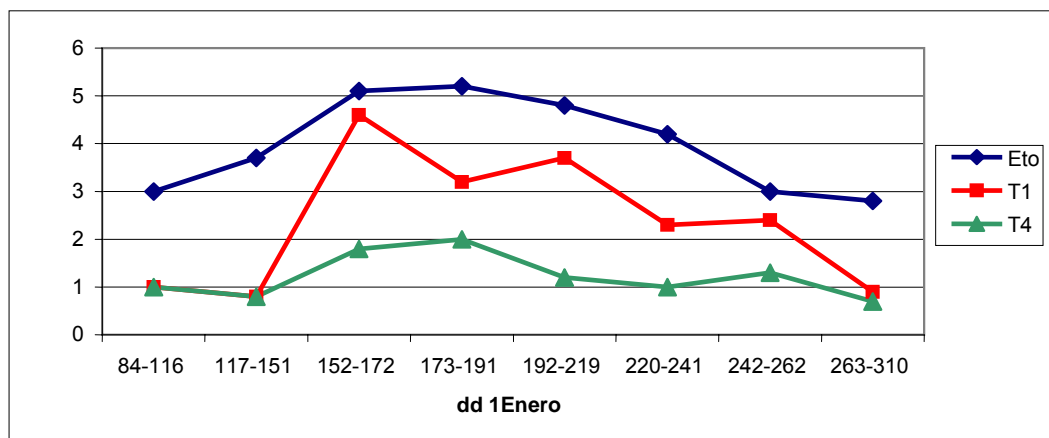


Figura 18. Evolución del consumo de agua del viñedo para dos tratamientos de riego: T1 (0.45·ETo) y T4 (secano) en 1996 (Cuevas 2001).

$\sum_{brotacion} (\text{grado}\cdot\text{día}) \sum$ (°C)	Kc 2.0 m	Kc 2.5 m	Kc 2.8 m
100	0.15	0.12	0.10
200	0.19	0.15	0.13
300	0.24	0.19	0.17
400	0.30	0.23	0.21
500	0.36	0.28	0.25
600	0.42	0.33	0.29
700	0.48	0.37	0.33
800	0.53	0.41	0.37
900	0.58	0.45	0.40
1000	0.62	0.48	0.43
1100	0.65	0.50	0.45
1200	0.67	0.52	0.47
1300	0.69	0.54	0.48
1400	0.71	0.55	0.49
1500	0.71	0.55	0.49

Tabla 3. Evolución estacional del Kc propuesto por Williams (2001) – adaptado del original - para un viñedo en espaldera con diferentes distancias entre líneas de cultivo. La relación utilizada para calcular los Kc para una distancia entre calles de 1.6 m fue:  $Kc = 0.87 / (1 + e^{((x - 525) / 301)})$ , donde x son grado · día (°C).

### 3.2.2. Método basado en la medida del estado hídrico de la planta

Los seguidores de las técnicas de programación de riego en base a contenido de agua en el suelo han criticado el uso del  $\psi_{12hs}$  porque éste depende de las condiciones climáticas (Williams 1994) y, sin embargo, es ésta la valoración clave para comprender la realidad, cuáles han sido las influencias del clima y el suelo sobre los tratamientos de riego experimentales y poder así evaluar hasta qué extremo pueden extrapolarse unos determinados resultados y hasta qué punto dichas condiciones experimentales son similares a las de otros trabajos publicados.

A este problema se le podría aproximar una solución si en lugar de establecer los niveles de estrés en función de proporciones en la dosis de agua respecto a un nivel de referencia que se considera óptimo, se basaran estos niveles de estrés directamente sobre una medida obtenida de la planta. Con la programación en base a potencial hídrico de hoja se pretende huir de cualquier hipótesis inicial y trabajar la programación del riego con valores reales de estrés hídrico medidos directamente sobre la planta. De esta forma, lo que se maneja directamente es el déficit hídrico de la planta y no su supuesto efecto a través de variaciones en aportación de agua en base a un nivel óptimo calculado.

Williams (2001), considera que la vid mantiene un buen estado hídrico cuando los valores de  $\psi_{12hs}$  se encuentran sobre -1.0 MPa para variedades blancas y -1.2 MPa para variedades tintas durante la fase de maduración de las bayas. Se puede establecer una graduación en los niveles de estrés que se iniciarán a partir de  $\psi_{12hs} = -0.8$  MPa hasta valores próximos a -1.8 MPa.

### 3.3 Necesidades de riego

Necesidades de la planta no han de confundirse con necesidades de riego pues hemos de tener en cuenta los aportes procedentes de las precipitaciones así como la cantidad de agua que es capaz de almacenar el suelo y que está a disposición de ésta.

Las necesidades de riego serán:

$$\text{Necesidades de riego} = \frac{E_{To} \cdot K_c}{C_e} - (P_e)$$

**Pe** es la precipitación efectiva

**Ce** es la eficiencia del riego ( $C_e < 1$ ).

Hay diversas propuestas para estimar la  $P_e$ . Cuevas (2001) basándose en diversas fuentes (Coombe y Dry 1992, FAO 1990, Vaysse et al. 1990) concluyó lo siguiente:

Una lluvia inferior a 7 mm/día tiene una eficiencia de 0%

Una Lluvia aislada entre 7 - 12 mm/día tienen una eficiencia del 50%

Una lluvia aislada superior a 12 mm se considera efectiva al 100%

Lluvias continuas superiores a 7 mm se consideran efectivas al 100% exceptuando los primeros 7 mm.

Aunque esta propuesta puede servir de orientación, lo más adecuado es determinar tras cada lluvia aislada, o de pequeña intensidad, qué parte que se ha infiltrado en el suelo y supone un aporte real para la planta.

### 3.4 Parada del riego

La parada del riego se decidirá cuando las necesidades de la planta sean inferiores a las aportaciones de lluvia, es decir cuando  $P_e > E_{To} \cdot K_c$

En España es frecuente que durante y tras la vendimia las lluvias satisfagan las exigencias del cultivo y no sea necesario continuar el riego durante la fase vendimia-caída de hoja. Sin embargo, si fuese necesario habría que seguir hasta que las precipitaciones reintegren la demanda hídrica del cultivo. Algunos estudios ponen de manifiesto que el déficit hídrico en esta fase afecta al nivel de reservas de la planta y a la brotación del año siguiente.

### 3.5. Estrategias de riego

#### 3.5.1 Estrategia basada en coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) constantes

Esta estrategia se basa en decidir un  $K_c$  único para toda la campaña de riego. Se suele emplear en zonas donde el comienzo del riego coincide con el desarrollo completo del canopy y el principal interés se centra en mantener tasas de fotosíntesis óptima para garantizar la maduración de la cosecha y retrasar la senescencia de las hojas. La decisión de aplicar  $k_c = 0.2$  ó  $0.4$  ó  $0.6$  dependerá de los objetivos de la explotación (mejora de la composición del mosto, aumento de rendimientos o ligero aumento de tamaño de baya) y del tipo de viñedo (apartado 3.2.1)

Cuando se refieren los efectos del riego es importante detallar cuáles son las características del tratamiento testigo o control. Cuando se comparan tratamientos de riego-no riego, en general, el riego incrementa el tamaño de la baya (Esteban et al 1999, García-Escudero 1991, Yuste 1995) y la fertilidad de las yemas. Cuando se comparan distintas dosis de riego se obtiene un incremento de cosecha a través, principalmente del incremento de peso de la baya (Tabla 4).

Tabla 4. Rendimiento y sus componentes en cv Cabernet-Sauvignon/SO4

	Rendimiento (kg·ha <sup>-1</sup> )	Racimo·sar miento <sup>-1</sup>	Peso del racimo (g)	Bayas·racimo <sup>-1</sup>	Peso de 100 bayas (g)
T <sub>0</sub>	3270 <sup>c</sup>	1.6 <sup>b</sup>	42 <sup>c</sup>	61 <sup>b</sup>	68 <sup>c</sup>
T <sub>20</sub>	5770 <sup>b</sup>	1.8 <sup>a</sup>	70 <sup>b</sup>	83 <sup>a</sup>	85 <sup>b</sup>
T <sub>45</sub>	7140 <sup>a</sup>	1.8 <sup>a</sup>	83 <sup>a</sup>	88 <sup>a</sup>	96 <sup>a</sup>
Sig.	**	*	**	**	**

Rac: racimos; Sar: sarmientos; P rac: peso del racimo; P 100 b: peso de 100 bayas. Datos medios del período 2002-2005 en la Finca El Socorro en Colmenar de Oreja – Madrid -. ns, \*, \*\*: no significativo, significativo para  $p \leq 0.05$  y significativo para  $p \leq 0.01$ , respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para  $p \leq 0.05$

Hay una relación entre la cantidad de agua consumida por el viñedo y el rendimiento de cosecha para cada situación concreta aunque el incremento del rendimiento es menos que proporcional al incremento de dosis de riego. Centeno (2005) obtuvo dos relaciones dependiendo del efecto año (Figura 19).

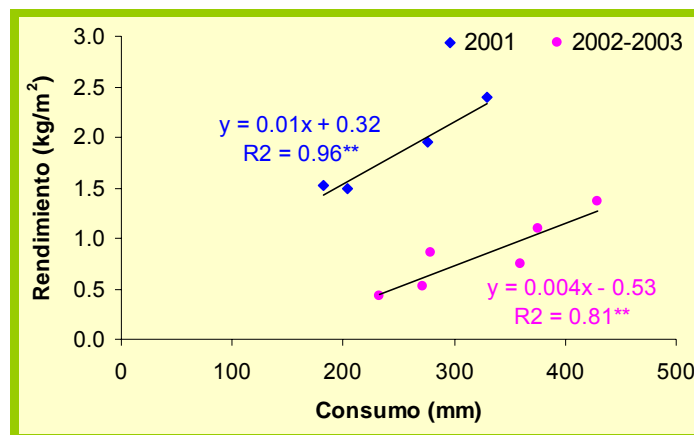


Figura 19. Relaciones entre el consumo de agua y el rendimiento en cv Tempranillo/110R (2,0 x 1,2 m) plantadas en 1990. Cada punto representa pares de datos medios para el conjunto de tratamientos. Nivel de significación \*\* para  $P < 0,01$ . (Centeno 2004).

En general el riego influye en el desarrollo vegetativo favoreciendo el crecimiento de los pámpanos o bien favoreciendo el agostamiento, obteniéndose un mayor peso de madera de poda por ha y por sarmiento (Tabla 5).

El riego deficitario, al favorecer el rendimiento controlando el desarrollo vegetativo favorece la relación entre peso de cosecha y peso de madera de poda (Índice de Ravaz) (Tabla 5). Aunque algunos autores (Champagnol 1984, Bravdo 1985a) han dado relaciones óptimas para este equilibrio, el óptimo depende de las condiciones de cultivo – tipo de poda, carga en

yemas, riego/no-riego, etc. – de ahí que el rango sea enormemente amplio y su validez limitada a cuando se conocen todos los detalles del tipo de viticultura o para comparar situaciones semejantes.

Diversos trabajos en los que se aplica una estrategia de riego deficitario controlado (RDC) (Esteban et al. 1999, García-Escudero et al. 1991, Girona et al. 2005) han puesto de manifiesto la conservación de la calidad de los parámetros básicos del mosto (Tabla 6) excepto en el color, donde el riego va asociado a una disminución de la concentración de polifenoles totales (Esteban et al. 2001, García-Escudero et al. 2000, Gil y Yuste 2004) salvo años extremadamente secos (Tabla7).

Tabla 5. Peso de madera de poda, peso del sarmiento e índice de Ravaz. cv Cabernet-Sauvignon/SO4

	Peso madera poda (kg·ha <sup>-1</sup> )	Peso sarmiento (g)	Índice de Ravaz
T <sub>0</sub>	1650 <sup>b</sup>	33 <sup>c</sup>	2.2 <sup>b</sup>
T <sub>20</sub>	1740 <sup>b</sup>	36 <sup>b</sup>	3.6 <sup>a</sup>
T <sub>45</sub>	2250 <sup>a</sup>	46 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>
Sig.	**	**	**

Datos medios del período 2002-2005 de la Finca El Socorro en Colmenar de Oreja – Madrid - .ns, \*, \*\*: no significativo, significativo para  $p \leq 0,05$  y significativo para  $p \leq 0,01$ , respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para  $p \leq 0,05$ . (Junquera et al. 2006).

Tabla 6. Evolución de los parámetros básicos del mosto con la dosis de riego en cv Cabernet-Sauvignon/SO4

	SST (Brix)	pH	ATT (gTH <sub>2</sub> ·L <sup>-1</sup> )
T <sub>0</sub>	24.9	3.4	6.1
T <sub>20</sub>	24.1	3.3	6.7
T <sub>45</sub>	25.1	3.4	6.4
Sig.	ns	ns	ns

SST: sólidos solubles totales; ATT: acidez total titulable. Datos medios del período 2002-2005 en la Finca El Socorro en Colmenar de Oreja – Madrid - .ns, \*, \*\*: no significativo, significativo para  $p \leq 0,05$  y significativo para  $p \leq 0,01$ , respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para  $p \leq 0,05$ . (Junquera et al. 2006).

Tabla 7. Composición fenólica en vendimia del cv Cabernet-Sauvignon/SO4.

	IPT	Antocianos Totales (mg·L <sup>-1</sup> )	Antocianos Extraíbles (mg·L <sup>-1</sup> )
T <sub>0</sub>	60	1401	775 <sup>b</sup>
T <sub>20</sub>	64	1472	816 <sup>b</sup>
T <sub>45</sub>	58	1473	954 <sup>a</sup>
Sig.	ns	ns	*

Datos de la campaña 2005 de la Finca El Socorro en Comenar de Oreja – Madrid - IPT: índice de polifenoles totales. ns, \*, \*\*: no significativo, significativo para  $p \leq 0,05$  y significativo para  $p \leq 0,01$ , respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para  $p \leq 0,05$ . (Junquera et al. 2006).



## 3.5.2. Estrategia basada en distintos umbrales de déficit hídrico a lo largo de la campaña

Una variación de la estrategia anterior se basa en modificar los Kc a lo largo del ciclo para adaptarlos a la demanda de la planta, de la atmósfera, la disponibilidad de agua en el suelo y los objetivos de la cosecha. También se puede plantear una estrategia similar basada en establecer distintos umbrales de déficit hídrico de la planta en función del estado fenológico medido a través del potencial hídrico foliar a mediodía solar (Girona et al. 2006) o antes de amanecer (Deloire et al. 2004). En el caso de kc variables, se suelen hacer tres intervalos que coinciden con cambios fisiológicos importantes en la planta: a) brotación- cuajado o tamaño guisante b) cuajado – envero y c) envero- vendimia. En la primera etapa los coeficientes aconsejados son bajos, en torno a  $Kc = 0.15 - 0.2$  y el riego no suele ser necesario. En la segunda y tercera etapa el valor de los coeficientes Kc variarán dependiendo de los objetivos de cosecha previamente diseñados (tamaño de baya, polifenoles, etc.).

Cabe, no obstante, mencionar que los Kc presentados en la tabla 8, son orientativos y que su valor dependerá del desarrollo vegetativo de la planta, de la carga de frutos de cada vid y de los objetivos productivos planteados.

En un ensayo llevado a cabo durante cuatro años en Madrid en Cabernet-Sauvignon/SO4 se estudió el efecto de restringir la disponibilidad hídrica entre envero y maduración respecto maduración-envero y respecto al uso de coeficientes constantes. Los resultados muestran que la dosis de agua tuvo un efecto más importante que su distribución en el tiempo (Tablas 9-11).

Tabla 9. Rendimiento y sus componentes

	Rendimiento (kg·ha <sup>-1</sup> )	Rac·sar <sup>-1</sup>	P rac (g)	Bayas·rac <sup>-1</sup>	P 100bayas (g)
T <sub>20</sub>	5770 <sup>b</sup>	1.8	70	83	85 <sup>b</sup>
T <sub>45</sub>	7140 <sup>a</sup>	1.8	83	88	96 <sup>a</sup>
T <sub>20-45</sub>	7330 <sup>a</sup>	1.8	85	94	91 <sup>a</sup>
T <sub>45-20</sub>	6800 <sup>a</sup>	1.9	76	84	91 <sup>a</sup>
Sig.	*	ns	ns	ns	**

Rac: racimos; Sar: sarmientos; P rac: peso del racimo; P 100bayas: peso de 100 bayas. Datos medios del período 2002-2005 en cv Cabernet-Sauvignon en la Finca El Socorro (Colmenar de Oreja, Madrid). ns, \*, \*\*: no significativo, significativo para  $p \leq 0.05$  y significativo para  $p \leq 0.01$ , respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para  $p \leq 0.05$

Tabla 10. Peso de madera de poda, peso del sarmiento e índice de Ravaz.

	Peso madera poda (kg·ha <sup>-1</sup> )	Peso sarmiento (g)	Índice de Ravaz
T <sub>20</sub>	1740 <sup>b</sup>	36 <sup>b</sup>	3.6
T <sub>45</sub>	2250 <sup>a</sup>	46 <sup>a</sup>	3.3
T <sub>20-45</sub>	2200 <sup>a</sup>	44 <sup>a</sup>	3.6
T <sub>45-20</sub>	1980 <sup>a</sup>	39 <sup>ab</sup>	3.6
Sig.	**	*	ns

Datos medios del período 2002-2005 en cv Cabernet-Sauvignon en la Finca El Socorro (Colmenar de Oreja, Madrid). ns, \*, \*\*: no significativo, significativo para  $p \leq 0,05$  y significativo para  $p \leq 0,01$ , respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para  $p \leq 0,05$

Tabla 11. Composición básica del mosto en vendimia.

	SST (Brix)	pH	ATT (gTH <sub>2</sub> ·L <sup>-1</sup> )
T <sub>20</sub>	24.1 <sup>b</sup>	3.3	6.1
T <sub>45</sub>	25.1 <sup>a</sup>	3.4	5.9
T <sub>20-45</sub>	25.0 <sup>a</sup>	3.3	5.6
T <sub>45-20</sub>	25.1 <sup>a</sup>	3.4	5.9
Sig.	*	ns	ns

SST: sólidos solubles totales; ATT: acidez total titulable. Datos medios del período 2002-2005 en cv Cabernet-Sauvignon en la Finca El Socorro (Colmenar de Oreja, Madrid). ns, \*, \*\*: no significativo, significativo para  $p \leq 0.05$  y significativo para  $p \leq 0.01$ , respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para  $p \leq 0.05$

#### 4. ASPECTOS PRÁCTICOS RECOMENDABLES

Cuando se quiere programar el riego de una explotación ya sea fijando unos Kc o basándose en unos umbrales de déficit medido a través del potencial hídrico a mediodía solar, se recomienda un balance semanal.

La frecuencia de los riegos, en la época de máximas necesidades (cuajado – vendimia), se recomienda que sea la máxima posible – diaria – pues de esta forma, la planta dispondrá de agua fácilmente utilizable todos los días. Al distanciar los riegos se genera un pequeño estrés los días que no se riegan comportándose la planta como en una situación de secano.

El riego debe controlarse a través de indicadores del estado hídrico de la planta, aún en situación de haber decidido Kc constante, pues puede ser necesaria su modificación en situaciones anormales de sequía extrema. Por tanto se recomienda el uso de una estación meteorológica para conocer la demanda atmosférica, el seguimiento de indicadores en planta (potencial hídrico, dendrómetros, etc.) y suelo (TDR, FDR, bloques de yeso, etc.).

#### REFERENCIAS

- Allen, RW, Pereira LS, Raes D, Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. 300 pp.
- Ayars, J.E., R. S. Johnson, C. J. Phene, T. J. Trout, D. A. Clark, R. M. Mead. 2003. Water use by drip-irrigated late-season peaches. *Irrigation Science* 22:187-194.
- Bartolomé, M. C., V. Sotés, P. Baeza, C. Ruiz y J.R. Lissarrague. 1995. Efectos del déficit hídrico sobre el desarrollo vegetativo y fructífero del cultivar Tempranillo de vid (*Vitis vinifera* L.). *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales* 10(2): 245-261.
- Bravdo, B., Hepner Y., Loigner, C. Cohen S. and Tabacman H. 1985a. 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.
- Bravdo, B., Y. Hepner C. Loinger S. Cohen y H. Tabacman. 1985b. Effect of irrigation and crop level on growth yield and wine quality of Cabernet sauvignon. *Am. J. of Enol. Vitic.* 36: 132-139.
- Buttrose, M. S. 1974. Fruitfulness in grapevines: effect of water stress. *Vitis* 12: 299-305.

- Centeno, A. 2005. Evaluación del comportamiento de la vid (*Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo) en condiciones de déficit hídrico: efectos sobre el estado hídrico, crecimiento, rendimiento, biomasa y composición de la uva. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Champagnol, F. 1984. Le mode de conduite. Eléments de physiologie de la vigne et de viticulture generale. F. Champagnol: 245-258.
- Coombe, B.G. y P.R. Dry .1992. Viticulture, vol. 2: Practices. Winetitles, Adelaide. 376 pp.
- Cuevas, E. 2001. Estudio de los mecanismos de adaptación ecofisiológica de la vid (*Vitis vinifera* L., cv Tempranillo al déficit hídrico. Evaluación del consumo de agua y de las respuestas agronómicas en diferentes regímenes hídricos. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Centeno, A. 2005. Evaluación del comportamiento de la vid (*Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo) en condiciones de déficit hídrico: efectos sobre el estado hídrico, crecimiento, rendimiento, biomasa y composición de la uva. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Deloire, A. Carbonneau, A.; Wang, Z; Ojeda, H. 2004. Vine and Water, a short review. *International Journal des Sciences de la Vigne et du Vin*, 38 (1):1-13.
- Düring, H. 1991. Determination of the photosynthetic capacity of grapevine leaves. *Vitis* 30:49-56.
- Escalona, J.M., J. Flexas y H. Medrano. 1999. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress in field-grown grapevines. *Aus. J. Grape and Wine Research* 26: 421-433.
- Esteban, M.A., M.J. Villanueva y J. R. Lissarrague. 1999. Effect of irrigation on changes in berry composition of Tempranillo during maturation. Sugars, organic acids and mineral elements. *Am. J. Enol. Vitic.* 50(4): 418-434.
- Esteban, M.A., M. J. Villanueva y J. R. Lissarrague. 2001. Effect of irrigation on changes in the anthocyanin composition of the skin of cv. Tempranillo (*V. vinifera*, L.) grape berries during ripening. *J. Sci. Food & Agric.* 81: 409-420.
- Esteban, M.A., M.J. Villanueva y J.R. Lissarrague. 2002. Relationships between different berry components in Tempranillo (*V. vinifera*, L.) grapes from irrigated and non-irrigated vines during ripening. *J. Sci. Food & Agric.* 82: 1-11.
- García-Escudero, E. 1991. Influencia de la dosis y del momento de aplicación del riego sobre la producción y desarrollo vegetativo, calidad del mosto y nutrición mineral de la vid. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- García-Escudero, E., P. Aquilué, R. López y I. Palacios. 1991. "Aplicación de dosis moderadas de agua en el proceso de maduración de cv. Tempranillo en Rioja." *Vitivinicultura* 1: 30-34.
- García-Escudero, E., R. López, P. Santamaría y O. Zaballa. 2000. "Control de rendimiento en viñedos conducidos en régimen de riego localizado." *Viticultura y Enología Profesional* 69: 12-24.
- García-Escudero, E., F. Martínez, J. R. Lissarrague y V. Sotés. 1994. "Influencia del momento de aplicación del riego sobre la producción y la calidad del mosto." *Vitivinicultura* 1-2: 49-54.
- Gil, M. y J. Yuste. 2004. Maturation phénologique des raisins rouges du cépage Tempranillo conduit en gobelet dans différentes conditions édapho-climatiques de la Vallée du Douro. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 38(1): 81-88.
- Girona, J. 2005. Manejo del riego en vides para vino en España. Curso Internacional: Manejo del riego y suelo en vides para vino y mesa. Resumen de las Conferencias, INIA, Chile (en prensa).
- Girona, J., M. Mata y J. Marsal. 2005. Regulated deficit irrigation during the kernel-filling period and optimal irrigation rates in almond. *Agricultural Water Management* 75(2): 152-167.
- Girona, J., M. Mata, J. Marsal y J. del Campo. 2005. Pear crop coefficients obtained in a large weighing lysimeter. *Acta Horticulturae* 664:277-281.
- Girona, J., M. Mata, J. d. Campo, A. Arbonés, E. Bartra y J. Marsal- 2006. The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards. *Irrigation Science* 24: 115-127.
- Gómez del Campo, M., C. Ruiz, V. Sotés y J. R. Lissarrague. 2002. Effect of water stress on leaf area development, photosynthesis and productivity in Chardonnay and Airén grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture* 53(2): 138-143.
- Gómez del Campo, M., C. Ruiz, P. Baeza y J. R. Lissarrague. 2003. Stratégies d'adaptation à la sécheresse de quatre c'epages de vigne (*Vitis vinifera* L.): Modification des caractéristiques de la surface foliaire. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 37(3): 131-143.
- Grimes, D. W. y L. E. Williams 1990. Irrigation effects on plant water relations and productivity of Thompson seedless grapevines. *Crop Science* 30: 255-260.

- FAO. 1990. FAO Penman-Monteith Formula. Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Roma.
- Hardie, W.J. y S.R. Martin. 2000. Shoot growth on de-fruited grapevines: a physiological indicator for irrigation scheduling. *Aust. J. Grape and Wine Research*. 6: 52-58.
- Hepner, Y., B. Bravdo, C. Loinger, S. Cohen y H. Tabacman. 1985. Effect of drip irrigation schedules on growth, yield, must composition and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic* 36:77-85.
- Hunter, J.J. 1998a. Plant spacing implications for grafted grapevine I. Soil characteristics, root growth, dry matter partitioning, dry matter composition and soil utilisation. *S. Afr. J. Enol. Vitic*. Vol. 19. Nº 2, 25-34.
- Hunter, J.J. 1998b. Plant spacing implications for grafted grapevine II. Soil water, plant water relations, canopy physiology, vegetative and reproductive characteristics, grape composition, wine quality and labour requirements. *S. Afr. J. Enol. Vitic*. Vol. 19. Nº 2, 35-51.
- Iandolino, A. 2004. Canopy C balance and abiotic stress effects on the metabolic profile of flavonoids in grapevine (*Vitis vinifera* L.) berries. Doctoral Thesis. University of California, Davis.
- Junquera, P., P. Sánchez de Miguel, R. Linares, M. de la Fuente y P. Baeza. 2006. Respuesta agronómica del viñedo a diferentes disponibilidades hídricas. Estudio de la influencia de la dosis y el reparto del riego en el tiempo. *Boletín Agrario de la Comunidad de Madrid*. (en prensa).
- Kriedemann, P.E. y R.E. Smart. 1971. Effects of irradiance, temperature and leaf water potential on photosynthesis of vine leaves. *Photosynthetica* 5(1): 6-15.
- Matthews, M.A. y M.M. Anderson. 1989. Reproductive development in grape (*Vitis vinifera* L.): responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic*. 40: 52-60
- Matthews, M.A., M.M. Anderson y H. Schultz. 1987. Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet franc. *Vitis* 26: 147-160.
- Matthews, M. A. y M.M. Anderson. 1988. Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic*. 40: 52-60.
- Medrano, H., J.M. Escalona, J. Cifre, J. Bota y J. Flexas. 2003. A ten-year on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Functional Plant Biology*. 30: 607-619.
- Myburgh, P.A. 2003a. Responses of *Vitis vinifera* L. cv. Sultanina to Level of soil water depletion under semi-arid conditions. *S. Afr. J. Enol. Vitic*. 24(1): 16-24.
- Myburgh, P.A. 2003. Responses of *Vitis vinifera* L. cv Sultana to water deficits during various pre- and post-harvest phases under semi-arid conditions. *S. Afr. J. Enol. Vitic*. 24: 25-33
- Nadal, M. y L. Arola. 1995. Effects of limited irrigation on the composition of must and wine of Cabernet sauvignon under semi-arid conditions. *Vitis* 34(3): 151-154.
- Naor, A., B. Bravdo y Y. Hepner. 1993. Effect of post-veraison irrigation level on Sauvignon blanc yield, juice quality and water relations. *S. African J. Enol. Vitic*. 14: 19-25
- Ojeda, H., A. Deloire y A. Carbonneau. 2001. Influence of water deficits on grape berry growth. *Vitis* 40(3): 141-145.
- Ojeda, H., C. Andary, E Kraeva, A. Carbonneau y A. Deloire. 2002. Influence of pre- and postveraison water deficit on síntesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *Am. J. Enol. Vitic*. 53: 261-267
- Peterlunger, E., P. Sivilotti y V. Colussi. 2005. Water stress increased Polyphenolic quality in Merlot grapes. *Proceedings of the VII<sup>th</sup> Symp on Grapevine Physiology and Biotechnology*. *Acta Horticulturae* 689: 293-300.
- Petrie, P.R., N.M. Cooley y P.R. Clingeleffer. 2004. The effect of post-veraison water deficit on yield components and maturation of irrigated Shiraz (*Vitis vinifera* L.) in the current and following season. *Aust. J. Grape and Wine Research* 10: 203-215
- Roby, G., J. F. Harbertson, D. A. Adams y M. A. Matthews. 2004. Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanins and tannins. *Aust. J. Grape and Wine Research* 10: 100-107.
- Roby, G. y M.A. Matthews. 2004. Relative proportions of seed, skin and flesh, in ripe berries from Cabernet sauvignon grapevines grown in a vineyard either well irrigated or under water deficit. *Aus. J. Grape and Wine Research* 10: 74-82.
- Sánchez-de-Miguel, P., A. Centeno, P. Baeza y J. R. Lissarrague. 2005. Photosynthetic response to light of 'Tempranillo' leaves in the field: effects of leaf age, position and water potential. *ISHS Acta*

- Horticulturae 689 (VII International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology): 357-364.
- Schultz, H. R. 2003. Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant, Cell and Environment* 26: 1393-1405.
- Sipiora, M. y M.J. Gutiérrez-Granda. 1998. Effects of pre-veraison irrigation cut-off and skin contact time on the composition, color and phenolic content of young Cabernet sauvignon wines in Spain. *Am. J. enol. vitic* 49(2): 152-162.
- Smart, R.E , N.J. Shaulis, E.R. Lemon. 1982. The effect of Concord vineyard microclimate on yield II. The interrelations between microclimate and yield expresión. *Am.J.Enol.vitic.* 33:109-116.
- Vaysse, P., P. Swing y P. Peyremorte. 1990. L'irrigation des arbres fruitiers. Montpellier : CTIFL.
- Williams, L.E. 1994. Grape. In: Handbook of environmental physiology of fruit crops. pp. 86-118. Orlando.
- Williams, L.E. 2001. Irrigation of winegrapes in California. *Practical Winery*. Nov-Dec:41-55
- Williams, L.E. y F. J. Araujo. 2002. Correlations 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. Am. Soc. Hortic. Sci.* 127(3): 448-454.
- Williams, L.E y J.E. Ayars. 2005. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agricultural and Forest Meteorology.* 132: 201-211.
- Williams, L.E.,C. J. Phene, D. W. Grimes, T. J. Trout, 2003. Water use of mature Thompson Seedless grapevines in California. *Irrigation Science*, 22:11-18
- Yuste, J. 1995. Comportamiento fisiológico y agronómico de la vid (*Vitis vinífera* L.) en diferentes sistemas de conducción en secano y regadío. Tesis Doctoral de la Universidad Politécnica de Madrid.