

**VARIABILIDAD ESPACIAL DEL RENDIMIENTO DE UVA Y CALIDAD DEL MOSTO EN CUARTELES DE VID cv. CABERNET SAUVIGNON Y CHARDONNAY EN RESPUESTA A LA VARIABILIDAD DE ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO**

**Spatial variability of grape yield and must quality on blocks of grapevines cv. Cabernet Sauvignon and Chardonnay in response to variability of some soil properties**

Luis A. Flores M.<sup>1</sup> \*

**ABSTRACT**

A study of spatial variability in some physical and chemical properties of a soil of the Quipato Series (Ultic Palexeralfs) of Cauquenes Province (coordinates 753.677 E; 6.014.001 N, UTM Datum WGS84 Zona 18), 7th Region, Chile, was conducted to determine the spatial correlation with grape (*Vitis vinifera* L.) yield and must quality variables measured in two blocks of cv. Cabernet Sauvignon and one block of cv. Chardonnay. The sampling method used was a systematic grid with a density of 10 sampling points per hectare. The data were analyzed using geostatistical techniques. A spatial dependency analysis was performed. The spatially correlated variables were grouped via an analysis of factors to later define homogeneous treatment zones through cluster analysis. The results indicated that the sampling intensity used was not sufficient to characterize the spatial variability of grape yield and must quality in the block corresponding to the cv. Chardonnay and there was no spatial correlation with the soil properties evaluated. In the two blocks of the cv. Cabernet Sauvignon, the spatial variability of number of clusters, pruning weight and must pH were characterized, nevertheless only the number of clusters had a spatial correlation with the evaluated soil properties. The number of samples per hectare necessary to characterize the spatial variability of the soil properties and the grape yield and must quality is site-specific and different for each variable to be evaluated.

**Key words:** precision agriculture, *Vitis vinifera* L., spatial analysis, management zones.

**RESUMEN**

Un estudio de la variabilidad espacial de algunas propiedades físicas y químicas de un suelo de la serie Quipato (Ultic Palexeralfs) de la provincia de Cauquenes (coordenadas 753.677 E; 6.014.001 N, UTM Datum WGS84 Z18), VII Región, Chile, fue realizado para determinar el grado de correlación espacial existente con el rendimiento de uva (*Vitis vinifera* L.) y la calidad del mosto, en dos cuarteles de cv. Cabernet Sauvignon y un cuartel del cv. Chardonnay. El método de muestreo utilizado fue sistemático con una densidad de diez muestras por hectárea. Los datos fueron evaluados mediante el uso de técnicas geoestadísticas. Se realizó un análisis de dependencia espacial. Las variables espacialmente correlacionadas fueron agrupadas mediante un análisis de factores para luego definir zonas homogéneas de manejo a través de un análisis de clusters. Los resultados indicaron que la intensidad de muestreo utilizada no fue suficiente para caracterizar la variabilidad espacial del rendimiento de uva y la calidad del mosto en el cuartel correspondiente al cv. Chardonnay, y no existió correlación espacial con las propiedades del suelo evaluadas. En los dos cuarteles del cv. Cabernet Sauvignon se pudo caracterizar la variabilidad espacial del número de racimos, del peso poda y del pH del mosto, sin embargo, sólo el número de racimos presentó correlación espacial con las propiedades del suelo evaluadas. El número de muestras por hectárea necesarias para caracterizar la variabilidad espacial de las propiedades del suelo y del rendimiento de uva y calidad del mosto, es sitio específico y diferente para cada variable a evaluar.

**Palabras clave:** agricultura de precisión, *Vitis vinifera* L., análisis espacial, zonas de manejo.

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile.

E-mail: luisflores@udec.cl \* Autor para correspondencia.

Recibido: 01 de agosto de 2003. Aceptado: 3 de febrero de 2004.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos diez años, las tecnologías de la información tales como los sistemas de información geográfica (SIG), los equipos de posicionamiento satelital (GPS) y los sensores directos y remotos, han permitido ampliar de manera considerable el nivel de conocimiento que se tenía de los recursos naturales. Sus aplicaciones en la agricultura están revolucionando la forma de manejar los cultivos, aportando un mayor volumen de información útil para la toma de decisiones. La incorporación de información sobre la variabilidad de los suelos, de la humedad y de los nutrientes, entre otros, requiere entender el crecimiento de los cultivos en un contexto global de medio ambiente.

El muestreo de suelos es una herramienta útil para medir el contenido de nutrientes y estimar los requerimientos de fertilización y agua de riego para los cultivos. Sin embargo, existen errores asociados al muestreo debido a la existencia de variabilidad espacial inducida por los procesos de formación de suelo y por el manejo actual e histórico de los cultivos (Bouma y Finke, 1993; Earl *et al.*, 1997; Mahmoudjafari *et al.*, 1997; Bramley, 2000). La variabilidad en las propiedades del suelo es el resultado de complejos procesos geológicos y pedológicos a lo cual se agregan los procesos erosivos, el tamaño del área de muestreo y el historial de manejo del suelo entre otros (Bouma y Finke, 1993; Mallarino, 1996; Sylla *et al.*, 1996; Mulla y Schepers, 1997; Young *et al.*, 1999). Así mismo, el manejo cultural aplicado a los suelos ha provocado múltiples diferencias entre suelos que pertenecen a una misma serie, debido a la alteración de su profundidad, fertilidad y estructura natural (Bouma y Finke, 1993). Esta variabilidad produce distribuciones de frecuencia “no-normales o sesgadas” en los valores de las variables químicas y físicas, lo cual impide el uso de técnicas estadísticas que sean sensibles al supuesto de normalidad (Young *et al.*, 1999). Esta situación se explica por la teoría de las variables regionalizadas, la que establece que los valores de la mayoría de las propiedades del suelo no poseen un patrón

aleatorio de distribución en el espacio, sino que están espacialmente correlacionadas, o lo que es lo mismo, poseen dependencia espacial (Isaaks y Srivastava, 1989; van Es *et al.*, 1989; Oliver y Webster, 1990; Timlin *et al.*, 1998)

Se han reportado evidencias de variación espacial en el rendimiento de uva en los últimos años gracias a la incorporación de equipos de monitoreo en las máquinas vendimiadoras (Johnson *et al.*, 1998; Taylor y Whelan, 1999; Bramley, 2000; Taylor, 2001; Flores *et al.*, 2002). Así mismo, se ha observado la existencia de variabilidad espacial en algunos indicadores de calidad de las uvas, como son el peso y color de las bayas, los sólidos totales y los polifenoles (Bramley, 2000), entre otros, lo cual se está intentando correlacionar con las propiedades del suelo y con índices de vegetación obtenidos a partir de imágenes multiespectrales (Arkun *et al.*, 2000).

El objetivo de este estudio fue establecer las relaciones espaciales existentes en los factores de suelo que limitan el rendimiento de uva y la calidad del mosto en un viñedo de cv. Cabernet Sauvignon y cv. Chardonnay, mediante la caracterización de la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas del suelo. La caracterización de la variabilidad espacial permitirá determinar el grado de correlación existente entre la productividad de las vides y las propiedades del suelo, y definir áreas de manejo homogéneo para implementar un sistema de aplicación variable de manejos según los requerimientos particulares de cada área.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se condujo al interior del Fundo Huechahue (coordenadas 753.677 E; 6.014.001 N, UTM Datum WGS84 Zona 18) en la comuna de Cauquenes, VII Región del Maule. Se seleccionaron del cv. Cabernet Sauvignon 2,4 ha conducido en doble cruceta (cuartel 9) y 2,3 ha conducido en espaldera simple (cuartel 11), y 2,2 ha del cv. Chardonnay conducido en doble cruceta (cuartel 6). Las condiciones meteorológicas fueron similares.

Se generó un sistema de información geográfica del área de estudio sobre una base fotográfica escala 1:5.000 utilizando el software MapInfo (MapInfo, 2000). Con ayuda del programa HGIS (StarPal, 2002) se diseñó una grilla de puntos de muestreo con una intensidad de diez puntos por hectárea sobre cada cuartel digitalizado. Los puntos se distribuyeron en forma sistemática y se numeraron del 1 al 22 en el cuartel 6, del 1 al 24 en el cuartel 9 y del 1 al 23 en el cuartel 11. Los puntos de muestreo se identificaron en terreno utilizando un equipo de posicionamiento satelital con señal diferencial (DGPS) y la asistencia de una computadora portátil (Compaq iPAQ 3630) con el programa HGIS y la base de datos digital del área de estudio. Cada punto muestreal estuvo formado de cinco plantas. Las variables medidas en cada punto de la grilla de muestreo fueron el porcentaje de arena-limo-arcilla del suelo a 0-20 y 20-40 cm, la profundidad efectiva del suelo, la cota de terreno (m.s.n.m.), el peso de racimos por planta (RPP en g), el número de racimos por planta (NRPP), el área de la sección transversal del tronco (ASTT en cm<sup>2</sup>), el contenido de sólidos solubles del mosto expresado como grado de alcohol probable (GAP en °), el pH y la acidez total (AT) del mosto. El ASTT se midió a una distancia de 100 cm y 50 cm, medida desde el alambre de conducción hasta el suelo, en el cv. Cabernet Sauvignon y el cv. Chardonnay, respectivamente. Adicionalmente, se analizó el N disponible (mg kg<sup>-1</sup>), el P Olsen (mg kg<sup>-1</sup>), el K Intercambiable (mg kg<sup>-1</sup>), la materia orgánica (%) y el pH del suelo en los cuarteles 6 y 11. El procedimiento de análisis de laboratorio al que se sometieron las muestras es el descrito por Sadzawka *et al.* (2000) y Sotomayor *et al.* (1980).

Utilizando un equipo de medición de la conductividad eléctrica (CE) del suelo (Veris, modelo 3100, VerisTech Inc., Salina City, Kansas, EE.UU.), se midieron los valores de CE (mmhos cm<sup>-1</sup>) en cada entre hilera en dos profundidades, 0-30 y 0-90 cm. A estos valores de CE se asoció una coordenada geográfica (sistema UTM datum WGS84 Zona 18) asignada por un DGPS montado en el equipo de medición de CE (Boydell *et al.*, 1999). Utilizando las ecuaciones de Saxton *et al.* (1986) se estimaron

las variables capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) del suelo en los estratos 0-20 y 20-40 cm, para lo cual se emplearon los valores de textura medidos en cada estrato. Los valores de las propiedades físicas y químicas del suelo y de rendimiento de uva y calidad de mosto medidos en cada punto de muestreo, se analizaron mediante la determinación del índice de Moran (Upton y Fingleton, 1985; Venables y Ripley, 1996; Johnson y Wichern, 1998) utilizando las herramientas de análisis del software S-plus (Mathsoft, 2000). Luego se realizó un análisis multivariado, con técnicas de análisis de factores (Factor Analysis) y análisis de grupos (Cluster Analysis) utilizando el software SAS (SAS Institute, 2000). Finalmente, la información obtenida del análisis de grupos se mostró espacialmente para representar gráficamente la situación de cada variable o grupo de variables en el área de estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de dependencia espacial efectuado a las variables de suelo medidas en los tres cuarteles, mediante el cálculo del índice de Moran (Moran'I), se muestra en el Cuadro 1. Los valores de p iguales a cero indican que el índice de Moran es significativamente distinto de cero y, por lo tanto, esa variable presenta dependencia espacial. Algunas variables de suelo no presentan dependencia espacial, es decir, no fueron muestreadas con la intensidad necesaria para que la distancia entre las muestras fuera igual o menor a su rango de dependencia espacial.

Claramente se puede concluir que no todas las variables de suelo presentan el mismo rango de dependencia y, por lo tanto, deben ser muestreadas con diferentes intensidades para obtener muestras correlacionadas espacialmente. Las variables CE, cota de terreno y porcentaje de limo en el estrato 0-20 cm presentaron dependencia espacial en los tres cuarteles (Cuadro 1). Otras variables como el contenido de arena, contenido de arcilla, CC, nutrientes, etc., la presentaron sólo en alguno de los cuarteles (Cuadro 1). Aquellas variables que no la presentaron, para una intensidad de 10 muestras

**Cuadro 1. Valor de probabilidad (p de 2 lados) para el índice de Moran (Moran'I) en cada variable de suelo medida en el Cuartel 6 (cv. Chardonnay) y en los Cuarteles 9 y 11 (cv. Cabernet Sauvignon).****Table 1. Probability value (p 2-side) of the Moran'I index for each soil variable measured in block 6 (cv. Chardonnay) and blocks 9 and 11 (cv. Cabernet Sauvignon).**

Variable	Cuartel 6 (Chardonnay)		Cuartel 9 (Cabernet Sauvignon)		Cuartel 11 (Cabernet Sauvignon)	
	I	P	I	P	I	P
CE 0-30 cm	0,099	0,0	0,0500	0,0	0,2256	0,0
CE 0-90 cm	0,152	0,0	0,0044	0,0	0,2193	0,0
Profundidad (m)	0,100	0,0	0,0360	0,0	-0,0335	0,7
% Arcilla 0-20 cm	-0,019	0,1	0,0041	0,4	-0,0557	0,6
% Arena 0-20 cm	0,083	0,0	0,1219	0,0	-0,0472	0,9
% Limo 0-20 cm	0,130	0,0	0,3198	0,0	0,0276	0,0
% Arcilla 20-40 cm	-0,012	0,4	-0,0319	0,5	-0,0852	0,1
% Arena 20-40 cm	0,044	0,1	-0,0025	0,4	-0,0877	0,1
% Limo 20-40 cm	0,035	0,0	0,1685	0,0	0,0055	0,2
CC 0-20 cm	0,088	0,0	0,1356	0,0	-0,0195	0,1
CC 20-40 cm	0,109	0,0	-0,0323	0,7	-0,0234	0,4
PMP 0-20 cm	0,085	0,0	0,0701	0,0	-0,0135	0,3
PMP 20-40 cm	0,102	0,0	-0,0587	1,0	-0,0766	0,3
Cota	0,186	0,0	0,1843	0,0	0,1772	0,0
pH suelo	0,033	0,2	-	-	-0,0045	0,5
MO (%)	-0,032	0,7	-	-	-0,0451	0,7
Nitrógeno	0,036	0,0	-	-	0,0072	0,4
Fósforo	0,145	0,0	-	-	0,0179	0,1
Potasio	0,012	0,1	-	-	-0,0364	0,5

CE: conductividad eléctrica; CC: capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente; MO: materia orgánica; I: índice de Moran; p: valor de probabilidad; -: sin información.

por hectárea, demuestran ser variables de alta variabilidad espacial y requieren grillas de muestreo más intensas. En definitiva, la ausencia o presencia de correlación espacial en algunas variables indica que el grado de variabilidad es sitio específico (depende de la ubicación del cuartel) y es distinto (o al menos no es igual) para todas las variables. Además, la dependencia espacial también presentó diferencias en la profundidad, indicando que una misma variable posee patrones de distribución espacial diferentes según el estrato en que se mide.

El análisis de correlación efectuado a las variables de la planta medidas en los tres cuarteles, mediante el cálculo del índice de Moran, se muestra en el Cuadro 2. Como puede observarse, la mayoría de las variables de la planta no presentan dependencia espacial, es

decir, no fueron muestreadas con la intensidad suficiente. Sin embargo, la variable número de racimos por planta (NRPP) y peso de poda (PP) en el cuartel 9 y la variable pH del mosto (pH) en el cuartel 11 fueron las únicas que mostraron correlación espacial para la intensidad de muestreo utilizada (Cuadro 2). Lo anterior indicaría que las condiciones de crecimiento de las plantas presentan una alta variabilidad al interior de estos cuarteles y que necesitan ser muestreadas con intensidades mayores a diez muestras por hectárea para representar su distribución espacial.

En los Cuadros 3, 4 y 5 se puede apreciar como el análisis de factores muestra las variables ordenadas en "factores". La dirección de cambio Norte y Este, correspondientes a los ejes de variación de las coordenadas UTM, fue

considerada en el análisis para determinar si existe alguna relación entre la variación de las propiedades de suelo y de las plantas, y su posición respecto de los ejes. Los signos que acompañan a los porcentajes de la varianza representan el sentido de cambio de la variable respecto de las otras variables que integran el mismo factor. Así, en el factor 1 la profundidad

aumenta cuando la retención de humedad disminuye y cuando el contenido de arena se eleva, lo cual corresponde a la realidad. En este caso, se solicitó al programa que entregara cinco factores y se consideraron como variables correlacionadas a aquellas cuya varianza explicó al menos un 40% de la varianza total del cuartel (criterio arbitrario), donde 0,40000 representa el

**Cuadro 2. Valor de probabilidad (p de 2 lados) para el índice de Moran (Moran'I) en cada variable de la planta medida en el Cuartel 6 (cv. Chardonnay) y en los Cuarteles 9 y 11 (cv. Cabernet Sauvignon).**

**Table 2. Probability value (p 2-side) of the Moran Index for each plant variable measured in block 6 (cv. Chardonnay) and blocks 9 and 11 (cv. Cabernet Sauvignon).**

Variable	Cuartel 6 (Chardonnay)		Cuartel 9 (Cabernet Sauvignon)		Cuartel 11 (Cabernet Sauvignon)	
	I	P	I	P	I	P
NRPP	-0,0495	0,6	0,1098	0,0	0,0130	0,1
RPP	-0,0193	0,3	0,0028	0,2	-0,0252	0,6
PP	-0,0430	1,0	0,0205	0,0	0,0133	0,1
ASTT	-0,0697	0,8	-0,0231	0,4	0,0198	0,1
GAP	-0,0413	0,4	-0,0285	0,5	-0,0276	0,5
AT	-0,0387	0,5	-0,0283	0,5	-0,0065	0,3
pH mosto	-0,0090	0,4	-0,0791	0,3	0,0179	0,0

NRPP: número de racimos por planta; RPP: peso de racimos por planta; PP: peso por planta; ASTT: área de la sección transversal del tronco; GAP: grado de alcohol probable; AT: acidez total del mosto; I: Índice de Moran; p: valor de probabilidad.

**Cuadro 3. Resultado del análisis de factores para el Cuartel 6 (cv. Chardonnay).**

**Table 3. Results of the factor analysis for block 6 (cv. Chardonnay).**

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
PMP 0-20 cm	0,89527	0,16093	0,30513	0,17761	0,02848
CC 0-20 cm	0,89395	0,05692	0,25776	0,16614	0,20924
PMP 20-40 cm	0,85102	0,18047	0,32789	0,20171	0,16493
CC 20-40 cm	0,84186	0,04596	0,36954	0,22978	0,21713
Profundidad	-0,51467	-0,50537	-0,38345	-0,09158	-0,20653
% Arena 0-20 cm	-0,74574	-0,04791	-0,02075	-0,57970	-0,24595
Este	0,25051	0,88539	0,15890	0,09689	-0,00070
Cota terreno	0,48525	0,71605	-0,04344	0,11215	0,42843
Nitrógeno	0,32764	-0,72642	0,10877	-0,20702	0,35691
CE 0-30 cm	0,39098	-0,02891	0,88041	0,20570	-0,01635
CE 0-90 cm	0,44224	0,16306	0,79781	0,15788	0,28904
% Limo 20-40 cm	0,29383	0,18456	0,29490	0,77662	0,13866
% Limo 0-20 cm	0,43695	0,22965	0,11685	0,69193	0,44979
Norte	0,32569	-0,17301	0,07624	0,23957	0,85143
Fósforo	0,03873	-0,39303	-0,36689	-0,45786	-0,61970

\*Valores indican grado de correlación de la variable en cada factor.

PMP: punto de marchitez permanente; CC: capacidad de campo; CE: conductividad eléctrica.

40%. A su vez, aquellas variables que explican más de un 40% de la varianza total del cuartel y que se encuentran agrupadas en el factor 1, explican un mayor porcentaje de la varianza total del cuartel que aquellas que se agrupan en los factores siguientes.

En consecuencia con lo anterior, en el cuartel 6 se consideraron como variables altamente correlacionadas sólo aquellas agrupadas en el factor 1 (Cuadro 3), es decir, la CC 0-20 cm, la CC 20-40 cm, el PMP 0-20 cm, el PMP 20-40 cm, el contenido de arena 0-20 cm, el contenido de limo 0-20 cm, la profundidad y la CE 0-90 cm. Se seleccionaron sólo las variables del factor 1, debido al menor número de variables con alta correlación (mayor a 0,4000) involucradas en el factor 2.

En el caso del cuartel 9 (cv. Cabernet Sauvignon),

#### Cuadro 4. Resultado del análisis de factores para el Cuartel 9 (cv. Cabernet Sauvignon).

Table 4. Results of the factor analysis for block 9 (cv. Cabernet Sauvignon).

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
Norte	0,89807	0,19565	0,07896	0,26003	-0,02190
Nº Racimos	0,68879	0,09883	-0,03579	0,13717	-0,62212
Este	-0,61229	-0,46523	-0,52640	-0,15696	0,09999
CE 0-30 cm	-0,72860	0,36494	-0,40099	0,27746	0,10359
CC 0-20 cm	0,23607	0,74834	0,41999	0,19318	-0,00506
PMP 0-20 cm	-0,17983	0,65100	0,35094	0,25189	-0,42139
Cota terreno	-0,15014	-0,85614	-0,10109	0,23969	0,26858
% Limo 20-40 cm	0,10292	0,24603	0,85098	0,09078	-0,21071
% Limo 0-20 cm	0,55749	0,36847	0,64045	0,04596	-0,16573
CE 0-90 cm	0,08155	0,17060	-0,03958	0,94653	0,01737
Profundidad	-0,20055	0,41561	-0,40309	-0,73369	0,04784
% Arena 0-20 cm	-0,15562	-0,31897	-0,43447	0,10865	0,74984

\*Valores indican grado de correlación de la variable en cada factor.

CE: conductividad eléctrica; CC: capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente.

#### Cuadro 5. Resultado del análisis de factores para el Cuartel 11 (cv. Cabernet Sauvignon).

Table 5. Results of the factor analysis for block 11 (cv. Cabernet Sauvignon).

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
CE 0-30 cm	0,98680	-0,09071	-0,01013	0,03819	0,09347
CE 0-90 cm	0,91430	-0,15179	0,26042	-0,11318	0,23014
Este	0,78708	-0,23252	-0,28491	0,05671	0,45140
% Limo 0-20 cm	-0,18964	0,95435	-0,12709	0,02083	-0,19092
Norte	0,03733	-0,14987	0,91179	-0,35427	0,09396
pH mosto	-0,00875	0,01789	-0,29337	0,95371	-0,06247
Cota terreno	0,48896	-0,33168	0,19866	-0,13185	0,76388

\*Valores indican grado de correlación de la variable en cada factor.

CE: conductividad eléctrica.

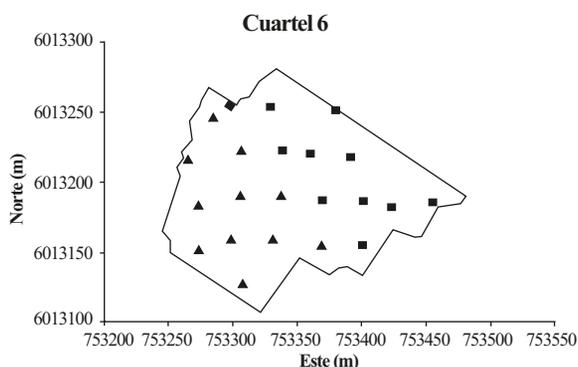
el Cuadro 4 muestra que tanto el factor 1 como el factor 2 poseen el mismo número de variables, por lo cual se integraron y consideraron como variables altamente correlacionadas la dirección Norte y Este, el contenido de limo 0-20 cm, la CE 0-30 cm, el NRPP, el PMP 0-20 cm, la CC 0-20 cm, la cota de terreno y la profundidad.

En el caso del cuartel 11, el Cuadro 5 muestra que el factor 1 presenta el grupo de variables de mayor importancia, el cual está conformado básicamente por la coordenada Este, la CE 0-30, la CE 0-90 y la cota de terreno.

Las variables seleccionadas en el análisis de factores fueron utilizadas para el análisis de clusters. Este análisis consiste en la determinación de aquellos puntos de muestreo que poseen

valores similares, para agruparlos en zonas homogéneas. En la Figura 1 se muestra una representación de los puntos de muestreo del cuartel 6 (cv. Chardonnay) con las coordenadas UTM Norte (m) y Este (m) en los ejes.

En ella se puede ver cómo el comportamiento de las variables que componen el factor 1 muestran un patrón de distribución espacial bien definido y caracterizado por dos grandes zonas homogéneas cuyos puntos de muestreo se muestran con formas cuadradas y triangulares, donde 10 de los 22 puntos de muestreo forman una zona homogénea; otros 10 forman una segunda zona homogénea; y 2 puntos no pertenecen a ninguna de éstas. Estos puntos solitarios que aparecen en las Figuras 1, 2, 3 y 4 pertenecen a áreas diferentes, sin embargo, no fueron considerados en sí mismos como zonas debido al bajo porcentaje de la



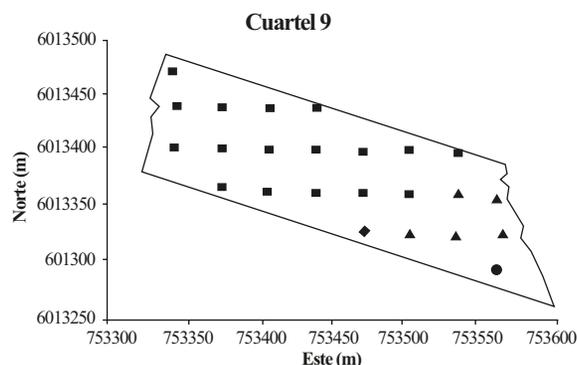
**Figura 1.** Agrupación de puntos de muestreo en función de las variables que componen el factor 1 para el cuartel 6 (cv. Chardonnay). En la abcisa se muestra la variable Este (m) y en la ordenada la variable Norte (m). Forma triangular, forma cuadrada y forma romboide significan zonas diferentes.

**Figure 1.** Grouping of sampling points as a function of the variables that compose factor 1 for block 6 (cv. Chardonnay). The "X" axis shows the East variable (m) and "Y" shows the North variable (m). Triangle shapes, square shapes and rhomboid shapes denote different zones.

superficie del cuartel que representan (4,5% del total).

En la Figura 2 se muestra una representación de los puntos de muestreo del cuartel 9 (cv. Cabernet Sauvignon). En él se puede ver cómo el comportamiento de las variables que componen ambos factores muestran un patrón de distribución espacial bien definido y caracterizado por una gran zona que concentra el 70,8% de la superficie del cuartel y otra zona que ocupa el 20,8% de la superficie. Nuevamente, aparecen puntos que representan una porción despreciable del cuartel.

Cuando se analizó la distribución espacial de la variable número de racimos por planta, que forma parte del factor 1 en el cuartel 9 (cv. Cabernet sauvignon), se pudo verificar que existen dos zonas homogéneas bien definidas



**Figura 2.** Agrupación de puntos de muestreo en función de las variables que componen el factor 1 y 2 para el Cuartel 9 (cv. Cabernet Sauvignon). En la abcisa se muestra la variable Este (m) y en la ordenada la variable Norte (m). Forma triangular y forma cuadrada significa zonas diferentes.

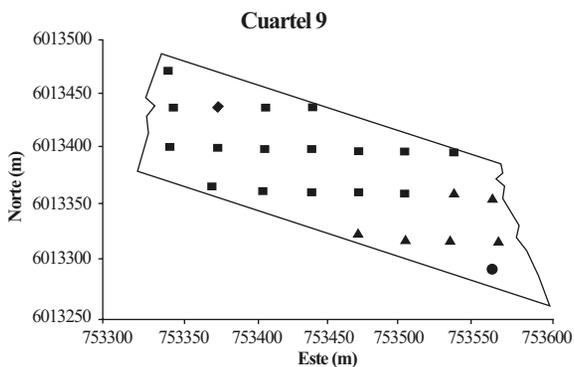
**Figure 2.** Grouping of sampling points as a function of the variables that compose factors 1 and 2 for block 9 (cv. Cabernet Sauvignon). The "X" axis shows the East variable (m) and "Y" shows the North variable (m). Triangle shapes, block shapes, circle shapes and rhomboid shapes denote different zones.

que representan el 66,6 y el 29,2% de la superficie del cuartel (Figura 3). Esta distribución es idéntica a la presentada por las variables de suelo del cuartel 9 (cv. Cabernet Sauvignon).

En la Figura 4 se puede ver cómo el comportamiento de las variables que componen el factor 1 del cuartel 11 arroja un patrón de distribución espacial bien definido y caracterizado principalmente por dos grandes zonas que concentran el 56,5 y el 30% de la superficie del cuartel respectivamente, y una pequeña zona que representa el 8,6% de total.

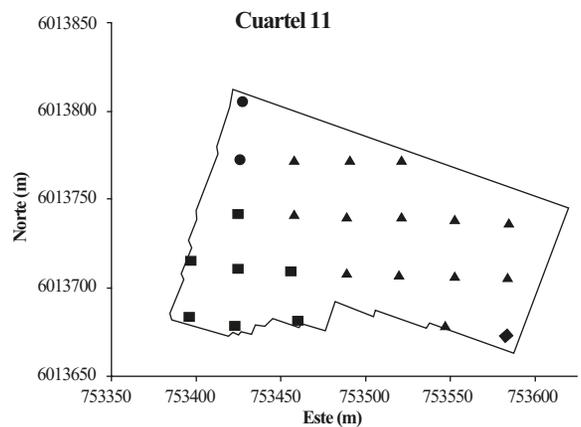
Los tres cuarteles evaluados presentaron dos zonas homogéneas de suelos que fueron definidas por las variables de mayor correlación. Las variables que tuvieron en común fueron la cota de terreno y la retención de humedad del suelo a CC y PMP.

La correlación entre variables del suelo y de la planta mejora cuando se considera un mayor número de variables en el análisis, indicando con ello que la variación en el rendimiento de uva y la calidad del mosto en un viñedo, dependen de una combinación de múltiples factores limitantes.



**Figura 3. Agrupación de puntos de muestreo en función de la variable número de racimos por planta del cuartel 9 (cv. Cabernet Sauvignon). En la abcisa se muestra la variable Este (m) y en la ordenada la variable Norte (m). Forma triangular, forma cuadrada, forma circular y romboide significa zonas diferentes.**

**Figure 3. Grouping of sampling points as a function of variable number of clusters per plant for block 9 (cv. Cabernet Sauvignon). The “X” axis shows the East variable (m) and “Y” shows the North variable (m). Triangle shapes, block shapes, circle shapes and rhomboid shapes denote different zones.**



**Figura 4. Agrupación de puntos de muestreo en función de las variables que componen el factor 1 para el cuartel 11 (cv. Cabernet Sauvignon). En la abcisa se muestra la variable Este (m) y en la ordenada la variable Norte (m).**

**Figure 4. Grouping of sampling points as a function of the variables that compose factor 1 for block 11 (cv. Cabernet Sauvignon). The “X” axis shows the East variable (m) and “Y” shows the North variable (m).**

## CONCLUSIONES

Cuando se utiliza el muestreo sistemático como método para caracterizar la variabilidad espacial de las propiedades del suelo, es necesario considerar el rango de dependencia espacial de la variable de mayor variabilidad. El rango de dependencia espacial de una variable del suelo no es el mismo en todos los sitios ni para todos los estratos del perfil, por lo cual la caracterización de la variabilidad espacial basada en el muestreo sistemático, debe considerar un número suficiente de muestras por hectárea para asegurar la caracterización.

Las variables de rendimiento de uva y calidad del mosto en un viñedo, presentan un alto grado de variabilidad espacial que hace difícil la caracterización mediante un muestreo sistemático. El muestreo sistemático, como herramienta para la caracterización de la variabilidad espacial de las propiedades del suelo, del rendimiento de uva y de la calidad del mosto, no representa una alternativa técnico-económica factible debido a que cada variable debe ser muestreada a una intensidad distinta y el costo

de la toma de muestra y del análisis de laboratorio de cada variable hacen excesivamente alto el costo de la caracterización con fines comerciales.

Por estas razones, nuevas técnicas de muestreo tales como el muestreo dirigido, podrían reducir el número de muestras necesarias para caracterizar la variabilidad, sin embargo, se necesitaría información adicional, que puede ser extraída, por ejemplo, de fotografías aéreas o imágenes satelitales, cuyo costo y operatividad deberá ser evaluada.

## RECONOCIMIENTOS

El autor desea agradecer la valiosa cooperación de los académicos del Departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, Sres. Iván Vidal P., Neal B. Stolpe y Erick Zagal, y del investigador del Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente del INIA Quilamapu Sr. Stanley Best S. Así mismo, se agradecen los aportes financieros efectuados por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) del Ministerio de Agricultura y la Universidad de Concepción.

## LITERATURA CITADA

- Arkun, S., F. Honey, L. Johnson, D. Lamb, W. Lieff, and G. Morgan. 2000. Airborne remote sensing of the vine canopy. p. 15-27 *In* David Lamb (ed.). Proceedings of Workshop: Vineyard Monitoring and Management Beyond 2000. CRC for Viticulture and National Wine Grape Industry Centre, Charles Sturt University. August 8, 2000. Wagga Wagga, New South Wales, Australia.
- Blackmore, B.S., and G. Larscheid. 1997. Strategies for managing variability. p. 1-9. *In* Proceedings 1st European Conference on Precision Agriculture. Warwick University Conference Centre, Warwick, UK. 8-10 September 1997. Organized by The SCI Agriculture and Environment Group, Warwick, UK.
- Bouma, J., and P.A. Finke. 1993. Origin and nature of soil resource variability. p. 3-13. *In* Robert, P.C., R.H. Rust, and W.E. Larson (eds.). Proceedings of First Workshop Soil Specific Crop Management. April 14-16. 1992. ASA, CSSA, SSSA. Minneapolis, Minnesota, USA.
- Boydell, B., A. McBratney, and B. Whelan. 1999. Preliminary results with the Veris soil electrical conductivity instrument. Australian Centre for Precision Agriculture Bulletin. April 9<sup>th</sup>, 1999. p. 1-10. University of Sydney, Sydney, Australia.
- Bramley, R.G. 2000. Measuring within vineyard variability in yield and quality attributes. p. 8-14. *In* David Lamb (ed.). Proceedings of Workshop: Vineyard Monitoring and Management Beyond 2000. CRC for Viticulture and National Wine Grape Industry Centre, Charles Sturt University. August 8, 2000. Wagga Wagga, New South Wales, Australia.
- Earl, R., P.N. Wheeler, B.S. Blackmore, and R.J. Gordon. 1997. Precision farming. The management of variability. p. 1-15. July 16, 1999. Silsoe Cranfield University, Cranfield, UK.

- Flores, L., S. Best, N. Rodríguez, J.P. Sotomayor, y E. Ruz. 2002. Variabilidad espacial de algunas propiedades del suelo y su influencia en el rendimiento y calidad de las uvas. *En* Actas del IX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Talca, Chile. Noviembre 4-6 de 2002. Boletín N° 18. p. 183-185. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Talca, Chile.
- Isaaks, E.H., and R.M. Srivastava. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York, USA.
- Johnson, R., and D. Wichern. 1998. Applied multivariate statistical analysis. 4<sup>th</sup> ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Johnson, L., B. Lobitz, D. Bosch, and P. Skinner. 1998. Of pixels and palates: can geospatial technologies help produce a better wine? *In* Proceedings, 1<sup>st</sup> International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry. Lake Buena Vista, Florida, USA. June 1-3. The Environmental Research Institute of Michigan (ERIM), Ann Arbor, Michigan, USA.
- Mahmoudjafari, M., G.J. Kluitenberg, J.L. Havlin, J.B. Sisson and A.P. Schwab. 1997. Spatial variability of nitrogen mineralization at the field scale. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1214-1220.
- Mallarino, A.P. 1996. Spatial variability patterns of phosphorus and potassium in no-tilled soils for two sampling scales. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1473-1481.
- MapInfo. 2000. Software MapInfo Professional version 5.5. MapInfo Corporation, New York, USA.
- Mathsoft, 2000. Software S-Plus 2000 Professional Release 1. Mathsoft Inc., New York, USA.
- Morton, J.D., D.B. Baird, and M.J. Manning. 2000. A soil sampling protocol to minimize the spatial variability in soil test values in New Zealand hill county. *N.Z. J. Agric. Res.* 43:367-375.
- Mulla, D.J. and J.S. Schepers. 1997. Key processes and properties for site specific soil and crop management. *In*: Proceedings of 4<sup>th</sup> International Conference "The site specific management for agricultural systems". ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Oliver, M.A., and R. Webster. 1990. Kriging: a method of interpolation for geographical information system. *Int. J. Geographical Information Systems* 4:313-332.
- Pettygrove, G.S., S.K. Upadhyaya, J.A. Young, E.M. Miyao and M.G. Pelletier. 1999. Tomato yield variability related to soil texture and inadequate phosphorus supply. *Better Crops* 83(2):7-9.
- Sadzwaka, A., R. Grez, M. Mora, N. Saavedra, M. Carrasco, y C. Rojas. 2000. Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos. Boletín de la Comisión de Normalización y Acreditación. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Santiago, Chile. Disponible en [www.inia.cl](http://www.inia.cl) Leído en septiembre de 2000.
- SAS Institute. 2000. Software SAS version 8, Nashville Enabled. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Saxton, K., W.J. Rawls, J.S. Romberger, and R.I. Papendick. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1031-1036.
- Sotomayor, J.P., B. Valenzuela, A. Lavín, y E. Bordeau. 1980. Metodología para investigación enológica. Boletín INIA N° 39. 63 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- StarPal. 2002. Software HGIS version 4.25. StarPal Inc., Fort Collins, Colorado, USA.
- Sylla, M., A. Stein, M.E.F. van Mensvoort, and N. van Breemen. 1996. Spatial variability of soil actual and potential acidity in the mangrove agroecosystem. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:219-229.
- Taylor, J., and B. Whelan. 1999. Some very preliminary grape yield monitoring. *Australian Centre for Precision Agriculture Bulletin.* p. 1-5. University of Sydney, Sydney, Australia.
- Taylor, J. 2001. Within block variability in grapes. An example. *Australian Centre for Precision Agriculture Bulletin.* p. 1-4. University of Sydney, Sydney, Australia.
- Taylor, R.K., S. A. Staggenborg, J.P. Schmidt, L.D. Maddux, and R.E. Lamond. 2001. Experiences at a precision agriculture research and demonstration site. Department of Biological and Agricultural Engineering, Kansas State University, Manhattan, Kansas, United State of America. Kansas State University, Cooperative of Research and Extension on Precision Agriculture. <http://www.oznet.ksu.edu/precisionag/> Accessed on April 2003.
- Timlin, D.J., Y. Pachepsky, V.A. Snyder, and R.B. Bryant. 1998. Spatial and temporal variability of corn grain yield on a hillslope. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:764-773.

- Upton, G. and B. Fingleton. 1985. Spatial data analysis by example: Point pattern and quantitative data. 410 p. Vol. 1. John Wiley & Sons Ltd., London, UK.
- van Es, H.M., C.L. van Es, and D.K. Cassel. 1989. Application of regionalized variable theory to large-plot field experiments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1178-1183.
- Venables, W.N. and B.D. Ripley. 1996. Modern applied statistics with S-Plus. 462 p. 3<sup>rd</sup> ed. Springer-Verlag Inc., New York, USA.
- Veristech, Inc. 2003. Veris 3100. Product information. Available at [www.veristech.com](http://www.veristech.com) Accessed on April 2003.
- Webb, T.H., J.J. Claydon and S.R. Harris. 2000. Quantifying variability of soil physical properties within soil series to address modern land-use issues on the Canterbury Plains, New Zealand. *Aust. J. Agric. Res.* 38:1151-129.
- Young, F.J., R.D. Hammer, and D. Larsen. 1999. Frequency distributions of soil properties on loess-mantled Missouri watershed. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:178-185.