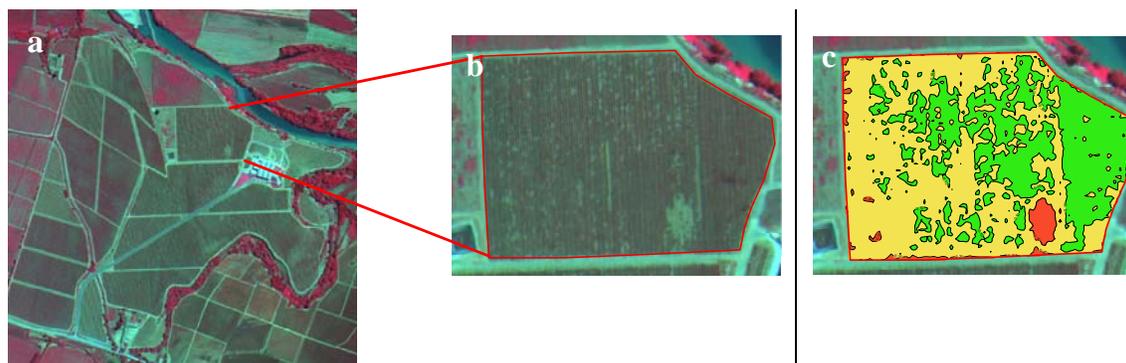


## Agricultura de Precisión

La experiencia de profesionales del agro, productores y asesores agrícolas indica la existencia de una importante variabilidad espacial en la producción agrícola, tanto en volumen como en calidad, incluso en pequeñas superficies agrícolas. Muchos de los productores han logrado, a través de los años, identificar visualmente los diferentes sectores con características productivas similares en sus predios, sin embargo las herramientas disponibles hasta hace algunos años no les permitía cuantificar ni delimitar claramente esta variabilidad. Incluso muchos de los sectores con una producción agrícola de mejor calidad (ej. cuarteles vitícolas con calidad para *vinos Premium*) no eran identificados y al ser cosechados junto con los sectores de menor calidad el potencial cualitativo de esos sectores no se expresaba. Asimismo, el manejo homogéneo de cuarteles agrícolas que presentan una importante variabilidad espacial en su expresión vegetativa ha significado un uso ineficiente de los recursos, generando importantes pérdidas económicas en insumos y labores agrícolas.



**FIGURA 1.** (a) Imagen Multi-espectral de una explotación vitícola, (b) cuartel cultivar Merlot y (c) Cartografía de un índice de vegetación (NDVI) mostrando la variabilidad espacial del cuartel vitícola.

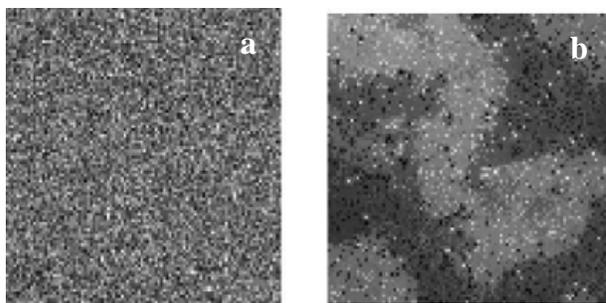
Para solucionar el problema antes mencionado en la última década en diversas partes del mundo se han multiplicado las iniciativas de investigación y desarrollo en esta área. Así, se han implementado y masificado nuevas tecnologías entre las cuales destacan la localización georeferenciada, los sensores remotos montados sobre maquinarias agrícolas o bien aerotransportados, además del desarrollo de poderosos dispositivos de almacenamiento y de transferencia inalámbrica de datos. La información de alta resolución espacial, así adquirida, ha abierto las puertas para la toma de decisiones en el manejo agrícola a una escala espacial mucho más pequeña que la comúnmente utilizada por los agricultores. Nace así el concepto de Agricultura de Precisión (AP). Dentro de las principales herramientas utilizadas en AP podemos destacar: i) el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS), es lejos la herramienta principal de las tecnologías utilizadas en VP, ii) monitoreo de la cobertura vegetal. Para ello se utilizan principalmente las imágenes aéreas y/o satelitales (Figura 1a y 1b), con las cuales es posible calcular índices de vegetación (Ej. NDVI, SAVI, etc.) que permiten caracterizar la expresión vegetativa de los cultivos (Figura 1c), iii) monitoreo del suelo, para ello se cuenta con sensores que registran las variaciones eléctricas o electromagnéticas del perfil de suelo determinando así su variabilidad espacial, iv) monitoreo del rendimiento, los cuales corresponden a sensores montados sobre las máquinas cosechadoras, v) monitoreo de la calidad, cuya finalidad es conocer la variabilidad espacial de componentes de calidad. Actualmente esta última tecnología está aún en desarrollo. El importante volumen de información recogida con estas tecnologías es almacenada e interpretada mediante sistemas de información geográfica (SIG). La información de alta resolución espacial, así adquirida, ha abierto las puertas para la toma de decisiones en el manejo agrícola a una escala espacial mucho más pequeña que la comúnmente utilizada por los agricultores. Esto ha permitido la toma de decisiones estratégicas para producir alimentos en forma más eficiente y ambientalmente limpios, lo que mejora la competitividad y los retornos finales.



**FIGURA 2.** (a) Geo-referenciación de un cuartel vitícola utilizando un GPS diferencial y (b) Monitoreo de la variabilidad espacial de suelo utilizando un medidor de conductividad eléctrica.

En Chile el uso de herramientas de agricultura de precisión es liderado por el rubro vitivinícola, siendo más lenta su adopción en la fruticultura y mucho más incipiente en los cultivos tradicionales. Es así como la AP ha ido ganando terreno lo cual ha generado un desarrollo interesante de negocios para las empresas e instituciones que prestan este tipo de servicios. Poco a poco las tecnologías desarrolladas en el extranjero han sido introducidas en el medio nacional, aunque muchas de ellas aun no están disponibles a nivel comercial dado su alto costo de implementación (ej. monitoreo espacial del rendimiento y la calidad). Dentro de los servicios más comunes se encuentran la utilización de imágenes aéreas y satelitales y sensores de medición de resistividad y conductividad eléctrica de suelos. Con esta información se generan mapas con zonas de manejo diferenciado (cosecha, poda, fertilización y riego) al interior de los cuarteles agrícolas.

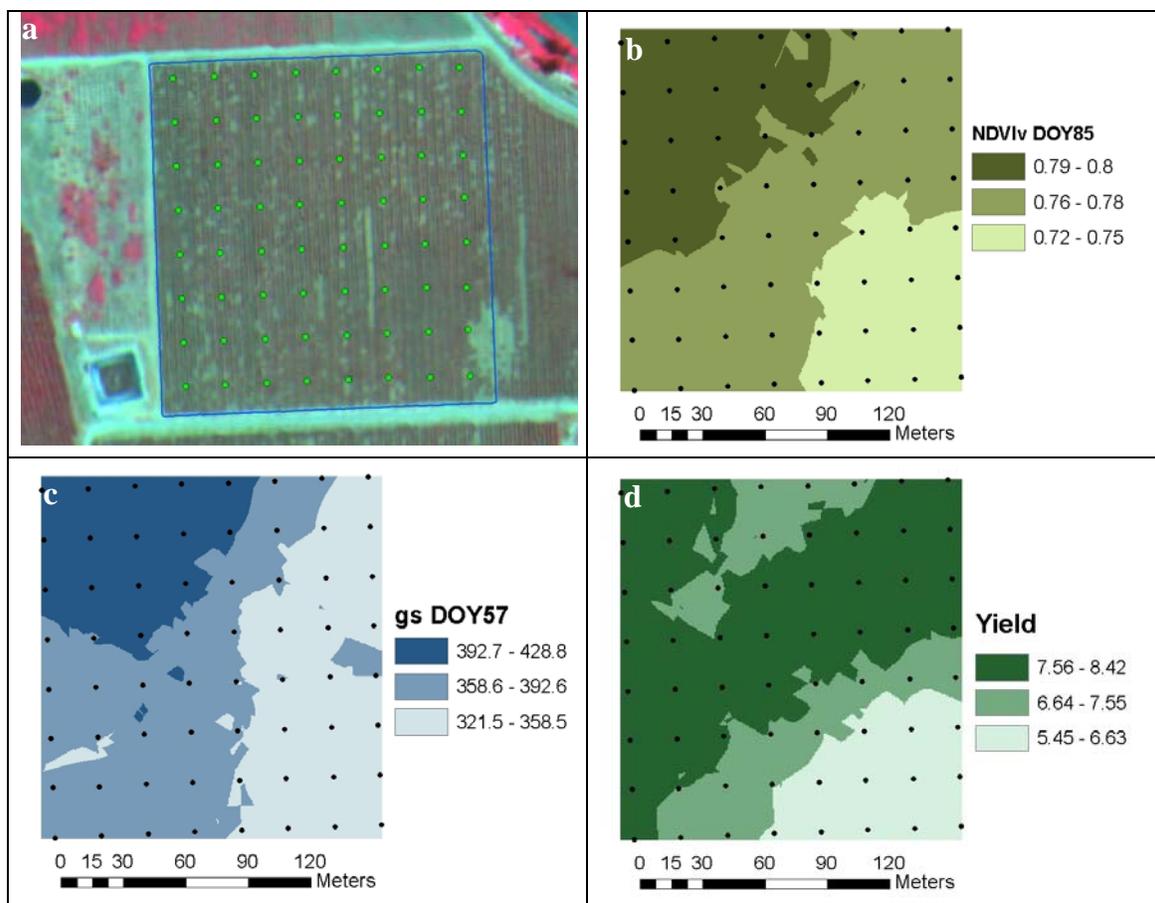
Si bien el uso de herramientas de AP es muy interesante para el manejo sitio-específico de los predios agrícolas, su utilización no se justifica en todos los casos. En la Figura 3 podemos observar dos sectores con el mismo valor promedio para una variable de interés (ej. rendimiento) y el mismo valor de variabilidad, pero con una estructura espacial diferente. En el caso del primer sector la estructura espacial es aleatoria y no justifica un manejo sitio-específico por el alto costo que significaría su implementación. El segundo sector presenta una estructura espacial que permitiría generar claramente grandes zonas de manejo cuyo costo de implementación sería compensado por el beneficio obtenido (ej. cosecha diferenciada según potencial enológico en el caso de la viña). Para solucionar este problema se han propuesto algunas tecnologías, como índice geo-estadísticos que utilizan por ejemplo datos de rendimiento y datos de NDVI.



**FIGURA 3.** Cuarteles vitícolas con igual promedio y coeficiente de variación, pero con distinta estructura espacial. a) Distribución aleatoria, b) Distribución no aleatoria.

Fuente: Montpellier-SupAgro.

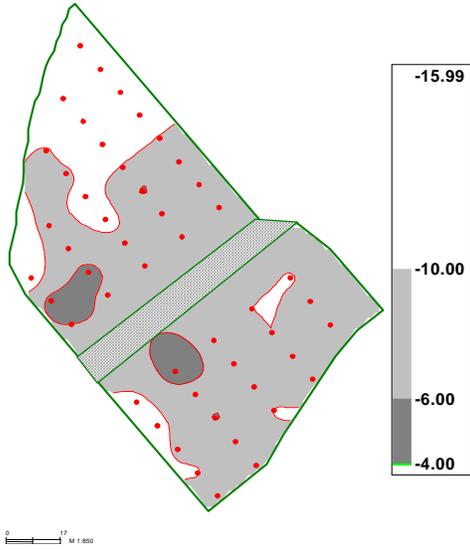
En el área de la agricultura de precisión la Universidad de Talca, a través del CITRA, lleva a cabo diversas investigaciones tendientes a incorporar tecnologías de AP en nuestro país contando con el apoyo de expertos extranjeros (de Francia y EEUU). Una de las investigaciones interesantes realizadas en viñedos comerciales ha sido el estudio y el manejo de la variabilidad espacial de diversas variables productivas y fisiológicas de interés. En la figura 4 muestra un cuartel vitícola de aproximadamente 4 ha, en el cual se cartografió el NDVI, la conductancia estomática y el rendimiento. Para las tres variables mencionadas observamos que los motivos espaciales son similares, lo que le permitiría al viticultor discriminar en base al estatus hídrico ( $g_s$ ) y la expresión vegetativa (NDVI y rendimiento) zonas con diferente potencial enológico, y realizar así una cosecha diferenciada.



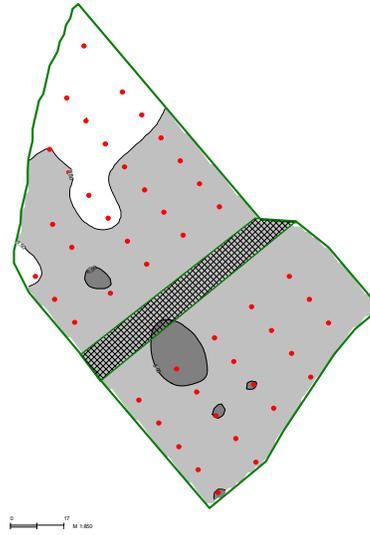
**FIGURA 4.** (a) imagen aérea multispectral de un cuartel vitícola comercial, (b) mapa de NDVI, (c) mapa de conductancia estomática y (d) mapa de rendimiento por planta.

Otro de los trabajos que actualmente está en curso es la implementación de un modelo de predicción espacial que utiliza mediciones puntuales en terreno (por ej. potencial hídrico y conductancia estomática) para generar una cartografía del cuartel completo. Este modelo trabaja en base a algoritmos geo-estadísticos generando una interpolación espacial de las variables de interés. La Figura 5 muestra los resultados para dos cuarteles vitícolas en los cuales se empleó esta metodología. Los motivos espaciales generados por el modelo son muy similares a los motivos espaciales observados en terreno, lo cual significa que podríamos caracterizar el estatus hídrico (potencial hídrico y conductancia estomática) de un cuartel vitícola sin necesidad de realizar un muestreo costoso en mano de obra e insumos. En una primera fase este trabajo se ha realizado a la escala de un cuartel vitícola y se proyecta su utilización a una escala mayor como es una explotación vitícola.

*Potencial hídrico medido cv. Syrah*

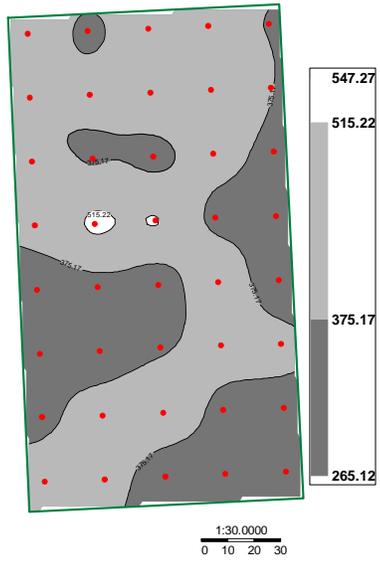


*Potencial hídrico estimado cv. Syrah*

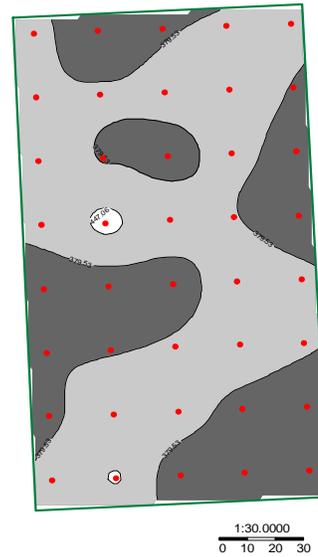


**a**

*Conductancia estomática medida cv. Merlot*



*Conductancia estomática estimada cv. Merlot*



**b**

**FIGURA 5.** Uso del modelo espacial para dos variables que caracterizan el estatus hídrico de planta (a) Potencial hídrico de base y (b) Conductancia estomática.