Influencia del Riego Deficitario Controlado Sobre el Desarrollo de las Bayas y la Composición Química de los Mostos y Vinos

L. A. Gurovich[1] y C. I. Páez
Departamento de Fruticultura y Enología
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal
Pontificia Universidad Católica de Chile
Casilla 306-22, Santiago, Chile

Abstract

L. Gurovich and C. Páez. Controlled deficit irrigation effects on berry growth and must and wine composition. A field study was conducted throughout the 2000-2001 season, at Viña Santa Rita, Alto Jahuel, Chile. The effects of early and late water deficits on yield, berry, must and wine composition were studied in vines (*Vitis vinifera* L.) cv. Chardonnay, Sauvignon blanc, Cabernet sauvignon and Carménère. Early water deficits reduced significantly berry size in three of the four cultivars analyzed, but berry weight and yield were not affected. Must density and soluble solids content were significantly higher for early water deficit treatments. Wine ethanol content, as well as glycerol, total polyphenols, anthocyanine concentrations and color density were higher in plants with early season water deficits and wine hew was lower. Water deficits effects on cell division for cv. Cabernet sauvignon and Carménère berries was indirectly determined by DNA extraction and quantification. Results indicate that early season water deficits reduce cell division of Cabernet sauvignon berries, thereby limiting its subsequent growth and berry size at harvest.

Key words: Berry growth, cell division, DNA, *Vitis vinifera*, water deficit, wine attributes

INTRODUCCION

La productividad de la mayoría de los cultivos está directamente relacionada con el volumen de agua consumida a través del proceso de evapotranspiración (ET); mantener un contenido de agua que no limite la tasa de ET en el suelo durante toda la temporada de producción es la estrategia más exitosa para maximizar la productividad de los cultivos. Sin embargo, la producción de uvas (*Vitis vinifera* L.) para elaborar vinos de alta calidad requiere una estrategia de riego que aporte menos agua que los requerimientos evapotranspirativos totales de la vid, durante algunos períodos en las diferentes etapas fenológicas del desarrollo anual; esta estrategia se denomina riego deficitario controlado (RDC). El déficit hídrico se produce cuando la tasa de pérdida de agua por transpiración es mayor que la de absorción de agua por las raíces. Las estrategias de RDC son utilizadas para causar déficits hídricos programados en períodos de tiempos específicos y con intensidades varia-

Recibido 15 de enero 2003 / Aceptado 16 de agosto 2004
[1] Dirigir Correspondencia a L. Gurovich: lgurovic@uc.cl

bles. (Mathews *et al*., 1990 ; Bravdo *et al*., 1997; Gurovich, 1998 ; Dry *et al*., 2001)

El riego deficitario en la vid tiene dos objetivos principales: la obtención de racimos con bayas de diámetro reducido, y el control del crecimiento vegetativo de la planta, lo que se puede lograr modificando el balance entre el desarrollo vegetativo y reproductivo de la vid (Ginestar *et al*., 1998 a y b; Goodwin y Macrae, 1990; McCarthy, 1997; Matthews *et al*., 1987). De esta manera, se crean condiciones micro-climáticas óptimas en los racimos, caracterizadas por una menor humedad relativa y una mayor iluminación de las bayas (Muñoz, 2002), así como un incremento en la relación entre la cutícula y la pulpa, aspecto fundamental, considerando que la mayor parte de los compuestos orgánicos del vino que determinan su coloración, sabor y aroma se encuentran en la piel de la fruta (Esteban *et al*., 2001; Kennedy *et al*., 2001; Peterlunger *et al*., 2002; Singleton, 1972).

El déficit hídrico controlado tiene un efecto sobre la activación de varios mecanismos de respuesta morfológica y fisiológica de la vid, afectando principalmente la conductancia estomática Un cierre parcial de estomas determina una menor transpiración y una reducción en la fotosíntesis neta. (Poni *et al*., 1993; Reynolds y Taylor, 1994; Lovisolo y Schubert, 1998; Koundouras *et al*., 1999).

El estrés hídrico reduce el crecimiento de las bayas, sin que sus efectos alteren la forma de la curva de crecimiento (Coombe y McCarthy, 2000), aunque afecta significativamente la duración de cada uno de los tres estadios de crecimiento del fruto (Ojeda *et al*., 2001). Diversos autores (Greenspan *et al*., 1994 y 1996; Lakso, 2000; Smart, 1974; Van Zyl, 1984) han demostrado que el RDC durante el estadio I de crecimiento, afecta negativamente la división celular y por esta causa, las bayas no alcanzan su potencial de crecimiento. Este efecto es menos intenso sí el RDC ocurre durante los estadios II y III, etapas en las que el crecimiento de la baya se debe principalmente a la elongación celular.

Cuando el aporte hídrico no es restrictivo durante el periodo de maduración (estadio III), esto es, cuando el agua del riego almacenada en el suelo se encuentra disponible sin restricciones a partir de la pinta, el diámetro final de la baya al momento de la cosecha puede recuperarse parcialmente, sí durante los estadios I y II han ocurrido situaciones de RDC. Sin embargo, esta recuperación de tamaño es mayor si el RDC ocurrió durante el estadio II, en comparación con situaciones de RDC en el estadio I (Poni *et al*., 1994; Van Zyl, 1984).

El número y el tamaño de las células, y la cantidad de semillas determinan el tamaño final de una baya. Sin embargo, muy pocos trabajos han involucrado estudios de estas variables con relación al RDC, ya que las técnicas para evaluar sus efectos son de alta complejidad (Considine y Knox 1981; Ojeda *et al*., 1999; Staudt *et al*., 1986). En la literatura se ha descrito relaciones lineales entre la cantidad de ácido desoxiribonucleico (ADN) en un tejido vegetal y el número celular existente

en éste (Gardner y Nieman 1964; Kirkham *et al*., 1972). Observaciones directas desde cortes transversales de tejido de pericarpio, permiten estimar el volumen y número celular. Sin embargo, la rápida degradación biológica del tejido, y la imposibilidad de analizar grandes cantidades de bayas en poco tiempo, representan serias limitaciones para este tipo de análisis.

La extracción, purificación y cuantificación de ADN, como método alternativo de análisis celular, permite trabajar sobre material congelado, siendo posible homogeneizar más de una baya al mismo tiempo, obteniéndose datos más representativos de los efectos del RDC sobre la estructura celular (Ojeda *et al*., 1999). Según Ojeda *et al*. (2001) la influencia del déficit hídrico sobre el crecimiento de las bayas del cv. Syrah, utilizando una similar técnica de extracción y cuantificación de ADN a la utilizada en este estudio, pero extrayendo las semillas previo al congelado de la muestra, no tendría efecto en el contenido de ADN, concluyendo que el déficit hídrico no afectaría la división celular, y sólo reduciría el tamaño de las bayas al disminuir el volumen celular.

Este trabajo tuvo como objetivos evaluar experimentalmente los efectos del riego deficitario sobre el tamaño de la baya y la calidad del vino producido con uvas de los cultivares Chardonnay, Sauvignon blanc, Cabernet sauvignon y Carménère.

MATERIALES Y METODOS

Antecedentes generales. La investigación se realizó durante la temporada 2000-2001 en viñedos, ubicados en Alto Jahuel, Región Metropolitana. En cuatro experimentos independientes, correspondientes a dos cultivares blancos (cv. Chardonnay y Sauvignon blanc), y a dos cultivares tintos (cv. Cabernet sauvignon y Carménère) se implementó tratamientos de RDC. En estas viñas, la distancia de plantación fue 1,2 m x 2,5 m (3.333 plantas·ha^{-1}), con una orientación norte-sur, y con un sistema de conducción en espaldera. El suelo donde se realizaron los experimentos de riego es franco-arenoso, uniforme, plano y profundo (Molina, 2001). El sistema de riego tecnificado de aplicación localizada consistió en un equipo de riego con goteros de descarga unitaria de 4 L·h^{-1}, auto compensados, en tuberías de polietileno de 12 mm de diámetro.

La zona se caracteriza climáticamente por una temperatura media anual de 14ºC, con una máxima media del mes más cálido (enero) de 29ºC y una mínima media del mes más frío (Julio) de 2,8ºC. Presenta una precipitación anual de 370 mm, siendo julio el mes más lluvioso, con 96,4 mm. La estación seca se extiende entre noviembre y abril, inclusive (Molina, 2001).

Descripción de los experimentos. Para cada una de los cuatro cultivares se diseñó un conjunto de parcelas experimentales asociadas a diferentes regímenes de riego, distribuidas en el campo de acuerdo con el modelo estadístico de bloques completos al azar. En cada cultivar se probaron diferentes tratamientos de riego deficitario, con tres repeticiones cada uno. Los déficits hídricos

tempranos y tardíos, se efectuaron de acuerdo con las distintas etapas fenológicas y correspondieron a los tratamientos siguientes:

1. Vid cv. Chardonnay: *Tratamiento 1*, seco entre 0 (10-noviembre, floración) y 38 DDF (prepinta) y entre los 88 y 108 DDF (28-febrero, cosecha). *Tratamiento 2*, seco entre 0 y 38 DDF y 66 a 108 DDF. *Tratamiento 3*, seco entre 0 y 66 DDF y entre 88 y 108 DDF. *Tratamiento 4*, seco entre 0 y 108 DDF.
2. Vid cv. Sauvignon blanc: *Tratamiento 1*, seco entre 65 (20-enero, pinta) y 106 DDF (cosecha). *Tratamiento 2*, seco entre 64 (pinta) y 106 DDF. *Tratamiento 3*, seco entre 0 (17-noviembre, floración) y 64 DDF y entre 65 y 106 DDF. *Tratamiento 4*, seco entre 0 y 33 DDF y entre 65 y 106 DDF. *Tratamiento 5*, seco entre 33 y 106 DDF.
3. Vid cv. Cabernet sauvignon: *Tratamiento 1*, seco entre 115 y 119 DDF (4-abril, cosecha). *Tratamiento 2*, seco entre 56 (30-enero, pinta) y 119 DDF. *Tratamiento 3*, seco entre 0 (floración) y 56 DDF (pinta) y entre 115 y 119 DDF. *Tratamiento 4*, seco entre 0 y 25 DDF y entre 115 y 119 DDF. *Tratamiento 5*, seco entre 0 y 25 DDF y entre 87 y 119 DDF. *Tratamiento 6*, seco entre 25 y 87 DDF y entre 115 y 119 DDF.
4. Vid cv. Carménère: *Tratamiento 1*, seco entre 83 (5-marzo) y 127 DDF (18-abril, cosecha). *Tratamiento 2*, seco entre 55 (5-febrero, pinta) y 127 DDF. *Tratamiento 3*, seco entre 0 (12-diciembre, floración) y 55 DDF y entre 83 y 127 DDF. *Tratamiento 4*, seco entre 0 y 24 DDF y entre 83 y 127 DDF. *Tratamiento 5*, seco entre 24 y 127 DDF.

Cada unidad experimental tuvo 100 plantas, distribuidas en cinco hileras de 20 plantas. Para minimizar el efecto borde correspondiente a los posibles movimientos sub-superficiales del agua desde unidades experimentales adyacentes, se realizaron mediciones únicamente en las 10 plantas centrales de la hilera central de cada parcela, dejando dos hileras de borde para cada lado y cinco plantas en cada extremo de la hilera central como borde.

Balance hídrico. Con el fin de cuantificar el estado hídrico de las plantas durante el periodo de experimentación, se realizó un balance hídrico, considerando el aporte de agua del riego y las lluvias, y el agua consumida por evapotranspiración (Cuadro 1).

Cuadro 1. Balance hídrico en los cuatro cultivares de vid (*Vitis vinifera*), considerando el total de la temporada de crecimiento.
Table 1. *Water balance in grapevine (*Vitis vinifera*) four cultivars, for the in tire growing season.*

Cultivar [2]	Aporte hídrico Lluvia + Riego	Consumo hídrico Efectivo[1]	Deficit
	mm	mm	mm
Cabernet sauvignon	206,7	437,6	- 203,9
Carménère	222,7	466,1	- 243,4
Chardonnay	278,1	449,4	- 170,7
Sauvignon blanc	498,7	433,1	66,7

[1] Evapotranspiración potencial del cultivo por el coeficiente de cultivo (K_c).

[2] (Aporte hídrico - consumo hídrico).

Evaluación del rendimiento. Se cosechó la totalidad de los racimos de las 10 plantas centrales de cada parcela experimental y, considerando la distancia de plantación, se calculó la producción en toneladas por hectárea.

Evaluación de las características de las bayas. Después de cosechar la producción total de las 10 plantas centrales, de cada unidad experimental,

se procedió a recolectar al azar muestras de 10 bayas por repetición de cada tratamiento de riego, para determinar su diámetro, utilizando un pie de metro electrónico. Asimismo, se pesaron 100 bayas provenientes de cada parcela experimental en una balanza digital. Con estos parámetros se determinó la superficie específica de las bayas (m^2 cutícula·kg^{-1} de uva), suponiendo una forma esférica de la baya.

Superficie específica $= 4\,\pi \cdot r^2\,(m^2) \cdot N^o$ *bayas·* kg^{-1} *de uva*

Determinación de las características químicas del mosto. Se utilizaron 100 bayas de cada parcela experimental, escogidas al azar del total de las bayas cosechadas de las 10 plantas centrales, para extraer el mosto. En éste se determinó la acidez total, mediante titulación con NaOH 0,1N en presencia de indicador de azul de bromotimol ($Pk_a = 7,1$); la concentración de sólidos solubles (°Brix) y el pH; la densidad del mosto se midió en una alicuota del

Cuadro 2. Efecto de los tratamientos de riego deficitario sobre el rendimiento, el diámetro promedio, el peso y la superficie específica de las bayas de los cv. Chardonnay, Sauvignon blanc, Cabernet sauvignon y Carménère.
Table 2*. The effect of deficit irrigation strategies on yield, diameter, weight and specific surface on berries, cv. Chardonnay, Sauvignon blanc, Cabernet sauvignon and Carménère.*

Cultivar Tratamiento	Rendimiento ton·ha^{-1}	Diámetro de bayas mm	Peso de 100 bayas, g	Superficie específica $m^2 \cdot kg^{-1}$
		Chardonnay		
T1	6,14	13,37 a[1]	143,6	0,40
T2	5,52	12,83 a	124,9	0,42
T3	4,51	12,04 b	116,3	0,41
T4	4,19	12,18 b	122,3	0,42
Valor p	0,099	0,009	0,270	0,989
		Sauvignon blanc		
T1	13,1	13,00	153,4	0,35
T2	12,0	13,46	165,0	0,35
T3	11,4	12,58	162,8	0,31
T4	13,7	13,43	150,2	0,38
T5	13,3	12,86	149,0	0,35
Valor p	0,692	0,064	0,578	0,119
		Cabernet sauvignon		
T1	5,8	11,77 a	107,1	0,41
T2	6,9	11,61 a	102,7	0,42
T3	5,2	10,86 b	95,8	0,39
T4	6,4	11,45 a	96,5	0,43
T5	5,1	11,34 a	102,2	0,40
T6	5,8	11,45 a	105,3	0,39
Valor p	0,871	0,042	0,770	0,756
		Carménère		
T1	6,3	12,51 a	124,0	0,40
T2	5,9	12,01 a	121,5	0,38
T3	6,0	11,35 b	121,1	-
T4	6,3	12,53 a	124,2	0,40
T5	5,9	11,99 a	121,1	0,37
Valor p	0,992	0,012	0,845	0,774

[1] Valores seguidos de igual letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de comparación múltiple de Tukey-Kramer ($p < 0,05$).

mosto extraído previo a la microvinificación, de acuerdo con la metodología descrita por Bordeu y Scarpa (1998).

La microvinificación se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Ribereau-Gayon, Debourdieu *et al.* (2001).

Determinación de la composición química del vino. Se realizó una microvinificación del mosto proveniente de cada parcela experimental, de acuerdo con Pszczólkowski *et al*. (2000). Los vinos obtenidos fueron analizados automáticamente en un analizador Winescan, modelo FT120 marca Foss; estas determinaciones se hicieron en los laboratorios de la empresa Liec, en Ciudad Real, España. Las variables analizadas para los cv. blancos fueron: etanol, pH, acidez total y glicerol. Para los cv. tintos se analizó los mismos parámetros anteriores, más índice de Folin (contenido de los compuestos fenólicos totales presentes en el vino,

Cuadro 3. Efecto del riego deficitario controlado sobre la acidez, densidad y contenido de sólidos solubles del mosto de los cvs. Chardonnay Sauvignon blanc, Cabernet Sauvignon y Carménère.
Table 3. *The effect of deficit irrigation strategies on must characteristics for cv. Chardonnay Sauvignon blanc, Cabernet Sauvignon and Carménère.*

Cultivar Tratamiento	Acidez total[1] g. L^{-1}	pH	Densidad g. L^{-1}	Contenido de sólidos solubles %
		Chardonnay		
T1	3,5	3,7	1098 b[2]	23,5 b[2]
T2	3,3	3,6	1103 ab	24,1 ab
T3	3,3	3,7	1102 ab	24,1 ab
T4	3,2	3,7	1108 a	24,7 a
Valor *p*	0,889	0,954	0,027	0,033
		Sauvignon blanc		
T1	3,7	3,4	1088	21,3
T2	3,5	3,6	1092	22,6
T3	3,6	3,6	1091	21,6
T4	3,3	3,7	1094	21,6
T5	3,3	3,5	1090	21,8
Valor *p*	0,753	0,957	0,949	0,882
		Cabernet sauvignon		
T1	2,9	3,8	1106 b	25,4 b
T2	2,8	4,0	1107 b	25,5 b
T3	3,1	3,8	1119 a	27,9 a
T4	2,5	4,0	1109 b	25,9 b
T5	2,7	3,6	1108 b	25,7 b
T6	2,7	3,9	1114 ab	26,1 b
Valor *p*	0,762	0,775	0,008	< 0,001
		Carménère		
T1	*3,6*	*3,8*	*1111*	*25,8*
T2	2,6	3,8	1108	25,8
T3	3,5	3,9	1109	25,8
T4	3,1	4,0	1110	25,9
T5	3,4	4,0	1111	26,3
Valor *p*	0,307	0,124	0,486	0,198

[1] La acidez total está expresada en g. L^{-1} de ácido sulfúrico.
[2] Valores seguidos de igual letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de comparación múltiple de Tukey-Kramer ($p < 0,05$).

Bordeu y Scarpa, 1998), intensidad colorante, matiz y concentración de antocianos.

Cuantificación del ADN. Se realizaron extracciones y determinaciones cuantitativas de ADN de bayas tintas provenientes de las plantas sometidas a algunos de los tratamientos de RDC. Las bayas fueron congeladas con nitrógeno líquido y almacenadas a -70°C hasta su posterior manipulación. Para cada tratamiento se realizaron tres extracciones de ADN; en cada extracción fueron utilizadas 4 bayas escogidas al azar, a las que se les midió su diámetro para asegurarse de que fueran representativas de la población. La congelación de las bayas se realizó sin la extracción de sus semillas, intentando conservar los tejidos intactos para disminuir el riesgo de degradación del ADN, lo que podría influir sobre su cuantificación posterior. Por lo tanto, las cantidades de ADN que se muestran en los resultados corresponden a la suma del ácido nucleico contenido en el exocarpio, mesocarpio, endocarpio y las semillas de las bayas; se utilizó bayas que contenían solo tres semillas completamente desarrolladas. El protocolo de extracción de ADN se basa en el método descrito por Ausubel *et al*. (1998).

Diseño experimental y análisis estadístico. El análisis estadístico de las variables paramétricas obtenidas a partir de bayas, mostos, y vinos se realizó mediante un análisis de varianza (ANDEVA) basado en un modelo de diseño experimental de bloques completos al azar, con el apoyo de los programas estadísticos MINITAB y SAS. Cuando las medias de los tratamientos de RDC mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$), se aplicó una prueba de comparación múltiple de Tukey – Kramer.

Cuadro 4. Características químicas de los vinos blancos elaborados a partir de uvas producidas con diferentes déficit hídricos.

Table 4. *White wines: chemical characterization of white wine obtained with grapes produced with a different water deficit regimes.*

Cultivar Tratamiento	Grado alcohol (°GL)	Acidez Total[1] g. L^{-1}	pH	Glicerol g. L^{-1}
		Chardonnay		
T1	14,4 b[2]	4,7	3,1	8,1 b[2]
T2	14,9 b	4,8	3,1	8,2 b
T3	14,8 b	4,4	3,1	8,0 b
T4	15,6 a	4,7	3,1	8,6 a
Valor *p*	0,003	0,445	0,970	0,026
		Sauvignon blanc		
T1	12,6	4,4	3,1	5,8
T2	13,2	4,3	3,2	5,8
T3	13,0	4,4	3,0	5,9
T4	12,9	4,6	3,1	6,3
T5	12,8	4,4	3,1	5,6
Valor *p*	0,858	0,790	0,797	0,680

[1] La acidez total está expresada en g. L^{-1} de ácido sulfúrico.

[2] Valores seguidos de igual letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de comparación múltiple

RESULTADOS

Efecto del riego deficitario sobre la productividad y las características físicas de las bayas. Los tratamientos de riego deficitario aplicados entre brotación y pinta sólo modificaron significativamente el diámetro de las bayas en los cultivares

Chardonnay, Cabernet sauvignon y Carménère. En el cv. Sauvignon blanc las diferencias en diámetro de las bayas no fueron estadísticamente significativas (Cuadro 2). En los cuatro cultivares, los efectos de los tratamientos de RDC sobre el rendimiento, el peso y la superficie específica de las bayas, no fueron significativos.

Considerando cada cultivar en forma independiente, las diferencias en rendimiento para los diferentes tratamientos de riego deficitario controlado no resultaron estadísticamente significativas.

Efectos del riego deficitario controlado sobre las características del mosto. Las diferencias en las concentraciones de sólidos solubles obtenidos a partir de bayas de los diversos tratamientos de RDC, en los cv. Chardonnay y Cabernet sauvignon (Cuadro 3), fueron estadísticamente significativas; para los otros dos cultivares, todos los mostos tuvieron concentraciones de sólidos solubles estadísticamente similares.

Cuadro 5. Efectos de diferentes tratamientos de riego deficitario controlado sobre las características químicas de los vinos tintos.

Table 5. *The effects of deficit irrigation strategies on red wines chemical characteristics.*

Cultivar nos Tratamiento	Grado alcohol (°GL)	Acidez Total[1] g. L^{-1}	pH	Glicerol g. L^{-1}	I. Folin	Intensidad	Matiz	Antocia- mg. L^{-1}
				Cabernet sauvignon				
T1	14,3 b	3,7	3,9	8,8 c	44 b	10,1 c	0,72 a	345 b
T2	14,7 ab	3,7	3,9	9,9 abc	53 ab	12,8 bc	0,67 ab	424 ab
T3	15,9 a	4,1	3,8	11,3 a	59 a	19,3 a	0,57 c	469 a
T4	14,9 ab	4,1	3,8	10,3 ab	59 a	15,3 b	0,63 bc	465 a
T5	15,0 ab	4,1	3,9	9,3 bc	51 ab	11,7 bc	0,67 ab	403 ab
T6	15,5 a	4,3	3,8	10,9 a	47 b	13,4 bc	0,62 bc	417 ab
Valor p	0,025	0,099	0,103	0,003	0,006	0,002	0,006	0,015
				Carménère				
T1	14,4	2,8	4,5	10,9	46	16,2	0,76	493
T2	15,1	3,0	4,4	10,8	49	19,8	0,74	531
T3	13,3	3,0	4,4	10,1	50	18,5	0,75	474
T4	15,0	3,0	4,4	11,3	48	18,2	0,75	490
T5	14,3	2,8	4,4	10,9	48	17,9	0,77	538
Valor p	0,880	0,770	0,424	0,980	0,060	0,660	0,892	0,794

[1]La acidez total está expresada en g. L^{-1} de ácido sulfúrico. Valores seguidos de igual letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de comparación múltiple de Tukey-Kramer ($p < 0,05$).

En el cv. Chardonnay la menor concentración de sólidos solubles del mosto correspondió al *Tratamiento 1*, tratamiento control, que fue la estrategia de riego del productor; con una diferencia significativa para el *Tratamiento 4*, correspondiente a RDC continuo en toda la temporada, que presentó la mayor concentración de sólidos solubles del mosto; los mostos correspondientes al resto de los tratamientos de RDC no se diferenciaron del tratamiento , ni del *Tratamiento 4* (Cuadro 3).

En el cv. Cabernet sauvignon la menor concentración de sólidos solubles del mosto correspondió al *Tratamiento 1*, tratamiento control, los *Tratamientos 3* y *6* registraron los valores más altos de concentración de sólidos solubles, aunque la diferencia fue estadísticamente significativa ($p<0,05$) sólo entre el tratamiento control y el *Tratamiento 3* (Cuadro 3). Resulta evidente que existe una re-

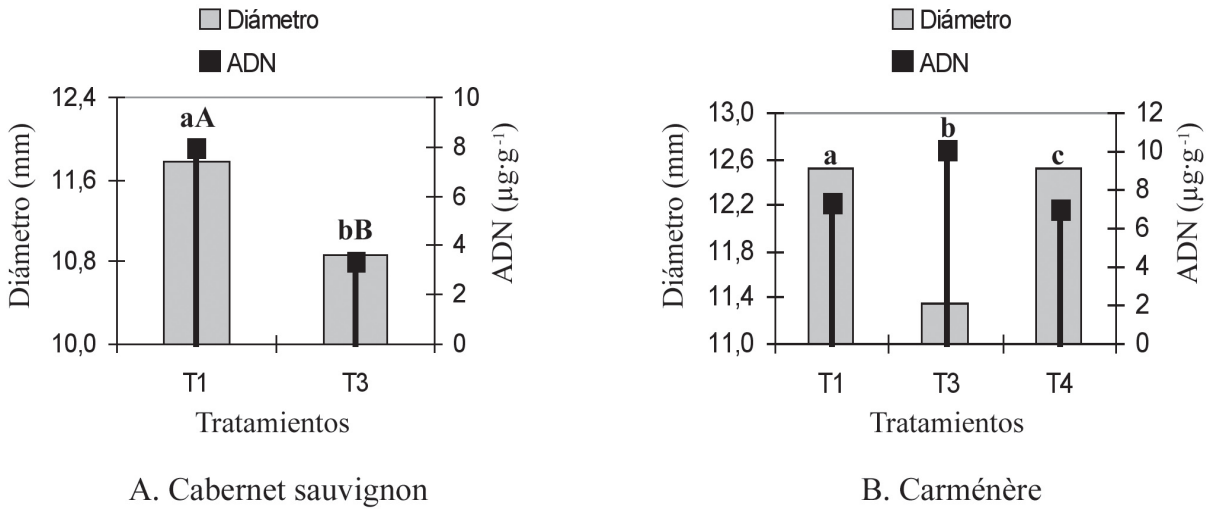

Figura 1. Relación entre el diámetro de bayas y la concentración de ADN en bayas de vid en los cv. (a) Cabernet sauvignon y (b) Carménère. Las letras mayúsculas muestran diferencias estadísticas en el contenido de ADN.

Figure 1. *Berry diameter and DNA concentration relations in cv. Cabernet sauvignon (a) and Carménère (b). Capitals indicate statistical differences on DNA concentrations.*

lación inversa bastante estrecha entre la concentración de sólidos solubles del mosto, con respecto al diámetro de la baya, que puede ser modificada con diversos tratamientos de RDC. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre acidez total y pH de los mostos obtenidos.

Es importante señalar que en el cv. Sauvignon blanc no hubo los RDC no tuvieron un efecto significativo en la calidad de los mostos obtenidos, posiblemente debido a que este cultivar recibió una lámina de riego total en la temporada casi un 100% mayor que los otros tres cultivares.

Efecto del riego deficitario sobre las características del vino. Vinos blancos: Las menores concentraciones de etanol y glicerol correspondieron al *Tratamiento 1*, tratamiento control, (Cuadro 4) y estas diferencias fueron estadísticamente significativas para el cv. Chardonnay. No se encontraron diferencias significativas en la acidez total, ni en el pH. Los vinos obtenidos de los tratamientos de riego deficitario en el cv. Sauvignon blanc no resultaron estadísticamente diferentes, posiblemente porque la lámina de riego utilizada en este cultivar fue casi el doble de la lámina utilizada en los otros tres cultivares.

Vinos tintos: En el cv. Cabernet sauvignon los tratamientos de RDC presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) en sus contenidos de etanol, glicerol, índice de Folin, intensidad, matiz y contenido de antocianos. No se encontraron diferencias significativas en la acidez total, ni en el pH. Las concentraciones de grado alcohólico y glicerol presentaron los valores más altos en el *Tratamiento 3*, que correspondió a déficit de riego entre floración y pinta, y en el *Tratamiento 6*, correspondiente a restricción hídrica entre 30 días antes y después de pinta (Cuadro 5). Estos resultados fueron compatibles con las altas concentraciones de sólidos solubles de los mostos respectivos (Cuadro 3).

El índice de Folin fue mayor en los *Tratamientos 3* y *4*; el tratamiento control registró el menor índice de Folin (Cuadro 5). La intensidad colorante fue mayor en los vinos correspondientes a los *Tratamientos 3* y *4*, que difieren significativamente ($p<0,05$) del tratamiento control. El *Tratamiento 6* también presentó diferencias estadísticas significativas en comparación con el tratamiento control (Cuadro 5). Por último, el contenido de antocianos fue más alto en los *Tratamientos 3* y *4*, y menor en el tratamiento control. En el cv. Carménère, los parámetros medidos en los vinos de los diferentes tratamientos de RDC no tuvieron diferencias estadísticamente significativas, posiblemente por la sobre madurez de las bayas al momento de la cosecha.

Efecto del riego deficitario sobre el contenido de ADN de las bayas de Cabernet sauvignon y Carménère. En este estudio, sólo el cv. Cabernet sauvignon mostró diferencias estadísticamente significativas en la cantidad de ADN presente en el tejido, producto de los diferentes tratamientos de RDC. En el cv. Cabernet sauvignon se analizaron los tratamientos control (*Tratamiento 1*) y el *Tratamiento 3*; en el cv. Carménère se agregó el *Tratamiento 4*, en atención a las diferencias encontradas en el diámetro final de bayas.

En el cv. Cabernet sauvignon las bayas del *Tratamiento 3*, déficit hídrico entre floración y pinta, presentaron la menor cantidad de ADN por unidad de masa, difiriendo significativamente del tratamiento control (*Tratamiento 1*). En el cv. Carménère no hubo diferencias significativas en el contenido de ADN por gramo de tejido (Figura 1) en las bayas provenientes de los tratamientos de RDC. En el cv. Cabernet sauvignon las bayas de mayor diámetro presentaron mayor contenido de ADN, mientras que las de menor diámetro, menor contenido de ADN. En el cv. Carménère las bayas de distinto diámetro no presentaron diferencias estadísticas en su contenido de ADN (Figura 1).

DISCUSION

De acuerdo con los resultados obtenidos, tres de cuatro cultivares para vinificación mostraron cambios en el diámetro de las bayas, al someterlos a diferentes regímenes de RDC. El cv. Sauvignon blanc recibió una lámina de riego equivalente al doble de la lámina aplicada en los otros cultivares; posiblemente por este motivo, en este cultivar no hubo diferencias estadísticamente significativas en el diámetro de las bayas, ni en las características de los mostos y de los vinos producidos; resultados similares han sido publicados por Bravdo *et al.,* (1997) y por Goodwin y Macrae, (1990).

Los regímenes hídricos deficitarios tempranos en la temporada de crecimiento de la vid, mantenidos en el tiempo hasta la etapa de pinta, reducen el diámetro de las bayas al momento de la cosecha, con respecto al tamaño potencial de las bayas de los distintos cultivares. Esta reducción se puede revertir parcialmente, si el riego posterior a la pinta no es restrictivo. Estos resultados concuerdan con la información publicada por Ojeda *et al*. (2001), en experimentos de riego deficitario en vid cv. Syrah, aunque estos investigadores reportaron diferencias significativas también en el peso de las bayas, como efecto de los diferentes tratamientos evaluados; Coombe y McCarthy (2000), presentan resultados muy similares a aquellos obtenidos en esta investigación..

El efecto del riego deficitario aplicado tardíamente, a partir de 30 días antes de pinta, parece indicar que para reducir el tamaño de las bayas, el riego deficitario debe ser aplicado desde el principio de la temporada, es decir, desde la floración y se debe mantener hasta la pinta. Los resultados obtenidos en el *Tratamiento 5* del cv. Cabernet sauvignon confirman el reducido efecto de esta estrategia de RDC, ya que las bayas no disminuyeron sig-

nificativamente su diámetro final. Asimismo, los RDC tardíos, aplicados entre pinta y cosecha (*Tratamiento 2*) no disminuyeron significativamente en el diámetro de las bayas en el momento de la cosecha. Estos resultados concuerdan con los trabajos de Hardie y Considine (1976), así como con investigaciones mas recientes reportadas por Staudt *et al.,* (1986) por McCarthy (1997).

Los cvs. Chardonnay y Cabernet sauvignon mostraron diferencias en la concentración de sólidos solubles de sus mostos para los diferentes tratamientos de RDC. Los tratamientos con los menores diámetros de baya coincidieron con aquellos que mostraron las mayores concentraciones de sólidos solubles del mosto. Luego, el RDC no sólo altera las características físicas externas de las bayas, sino que además influiría sobre su composición interna, evidencia que es sostenida, entre otros, por Koundouras *et al.,* (1999).

En el *Tratamiento 3* del cv. Cabernet sauvignon, el déficit hídrico temprano, entre floración y pinta, modificó con mayor intensidad las características del mosto y del vino analizados en este estudio. No se observó diferencias significativas en las características de las bayas, mostos y vinos en el cv Carménère, posiblemente como resultado de una cosecha muy tardía, con un notable grado de sobre madurez. Los resultados anteriormente presentados indican claramente que la etapa fenológica en la cual se realiza RDC afecta el diámetro final de las bayas y con ello, también algunas de las principales características de los mostos y vinos. Con respecto a esto, diversos autores postulan diferentes mecanismos fisiológicos para explicar como el RDC determina que las bayas no logren expresar su diámetro potencial al momento de la cosecha. Ojeda *et al.*, (2001) consideran que el principal mecanismo que determina que el diámetro final de las bayas sea menor que el diámetro potencial es la restricción del volumen celular, como resultado de una modificación en la composición química de la pared celular. Sin embargo, esta hipótesis no está comprobada experimentalmente.

El cv. Cabernet sauvignon presentó diferencias estadísticas en el contenido de ADN de las bayas. Invariablemente las bayas más pequeñas tuvieron menor contenido de ADN, en comparación con las bayas de mayor diámetro. Este resultado sugiere que el RDC reduce el diámetro final de las bayas, como consecuencia de un efecto negativo sobre la multiplicación celular, en las primeras etapas de crecimiento del fruto (estadio I). En este estudio las bayas del cv. Carménère si bien mostraron el efecto de reducción del diámetro como resultado de déficits hídricos tempranos, no presentaron diferencias estadísticas en su contenido de ADN. No se puede descartar la hipótesis de que el RDC afecte al desarrollo de las semillas, y con ello, disminuya la presencia de hormonas de crecimiento, como citoquininas y giberelinas, lo cual podría afectar el crecimiento de las bayas sin que se haya afectado directamente el proceso de división celular.

RESUMEN

En experimentos de campo realizados durante la temporada 2000-2001 en un viñedo comercial ubicado en Alto Jahuel, Región Metropolitana, Chile, se evaluó el efecto de déficit hídricos tempranos y tardíos sobre el rendimiento, la composición de las bayas, del mosto y de los vinos, de los cultivares de *Vitis vinifera* L., Cabernet sauvignon, Carménère, Chardonnay y Sauvignon blanc. Los déficit hídricos tempranos redujeron significativamente el diámetro final de las bayas de tres de los cuatro cvs. estudiados, pero no se registraron reducciones significativas en su peso. Los mostos obtenidos de estas bayas mostraron mayor concentración de sólidos solubles. El vino obtenido de algunos tratamientos de riego deficitario temprano presentó mayor grado alcohólico, mayor contenido de glicerol, compuestos fenólicos totales, y antocianos, así como mayor intensidad colorante, y menor matiz. La influencia de los déficits hídricos sobre la división celular de las bayas de los cv. Cabernet sauvignon y Carménère fue determinada indirectamente, por el contenido de ácido desoxiribonucleico (ADN), obteniéndose una reducción significativa en el contenido de ADN de las bayas como consecuencia del riego deficitario temprano en uvas Cabernet sauvignon;

por lo que un menor número de células podría explicar el menor crecimiento de la bayas obtenido. En consecuencia, se corrobora que el déficit hídrico tiene un efecto favorable sobre la calidad de los vinos producidos, dependiendo de la magnitud y época de los periodos secos.

Palabras clave: ADN, crecimiento de baya, déficit hídrico división celular, vino, *Vitis vinifera.*

LITERATURA CITADA

Ausubel, S., R. Brent, R. Kingston, D. Moore, J. Seidman, J. Smith and K. Struhl, 1998. Preparation and analysis of DNA. Methods of CTAB. Current Protocols in Molecular Biology 1: 2-33.

Bordeu, E. y J. Scarpa, 2000. Análisis Químico del Vino. (Segunda edición). Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago. Chile. 253 pp.

Bravdo, B., A. Naor, S. Poni, E. Peterlunger, F. Iacono and C. Intrieri. 1997. Effect of water regime on productivity and quality of fruit and wine. Acta Horticulturae 427: 15-26.

Considine, J. and R. B. Knox. 1981. Tissue origins, cell lineages and patterns of cell division in the developing dermal system of the fruits of *Vitis vinifera* L. Planta 151: 403-412.

Coombe, B. G. and M. G. McCarthy. 2000. Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. Aust. J. Grape Wine Res. 6: 131-135.

Dry, P. R., B. R. Loveys, M. G. McCarthy and M. Stoll. 2001. Strategic irrigation management in australian vineyards. J. Int. Sci. Vigne Vin 35: 129-139.

Esteban, M., M. J. Villanueva and J. Lissarrague. 2001. Effect of irrigation on changes in the anthocyanin composition of the skin of cv. Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) grape berries during ripening. J. Sc. Food and Agriculture 81: 409-420.

Gardner, W. R. and R. H. Nieman, 1964. Lower limit of water availability to plants. Science 143: 1460-1462.

Ginestar, C., J. Eastham, S. Gray and P. Llarid. 1998a. Use of sap-flow sensors to shedule vineyard irrigation I. Effects of post veraison water deficits on water relations, vine grow, arid yield of Shiraz grapevines. Am. J. Enol. Vitic. 49: 413-420.

Ginestar, C., J. Eastham, S. Gray and P. Llarid. 1998b. Use of sap-flow sensors to shedule vineyard irrigation I. Effects of post veraison water deficits on water relations, vine grow, arid yield of Shiraz grapevines. Am. J. Enol. Vitic. 49: 421-427.

Goodwin, I. and I. Macrae. 1990. Regulated deficit irrigation of Cabernet Sauvignon grapevines. ANZ Wine Industry J. 5: 131-133.

Greenspan, M., H. Schultz and M. A. Matthews. 1996. Field evaluation of water transport in grape berries during water deficits. Plant Physiology 97: 55-62.

Gurovich, L. 1998. Aplicaciones del riego deficitario controlado en la vid. Efecto sobre la