

INVESTIGACIÓN

EFFECTOS DE LA RESTRICCIÓN DEL RIEGO EN DISTINTOS PERÍODOS DE DESARROLLO DE LA VID CV. CABERNET SAUVIGNON SOBRE PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL VINO¹

Effects of restricted irrigation at different stages of development of Cabernet Sauvignon grapes on production and wine quality

Raúl Ferreyra E.², Gabriel Sellés V.², José Peralta A.²,
Loreto Burgos R.² y Jorge Valenzuela B.²

A B S T R A C T

Different water stress treatments were applied to vines (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet Sauvignon during the 1994/95 and 1995/96 seasons at La Platina Research Center, Santiago (33°34' S. lat; 70°38' W. long). Treatments T1 and T2 were 100% and 40% of the crop evapotranspiration (ETc) during the whole season; T3 had no irrigation from budburst to veraison followed by 100% ETc until harvest; and T4 100% ETc from budburst to veraison and no irrigation until harvest. Stressed treatments (T2, T3 and T4) significantly reduced weight and size of berries. Yield was also reduced, mainly when no water was applied between budburst and veraison (T3). In addition, in the following season, floral induction was affected by water stress. Wine color intensity, phenols and anthocyanin concentration were higher in the stressed treatments, while acidity was increased when water stress was applied between veraison and harvest. The attributes and global quality of the wine were favored by water stress, especially after veraison. The stem water potential (SWP) and plant water stress index (PWSI) were adequate indicators of plant water status.

Key words: water stress, grapevine.

R E S U M E N

Se aplicaron diferentes tratamientos de estrés hídrico en vides (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet Sauvignon durante las temporadas 1994/95 y 1995/96, en el Centro Regional de Investigación La Platina, Santiago (33°34' lat. Sur; 70°38' long. Oeste). Los tratamientos T1 y T2 correspondieron a 100% y 40% de evapotranspiración de cultivo (ETc) durante toda la estación; T3, sin riego desde brotación a pinta y riego con 100% de ETc hasta la cosecha; T4, riego con 100% de ETc entre brotación a pinta y suspensión del riego desde pinta hasta la cosecha. En los tratamientos con estrés (T2, T3 y T4) se redujo significativamente el peso y tamaño de bayas. También se redujo el rendimiento, principalmente cuando no se aplicó agua entre la brotación y pinta (T3). Además, en la temporada siguiente, la inducción floral fue afectada por el estrés hídrico. La intensidad de color, la concentración de fenoles y antocianinas fueron mayores en los tratamientos con restricción del riego, mientras la acidez aumentó cuando el estrés hídrico fue aplicado entre pinta y cosecha. Los atributos y la calidad global del vino se vieron favorecidos con una disminución del aporte hídrico, en especial después de pinta. El potencial hídrico xilemático (SWP) y el índice de estrés hídrico del cultivo (PWSI) fueron indicadores adecuados del estado hídrico de las plantas.

Palabras clave: estrés hídrico, vid.

¹Recepción de originales: 01 de abril de 2001.

²Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Casilla 439, Correo 3, Código postal 7083150, Santiago, Chile. E-mail: rferreyr@platina.inia.cl

INTRODUCCIÓN

En Chile, la vid (*Vitis vinifera* L.) destinada a la producción de vino ocupa una superficie aproximada de 85.000 ha (SAG, 1999). Entre las variedades tintas, Cabernet Sauvignon ocupa el primer lugar en cuanto a superficie plantada, representando 57% del total de dichas variedades.

La regulación del riego en la viña es un buen método de control del crecimiento vegetativo, del rendimiento total en uva, y de la calidad de las bayas que se obtienen. Hay numerosos antecedentes que afirman que un déficit hídrico produce cambios significativos en el crecimiento vegetativo (Schultz y Matthews, 1993; Poni *et al.*, 1994; Ussahatanonta *et al.*, 1996) y en la composición química de las bayas (Jackson y Lombard, 1993; Reynolds y Naylor, 1994). Por lo tanto, un déficit hídrico influye también en la calidad del vino producido. Sin embargo, diferentes trabajos han mostrado resultados contradictorios cuando se restringe el suministro hídrico. Existe acuerdo en que un déficit hídrico controlado produce una mejora de la calidad del vino, al disminuir el crecimiento vegetativo y favorecer la iluminación de los racimos, lo que aumenta la producción de fenoles y mejora la relación piel/pulpa. Sin embargo, el período fenológico más apropiado para la restricción hídrica aún no está claro.

En investigaciones realizadas en Israel, Bravdo y Naor (1997) encontraron vinos de mejor calidad con vides que fueron sometidas a déficit moderados durante toda la temporada. Otros autores indican que un déficit hídrico entre pinta y cosecha incrementa significativamente la producción de antocianinas, lo que implica un mejor color en variedades tintas (Matthews *et al.*, 1990; Nadal y Arola, 1995). Además, se debe considerar que la falta de agua durante el período de inducción floral (que ocurre entre floración y pinta) puede afectar de manera considerable la floración de la temporada siguiente (Matthews y Anderson, 1989).

Por lo anterior, en el Centro Regional de Investigación (CRI) La Platina, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), se realizó un estudio durante las temporadas 1994/95 y 1995/96, con el fin de evaluar el efecto del déficit hídrico aplicado antes y después de pinta, sobre la producción y calidad del vino, relacionándolos con el estado hídrico de la planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en las temporadas 1994/95 y 1995/96 en un viñedo cultivar Cabernet Sauvignon, plantado en agosto de 1988, a 3 x 2 m en espaldera, ubicado en el Centro Regional de Investigación (CRI) La Platina, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), en la Región Metropolitana (33° 34' lat. Sur; 70° 38' long. Oeste). El clima es semiárido, con temperatura máxima en enero de 28,2 °C y una mínima en julio de 4,4 °C. El período libre de heladas es de 231 días, con un período seco de ocho meses. El suelo corresponde a un Xerochrepts Serie Santiago (Coarse loamy over sandy, skeletal, mixed, thermic typic xerochrepts) que es de origen aluvial, moderado a ligeramente profundo, de textura franco arenosa fina, con topografía plana, bien drenado y permeabilidad rápida.

El ensayo estuvo constituido por 600 plantas, con un diseño experimental de bloques al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones (50 plantas por repetición). Los tratamientos aplicados se indican a continuación: T1: Riego reponiendo 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante toda la temporada; T2: Riego con un 40% ETc durante toda la temporada; T3: Sin riego hasta inicio de pinta, y reposición de 100% de ETc durante el resto de la temporada; y T4: Riego con 100% de la ETc desde brotación hasta inicio de pinta, y sin riego durante el resto de la temporada.

El análisis estadístico para variables paramétricas se realizó por varianza y para separar media se utilizó la prueba de comparación múltiple de

Duncan. Para variables no paramétricas se utilizó el test de Kruskal y Wallis, y cuando hubo diferencia significativa se realizó la prueba de comparación múltiple de Nemenji (Kirk 1968).

Las necesidades de agua del cultivo se estimaron a partir de la ETc, la cual se estimó por el método del evaporímetro de bandeja (clase A) y coeficientes de cultivos normalmente utilizados en vides viníferas (Allen *et al.*, 1998). El agua fue aplicada diariamente a través de un equipo de riego por goteo, con dos emisores por planta de 4 L h⁻¹, distanciado a 1 m sobre la hilera.

Estado hídrico del suelo. Se realizaron mediciones del potencial mátrico de suelo en forma diaria antes del riego, utilizando tensiómetros (Soil Moisture Equipment Corp., Santa Bárbara, California, USA) ubicados a 30 cm de profundidad y 40 cm del punto de emisión del gotero, en cada repetición.

Estado hídrico de la planta. Semanalmente se realizaron mediciones de potencial hídrico xilemático (SWP) durante el período de crecimiento de la vid. Las mediciones se realizaron tanto en la madrugada (SWPs) como a mediodía (SWPn), usando una cámara de presión (Soil Moisture Equipment Corp., Modelo CHANGE C, Santa Bárbara, California, USA). Se midieron 3 hojas por repetición, las que fueron cubiertas por un film plástico y uno metálico al menos 2 h antes de realizar la medición, de acuerdo a la metodología indicada por Meyer y Reichosky (1985). Se eligieron hojas maduras del tercio medio de la planta. Para la determinación de la temperatura de las hojas se utilizó una pistola de termometría infrarroja (Cole Parmer, modelo L-08406-3, Chicago, Illinois, USA). Para tomar las lecturas de temperatura, la pistola de termometría infrarroja se ubicó aproximadamente a 1,5 m de distancia del follaje con exposición solar directa. Las mediciones se realizaron una vez por semana a las 14:00 horas, en tres plantas por repetición. En cada planta se realizaron 5 lecturas. Paralelamente a la determinación de la temperatura del

follaje, se realizó la medición de la temperatura del aire y humedad relativa con un psicrómetro ventilado (Fuees, Modelo G-5069, Berlín, Alemania). Con esta información, de acuerdo a la metodología desarrollada por Idso *et al.* (1981) se determinó el índice de estrés hídrico del cultivo (PWSI).

Producción de las plantas. Se seleccionaron tres plantas por cada repetición (9 por tratamiento), a las que se les determinó: rendimiento (t ha⁻¹), número de racimos, número de bayas por racimo, acidez total y sólidos solubles. Estas determinaciones se realizaron a la cosecha, cuando las bayas de cada tratamiento alcanzaron entre 22-23 °Brix.

Análisis químico del vino. El mosto obtenido de cada repetición fue sometido a microvinificación, para posteriormente realizar el análisis químico del vino (pH, acidez total, fenoles totales, antocianinas, intensidad colorante y matiz). La intensidad colorante y matiz sólo se midieron en la primera temporada. Los componentes químicos del vino fueron determinados de acuerdo a los métodos descritos por Ureta (1984).

Evaluación sensorial de los vinos. Los vinos obtenidos de cada repetición fueron evaluados sensorialmente por un panel de ocho enólogos, siguiendo la pauta establecida por la ficha de degustación propuesta por el Instituto de Fermentaciones Industriales de Madrid, España (Ough, 1992). En la ficha de degustación utilizada se evaluaron las siguientes características: sensación global, intensidad colorante, número de atributos y número de defectos. Previo al análisis sensorial de los vinos se realizó un test triangular entre repeticiones. En dicha prueba no se encontraron diferencias significativas, lo que quiere decir que los jueces consideraron homogéneas las repeticiones de cada tratamiento, por lo tanto, se eligió un bloque al azar para realizar la degustación de los vinos, utilizándose los jueces como repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Volumen de agua aplicado. La reducción del suministro hídrico entre brotación y pinta (T3), significó una disminución del agua aplicada total de 60% al compararlo con la aplicada al testigo (T1). En los tratamientos T4 y T2 la reducción del suministro hídrico significó una disminución del agua aplicada total de 38 y 62%, respectivamente, al compararlo con el tratamiento control (T1) (Cuadro 1).

Evolución del estado hídrico del suelo. Las lecturas de potencial mátrico del suelo estuvieron directamente relacionadas con el régimen de riego establecido (Figura 1). Durante los períodos en que se repuso 100% de la ETc, el potencial del suelo se mantuvo entre -10 y -15 kPa, valores muy superiores a los que se encontraron cuando se repuso el 40% de la ETc (T2), los que llegaron hasta -65 kPa. En los tratamientos en que se suspendió el riego (T3 antes de pinta, y T4 después de dicho estado), el potencial mátrico llegó cerca de los -75 kPa. Resultados similares obtuvieron Poni *et al.* (1993) y Stevens y Harvey

(1996), quienes utilizando tensiómetros ubicados en la zona de mayor actividad radicular para estimar el estado hídrico del suelo, encontraron que al final de los períodos de déficit hídrico los potenciales mátricos del suelo alcanzaron valores de -80 kPa.

Evolución del estado hídrico de la planta. El potencial hídrico xilemático (SWP) fue un adecuado indicador del estado hídrico de las plantas, reaccionando rápidamente a las variaciones de aporte de agua que sufrieron las plantas. En efecto, los valores de SWP, medidos tanto al medio día como en la madrugada, disminuyeron conforme el suministro hídrico fue menor (Figuras 2 y 3), encontrándose los menores valores de potenciales al final de los períodos de restricción. El tratamiento T2, que sólo recibió 40% de la ETc, mantuvo el SWP por bajo las plantas bien regadas, reflejando la condición de riego restringido, pero por sobre el valor de las plantas sujetas a restricción total de riego. Lo anterior indicaría que la medición del SWP es un indicador sensible del estado hídrico de las plantas. Antecedentes similares fueron reportados por Winkel y Rambal (1993), y Schultz y Matthews (1993). Las mediciones de SWP realizadas durante la madrugada (Figura 2) indicaron que plantas no sujetas a déficit de agua, se caracterizaron por presentar valores de SWPs del orden de los -0,3 MPa. Estos valores disminuyeron hasta -0,5 MPa al aplicar 40% de la ETc y hasta -0,9 MPa, en promedio, en los períodos de suspensión total del riego (T3 y T4). Con respecto a las mediciones de SWP realizadas a mediodía (SWPn), éstas indicaron que en los períodos sin déficit de agua los valores disminuyen hasta -1,0 MPa (Figura 3). Con una reposición de 40% de ETc, estos valores disminuyen a -1,4 y -1,5 MPa, en promedio, cuando se suspende completamente el riego.

Las mayores diferencias entre tratamientos se produjeron durante los períodos en que se suprimió totalmente el riego. Período anterior a pinta -0,63 MPa entre T1 y T3; después de pinta -0,7 MPa entre T1 y T4. Grimes y Williams

Cuadro 1. Volumen de agua aplicado en vid cv. Cabernet Sauvignon

Table 1. Volume of water applied to grapevines cv. Cabernet Sauvignon

Tratamiento	Volumen de agua aplicado m ³ ha ⁻¹	
	1994/95	1995/96
T1	4.480	4.414
T2	1.763	1.775
T3	1.709	1.712
T4	2.699	2.701

T1: Riego reponiendo 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante toda la temporada.

T2: Riego con 40% de la ETc durante toda la temporada.

T3: Sin riego hasta inicio de pinta, y reposición de 100% de ETc durante el resto de la temporada.

T4: Riego con 100% de la ETc desde brotación hasta inicio de pinta y sin riego durante el resto de la temporada.

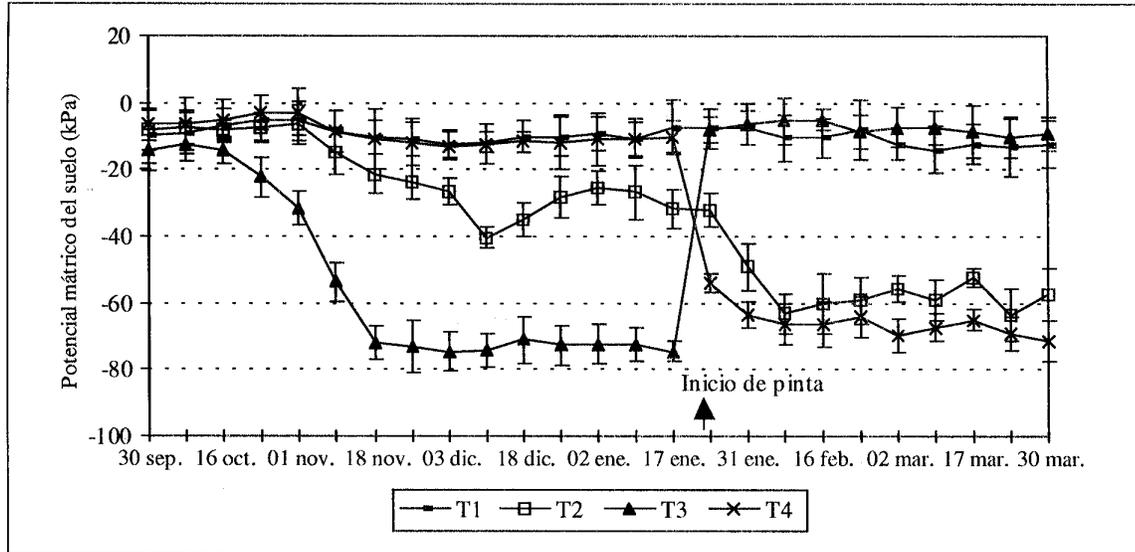


Figura 1. Potenciales mátricos del suelo en los diferentes tratamientos de riego en la temporada 1994/95.

Figure 1. Soil matrix potentials in the different irrigation treatments during the 1994/95 season.

Las barras verticales representan la desviación estándar.

T1: Riego reponiendo 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante toda la temporada.

T2: Riego con 40% de la ETc durante toda la temporada.

T3: Sin riego hasta inicio de pinta, y reposición de 100% de ETc durante el resto de la temporada.

T4: Riego con 100% de la ETc desde brotación hasta inicio de pinta y sin riego durante el resto de la temporada.

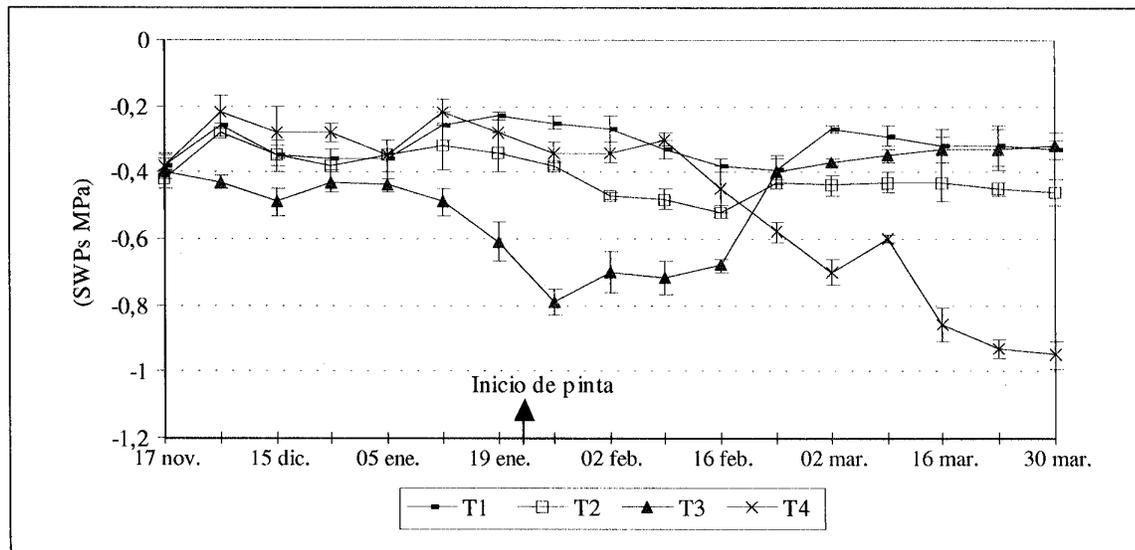


Figura 2. Potenciales hídricos xilemáticos medidos al amanecer (SWPs), temporada 1994/95.

Figure 2. Stem water potential measured at sunrise (SWPs), 1994/95 season.

Las barras verticales representan la desviación estándar.

T1: Riego reponiendo 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante toda la temporada.

T2: Riego con 40% de la ETc durante toda la temporada.

T3: Sin riego hasta inicio de pinta, y reposición de 100% de ETc durante el resto de la temporada.

T4: Riego con 100% de la ETc desde brotación hasta inicio de pinta y sin riego durante el resto de la temporada.

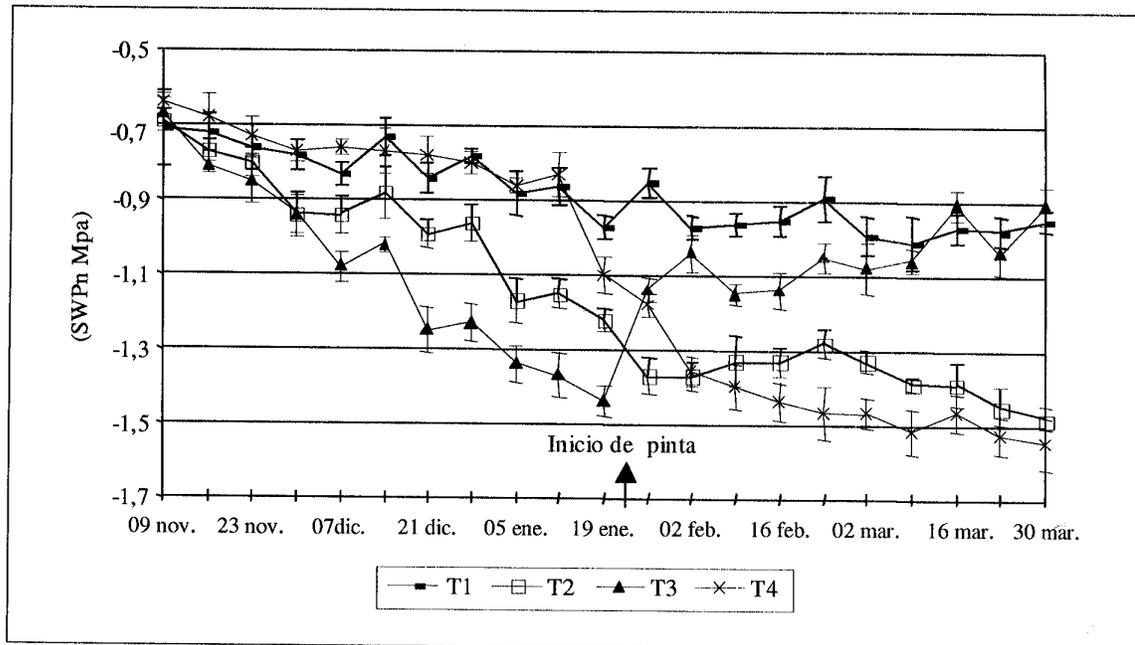


Figura 3. Potenciales hídricos xilemáticos medidos al mediodía (SWPn), temporada 1994/95.

Figure 3. Stem water potential measured at noon (SWPn), 1994/95 season.

Las barras verticales representan la desviación estándar.

T1: Riego reponiendo 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante toda la temporada.

T2: Riego con 40% de la ETc durante toda la temporada.

T3: Sin riego hasta inicio de pinta, y reposición de 100% de ETc durante el resto de la temporada.

T4: Riego con 100% de la ETc desde brotación hasta inicio de pinta y sin riego durante el resto de la temporada.

(1990) obtuvieron resultados similares al encontrar diferencias máximas del orden de -0,7 MPa entre tratamientos con y sin riego.

Además, en las Figuras 2 y 3 se puede observar que cuando se restableció el riego, después de un largo período sin regar (T3), los valores de SWP demoraron aproximadamente 40 días en llegar a ser similares a los del testigo (T1). Resultados similares también han sido observados en otras especies (Goldhamer *et al.*, 1999). La lenta recuperación del potencial en plantas con déficit hídrico, una vez restablecido el volumen de agua normal, podría deberse a que el período sin agua produjo la inactivación de raíces en las capas superiores del suelo (Matthews *et al.*, 1987). Además, la falta de humedad en el suelo durante el período sin riego puede llegar a producir una fuerte disminución de la conductividad hidráulica del suelo, lo que también podría contribuir a la

lenta restauración del contenido hídrico de las plantas una vez que se repone el riego.

Con respecto al Índice de Estrés Hídrico del Cultivo (PWSI), en la Figura 4 se presentan los límites calculados para su determinación. El límite superior (Ecuación 1) corresponde a diferencias de temperatura entre la hoja y el aire medidas en períodos de mayor estrés (sin riego), cuyo valor medio es de 3,5 °C. El límite inferior (Ecuación 2) corresponde a la diferencia de temperatura entre la hoja y el aire durante períodos en que hubo un adecuado suministro hídrico; en este caso los estomas se encuentran abiertos y la diferencia está en función del déficit de presión de vapor (DPV), puesto que un aumento de éste implica un incremento del poder secante de la atmósfera, y por ende de la transpiración de las plantas. El PWSI se presenta en la Figura 5. Los valores menores del índice correspondieron a

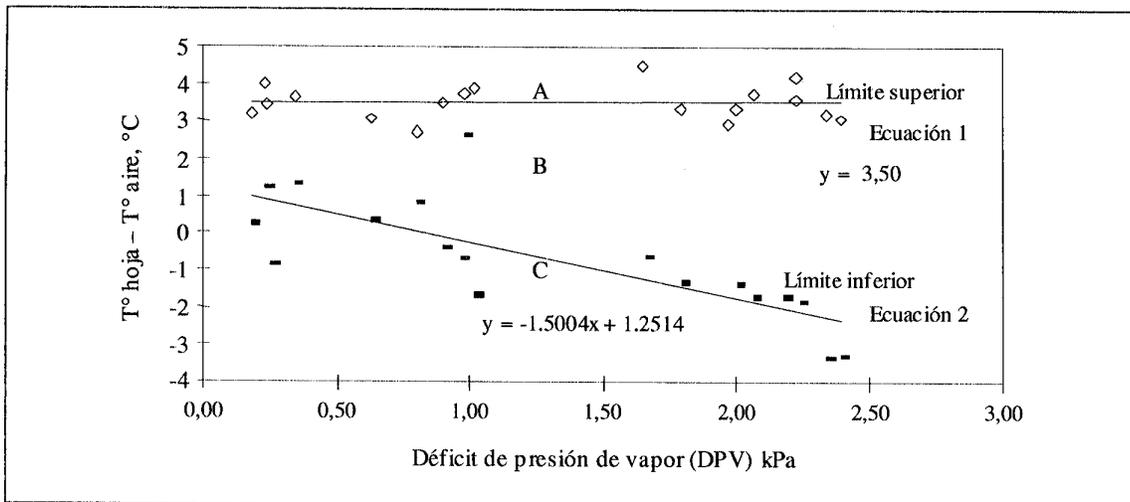


Figura 4. Relación entre la diferencia de la temperatura hoja-aire y el déficit de presión de vapor, en plantas con y sin suministro hídrico.

Figure 4. Relation between the temperature of the leaf-air and vapor pressure deficit, in plants with and without irrigation.

Nota: Esta figura permite calcular el PWSI a través de la siguiente relación: $PWSI = BC/AC$, donde B es la diferencia entre la temperatura de la hojas menos la del aire en el momento de la medición, A la diferencia de temperatura entre la hoja y aire máxima (límite superior) y C la diferencia mínima (límite inferior) para las condiciones de DPV en las cuales se realizó la medición de temperatura de la hoja y aire (B).

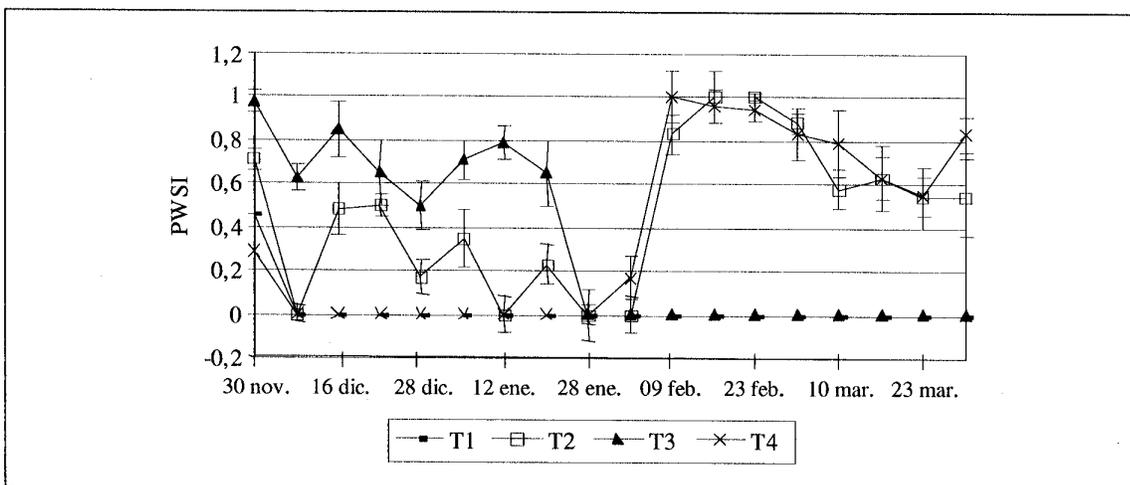


Figura 5. Índice de estrés hídrico del cultivo (PWSI) en los diferentes tratamientos a través de la temporada de riego 1994/95.

Figure 5. Plant water stress index (PWSI) in the different treatments during the 1994/95 irrigation season.

Las barras verticales representan la desviación estándar.

T1: Riego reponiendo 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante toda la temporada.

T2: Riego con 40% de la ETc durante toda la temporada.

T3: Sin riego hasta inicio de pinta, y reposición de 100% de ETc durante el resto de la temporada.

T4: Riego con 100% de la ETc desde brotación hasta inicio de pinta y sin riego durante el resto de la temporada.

períodos en que se repuso la totalidad de las necesidades de riego (T1 durante toda la temporada y T4 entre brotación y pinta). A medida que disminuyó la disponibilidad de agua para la planta el índice aumentó (T2, T3 antes de pinta y T4 después de pinta).

Los valores de PWSI fluctuaron entre 0 y 1. Los cercanos a cero corresponden a plantas con un suministro hídrico normal; entre 0,2 y 0,5 a plantas con limitación parcial de riego, y 1,0 a vides con restricción severa de riego (Figura 5).

Rendimiento. Los rendimientos medidos para los distintos tratamientos durante las dos temporadas de investigación se indican en el Cuadro 2; se puede apreciar una relación directa entre restricción de riego y reducción de rendimiento. Cuando existió un aporte de 100% de ETc, el tamaño de bayas y el número de bayas por racimo fue mayor, lo que se vio reflejado en el rendimiento.

Las diferencias en el rendimiento durante la primera temporada no estaban asociadas al número de racimos, ya que se dejó una cantidad similar en todos los tratamientos, sino más bien al peso de ellos y al peso de las bayas.

El efecto de restricción del riego sobre la inducción floral se pudo observar sólo en la segunda

temporada, donde se encontró una disminución del número de racimos, lo que influyó directamente en la reducción del rendimiento en el tratamiento T3 (sin riego entre brotación y pinta).

Análisis químico del vino. La madurez de las uvas y el grado alcohólico de los vinos no registraron diferencias entre tratamientos, debido a que la cosecha se realizó cuando la uva alcanzó los 22-23 °Brix. Sin embargo, en ambas temporadas el tratamiento sin riego después de pinta (T4) alcanzó la madurez de cosecha aproximadamente 7 días antes que el resto de los tratamientos (datos no mostrados). Goodwin y Macrae (1990) también encontraron un adelanto de la maduración al inducir un déficit hídrico.

No se encontraron diferencias en el pH de los vinos, sin embargo, la acidez total fue significativamente superior cuando se suprimió el riego después de pinta (T4) (Cuadro 3). Los resultados anteriores son similares a los obtenidos por Goodwin y Macrae (1990) y Matthews *et al.* (1990), quienes encontraron mayor acidez titulable en el mosto y en el vino, en tratamientos con déficit hídrico, en comparación al testigo con riego continuo. Sin embargo, Puyo (1992) encontró mayor acidez titulable en mosto de uvas sin déficit, pero en el vino no encontró diferencia entre tratamientos.

Cuadro 2. Efecto del déficit hídrico en el rendimiento de la vid cv. Cabernet Sauvignon
Table 2. Effect of the water stress on the yield of grape cv. Cabernet Sauvignon

Tratamiento	Rendimiento (t ha ⁻¹)		Nº racimos/planta		Nº bayas/racimo	
	1994/95	1995/96	1994/95	1995/96	1994/95	1995/96
T1	21,4a	22,6a	71a	57a	140a	223a
T2	16,5b	16,4b	72a	48b	168a	119b
T3	16,9b	11,8c	75a	36c	120b	137c
T4	15,2b	11,1c	73a	33c	110ab	190b

Valores con igual letra no difieren estadísticamente, según la prueba de comparación múltiple de Duncan ($P \leq 0,05$).

T1: Riego reponiendo 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante toda la temporada.

T2: Riego con 40% de la ETc durante toda la temporada.

T3: Sin riego hasta inicio de pinta, y reposición de 100% de ETc durante el resto de la temporada.

T4: Riego con 100% de la ETc desde brotación hasta inicio de pinta y sin riego durante el resto de la temporada.

Cuadro 3. Efecto del déficit hídrico en el pH y acidez total del vino**Table 3. Effect of the water stress on the pH and total acidity of wine**

Tratamiento	pH		Acidez total g ácido sulfúrico/ litro de vino	
	1994/95	1995/96	1994/95	1995/96
T1	3,64a	3,55a	4,42b	5,12c
T2	3,59a	3,47a	4,47ab	5,59b
T3	3,70a	3,44a	4,34b	5,64b
T4	3,60a	3,39a	4,51a	6,52a

Valores con igual letra no difieren estadísticamente, según la prueba de comparación múltiple de Duncan ($P \leq 0,05$).

T1: Riego reponiendo 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante toda la temporada.

T2: Riego con 40% de la ETc durante toda la temporada.

T3: Sin riego hasta inicio de pinta, y reposición de 100% de ETc durante el resto de la temporada.

T4: Riego con 100% de la ETc desde brotación hasta inicio de pinta y sin riego durante el resto de la temporada.

En el Cuadro 4 se presentan los niveles de fenoles, antocianinas, intensidad colorante y matiz en el vino para los cuatro tratamientos de riego. Los compuestos fenólicos y antocianinas aumentaron significativamente en los tratamientos con riego limitado. Los fenoles aumentaron en promedio en 26 y 46% en relación con el testigo, durante la primera y segunda temporada de estudio, respectivamente, encontrándose los mayores incrementos en el tratamiento T3. Las antocianinas por su parte, aumentaron en promedio 14 y 24%, en comparación con el tratamiento testigo (T1) durante la primera y segunda temporada de estudio, respectivamente. Los mayores niveles de antocianinas se encontraron en el tratamiento T4. Estos resultados son similares a los descritos por Bravdo *et al.* (1984), Matthews y Anderson (1988), y Puyo (1992), quienes estimaron, además, que el contenido de fenoles aumenta 30 y 15% con déficit antes y después de pinta, respectivamente, en relación con tratamientos con riego continuo. El aumento de los fenoles puede estar relacionado con el hecho que al disminuir el nivel de agua aplicada, disminuye el crecimiento vegetativo y, portanto, los racimos quedarían expuestos a una mayor luminosidad, la cual juega un papel importante en su formación (Crippen y Morrison, 1986).

Cuadro 4. Efecto del déficit hídrico en la composición química del vino**Table 4. Effect of the water stress on chemical composition of the wine**

Tratamiento	Fenoles totales (DO ¹ 280 nm)		Antocianinas (mg L ⁻¹)		Intensidad colorante DO 420+ 520+620 nm	Matiz DO 420/520 nm
	1994/95	1995/96	1994/95	1995/96	1994/95	1994/95
T1	0,57b	0,51b	722c	700c	1,89b	0,69a
T2	0,72a	0,74a	842a	823b	2,06a	0,61a
T3	0,75a	0,77a	801b	841b	2,29a	0,66a
T4	0,68a	0,72a	831a	948a	2,28a	0,61a

Valores con igual letra no difieren estadísticamente, según la prueba de comparación múltiple de Duncan ($P \leq 0,05$).
¹DO = densidad óptica.

T1: Riego reponiendo 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante toda la temporada.

T2: Riego con 40% de la ETc durante toda la temporada.

T3: Sin riego hasta inicio de pinta, y reposición de 100% de ETc durante el resto de la temporada.

T4: Riego con 100% de la ETc desde brotación hasta inicio de pinta y sin riego durante el resto de la temporada.

Las diferencias descritas anteriormente no afectaron el matiz del vino, pero sí la intensidad colorante, la cual fue significativamente menor en el tratamiento con riego continuo. Por su parte, Matthews *et al.* (1990) y Puyo (1992), tampoco encontraron diferencias en cuanto al matiz del vino, pero observaron una mayor intensidad colorante en tratamientos con déficit antes de pinta que con déficit después de dicho período y con riego continuo.

Características sensoriales de los vinos. En el Cuadro 5 se presenta un resumen del análisis sensorial realizado a los vinos. Los tratamientos en los cuales se restringió el aporte hídrico antes y después de pinta (T3 y T4) presentaron una mejor sensación global al compararlos con el tratamiento sin déficit hídrico (T1). Entre los tratamientos con déficit no se detectaron diferencias significativas, sin embargo, el vino de mejor sensación global fue el proveniente del tratamiento sin riego entre pinta y cosecha (T4), mientras que uno de los peores tratamientos fue el que tuvo 100% de reposición de la evapotranspiración durante toda la temporada (T1).

Con respecto al color, las diferencias encontradas en la intensidad colorante (medida instrumental-

mente (Cuadro 4), también fueron detectadas sensorialmente y la mayor intensidad estuvo asociada al mejor color detectado en forma visual. En los tratamientos con restricción de riego los jueces encontraron un mejor color. El vino con menor color se obtuvo en el tratamiento sin limitación de riego (T1). Resultados similares encontraron Matthews *et al.* (1990), quienes sostuvieron que esto se debe, seguramente, a la estimulación de la síntesis de antocianinas por el déficit hídrico.

Entre los atributos descritos, los jueces detectaron más cualidades aromáticas que gustativas en los vinos, las cuales fueron significativamente superiores en los tratamientos con restricción de riego con respecto al testigo (T1). Resultados similares encontraron Matthews *et al.* (1990), quienes observaron que los jueces fueron capaces de detectar más fácilmente características aromáticas que las relacionadas con el sabor. El olor varietal más típico (pimiento y bayas) y gusto franco se obtuvo en el tratamiento con limitación de riego después de pinta (T4), y el menor se obtuvo en tratamientos con 40 y 100% de reposición de la ETC durante toda la temporada (T1 y T2). Los tratamientos con restricción (T2, T3 y T4) mostraron en general mejores sensaciones en la boca.

Cuadro 5. Efecto del déficit hídrico en las características organolépticas del vino
Table 5. Effect of the water stress on organoleptic characteristic of wine

Tratamiento	Sensación global		Color		Total atributos		Total defectos	
	1994/95	1995/96	1994/95	1995/96	1994/95	1995/96	1994/95	1995/96
T1	12,3b	12,6b	3,5b	3,8b	20b	19b	54a	51a
T2	18,8ab	19,3ab	4,9a	4,2a	23b	24b	31a	31b
T3	20,0a	21,1a	4,3a	4,5a	37a	38ab	20ab	24ab
T4	23,8a	24,3a	4,8a	4,8a	48a	53a	16b	17c

Valores seguidos de igual letra no difieren estadísticamente, según la prueba de comparación múltiple para variables no paramétricas de Nemenji ($P \leq 0,05$).

T1: Riego reponiendo el 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante toda la temporada.

T2: Riego con un 40% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante toda la temporada.

T3: Sin riego hasta inicio de pinta, y reposición del 100% de ETc durante el resto de la temporada.

T4: Riego con 100% de la ETc desde brotación hasta inicio de pinta y sin riego durante el resto de la temporada.

El menor número de defectos se encontró en el tratamiento sin riego entre pinta y cosecha (T4), entre los que se destaca el gusto a pámpanos, leve gusto a hierba encontrados por gran parte de los jueces en los tratamientos T1 (sin limitación de riego) y T2 (40% de reposición de la ETc durante toda la temporada).

CONCLUSIONES

- La disminución del aporte hídrico redujo en forma significativa el rendimiento total. La restricción en el período comprendido entre brotación y pinta (T3) determinó las mayores disminuciones de esta variable.
- La restricción del riego aumentó la intensidad colorante, concentración de fenoles, antocianinas y la acidez titulable.
- La restricción de riego entre pinta y cosecha (T4) aumentó en mayor grado la acidez titulable en el vino y la concentración de antocianinas.
- Los atributos y la calidad global del vino se vieron favorecidos con una disminución del aporte hídrico, en especial después de pinta.
- El potencial hídrico xilemático (SWP) y el índice de estrés hídrico del cultivo (PWSI) son indicadores adecuados del estado hídrico de las plantas y pueden ser útiles para controlar estrés hídrico en vides para vino.

LITERATURA CITADA

- Allen, R., L. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. 300 p. Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy.
- Bravdo, B., Y. Hepner, C. Loinger, S. Cohen, and H. Tabackman. 1984. Effet de l'irrigation et de l'alimentation minérale sur la qualité du moünt et des vins. *Bull. de l' O.I.V.* 57:729-740.
- Bravdo, B., and A. Naor. 1997. Effect of water regime on productivity and quality of fruit and wine. *Acta Hort.* 427:15-26.
- Crippen, M., and J. Morrison. 1986. The effects of sun exposure on the phenolics content of Cabernet Sauvignon berries during development. *Am. J. Enol. Vitic.* 37:243-247.
- Goldhamer, D.A., E. Fereres, and M. Cohen. 1999. Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 124:437-444.
- Goodwin, I., and I. Macrae. 1990. Regulated deficit irrigation of Cabernet Sauvignon grapevines. *The Australian and New Zealand Wine Industry Journal* 5:131-133.
- Grimes, D., and L. Williams. 1990. Irrigation effects on plant water relations and productivity of Thompsom Seedless grapevines. *Crop Sci.* 30:255-260.
- Idso, S.B., R.J. Reginato, D.C. Reicosky, and J.L. Hatfield. 1981. Determining soil-induced plant water potential depressions in alfalfa by means of infrared termometry. *Agron. J.* 73: 826-830.
- Jackson, D., and P. Lombard. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality. A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 44:409-430.
- Kirk, R.E. 1968. *Experimental design: procedures for the behavioral sciences.* 577 p. Belmont, California, USA.

- Matthews, M., M. Anderson, and H. Shultz. 1987. Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet franc. *Vitis* 26:147-160.
- Matthews, M., and M. Anderson. 1988. Fruit ripening in *Vitis vinifera*: responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* 39:313-320.
- Matthews, M., and M. Anderson. 1989. Reproductive development in grape (*Vitis vinifera* L.): responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* 40:16-26.
- Matthews, M., R. Ishii, M. Anderson, and M. O'mahony. 1990. Dependence of wine sensory attributes on vine water status. *J. Sci. Food Agric.* 51:231-335.
- Meyer, W., and D. Reickosky. 1985. Enclosing leaves for water potential measurements and its effects on interpreting soil induced water stress. *Agric. Meteorol.* 35:87-192.
- Nadal, M., and L. Arola. 1995. Effects of limited irrigation on the composition of must and wine of Cabernet Sauvignon under semi-arid conditions. *Vitis* 34:151-154.
- Ough, C.S. 1992. Tratado básico de enología. 294 p. trad. Concepción Llaguno y María Dolores Cabezu. Acribia, Zaragoza, España.
- Poni, S., A. Lakso., J. Turner., and R. Melious. 1994. Interactions of crop level and late season water stress on growth and physiology of field-grown Concord grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 45:252-258.
- Puyo, M. 1992. Influencia de diferentes regímenes de riego sobre el desarrollo vegetativo, productividad, maduración y calidad de vinos Cabernet Sauvignon. 101 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.
- Reynolds, A., and A. Naylor. 1994. Pinot noir and Riesling grapevines respond to water stress duration and soil water-holding capacity. *HortScience* 29:1505-1510.
- SAG. 1999. Vinos y Viñas. Catastro Vitícola Nacional. Disponible en <http://www.sag.gob.cl>. Leído el 5 de mayo 2002.
- Schultz, H., and M. Matthews. 1993. Growth, osmotic adjustment, and cell-wall mechanics of expanding grape leaves during water deficits. *Crop Sci.* 33:287-294.
- Stevens, R., and G. Harvey. 1996. Soil water depletion rates under large grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 2:155-162.
- Ureta, F. 1984. Manual de análisis de vino. 301 p. Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.
- Ussahatanonta, S., D. Jackson, and R. Rowe. 1996. Effects of nutrient and water stress on vegetative and reproductive growth in *Vitis vinifera* L. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 2:64-69.
- Winkel, T., and S. Rambal. 1993. Influence of water stress on grapevines growing in the field: from leaf to whole plant response. *Aust. J. Plant Physiol.* 20:143-157.