VITICULTURA DE PRECISIÓN

Nuevas Tecnologías para Mejorar la Eficiencia Productiva en Viñas

Andrés Esser C.
aesser@puc.cl
Rodrigo Ortega B.
raortega@puc.cl
Oscar Santibáñez P.
osantib@puc.cl
Departamento de Ciencias Vegetales
Centro de Agricultura de Precisión

La variabilidad espacial en el rendimiento y calidad de uva presente en un viñedo es determinada por factores intrínsecos o propios del lugar de producción (clima, topografía, tipo de suelo, etc.) y extrínsecos como son el riego, la fertilización y otros manejos. En la mayoría de los casos el manejo vitícola es espacialmente uniforme y no considera la heterogeneidad de los factores que inciden en la producción. En este contexto la Viticultura de Precisión podría definirse como el uso de tecnologías de información para la toma de decisiones económica y ambientalmente adecuadas para la producción vitícola y tiende hacia el diseño y aplicación de manejos diferenciales o sitio-específicos, considerando la variabilidad existente en el viñedo. La información es generada y manejada a través del uso de tecnologías de punta hoy disponibles en el mercado. Las herramientas básicas son: sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de información geográfica (SIG), sensores, instrumentos y maquinaria especializada.

La Viticultura de Precisión está siendo implementada fuertemente en Estados Unidos y Australia, principalmente. Observaciones preliminares permiten augurar un gran impacto de estas tecnologías en la producción vitícola nacional, lo que se traduciría en un aumento de la eficiencia productiva de este importante sector. El objetivo de este artículo es mostrar las oportunidades que la Viticultura de Precisión ofrece y las perspectivas para su desarrollo en Chile.

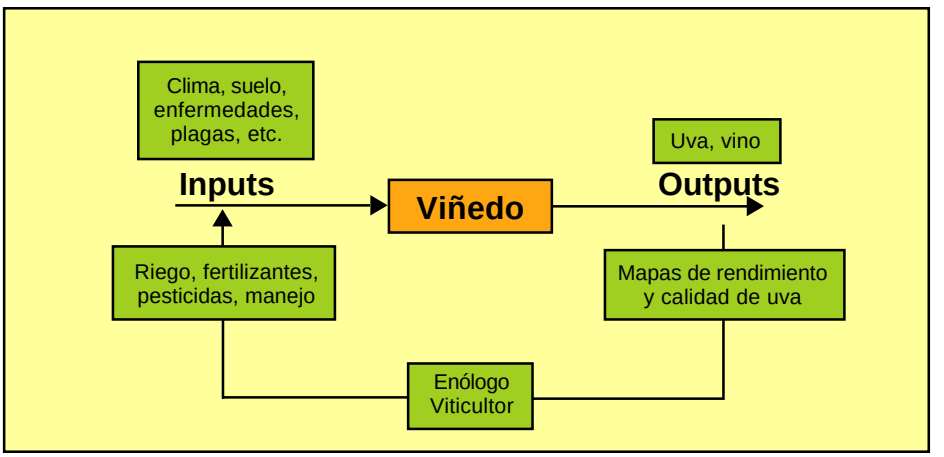

Figura 1. Proceso de Input-Output

Fuente: adaptado de Cook y Bramley, 1998. Australian Journal of Experimental Agriculture. 38: 753-763.

Viticultura de Precisión

El concepto de Agricultura de Precisión tiene ya varios años. La primera conferencia internacional sobre este tema fue realizada en el año 1992. En contraste, la Viticultura de Precisión es relativamente nueva y su aparición estuvo condicionada, principalmente, a la disponibilidad comercial de monitores de rendimiento para uvas. Además, la reciente introducción de nuevas tecnologías como son los sistemas de posicionamiento global (GPS) y monitores de rendimiento equipados con GPS, permiten a los productores de uva vinífera cuantificar la variabilidad existente en un viñedo. Por otra parte, con la ayuda de sistemas de información geográfica (SIG ó GIS), es posible representar, en forma de mapas, las variaciones espaciales relacionadas con la productividad y calidad de la uva.

La viticultura puede ser descrita como un simple proceso de input-output (Figura 1). El conocimiento de la variabilidad existente promueve un uso más eficiente de los inputs del sistema como son el riego, fertilización, herbicidas, etc. La calidad de la información es un importante factor que determina la rentabilidad y calidad de la producción.

Etapas implicadas en Viticultura de Precisión

Las etapas para la aplicación de Agricultura de Precisión son extensivas para el concepto de Viticultura de Precisión. Estas son básicamente las siguientes:

1. Recolección de la información

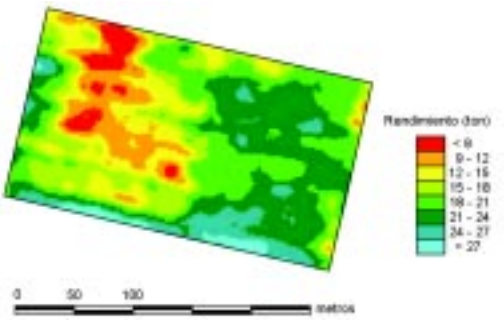

Figura 2. Mapa de rendimiento de la variedad Ruby Cabernet en un cuartel de 4,5 ha. Australia.

Fuente: adaptado de Bramley, 2000. In: Currie, L., Loganathan, P. (Eds). Precision tools for improving land management. Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North, New Zeland.

2. Procesamiento y análisis de la información
3. Aplicación de manejos diferenciados
4. Seguimiento

El proceso comienza con la recolección de la información (rendimiento, calidad de la uva, análisis de suelo, análisis foliar, etc.) que es procesada y analizada para un posterior manejo diferenciado del viñedo. El proceso es continuo y considera un constante seguimiento.

Métodos para cuantificar la variabilidad espacial de un viñedo

Los viñedos presentan una alta variabilidad en cuanto al rendimiento y calidad de uva. A su vez, estos parámetros cambian en función de la variación de otros factores como el tipo de suelo, topografía, nivel de fertilidad, etc. En la práctica existen diversos mecanismos para cuantificar esta variabilidad:

1. Variabilidad del rendimiento de uva

La magnitud de la variación de rendimiento dentro de los viñedos es importante, tal como lo muestra la figura 2, y constituye el punto de partida para establecer un manejo diferenciado. Esta variación es representada a través de un mapa georeferenciado de rendimiento. Los mapas se construyen de la siguiente forma: el monitor de rendimiento entrega los datos correspondientes a la posición y al volumen (peso) de uvas cosechadas en ese punto. La medición es realizada cada segundo. Luego los datos son interpolados por medio de un sistema de información geográfica (SIG). De esta manera es posible crear zonas de rendimiento similar (Figura 2).

Los mapas de rendimiento son una poderosa herramienta para cuantificar la variabilidad existente. Además, permiten un control exacto del volumen y superficie cosechada y la información entregada es precisa y de bajo costo de recolección.

En la figura 2 se presenta un mapa de rendimiento final, obtenido a partir de la variedad Ruby Cabernet en Australia. La variabilidad observada es sustancial, fluctuando en un 300% dentro de un cuartel de 4,5 ha.

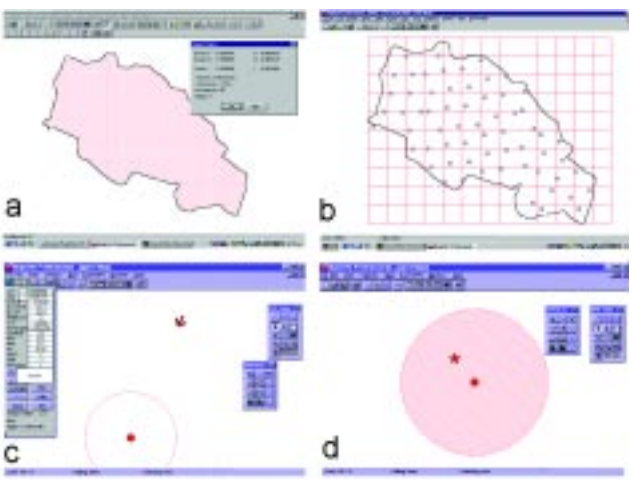

Figura 3. Método de muestreo georeferenciado. En primer lugar se demarca el perímetro, se calcula la superficie y se selecciona el método e intensidad de muestreo (a y b), luego se navega hacia el punto (c) y se colecta la muestra (d).

2. Muestreo georeferenciado del viñedo

Un muestreo georeferenciado consiste en determinar *a priori* los puntos de muestreo a través de un diseño estadístico por medio de un programa de SIG. El primer paso es demarcar el perímetro y área de interés. Luego se define la técnica e intensidad de muestreo. Una vez definidos los puntos, se navega a ellos con la ayuda de un DGPS. En el lugar exacto, la muestra es colectada, identificada y posteriormente analizada en un laboratorio (Figura 3). Los datos obtenidos correspondientes a cada punto de muestreo son ingresados al SIG y de esta manera es posible construir mapas que representen la distribución de la variabilidad de la característica deseada.

En la actualidad, los muestreos al azar realizados comúnmente dentro de los viñedos presentan grandes errores, sobre todo de sesgo (recolectar las muestras en lugares convenientes para el recolector). Esto conlleva muchas veces a sobre o subestimar los parámetros que caracterizan a una población (ej. promedios de rendimiento y calidad de uvas). Además, como los puntos de muestreo no están georeferenciados no es posible construir mapas de alguna característica de interés.

Las principales ventajas del muestreo georeferenciado son:

· Se describe adecuadamente la característica deseada lo que permite una mejor planificación de los manejos a realizar.

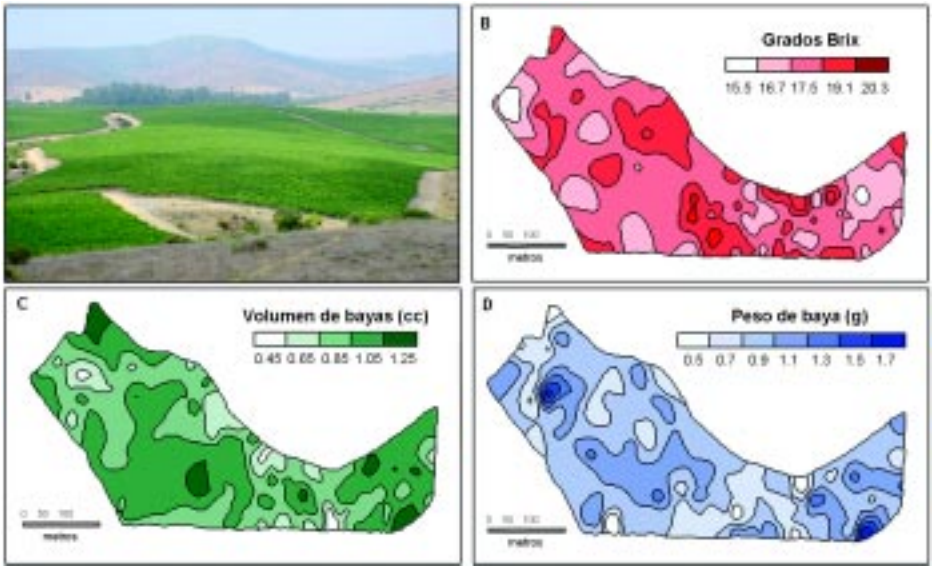

Figura 4. Distribución espacial de diversos parámetros relacionados con la calidad de uva en la variedad Pinot Noir (7,6 ha). Valle de Leyda, V Región, Marzo de 2002. (a) Fotografía del cuartel muestreado, (b) variabilidad espacial del contenido de azúcar, (c) y (d) variabilidad espacial del volumen y peso de bayas.

· Los puntos georeferenciados, al estar sitemáticamente dispuestos y con coordenadas conocidas, permiten interpolar los datos y construir mapas de la característica deseada, lo que facilita enormemente su interpretación.

Ejemplos de muestreo georeferenciado

a. Calidad de uva

Recientemente en Chile, en el valle de Leyda (V Región), el Centro de Agricultura de Precisión de la Pontificia Universidad Católica de Chile realizó un muestreo en un cuartel de 7,6 hectáreas de la variedad Pinot Noir. Utilizando un muestreo sistemático, se determinó la variabilidad espacial de la calidad de la uva, observándose variaciones de un 150, 536 y 490 % en ºBrix, volumen y peso de bayas respectivamente (Figura 4).

b. Estado nutricional del viñedo

De la misma manera en que se cuantifica la variabilidad en rendimiento y calidad de uva, es posible determinar el estado nutricional de un viñedo. La forma más común de realizar un diagnóstico de fertilidad es a través de un análisis de suelo y/o análisis foliar. Estos análisis pueden ser realizados utilizando los procedimientos descritos anteriormente. En la figura 5 se observa que los niveles de diversos nutrientes dentro de un viñedo de la variedad Cabernet Sauvignon son altamente variables, lo que sugiere que el manejo de la fertilización debería ser también variable.

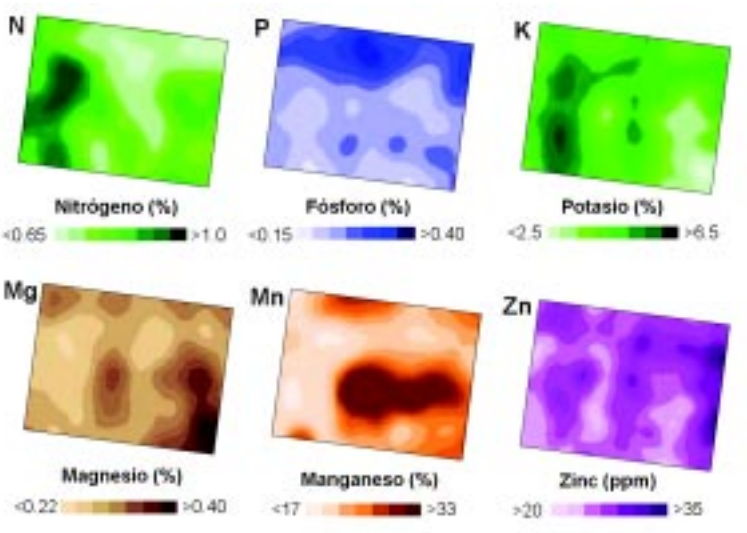

Figura 5. Variación espacial en los niveles de N, P, K, Mg, Mn y Zn en un viñedo de Cabernet Sauvignon en Australia, determinados mediante un análisis de peciolo, en floración.

Fuente: adaptado de Bramley, 2001. In: Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture, Montpellier, France.

3. Medición de la conductividad eléctrica (CE) en tiempo real

El uso de equipos que miden la conductividad eléctrica en tiempo real ha tomado gran interés en el sector vitícola nacional. La conductividad eléctrica (CE) es una medida indirecta del grado de salinidad de un suelo. Este valor puede ser usado para inferir propiedades físicas como la textura, puesto que la CE aumenta con el aumento en el contenido de arcilla. Los resultados de esta medición no son absolutos ya que la CE varía, además, con el contenido de agua, sales disueltas y temperatura del suelo. Esta medición se realiza mediante un equipo similar a una rastra de discos que emite una señal eléctrica, cada segundo, desde un disco o electrodo (+), la cual es recibida por otro disco o electrodo (-), determinándose la caída de voltaje. Este equipo se asocia a un sistema de posicionamiento global con señal diferencial, lo cual permite la confección de mapas georeferenciados (Figura 6) para un posterior manejo diferenciado. Los datos obtenidos a partir de la medición de CE son útiles para el diseño de sistemas de riego y para orientar el muestreo de suelos para análisis físico y químico.

4. Percepción remota o sensoramiento remoto del viñedo

El sensoramiento remoto o percepción remota es una técnica de obtención de información acerca de objetos a través del análisis de datos recolectados por instrumentos especiales que no están en contacto físico con los objetos investigados.

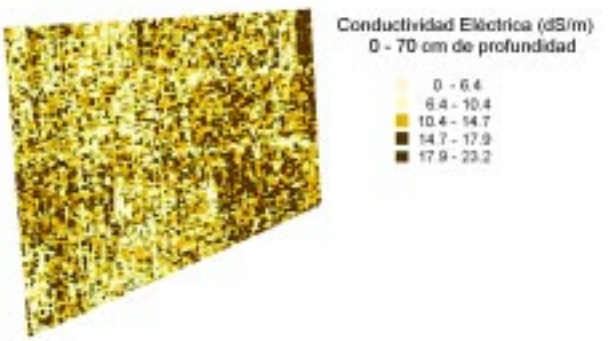

Figura 6. Mapa de conductividad eléctrica en un viñedo de 29 ha de la variedad Cabernet Sauvignon. Pirque, Región Metropolitana. Agosto de 2001.

Fuente: Atec S.A.

Las hojas de las vides (al igual que la mayoría de las especies vegetales) reflejan en mayor grado la porción verde del espectro electromagnético (EEM). Las ondas correspondientes al rojo y azul presentan una menor reflectancia (asociadas a la absorción de estas por parte de la clorofila). Debido a este motivo las hojas se ven de color verde en la porción visible del EEM. Sin embargo, una porción significativa de la luz solar es reflejada en el infrarrojo cercano.

Por otra parte, el contraste entre las hojas y el suelo es mucho mayor en el infrarrojo cercano (Figura 7). Esta característica (diferencias en el espectro reflejado) permite cuantificar la biomasa de un viñedo. Además, la reflectancia en el infrarrojo cercano es mucho más sensible a cambios en la salud de la planta. Generalmente la influencia de enfermedades, plagas, nutrición, humedad disponible o cualquier otro tipo de estrés afecta la biomasa de la vid y/o la respuesta espectral de las hojas.

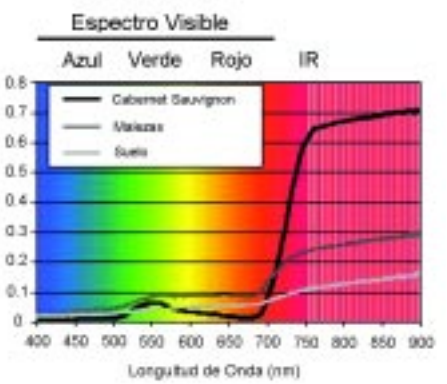

Figura 7
Firma espectral de la variedad Cabernet Sauvignon contrastada con la reflectancia del suelo y malezas. Las diferencias se hacen evidentes en la zona del infrarrojo.

Fuente: Adaptado de Lamb, 2001. In: Proceedings of the 11th Australian Wine Industry Technical Conference. Adelaide, Australia.

Los sensores remotos poseen la capacidad de cuantificar separadamente las diferentes longitudes de onda reflejadas por un objeto. A partir de las imágenes generadas es posible construir índices que permiten conocer, entre otras cosas, la salud y el vigor del viñedo. Uno de los índices más utilizados corresponde al NDVI o índice normalizado de la vegetación (Figura 8). Esta relación considera la cantidad de energía roja que es absorbida por la clorofila y la cantidad de energía del infrarrojo cercano que es reflejada por la estructura celular de la hoja. Areas de alto vigor (densidad vegetal) poseen una mayor reflectancia en el infrarrojo cercano y una menor reflectancia en el rojo, debido a esto poseen un mayor índice NDVI.

Normalmente, los sensores se encuentran instalados en satélites (LANDSAT, SPOT, IKONOS) o sobre aviones. Estos últimos poseen la ventaja de que las imágenes obtenidas pueden alcanzar mejor resolución espacial (tamaño del píxel) y temporal (número de pasadas sobre el viñedo en la temporada).

En resumen, las aplicaciones de la percepción remota en viñedos serían:

· Detección de plagas y enfermedades
· Caracterización del suelo
· Detección de malezas
· Cuantificación del vigor
· Identificación y discriminación de variedades

5. "Scouting" del viñedo

Como su nombre lo indica, el *scouting* es un recorrido que se realiza en el viñedo sin un plan de muestreo sistemático con el fin de identificar niveles de infestación de malezas, plagas, enfermedades o alguna característica de interés. Se puede realizar con DGPS y un computador de terreno (Figura 9) o con un DGPS conectado a una cámara fotográfica o de vídeo.

Definición de zonas de manejo homogéneo

La necesidad de utilizar prácticas de Agricultura de Precisión nace del hecho de que muchos de los factores que determinan el rendimiento y la calidad de los cultivos son variables en el tiempo y espacio, por lo tanto, las decisiones de manejo deben ser sitio y tiempo específicas y no rígidamente programadas.

El manejo sitio-específico implica la aplicación de manejos en forma diferencial dentro de cada sector o zona de manejo dentro del viñedo. Las zonas de manejo homogéneo pueden ser definidas junto con el diseño del viñedo o aplicadas sobre el viñedo establecido.

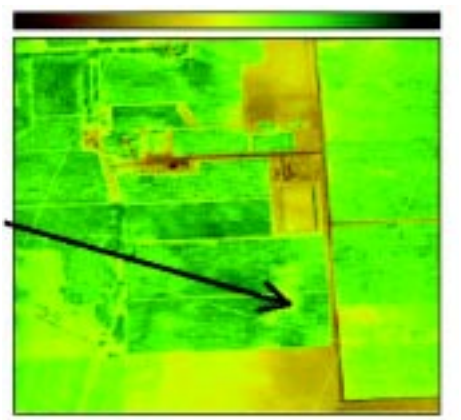

Figura 8. Imagen NDVI de un viñedo. La flecha indica una zona con bajo NDVI (menor intensidad de color). Esta coincide con un área fuertemente nivelada.

Fuente: Adaptado de Arkum, *et al*., 2001. In: Lamb, D. (Ed.) Vineyard Monitoring and Management Beyond 2000. CRC for Viticulture and National Wine and Grape Industry Centre, Charles Sturt University, Waga-Waga, Australia.

Figura 9. *Scouting* de un viñedo. Los datos observados son georeferenciados mediante un DGPS y un computador de terreno. Valle de Leyda, V Región, Chile. Marzo de 2002.

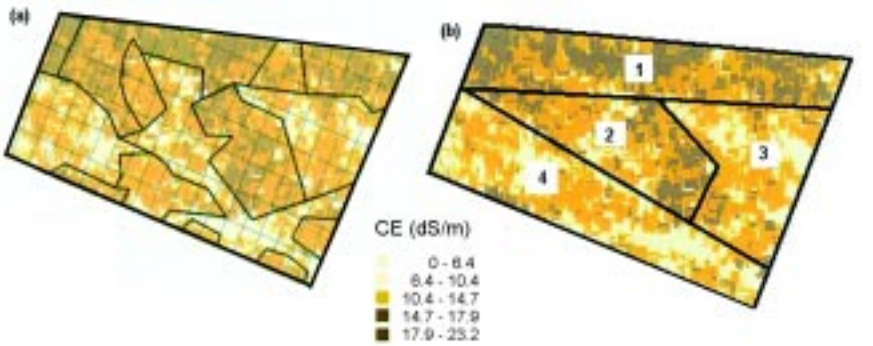

Figura 10
Areas de suelo homogéneo (a) y sectores de riego b) determinados a partir de mapas de CE. Viñedo de 5,9 ha, variedad Crimson. Región Metropolitana.

Fuente: Atec S.A.

1. Zonas de manejo homogéneo definidas al momento de diseñar un viñedo

Definir las zonas con características similares antes de establecer un viñedo es una situación ideal. Sobre esta base, en primer lugar se debería identificar la topografía y el o los tipos de suelos presentes en el área. Con el uso de equipos medidores de CE o a través de un muestreo intensivo, georeferenciado, es posible determinar en forma rápida los tipos de suelos existentes. También es posible combinar ambas herramientas, utilizando los equipos de CE para diseñar un plan de muestreo del suelo del área de interés. En la Figura 10 se observa el diseño de los sectores de riego por goteo en un viñedo. La sectorización fue realizada considerando los tipos de suelo existentes.

El suelo, tanto en sus características físicas como químicas, es un factor que incide directamente sobre la variabilidad presente en un viñedo. Por lo tanto, una forma de definir zonas de manejo homogéneo es considerando al suelo como el principal factor que determina el rendimiento y calidad de la uva obtenida en un viñedo.

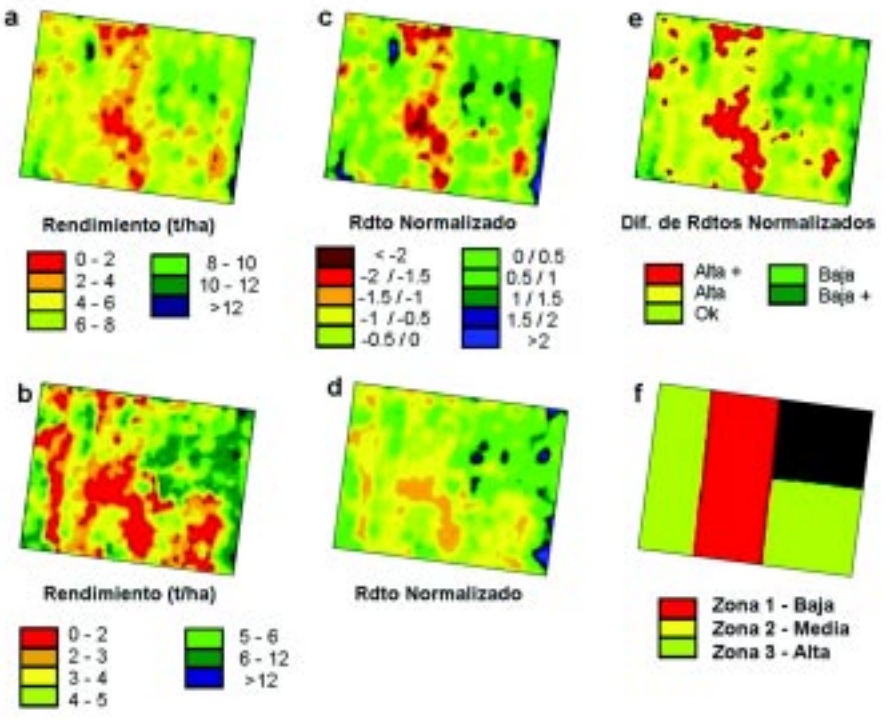

Figura 11. Desarrollo de sectores de manejo homogéneo. Dos mapas de rendimiento correspondientes a los años 1999 (a) y 2000 (b) son normalizados a través de un procedimiento estadístico (c) y (d). Una baja diferencia entre ambos (e) indica las zonas donde el rendimiento se ha mantenido constante. De acuerdo a esto, se definen bloques de alta o baja variabilidad (f).
Fuente: adaptado de Bramley y Williams, 2001. In: Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture, Montpellier, France.

2. Zonas de manejo homogéneo aplicadas sobre un viñedo establecido

Para definir zonas de manejo homogéneo dentro de un viñedo establecido es necesario determinar si la sectorización será realizada en base a una ó más variables.

La primera situación es más simple ya que considera sólo una variable, por ejemplo rendimiento de uva, para la designación de sectores de manejo homogéneo. Lo importante es que esta variable se mantenga constante en el tiempo. En la Figura 11 se ejemplifica esta situación.

Por otra parte, la delimitación de zonas de manejo homogéneo puede ser definida considerando múltiples variables (Figura 12). Es así como dentro de cada sector de manejo homogéneo pueden existir sub-sectores.

Sin lugar a dudas la sectorización en base a múltiples variables requiere de una mayor cantidad de información. El uso de sistemas de información geográfica (SIG ó GIS) permite establecer relaciones entre las variables medidas, las cuales determinarán las zonas de manejo ho-

mogéneo.

Viticultura de Precisión en Chile

En la actualidad, el Centro de Agricultura de Precisión de la Pontificia Universidad Católica de Chile (CAPUC) lleva a cabo diversos estudios preliminares con el objetivo de determinar la variabilidad en rendimiento y calidad de uva en diferentes viñedos (Viña Concha y Toro y Viña Leyda, entre otros), para posteriormente crear zonas de manejo homogéneo, lo que permitirá aumentar la eficiencia productiva y mejorar la rentabilidad de la producción vitícola. Junto a lo anterior, el CAPUC realiza actividades de difusión y transferencia de tecnología para promover el uso de prácticas de viticultura de precisión en el país. A nivel docente, desde el año 2001, la PUC dicta un curso de Agricultura de Precisión, que entrega todas las herramientas teóricas y prácticas del manejo sitio-específico.

Conclusiones y Potencialidades

La variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas del suelo determinan en gran parte la variabilidad del rendimiento y calidad de la uva dentro de un viñedo. En Chile, mediciones preliminares han determinado una elevada variación de las propiedades físicas y químicas del suelo, así como de los rendimientos y calidad de uva, por lo que el manejo vitícola sitio-específico o de precisión se justifica plenamente. El potencial que ofrece la Viticultura de Precisión para la modernización de la viticultura nacional es enorme y podría resumirse en los siguientes aspectos, que pueden contribuir a mejorar la rentabilidad de las explotaciones vitivinícolas.

· Entrega información precisa y de bajo costo del comportamiento de un viñedo
· Permite identificar zonas de manejo homogéneo
· Permite aumentar la eficiencia de los inputs y disminuir el impacto ambiental por el inadecuado uso de agroquímicos
· Permite cosechar en forma diferencial de acuerdo a la calidad de uva
· Ayuda a la toma de decisiones informadas y con base estadística.

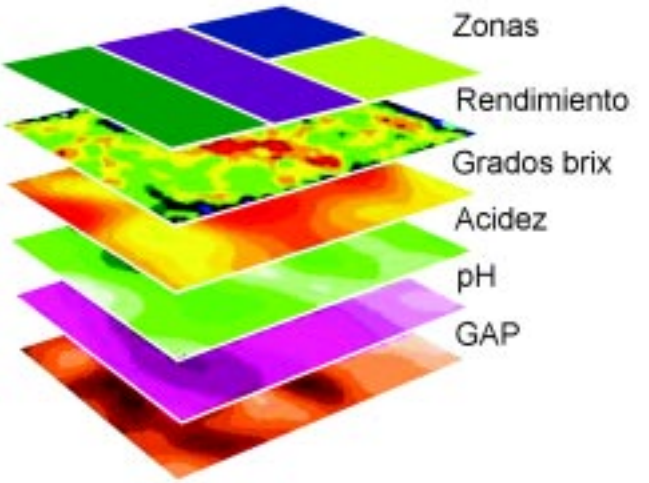

Figura 12. Desarrollo de zonas de manejo homogéneo considerando múltiples variables.

Centro de
Agricultura de Precisión
investigación, educación y transferencia de tecnologías de agricultura de precisión
capuc

Para mayor información
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal
Av. Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago, Chile
Teléfonos 56 2 686 4115 o 686 4111, Fax 56 2 552 0780, email capuc@puc.cl
www.capuc.puc.cl