

# MANEJO SITIO-ESPECÍFICO DEL AGUA DE RIEGO EN VIDES VINÍFERAS<sup>1</sup>

\*Ortega-Farias, S<sup>1</sup>., Righetti, T<sup>2</sup>., Sasso, F<sup>1</sup>., Acevedo<sup>1</sup>, C., Matus<sup>3</sup>, F. y Moreno, Y<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA), Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Talca. Casilla 747-Talca, Chile.

<sup>2</sup>Department of Horticulture, Oregon State University, Corvallis, OR, USA.

<sup>3</sup>Centro de Desarrollo Tecnológico de Suelos y Cultivos (CTSyC), Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Talca. Casilla 747-Talca, Chile.

<sup>4</sup>Centro Tecnológico de la Vid y el Vino (CTVV), Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Talca. Casilla 747-Talca, Chile.

**Palabras clave:** variabilidad espacial, humedad de suelo, vigor, clima, consumo de agua

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el sector vitícola nacional ha experimentado una gran capacidad de crecimiento, especialmente en la producción de vinos orientados a la exportación. Dicho crecimiento se ha basado fundamentalmente en la producción de vinos finos, los cuales han logrado un espacio y un reconocimiento en los mercados internacionales. Al respecto, varios investigadores han señalado que el uso de modernas tecnologías en la programación del riego puede mejorar sustancialmente la calidad de los mostos y vinos (Duarte, 2003; Ferreira, 2002; Ginestar et al., 1998; McCarthy, M.G., 1997; Peterlunger et al., 2002).

La programación del riego es una metodología que permite determinar el nivel óptimo de agua a aplicar en cada período fenológico de la vid, de acuerdo a las interacciones específicas de suelo, planta, clima, las cuales son integradas a través de modelos bio-matemáticos. Esta técnica consiste en establecer la frecuencia (¿Cuándo regar?) y tiempo de riego (¿Cuánto regar?) de acuerdo a sectores homogéneos de suelo y vigor del viñedo. Para programar el riego es esencial estimar tanto la evapotranspiración real la vid y la cantidad de agua que puede almacenar el suelo en la zona de raíces. La programación del riego es entonces un procedimiento que permite establecer el momento oportuno del riego y la cantidad exacta de agua a aplicar en el viñedo. Sin embargo, esta técnica requiere de la calibración local de algunos parámetros incorporados en su algoritmo tales como coeficiente de cultivo, criterio de riego y componentes del balance de energía (Ortega-Farias y Acevedo, 1999).

La programación, con una correcta calibración local, es una excelente herramienta para la gestión hídrica del viñedo, donde el estrés hídrico aplicado en períodos específicos de crecimiento de la vid puede incrementar significativamente la calidad de los mostos y vinos. Al respecto, se ha visto que existe una influencia considerable del régimen hídrico sobre las características

---

<sup>1</sup> Simposium Internacional en Viticultura de Precisión y IX Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología. Noviembre 2003, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago-Chile,

organolépticas del vino (Acevedo, 2002; Ginestar et al., 1998; Hepner et al., 1985). Lo anterior concuerda con lo obtenido por varios autores, quienes observaron diferencias importantes en la composición química de fruto, mostos y vinos, regados con distintas cargas de agua (Matthews y Anderson, 1989). En consecuencia, la calidad del vino puede ser asociada en términos de tamaño de bayas, acumulación de azúcares, acidez total, intensidad colorante, pigmentos totales y concentración de polifenoles, antocianinas y taninos (Peterlunger et al., 2002). De este modo, el déficit hídrico puede ser utilizado para mejorar el color del vino, pues aumenta la concentración de antocianinas y polifenoles en los cultivares de uva tinta (Acevedo, 2002; Freeman y Kliwer, 1983; Ginestar et al., 1998.). Según Matthews y Anderson (1989) el aumento en la concentración de antocianinas en vides sometidas a estrés hídrico puede llegar incluso hasta un 44% en comparación con aquellas de riego permanente.

Es importante destacar que la investigación tradicional en riego no considera la variabilidad espacial de las variables de entrada en el modelo de programación del riego pues los experimentos son altamente controlados. En términos prácticos, el efecto del estrés hídrico sobre la calidad de mostos y vinos ser positivo, negativo o nulo, dependiendo del grado de variabilidad que presente el clima, suelo y vigor del viñedo. A lo anterior, debemos sumar la marcada variabilidad temporal que pueden presentar las condiciones climáticas en las distintas temporadas, especialmente bajo condiciones atmosféricas de Niño/Niña. Al respecto, la variabilidad espacial y temporal de las variables de entrada del modelo de programación del riego puede ser cuantificada a través de la Agricultura de Precisión, la cual incluye un conjunto de modernas tecnologías que permiten un manejo sitio-específico del agua de riego en el viñedo.

El objetivo de este trabajo es evaluar el potencial uso del manejo sitio-específico del agua de riego en la vid para vinificación, indicando las principales tecnologías utilizadas para cuantificar la variabilidad espacial y temporal de las variables de entrada en el modelo de programación del riego. Además, el trabajo incluye la presentación de un estudio de caso donde se muestra la aplicación práctica del riego de precisión en un viñedo comercial de la VII región.

## **Riego de precisión en el manejo del agua**

El riego de precisión es un conjunto de tecnologías que permite manejar la variabilidad espacial y temporal del clima, suelo y vigor del viñedo, con el fin de permitir un manejo sitio-específico del agua de riego en el viñedo, que permita mejorar la calidad de mostos y vino. Este conjunto de tecnologías incluye el uso de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs), medidores de agua en el suelo, sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de información geográfica (SIG), fotografía aérea, imágenes satelitales y diversos programas computacionales para el procesamiento de datos (Lamb, 2000; Bramley, 2001a y b; Esser et al., 2002; Ortega-Farías, 1999). A continuación se describen las principales etapas requeridas para una correcta programación del riego:

### **a) Evaluación espacial de las propiedades físico-hídrica del suelo**

Esto tiene por objetivo determinar la capacidad de estanque (CE) del suelo a través de la medición de la capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), densidad aparente (Da), humedad aprovechable (HA = CC – PMP), bulbo de mojado y profundidad efectiva de raíces (Pr). La evaluación de la variabilidad espacial de las características del suelo se puede realizar con el uso de GPS y GIS para la generación de mapas con sectores de suelo homogéneo, lo cual permite hacer una correcta sectorización del riego y con ello realizar una aplicación del agua en forma diferenciada dentro del viñedo.

Por ejemplo, Figura 1 muestra la variabilidad espacial de la textura para tres estratas y la humedad aprovechable en el perfil del suelo. En las Figuras 1a, 1b y 1c se puede observar que el suelo del cuartel presenta un alto grado de variabilidad en el porcentaje de arcilla para las tres estratas en estudio. Al respecto, la mayor variabilidad en el porcentaje de arcilla fue observado en los primeros 30 cm de profundidad (Figura 1a). Por otro lado, el cuartel presenta dos niveles de humedad aprovechable en el perfil de suelo, los cuales varían entre 6 % y 9 % (sector A) y 9 % y 12 % (Sector B). En este caso, los sectores A y B presentaron una capacidad de estanque de  $750 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  y  $1050 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , respectivamente. También, en el cuartel se observan pequeños sectores con baja retención de humedad, los cuales presentan una capacidad de estanque de  $450 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (HA = 3-6 %).

## **b) Evaluación espacial del dosel del viñedo y calidad de fruta**

Esto considera el establecimiento de parcelas de muestreo para medir crecimiento vegetativo (sección transversal de tronco, largo de brotes, peso de poda e índice de Ravaz), componentes del rendimiento (producción por planta, número de racimos por planta, peso de racimo, número de bayas, peso de baya, diámetro de bayas) y componentes de calidad de bayas (relación cutícula/pulpa, sólidos solubles, acidez total, pH, antocianinas totales y fenoles totales). Con esta información es posible generar mapas con sectores homogéneos de vigor dentro del viñedo y manejarlos en forma independiente.

La variación espacial del área transversal de tronco (ATT), largo de brotes (Lb), peso de poda (Pp) y rendimiento (Rp) para un cartel (cv. Cabernet sauvignon regado por goteo) es presentado en la Figura 2. En esta figura se puede observar que existe un sector débil (ATT entre  $8 \text{ cm}^2$  y  $12 \text{ cm}^2$ ) que presenta valores promedios de área transversal de tronco, largo de brotes, peso de poda y rendimiento de  $10 \text{ cm}^2$ , 105 cm,  $0,5 \text{ kg pl}^{-1}$  y  $1,25 \text{ kg pl}^{-1}$  ( $3,5 \text{ ton ha}^{-1}$ ), respectivamente. Por otro lado, existe un sector vigoroso (ATT entre  $24 \text{ cm}^2$  y  $28 \text{ cm}^2$ ) que presenta una mayor expresión vegetativa, con valores promedios de ATT de  $26 \text{ cm}^2$ , Lb de 225 cm, Pp de  $1,63 \text{ kg pl}^{-1}$  y Rp de  $6,8 \text{ kg pl}^{-1}$  ( $18,9 \text{ ton ha}^{-1}$ ). En general, el sector débil está asociado a un suelo con baja capacidad de retención de humedad, donde el agricultor aplicó una frecuencia de dos riego por semana. Es así como, a través de los años, este tipo de manejo del agua ha ido debilitando las plantas, con un efecto negativo sobre la productividad del viñedo y calidad de las uvas. De acuerdo a las características del suelo, el sector débil debería tener una frecuencia de riego diaria y tiempos de riego acorde a las condiciones climáticas. Este ejemplo muestra la importancia de sectorizar para diferenciar los tiempos y frecuencia de riego de acuerdo

a las características específicas de suelo, vigor y objetivo productivo (vino varietal o reserva) de cada cuartel en el viñedo.

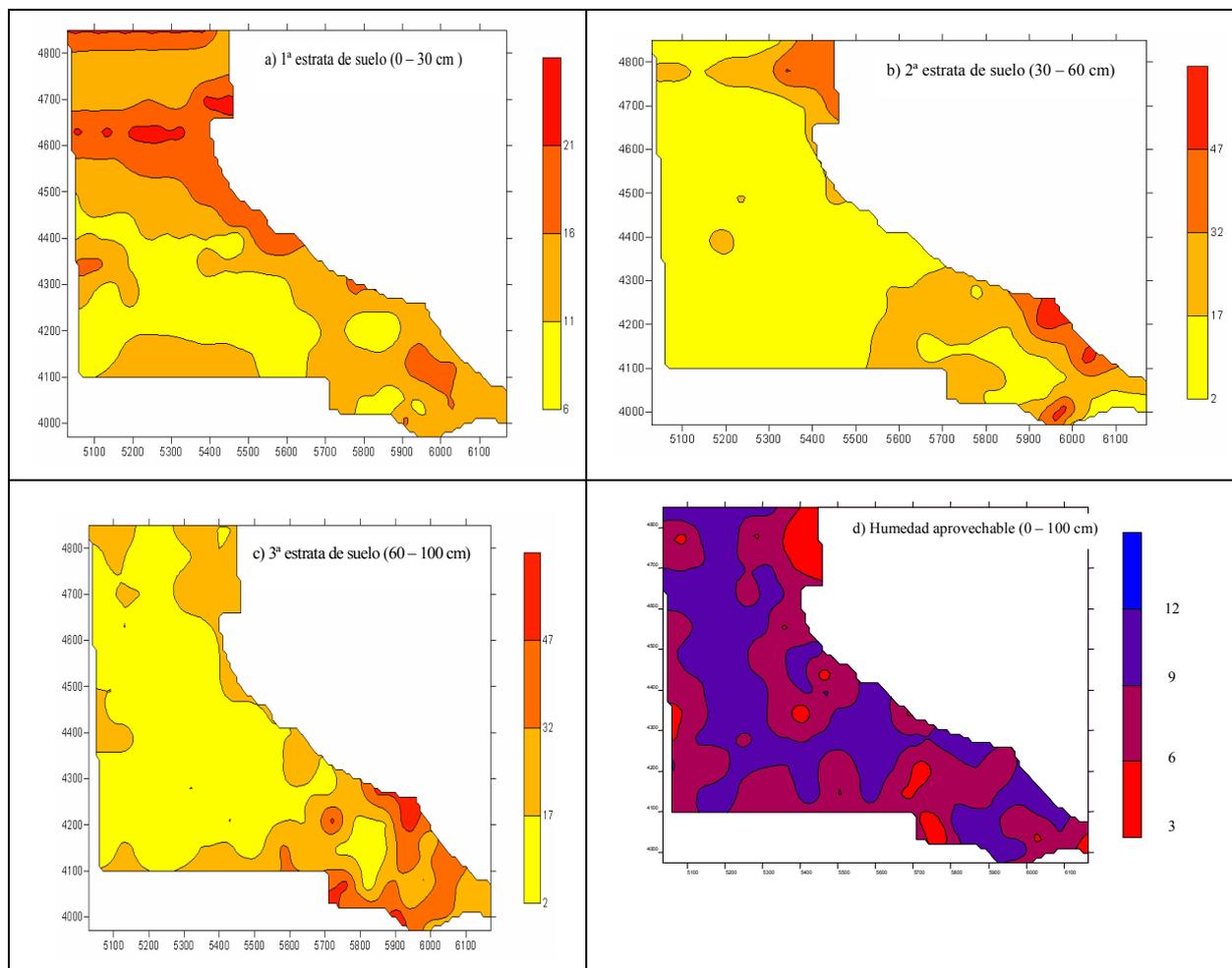


Figura 1. Variabilidad espacial de la arcilla (%) en tres estratas y humedad aprovechable (%) en el perfil del suelo (Fuente: CTSyC) .

### c) Evaluación espacial y temporal del clima:

La medición del clima es fundamental para estimar el consumo de agua o evapotranspiración real ( $ET_{real}$ ) de la vid. Esta variable de entrada en el modelo de programación del riego se cuantifica utilizando la evapotranspiración de referencia ( $ET_r$ ), la cual es corregida por un coeficiente de cultivo ( $K_c$ ). La  $ET_r$  se estima a través de la fórmula de Penman-Monteith, la cual tiene como variables de entrada la radiación solar, temperatura,

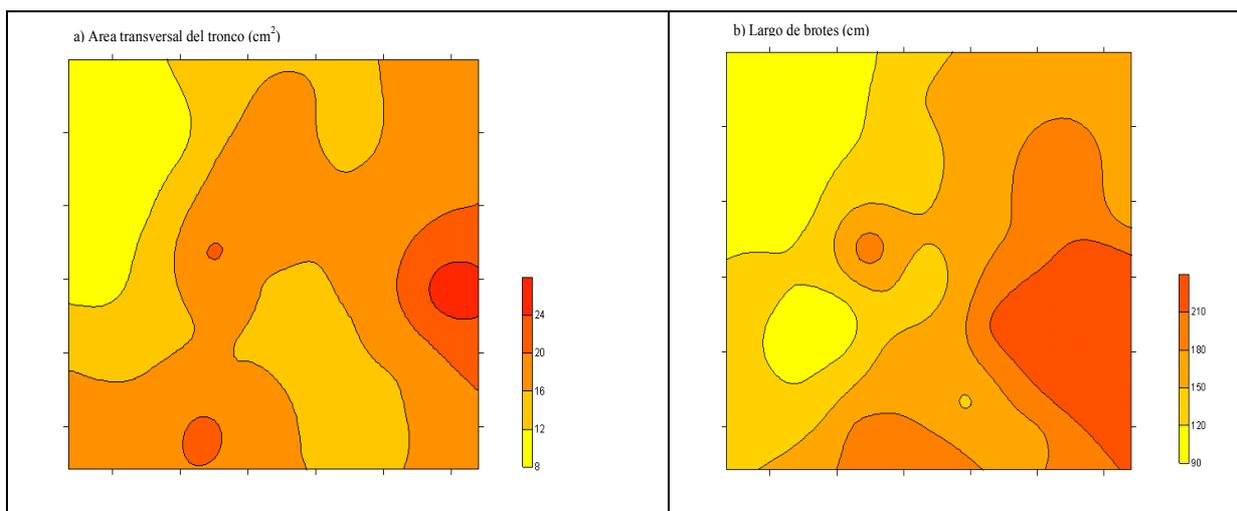
humedad relativa, y velocidad del viento (Ortega-Farias et al., 1996). También, la ETr puede ser estimada usando el método de la evaporación de bandeja (EB), siempre y cuando se realice una adecuada calibración local del coeficiente de bandeja (Kp). La ETreal de la vid se puede cuantificar como:

$$ET_{real} = ETr * Kc = EB * Kp * Kc$$

Para considerar la variabilidad de la ETr se debe considerar lo siguiente:

a) la variabilidad temporal del clima se puede realizar a través del uso de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) que miden las variables climática (temperatura, humedad relativa del aire, velocidad del viento, radiación solar y precipitaciones) en intervalos de 30 minuto o 1 hora.

b) la variabilidad espacial del clima permite determinar el número de microclimas dentro del viñedo. Esto permite definir la ubicación y número de EMAs o bandejas de evaporación dentro del viñedo. Lo anterior se puede realizar utilizando fotografías áreas o imágenes satelitales.



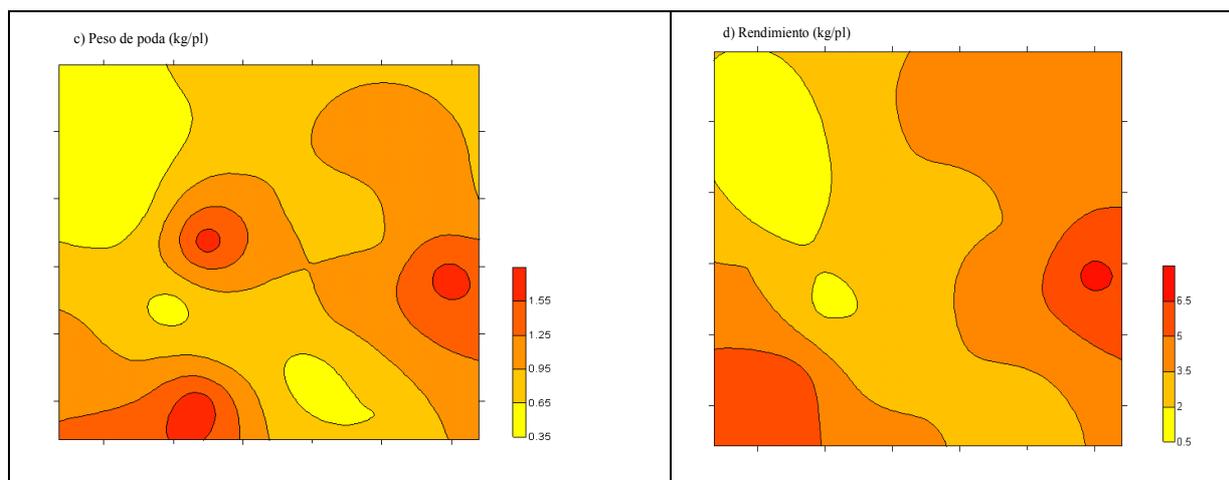


Figura 2. Variabilidad espacial del área transversal de tronco, largo de brotes, peso de poda y rendimiento por planta, cv Cabernet sauvignon (Fuente: CITRA, temporada 2002/2003).

A modo de ejemplo, la variabilidad espacial y temporal del microclima de los Valles Pehue y Molina (VII Región) es presentada en la Figura 3. Esta Figura muestra que en ambos Valles existe una marcada diferencia de los valores de ETr entre las tres temporadas de estudio, especialmente en los meses de Diciembre y Enero, donde existió el mayor consumo de agua de la vid. Para estos meses, la temporada 2001/02 presentó los valores más altos de ETr en ambos Valles. Por otro lado, la temporada 2002/03 presentó los valores más bajos de ETr en los meses de Noviembre y Diciembre. Estos resultados sugieren que existe una marcada variación anual (temporal) de la ETr en ambos valles, la cual afecta significativamente el consumo de agua de la vid y los tiempos de riego del viñedo. Es importante indicar que los Valles de Pehue y Molina se encuentran a una distancia lineal de aproximadamente 10 km.

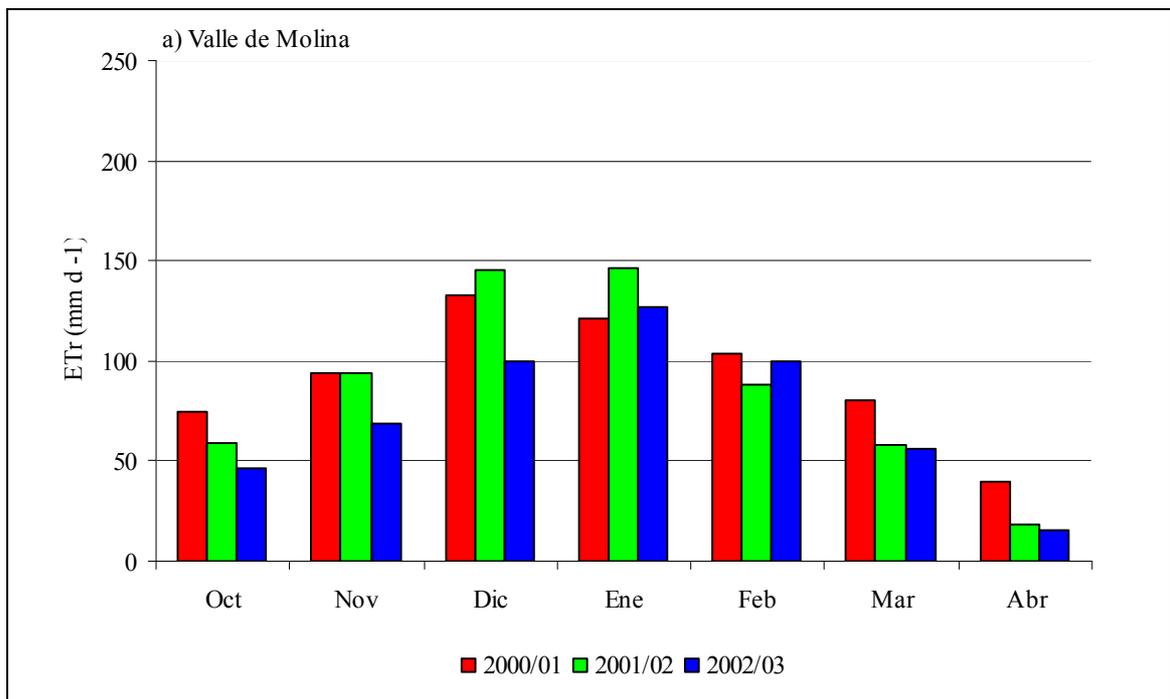
En relación a la variación espacial (o regional), la Figura 3 indica que el Valle de Pehue presenta los valores más altos de ETr que el valle de Molina para las tres temporadas analizadas. Los valores promedio de la ETr acumulada para las tres temporadas fueron 753 mm y 590 para el Valle de Pehue y Molina, respectivamente.

#### **d) Calibración sitio-específica de la programación del riego:**

El efecto del estado fenológico sobre el consumo de agua de un cultivo está representado por el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), el cual depende del cultivar, clima, suelo y régimen de riego previo. En general este parámetro representa una gran incertidumbre en el modelo de programación de riego, pues en Chile existen pocos trabajos de validación local del  $K_c$  de la vid. Por este motivo, Ortega-Farías (1999) implementaron una metodología para desarrollar coeficientes de ajuste del riego (coeficientes de riego,  $K_r$ ) en viñedos comerciales. Para ello se utilizan las técnicas del riego de precisión con el objeto de definir sectores homogéneos de clima,

suelo y vigor del viñedo, donde se realiza una calibración sitio-específica del riego. Lo anterior se puede realizar a través de mediciones periódicas del contenido de agua en la zona de raíces. La ubicación y número de estaciones de muestreo para medir la humedad del suelo está determinado por mapas georeferenciados del viñedo que indican sectores homogéneos en cuanto a suelo, vigor y objetivo productivo del viñedo.

La variabilidad espacial de la humedad volumétrica del suelo para un viñedo cv. Cabernet sauvignon regado por goteo se presenta en la Figura 4. En esta Figura puede observar que el viñedo presentó valores de humedad volumétrica que variaron entre 13 % y 29 %. En general los sectores con humedad entre 13 % y 17 % presentaron plantas débiles con bajo potencial productivo. En este caso, la frecuencia de riego fue demasiado larga para el tipo de suelo (dos riegos por semana) y las plantas fueron sometidas a un estrés permanente durante toda la temporada. Es importante mencionar que la Figura 4 fue elaborada usando el promedio de 18 mediciones de la humedad volumétrica del suelo, las cuales fueron realizadas antes de cada riego entre la cuaja y cosecha.



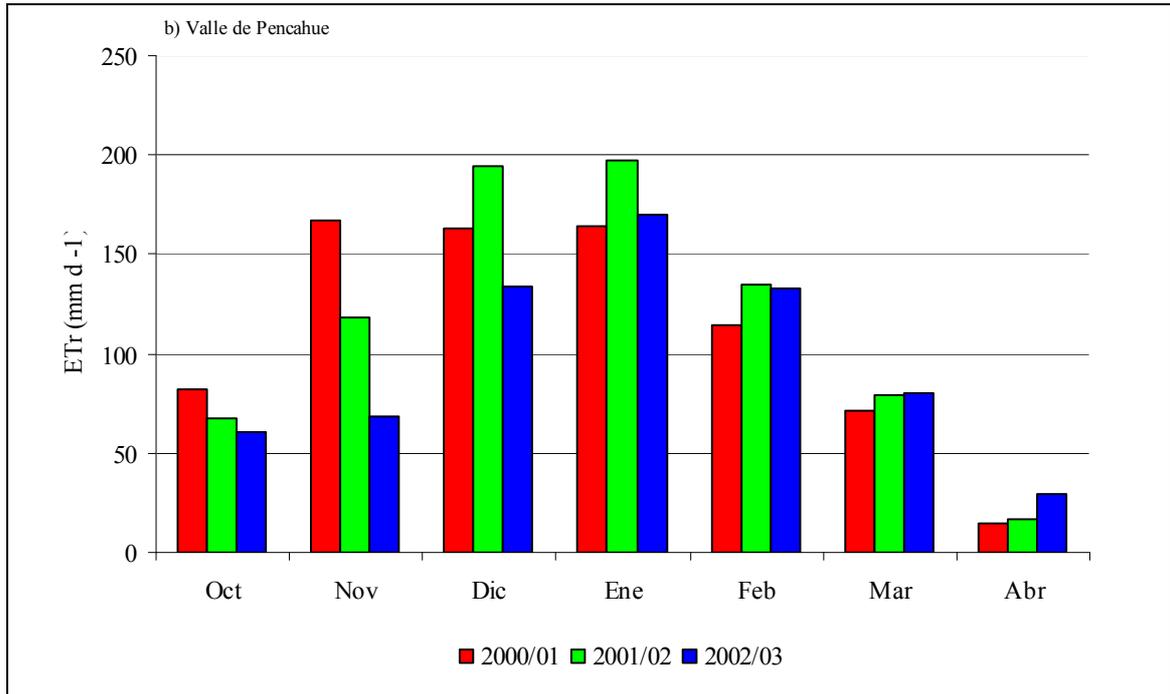


Figura 3. Variabilidad temporal y espacial de la evapotranspiración de referencia (ETr).

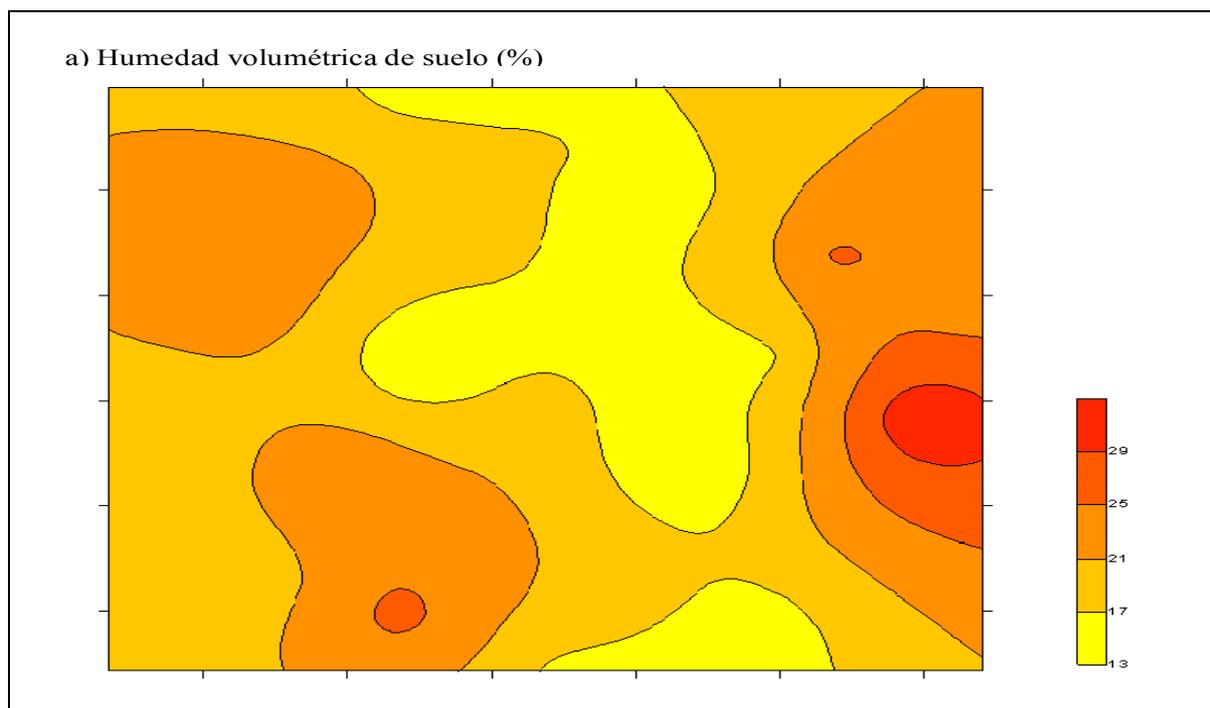


Figura 4. Variabilidad espacial del contenido volumétrico de humedad en el suelo, cv Cabernet sauvignon (Fuente: CITRA, temporada 2002/03).

En resumen podemos decir que el desarrollo de mapas con sectores homogéneos de suelo, consumo de agua y vigor de la vid nos permite realizar un manejo del agua diferenciado en el viñedo. Para lograr esto es importante realizar una calibración sitio específica del riego, con el objeto desarrollar coeficientes de riego para cada sector dentro del viñedo. A continuación vamos a presentar la aplicación práctica de esta metodología en un viñedo comercial ubicado en la VII región.

### Sistema informático para el riego de precisión

En la temporada 1997-98, el CITRA estableció un sistema informático para la programación del riego de viñedos ubicados en la VII región. Este sistema está formado por un módulo central y una red de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) (Figura 5). El módulo central está encargado de recibir, procesar y almacenar la información de suelo (capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente, profundidad de raíces efectivas), de clima (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar y precipitaciones) y cultivar (coeficiente de riego, vigor de la vid y objetivos de producción). Las EMAs están encargadas de medir, en diferentes localidades, variables climáticas en intervalos de 15

minutos, las cuales son transmitidas vía telemetría a la base central que esta ubicada en el laboratorio del CITRA. De este modo el sistema determina la evapotranspiración real del viñedo, capacidad de estanque del suelo, frecuencia y tiempo de riego para cada sector homogéneo en cuanto a condiciones de suelo, clima y vigor.

En base a este sistema, el CITRA estableció un servicio de programación del riego, el cual ha permitido ahorros de agua entre un 20 % y 60 % en viñedos regados por goteo y tendido (Ortega-Farias, 1999). Aplicando el estrés hídrico controlado en la viña, este servicio ha permitido aumentos de la calidad de las bayas entre un 20 y 30 % (Ortega-Farias et al., 2003). Es importante indicar que la adopción esta tecnología por parte de la empresa depende del nivel de capacitación de los agrónomos en el uso de sistemas informáticos e instrumentación.

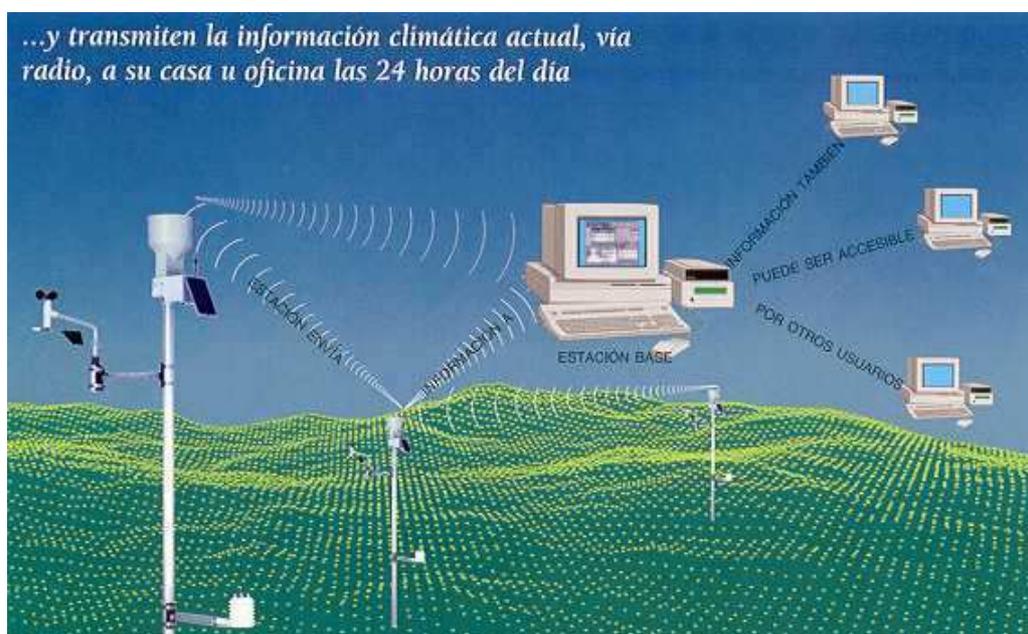


Figura 5. Sistema meteorológico automatizado para la programación del riego

### Aplicación del riego de precisión

A continuación se presenta un estudio de caso donde se muestra la aplicación del riego de precisión en un viñedo comercial de la VII Región. El servicio de programación del riego se llevó a cabo durante la temporada 2002/03 en un viñedo de aproximada 42 há, de las cuales el 60 % de la superficie correspondió al cv. *Cabernet sauvignon* y el resto al cv. *Merlot*. Ambos cultivares fueron conducidos en espaldera simple y regados por goteo ( $4,0 \text{ L h}^{-1}$ ). De acuerdo a los objetivos de producción (Tabla 1) y tipo de suelo (Tabla 2), el viñedo fue separado en cuatro sectores de riego homogéneo para realizar un manejo del agua en forma diferenciada (sitio específico).

Tabla 1. Características de los sectores homogéneos de riego

Sector	Cultivar	Calidad	Marco de plantación ( m x m)	Rendimiento (ton ha <sup>-1</sup> )
1	Cabernet sauvignon	Reserva	1 x 3	8,5
2	Cabernet sauvignon	Premium	1 x 3	6,5
3	Cabernet sauvignon	Varietal	1 x 3	16,8
4	Merlot	Reserva	1 x 2	9,0

Tabla 2. Propiedades físico-hídricas de los sectores homogéneos de riego

Sector	Textura	CC (%)	PMP (%)	Da (gr cm <sup>-3</sup> )	Cr (%)
1	Franco- arenosa	22	11	1,52	16,5
2	Franco- arcillosa	30	16	1,37	23,0
3	Arcillosa	33	18	1,28	25
4	Franca	22	12	1,42	17,0

PMP = punto de marchitez permanente; CC = capacidad de campo; Da = densidad aparente; Cr = criterio de riego.

Una vez definido los sectores homogéneos se procedió a instalar cuatro estaciones de muestreo para medir la humedad volumétrica del suelo en la profundidad efectiva de las raíces. Estas mediciones fueron realizadas con un TDR (Time domain reflectometry), el cual presenta un error equivalente a 2 % en las mediciones (Ortega et al. 2002). Para definir los valores críticos de humedad del suelo se utilizó un criterio de riego de 55 % y 50 % para los vinos de calidad (reserva y premium) y varietales, respectivamente (Tabla 2). Las mediciones de humedad volumétrica del suelo fueron realizadas en forma semanal para chequear los tiempos de riego recomendados por el sistema informático del CITRA (Figura 5).

Para los sectores 1, 2 y 3, la aplicación del agua fue realizada dos veces por semana y el tiempo de riego fue estimado en base a las condiciones climáticas y a los coeficientes de riego ajustados (Figura 6). En la Figura 6 se presentan los coeficientes de riego (sitio-específico) para los sectores homogéneos de riego. En esta Figura se puede observar que los valores de Kr fueron máximos entre fines de enero y primera semana de febrero. Por otro lado, el sector 3, que produce vinos varietales, presentó los mayores valores de Kr durante toda la temporada. Los sectores 1 y 3 presentaron valores más bajos de Kr y en general fueron similares durante toda la temporada, excepto entre el 15 diciembre y 20 de enero, donde el Kr fue menor en el sector 2. En este caso, el agricultor aplicó un estrés más severo entre la cuaja y la pinta con el objeto de

obtener vino Premium del sector 2. En el caso del cv. Merlot (sector 4), el agricultor aplicó un coeficiente mayor para evitar la presencia de bayas deshidratadas. Es importante mencionar que los coeficientes de riego fueron desarrollados en conjunto con los enólogos de la viña, quienes definieron la calidad de los mostos de cada sector.

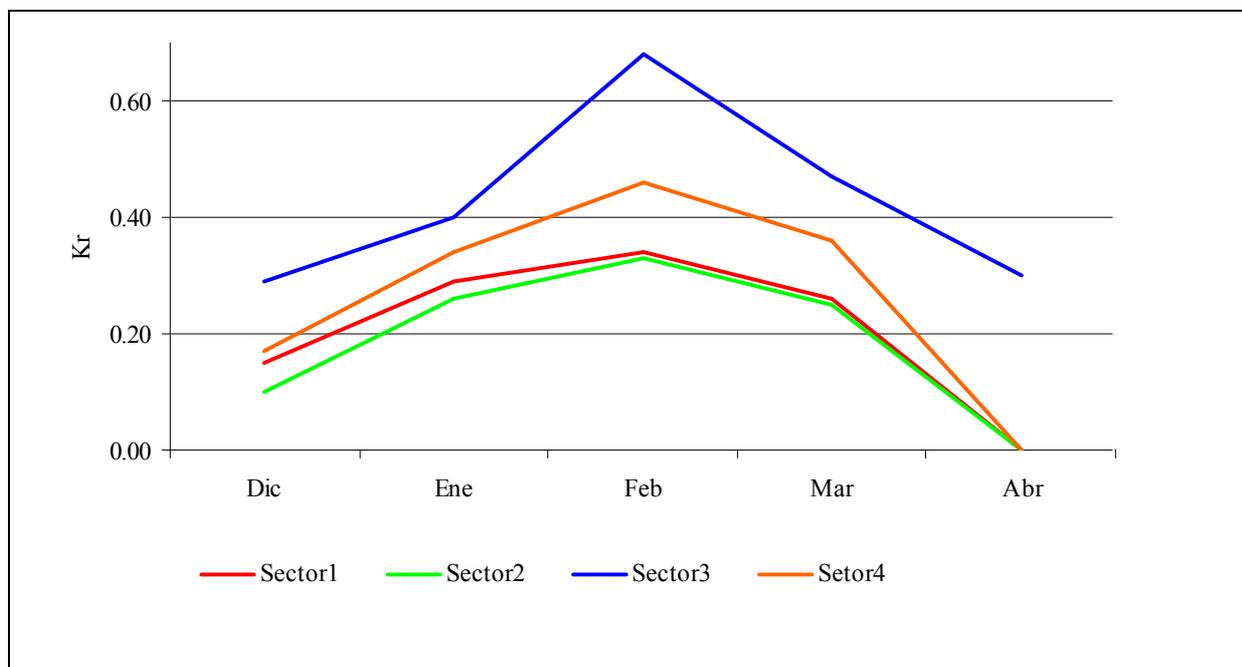


Figura 6. Variabilidad espacial de coeficiente de riego

En los sectores 1 (vino reserva) y 2 (vino premium) se puede observar que los niveles de humedad del suelo fueron reducidos desde capacidad de campo hasta la humedad crítica (Hc), la cual fue alcanzada en la segunda semana de Diciembre (Figura 7a y 7b). Después de esta fecha, el agricultor realizó dos riegos largos para rellenar la capacidad de estanque del suelo. Posteriormente, en ambos sectores los niveles de humedad del suelo se mantuvieron alrededor de la humedad crítica entre la primera semana de Enero y la segunda semana de Marzo. Lo anterior es más notorio en el sector 2, donde los niveles de humedad del suelo se mantuvieron por debajo del valor crítico para favorecer el color de los mostos y vinos. Con este nivel de estrés, los valores de diámetro promedio de las bayas y relación cutícula/pulpa fueron de 10,5 mm y 4,9, respectivamente. Para lograr esto, el agricultor aplicó en el sector 2 un caudal total de  $953 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  y tiempo de riego de 71,5 h (Figuras 8 y 9). En el sector 3 (vino varietal), la estrategia de riego fue mantener el contenido de agua del suelo por sobre la humedad crítica entre la cuaja y la cosecha (Figure 7c). En este sector el caudal total ( $3080 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) y tiempo de riego (231 h) fueron los más altos en comparación con los otros sectores de riego (Figuras 8 y 9). Los niveles de producción para los sectores 1, 2 y 3 fueron  $8,5 \text{ ton ha}^{-1}$ ,  $6,5 \text{ ton ha}^{-1}$  y  $16,8 \text{ ton ha}^{-1}$ , respectivamente (Tabla 1).

En el caso del sector 4 (Figura 7d, cv Merlot), los riegos fueron realizados en forma diaria y los niveles de humedad del suelo se mantuvieron por sobre el valor crítico durante toda la temporada. Esta estrategia fue usada para evitar la deshidratación de bayas y por otro lado producir suficiente estrés entre cuaja y pinta para mejorar color de los mostos y vino. En este caso, el rendimiento fue 11,6 ton ha<sup>-1</sup>.

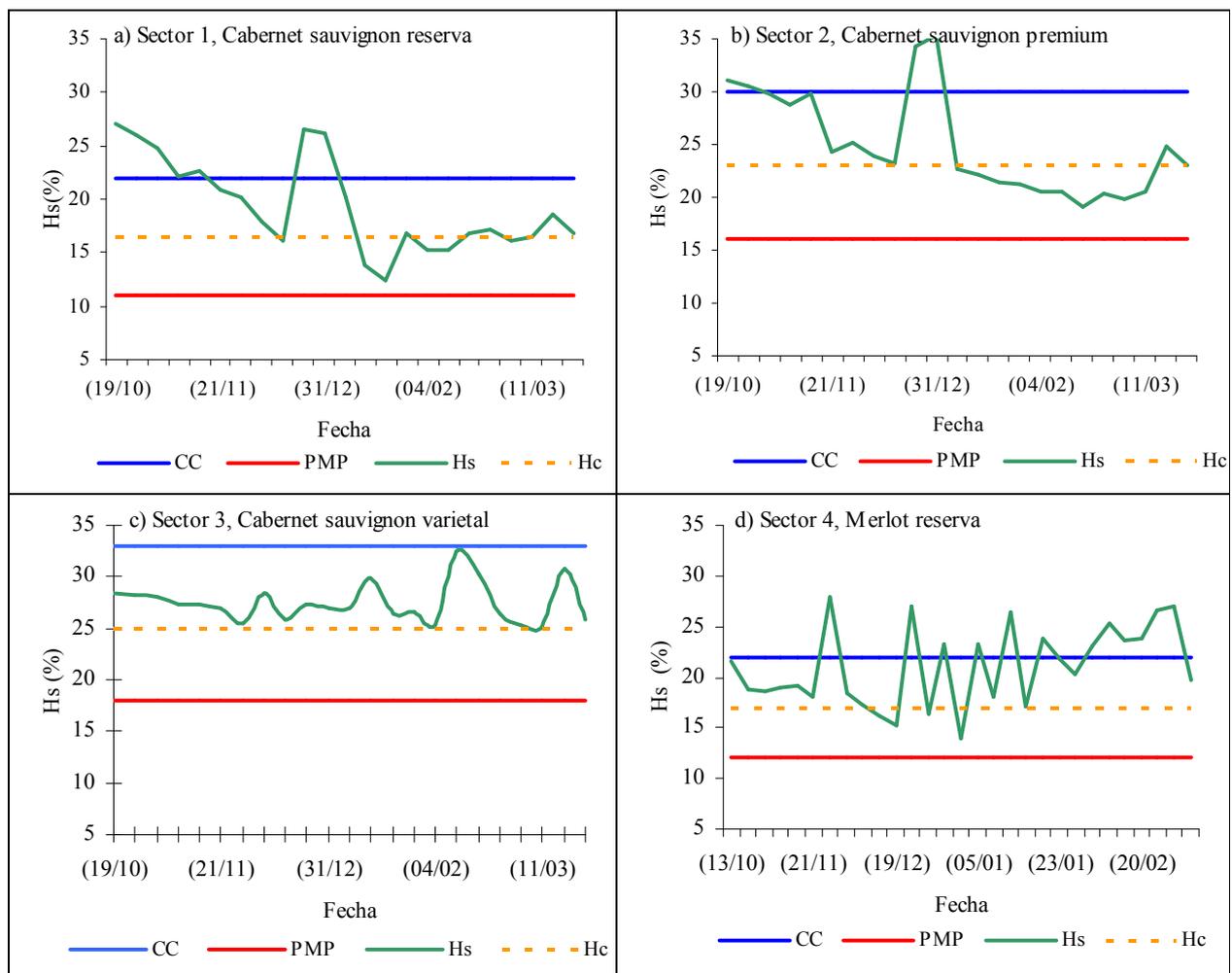


Figura 7. Variabilidad espacial de la capacidad de campo (PMP), punto de marchites permanente (PMP), humedad de suelo (Hs) y valor crítico de humedad del suelo (Hc) (Temporada 2002/03)..

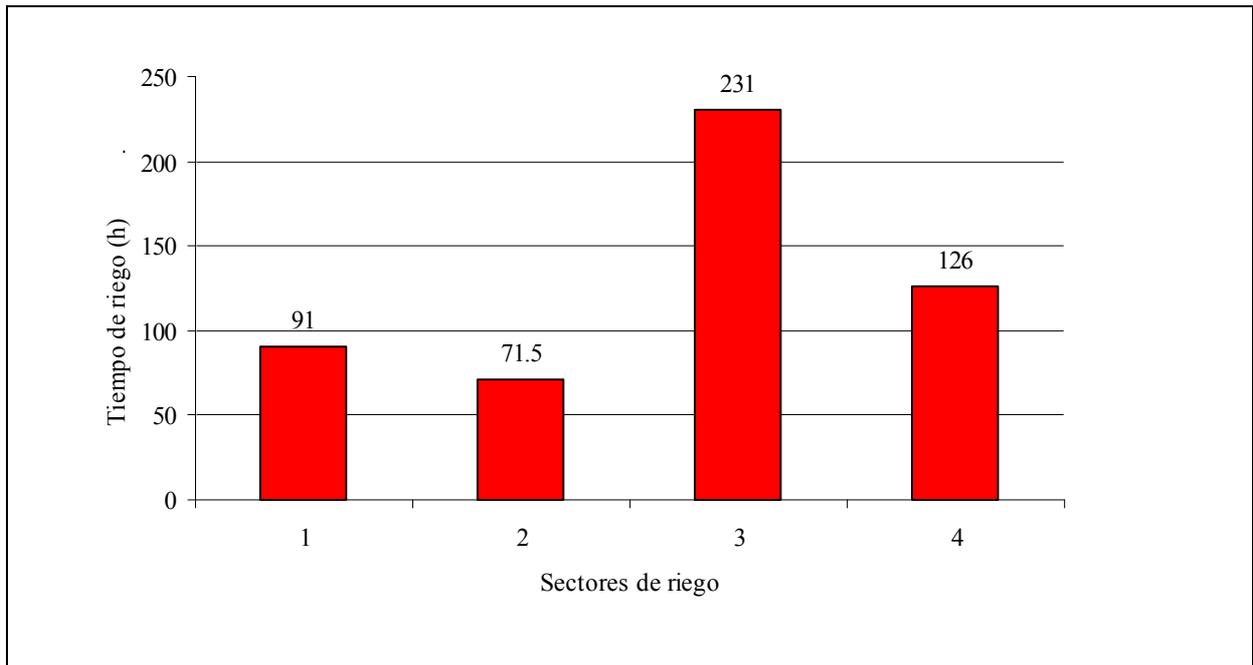


Figura 8. Variación espacial del tiempo de riego (Temporada 2002/03).

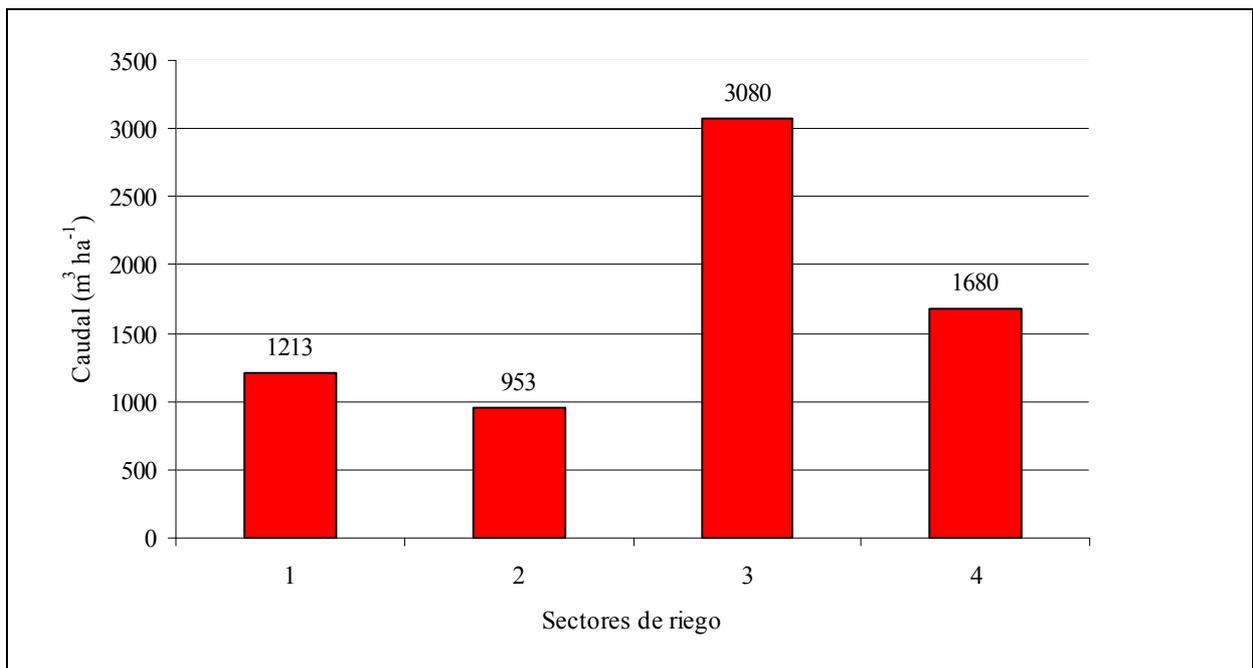


Figura 9. Variación espacial del caudal total (Temporada 2002/03).

## Conclusiones

El desarrollo de mapas con sectores homogéneos en cuanto a suelo, consumo de agua y vigor del viñedo nos permite realizar un manejo del agua de riego acorde a las características específicas de cada cuartel. Para lograr esto es importante realizar una calibración sitio-específica del modelo de programación del riego, con el objeto desarrollar coeficientes de riego para cada sector homogéneo dentro del viñedo.

## LITERATURA CITADA

- Acevedo, C. 2002. Efecto de diferentes niveles de reposición hídrica en post-cuaja y en post-pinta sobre variables de crecimiento vegetativo, rendimiento, composición de bayas, mostos y calidad de vinos en cv. Cabernet sauvignon. Tesis de Grado Magister en Horticultura, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca, Chile. 40 pp.
- Bramley, R. 2001b. Precision Viticulture – Research supporting the development of optimal resource management for grape and wine production. In Work W14: Precision Viticulture – Principles, opportunities and applications. The Eleventh Australian Wine Industry Technical Conference. 7-11 October, 2001, Adelaide, SA.
- Bramley, R:G:V. 2001a. Progress in the Development of Precision Viticulture – Variation in yield, quality and soil properties in Contrasting Australian Vineyards. In Precision tools for improving Land Management (Eds. L D Currie and P Logana Them). Occasional report No. 14, Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North. Pp 25-43. [www.crev.com.au/pdf/bramley1.pdf](http://www.crev.com.au/pdf/bramley1.pdf).
- Duarte, M. 2003. "*Determinación de umbrales del potencial hídrico del xilema en condiciones de riego deficitario controlado en vides cv. Cabernet sauvignon*". Tesis de Magister en Horticultura, Universidad de Talca. 41 pp.
- Esser, A., Ortega, R., Santibañez, O. 2002. Viticultura de Precisión, nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia productiva en viñas. Revista Agronomía y Forestal UC. Año 4, 15:4-9.
- Ferreyra, R., Sellés, G., Peralta, J., y Burgos L. 2002. Efecto de la restricción del riego en distintos períodos de desarrollo de la vid cv. Cabernet sauvignon sobre la producción y calidad del vino. Agricultura Técnica 62: 406-417.
- Freeman, B.M. and Kliewer, W. 1983. Effect of irrigation, crops level and potassium fertilization on Carignane vines. II. Grapes and wine quality. Am. J. Enol. Vitic. 34: 197-207.

- Ginestar, C., Eastham, J., Gray, S. and Iland, P., 1998. Use of sap-flow sensors to schedule vineyard irrigation. I. Effects of post-veraison water deficits on water relations, vine growth, and yield of Shiraz grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.*, 49: 413-20.
- Hepner, Y.; Bravdo, C.; Loinger C.; Cohen, S. and Tabacman, H. 1985. Effect of drip irrigation schedules on growth, yield, must composition and wine quality of Cabernet sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* 36: 77-83
- Lamb, D. (Ed) 2000. *Vineyard Monitoring and Management Beyond 2000. Precision Viticulture: A workshop investigating the latest technologies for monitoring and managing variability in vineyard productivity.* Wagga Wagga, 7-8-00, Australia
- Matthews, M.A. and Anderson, M.M., 1989. Reproductive development in grape (*Vitis vinifera* L.): response to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* 40: 52-60.
- McCarthy, M.G., 1997. The effect of transient water deficit on berry development of cv. Shiraz (*Vitis vinifera* L.). *Austral. J. Grapewine Res.* 3: 102-108.
- Peterlunger, E., Sivilotti, P., Bonetto, C., and Paladin, M. 2002. Water stress induces changes in polyphenol concentration in Merlot grapes and wines. *Riv. Vitic. Enol.*, 1: 51-66.
- Ortega-Farias, S., R. Cuenca, B. Soliz y C. Ortiz. 1996. Evaluación de la Evapotranspiración de Referencia Usando la Ecuación de Penman-Monteith. *Ciencia e Investigación Agraria.* Vol. 23 (N° 2-3): 113-118
- Ortega-Farias, S. y Acevedo C. 1999. Servicio de Programación del Riego. *Innovaciones en Vitivinicultura.* Centro Tecnológico de la Vid y el Vino (CTVV) L. 44-59.
- Ortega-Farias, S. 1999. Avances sobre programación del riego en el viñedo: La experiencia chilena. “*Seminario Internacional: Programación del Riego en vides*”. Centro Tecnológico de la Vid y el Vino (CTVV) y Servicio Integrado de Agroclimatología y Riego (SIAR). 57-64 p.
- Ortega-Farías, S., A. Acevedo and F. Matus. 2002. Evaluación del TDR para medir la humedad volumétrica en suelos de distinta textura. IX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Universidad de Talca.
- Ortega-Farias, S., Acevedo, C., Acevedo, A. and Leyton, B. 2003. Talca irrigation management system (TIMAS) for grapevine. En prensa en *Acta Horticulturae*