

## Modelos de evaluación del estrés hídrico para un viñedo

S. Best<sup>1</sup>

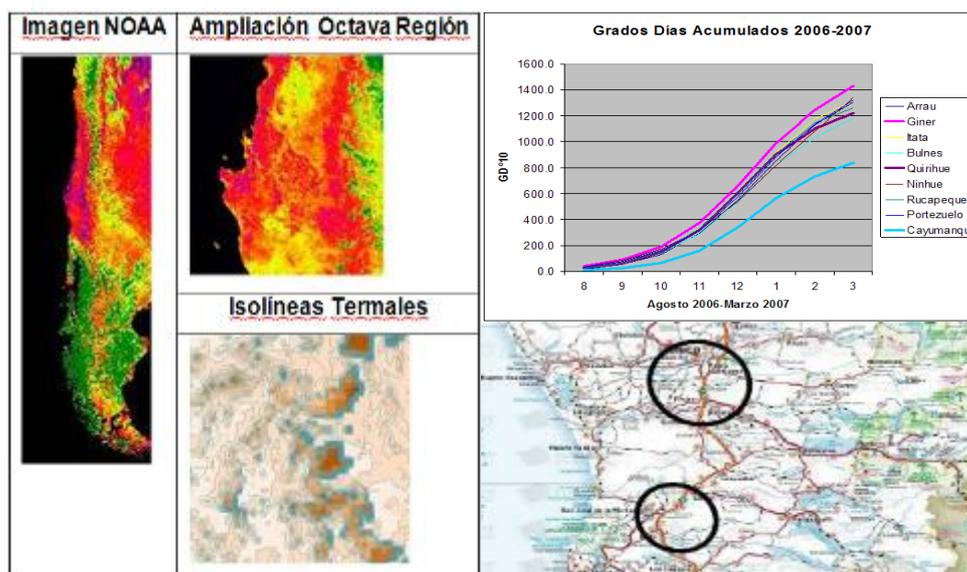
(1) Instituto Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional VIII Región, Vicente Méndez, Quilamapu, Chile.

E-mail: [sbest@inia.cl](mailto:sbest@inia.cl)

### INTRODUCCIÓN

Chile como uno de los líderes en la producción de alimentos del Hemisferio Sur se ha propuesto como una de sus estrategias de desarrollo llegar a ser una potencia agroalimentaria a nivel mundial. Muchos son los productos que nuestro país puede ofrecer al mundo, sin embargo Chile ha desarrollado su agricultura de exportación basada en la producción de vinos y frutas frescas. En consideración a lo anterior la computación y la electrónica son considerados por muchos países desarrollados como herramientas claves en el desarrollo competitivo y eficiente de la industria alimenticia. De esta forma los avances tecnológicos en la electrónica y el desarrollo de sensores han creado hoy en día la posibilidad de sistemas productivos que consideren la variabilidad natural de la producción en los huertos, aumentando de esta forma la producción y reduciendo costos. Algunos ejemplos de lo anterior son las potenciales aplicaciones de la tecnología en la Agricultura de Precisión (AP) definida esta última como la aplicación de una estrategia de manejo holístico que usa tecnologías de la información para obtener datos desde múltiples fuentes que sustentan decisiones asociadas con la producción agrícola, marketing, finanzas y personal.

La teledetección es definida como la medición o adquisición de información de un objeto o fenómeno por medio de un equipo que no está en contacto con dicho objeto, siendo las imágenes multispectrales tomadas por aviones y las imágenes tomadas por los satélites las más utilizadas. Con el uso de la teledetección termal de origen satelital, actualmente es posible delimitar de mejor manera los límites termales, es decir se pueden obtener isotermas, facilitando la generación de modelos espaciales (Best y Barrera, 2006).



**Figura: A) Imagen termal tomada por satélite NOAA, B) Grados día acumulados Chillan y alrededores C) Zonificación de manzanas en el sur de Chile**

Entre los satélites que proporcionan estas imágenes se tienen el NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer). Con esta información, se pueden clasificar las zonas geográficas en diferentes cuencas termales, información que puede ser cruzada con información de la evapotranspiración regional y otras capas de información (topografía, edáficos, etc) que en conjunto con la de los grados día acumulados obtenida de estaciones meteorológicas, permite generar información de la adaptabilidad de distintas variedades en una zona geográfica, permitiendo zonificar aquellas zonas donde la variedad en forma sistemática pueda expresar su máximo potencial de calidad, factor que muchos al integrar todos estos factores asociados al vino producido bajo esas condiciones denominan el “terroir”.

El fin de toda producción agrícola es la obtención de mayores rendimientos al menor costo posible sin desmedro de la calidad, es decir aumentar la utilidad por ha. Para esto entonces debemos conocer los factores que afectan el rendimiento en un Sistema Productivo Agrícola.



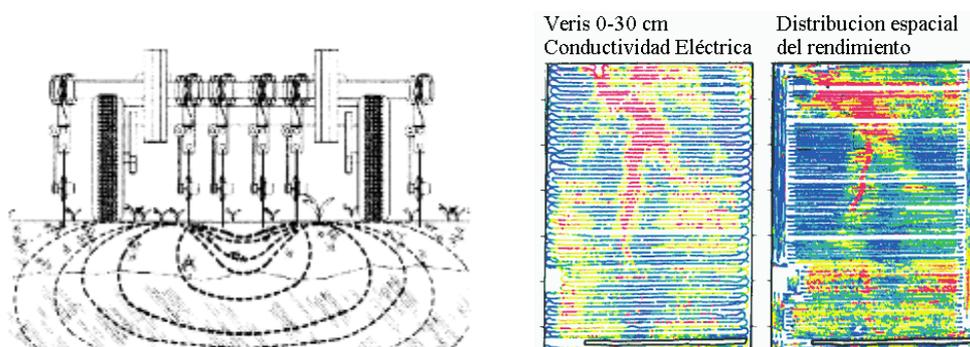
**Figura 2: Variables principales que afectan la producción de un cultivo o frutal.**

### **Variabilidad de las condiciones de suelo.**

Una nueva herramienta que actualmente es estudiada para la subdivisión de suelos en áreas de propiedades semejantes, es la conductividad eléctrica de los suelos (CE). La CE de los suelos puede definirse como la aptitud de éstos para transmitir la corriente eléctrica. Esta propiedad de los suelos, ha sido determinada a través de mediciones estandarizadas de la conductancia de los suelos (resistencia  $-1$ ) para una distancia y área transversal conocida a través de la cual una corriente viaja. El movimiento de electrones a través de un suelo es complejo. Los electrones pueden viajar a través del agua de los macroporos del suelo, por la superficie de los minerales del suelo (iones intercambiables), y a través de capas alternadas de partículas y soluciones (Rhoades et al., 1989). Sin embargo, múltiples factores contribuyen a la variabilidad de la CE, factores tales como los que afectan la conectividad de agua en el suelo (densidad volumétrica, estructura, potencial mátrico, precipitación, y momento de la lectura), agregación del suelo (agentes sedimentantes tales como la arcillas, materia orgánica, y estructura del suelo), electrolitos en la solución del agua (salinidad, iones intercambiables, contenido de humedad del

suelo, y temperatura del suelo), y la conductividad de la fase mineral (tipo y cantidad de minerales, grado de sustitución isomórfica, y iones intercambiables). A pesar de las múltiples causas que producen la variabilidad de la CE, mediciones de CE han sido relacionadas a factores individuales que limitan el uso y productividad de los suelos tales como salinidad (De Jong et al., 1979; Rhoades and Corwin, 1981), contenido de arcilla (William and Hoey, 1987), profundidad de suelos (Doolittle et al., 1994), humedad del suelo (Buchleiter et al., 1997; Best and Duke, 2001), entre otras.

Debido a lo antes expuesto, se hace altamente atractivo la obtención de mapas espacio-temporales de CE para determinar la relación que existe de la CE con las propiedades del suelo y su productividad. La introducción en el mercado del equipo Veris® 2000 XA (Veris Technologies, Salinas, Kansas) hace posible la obtención de dichos mapas de CE en forma fácil y económica, los cuales facilitan en gran medida la realización de estudios espacio-temporales.



*Figura 3. Efecto de claypan (sección roja en la figura izquierda) sobre el rendimiento de un cultivo de maíz, detectado con la conductividad eléctrica del suelo . (Fuente: <http://www.veristech.com>)*

Dicho instrumento hace uso de 4 discos espaciados, dos de los cuales (exteriores) introducen un potencial eléctrico (flujo de corriente) en el suelo que es recibido en los dos interiores, midiendo así la caída de voltaje existente entre ambos en conjunto con las características estructurales del equipo son traducidas a valores CE.

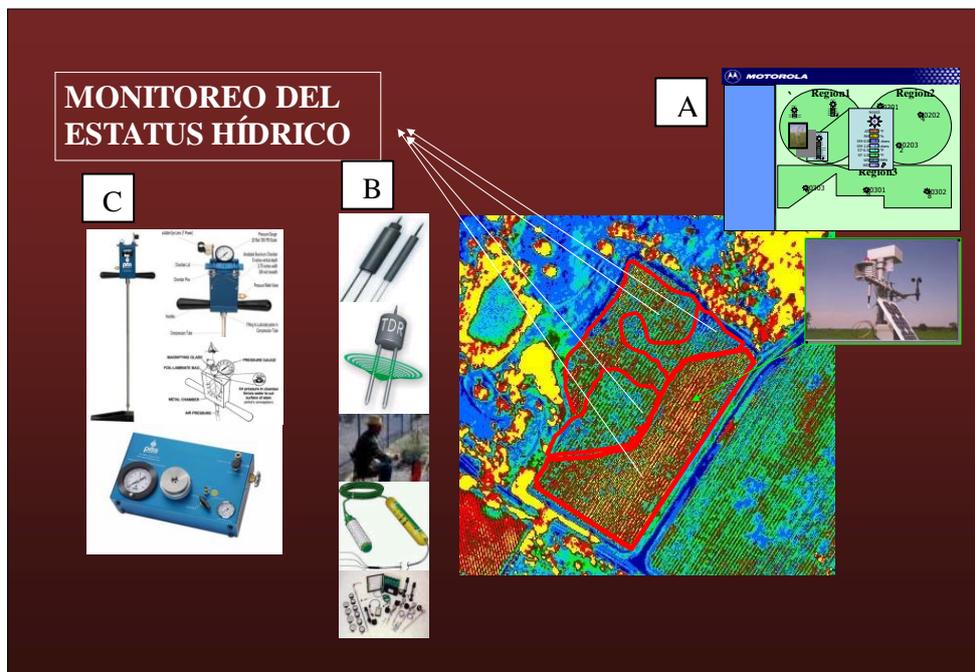
Los discos interiores y exteriores, pueden ser espaciados en dos posiciones para medir la CE sobre una aproximada profundidad de 0-61 cm (primera posición) y 0-91 cm (segunda posición) permitiendo múltiples profundidades con una segunda pasada del instrumento. Cuando son usados con un receptor DGPS (Sistema de Posicionamiento Geográfico Diferencial), los datos de CE pueden ser georeferenciados para crear los mapas deseados con alta precisión, los que serán utilizados para la definición más precisa de las Calicatas necesarias a realizar para una definición asertiva de las condiciones edáficas del sector con fines prácticos en la definición del diseño de riego, marco de plantación, selección de variedades, etc. Esta caracterización edáfica asociada a la información climática de es alta importancia para el futuro del cultivo el cual va a expresar nuestros errores finalmente en el resultado del rendimiento y calidad, teniendo directa incidencia en la rentabilidad final.

Por otra parte, a pesar de los avances en las definiciones de rendimiento y calidad asociada, todavía existe una brecha en la evaluación de las variables que los determinan. Dentro de estas variables, según nuestra experiencia y la de la literatura (Johnson et al.,

2000 y 2001, Kliewer et al., 1983), la más importante corresponde al manejo hídrico del viñedo, la cual es la que en gran medida define la relación de equilibrio necesario entre carga frutal y área foliar para la obtención de una uva de calidad. Estudios de la utilización de imágenes multispectrales para la segmentación de la variabilidad espacial del estrés hídrico ha sido estudiado en viñedos tanto a nivel internacional (Johnson, 2001; Lamb *et al.*, 2001) como a nivel nacional por el INIA (Best *et al.*, 2005, Best y Barrera, 2003), los cuales demuestran que el uso de los NDVI en la segmentación de los viñedos fue altamente útil en la identificación de zonas con diferentes niveles de estrés hídrico. Dicha información, fundamenta la variabilidad que se genera en los rendimientos y calidades de los viñedos, que muchas veces son regados no en forma correcta, por falta de buena y oportuna información. Así, para poder realizar un manejo adecuado del estatus hídrico en la planta, que permita optimizar su rendimiento y la calidad, se debe tener en una oportuna estimación de la condición de estrés. Según Naor y Cohen, (2003), ha sido difícil encontrar índices o pronosticadores del estatus hídrico de los cultivos que permitan direccionar una adecuada programación del riego. Dados los problemas presentados anteriormente, se ha hecho claramente necesario el contar con una metodología de monitoreo que tenga la capacidad de entregar índices robustos sobre el estado hídrico de los cultivos y, a su vez, de ser aplicado con una mayor eficiencia en el esquema espacial y temporal de los mismos bajo un formato de producción industrial.

### Monitoreo del riego.

Dentro de los sistemas que actualmente se cuenta para el monitoreo de déficit hídrico podemos contar con los basados en información meteorológica, información de humedad de suelo y los basados en medir déficit en la planta (Figura 4).



**Fig 4. Diferentes sistemas de monitoreo del estatus hídrico de cultivos para decisión de riego. A. Estaciones meteorológicas, B. Medición Humedad Suelo y C. Mediciones Planta.**

### A . Estación Meteorológica

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas de evapotranspiración de cultivos a partir de modelos numéricos (Penman · Penman-Monteith · Thornthwaite · Priestley-Taylor · etc).

### B. Medición de humedad de suelo.

La utilización de los sensores de humedad, es una gran herramienta que aporta la correcta información sobre el contenido de humedad en el perfil del suelo. Este conocimiento nos acerca con gran precisión a buenos resultados a la hora de manejar un sistema de riego. Los equipos que generalmente se encuentran en el mercado, pueden agruparse de acuerdo a las dos técnicas básicas de medición: de tensión hídrica y volumen de agua. Los medidores que trabajan con la tensión, están generalmente contruidos de un medio poroso, por ejemplo cerámica que entra en contacto con el suelo y permite realizar una medida física o eléctrica (Fig. 5). Por otra parte, los medidores de tipo volumétricos generalmente utilizan algún tipo de medición eléctrica relacionada con la presencia de propiedades eléctricas asociadas a la existencia de agua en el suelo. Dichas propiedades eléctricas son la por ejemplo la conductividad y resistencia.

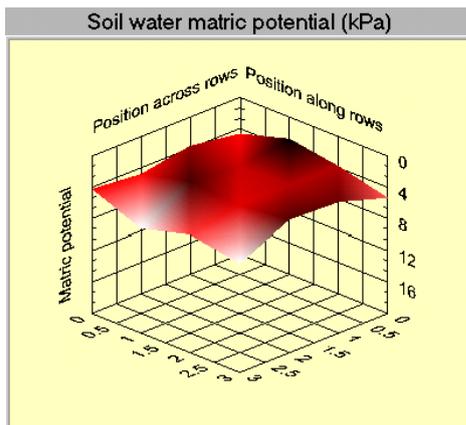


Figura 5. Mapa de medición de humedad a su forma de potencial mátrico del suelo (fuerza de retención del agua en el suelo).

### C. Mediciones Planta

El potencial de agua del tallo y de la hoja, medido con cámaras scholanders en conjunto con el cierre estomático, medido con porómetros, son considerados las herramientas tradicionales para detectar el estrés hídrico en muchas especies frutales, información que es cruzada con las decisiones en la programación del riego en muchos huertos de nuestro país. Sin embargo, estos métodos tradicionales son muy consumidores de tiempo, utilizan alta mano de obra, y sólo dan puntos de mediciones que muchas veces no poseen un adecuado soporte estadístico, lo que se traduce en información que no permite tomar decisiones.

### Uso de dendrómetros para monitorear el diámetro de troncos y frutos.

Existe una necesidad por la medición del diámetro del tronco y del fruto para entender como las plantas responden a variaciones diurnas en el contenido de agua. El diámetro del tronco disminuye durante el día porque las plantas pierden más agua por la transpiración que la que ellas pueden absorber. En la noche cuando hay poca perdida de agua los troncos aumentan en diámetro debido a la absorción y al almacenamiento del agua.

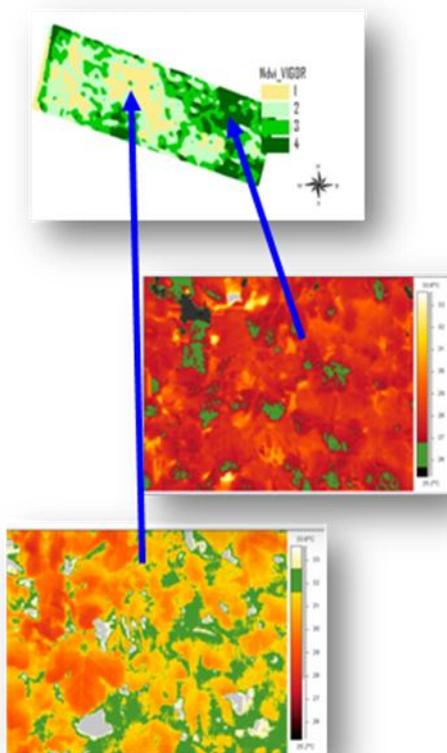


**Figura 6: Dendrómetros automatizados para medición de crecimiento del tronco y de frutos.**

### Alternativas Futuras

Como una tecnología alternativa actualmente en desarrollo el uso de la temperatura foliar en la canopia como un índice del estatus hídrico de la planta, se ha empleado desde principios de la década de los 80. (Idso et al., 1981; Jackson et al., 1981) sin embargo, los avances de la electrónica han posibilitado el desarrollo de instrumentos de mejor precisión y muy por debajo en costos de lo que fueron en antaño, dejando la posibilidad de introducción de este tema con mayor posibilidad de aplicabilidad. *El Programa de AP del INIA, actualmente está trabajando en este desarrollo en vides, el cual espera tenerse en el corto plazo a disposición de los productores a la brevedad (Figura 7).*

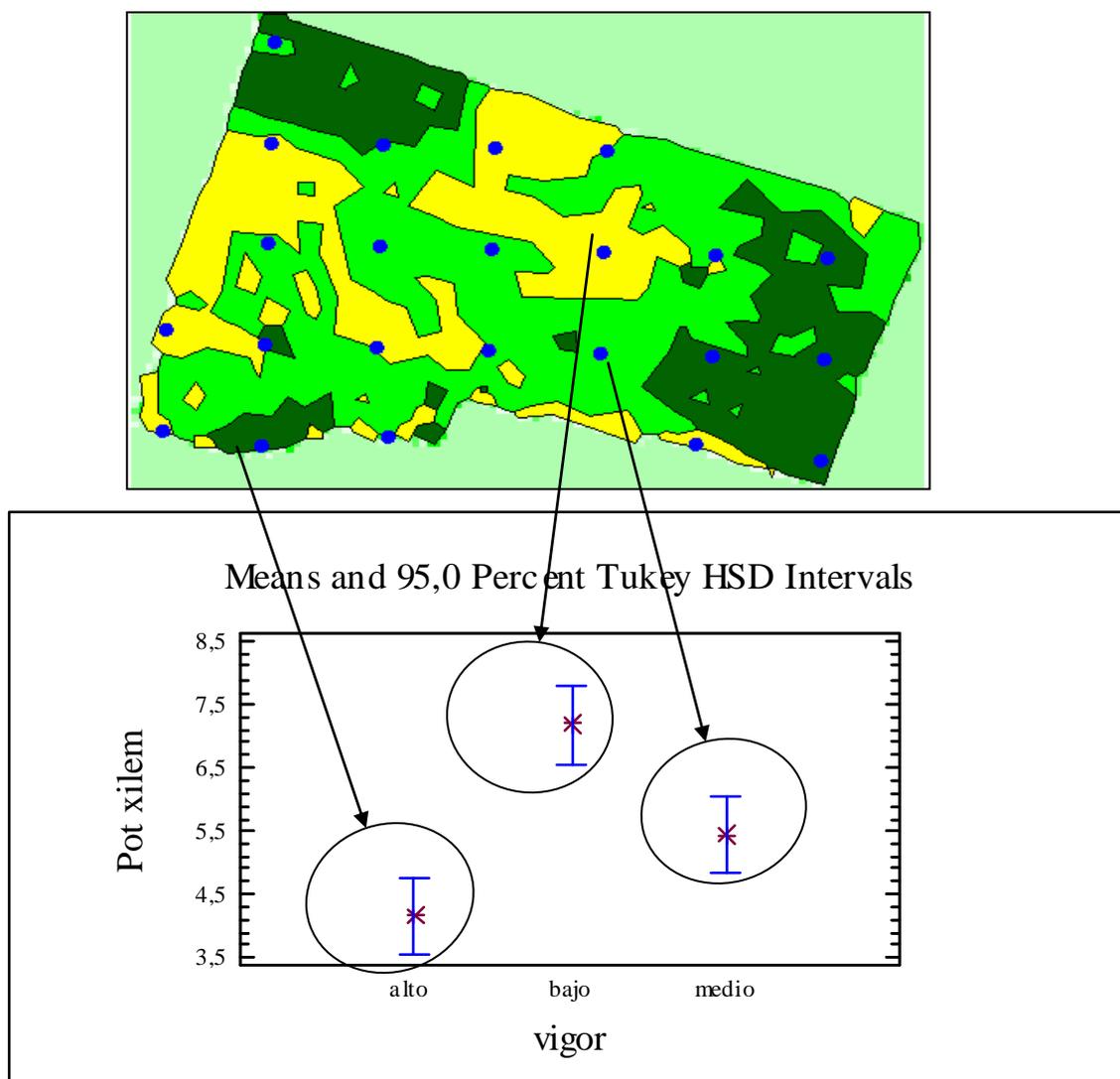
La fundamentación fisiológica de esta metodología se encuentra en el hecho que una importante consecuencia del cierre estomático ocurrido en plantas sometidas a un estrés hídrico, es que la disipación de energía por transpiración se reduce sustancialmente), de tal manera que la temperatura de la hoja tiende a aumentar. (Jackson et al., 1981, Jones, et al., 2002).



**Figura 7: Imagen termal de dos condiciones extremas de un cuartel (bajo y alto vigor).**

### **Sistema de aplicación Variable de Riego para Frutales y Viñas.**

Se ha encontrado que la variabilidad espacial de estatus hídrico (EH) en frutales y viñedos (Best *et. al*, 2005), está en concordancia con la gran variabilidad de la producción y calidad de la fruta (Figura 5). En este sentido, la evolución de las determinaciones del EH en estos cultivos ha pasado desde las determinaciones basadas en suelo y micrometeorológicas hasta aquellas basadas en micrometeorología y plantas como la determinación del potencial hídrico xilemático, dada su significancia fisiológica directa con el EH y su consistencia.



Fuente: Programa AP, INIA Quilamapu, 2005.

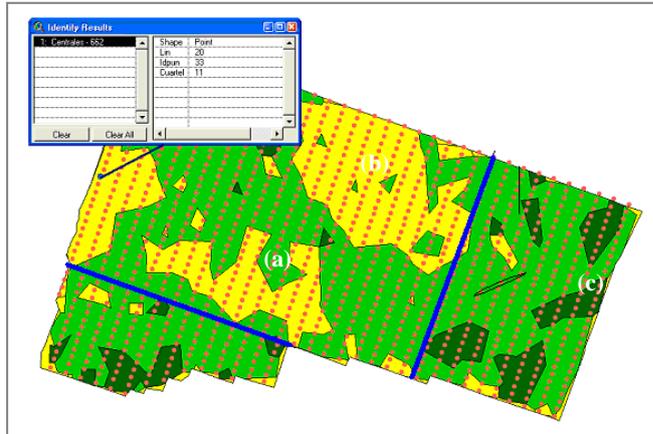
Figura 8. Evaluación de variabilidad de estrés hídrico de un viñedo (basado en la variabilidad del potencial hídrico xilemático), según zonas de vigor obtenidas de información de sensoramiento remoto (planos de NDVI).

Así, se debe considerar la variabilidad espacial de los suelos para el diseño de cualquier nueva plantación y en las ya plantadas se debe considerar el rediseño siempre y cuando la rentabilidad de realizar esto sea positiva, es decir en cuarteles de alta calidad. Por otra parte, para mejorar la eficiencia en los viñedos y frutales cuando son regados homogéneamente, es necesario utilizar un monitoreo dirigido el cual debe focalizarse en el área más importante en superficie del cuartel de tal forma que se potencie la mayor cantidad de plantas con un manejo adecuado del riego.

### Sectorizaciones

El uso de información de sensoramiento remoto ha demostrado altas potencialidades sobre la base del uso de planos de vigor (NDVI) no solo para el tema de manejo sino también en decisiones de cosecha. En la figura 6 se muestra un criterio simple de sectorización, en base a la elección de lotes que presenten vigor medio – bajo y medio –

alto según el índice de NDVI. Como se aprecia en esta figura, el cuartel queda dividido en tres sub áreas de manejo y cosecha diferenciada.

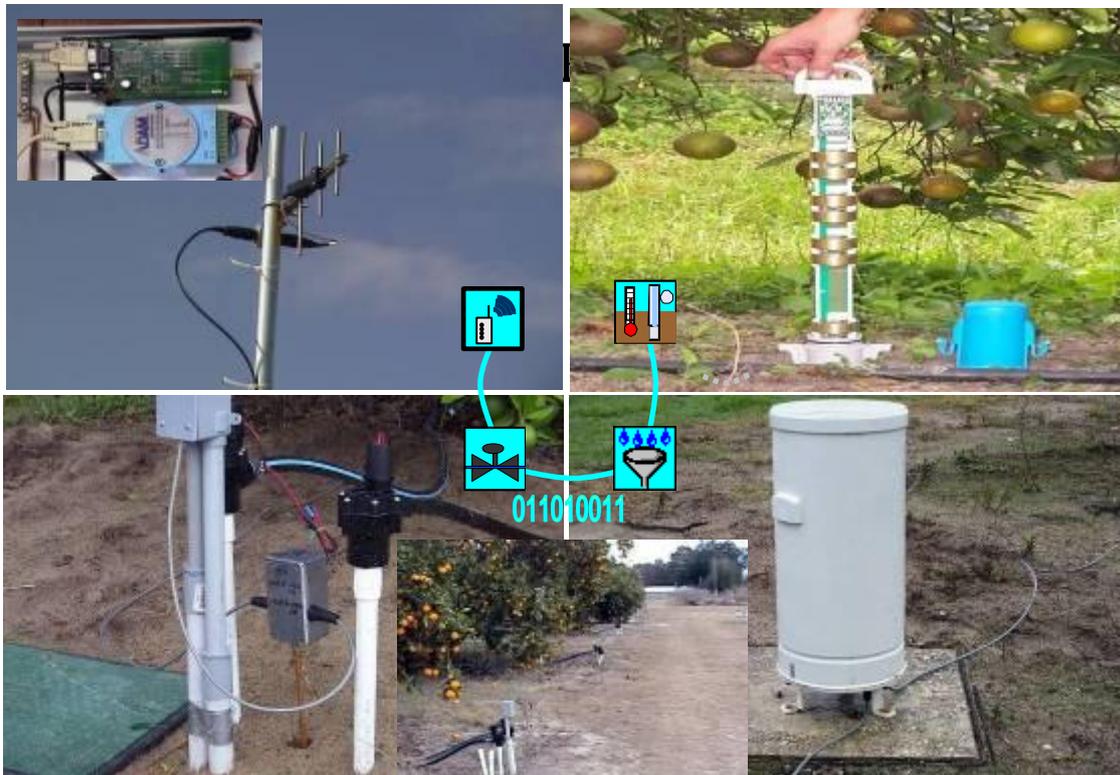


Fuente: Programa AP, INIA Quilamapu, 2005.

Fig. 9. Sectorización potencial en base a criterio de producción en el cuartel, mostrando sectores (a) y (c) con vigor medio – alto y (b) con vigor medio-bajo.

### Automatización de sistema de riego

Actualmente los sistemas de riego presurizados, han estado integrando sistemas de automatización de decisiones de riego sobre la base del monitoreo localizado de condiciones hídricas de suelo y sistemas de comunicación remota.



Fuente: Universidad Florida, EEUU.

Figura 7. Esquema de sistema automatizado de monitoreo y aplicación de riego.

## Referencias

1. Best, S.C. and H.R. Duke. 2001. Spatial distribution of water and nitrogen application under center pivot sprinklers. Proc. of Central Plains Irrigation course and exposition. Central Plane Irrigation Association. Kearney, Nebraska. pp. 58-65.
2. Best, S y J. Barrera. 2003. Buscando calidad en los viñedos de Chile. Compendio Vitícola de Chile. Editorial Nuevos Mundos. Santiago. Chile. 450p.
3. Best; S., L. León and M. Claret. 2005. Use of Precision Viticulture Tools to Optimize the Harvest of High Quality Grapes. En proceedings of Frutic05 congress, 7th edition of Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering Symposium. Montpellier, France. P. 75
4. Buchleiter, G.W., W.C. Bausch, H.R. Duke, and D.F. Heermann. 1997. Multidisciplinary approach for precision farming research. Precision Agriculture 1997. BIOS Scientific Publishers Ltd., Oxford, UK, p.351-359.
5. De Jong, E., A.K. Ballantyne, D.R. Cameron, and D.L.W. Read. 1994. Measurement of apparent electrical conductivity of soils by an electromagnetic induction probe to aid in salinity surveys. Soil Sci. Soc. Am. J. 43:810-812.
6. Doolittle, J.A., K.A. Suddeth, N.R. Kitchen, and S.J. Indorante. 1994. Estimating depths to claypans using electromagnetic induction methods. J. Soil Water Cons. 49(6):572-575.
7. Johnson, R. S., J. Ayers, T. Trout, R. Mead and C. Phene. 2000. Crop coefficients for mature peach trees are well correlated with midday canopy light interception. Acta. Hort. 537: 455 – 460.
8. Johnson, L. F., D. F. Bosh, D. C. Williams and B. M. Lobitz. 2001. Remote sensing of vineyard management zones : implications for wine quality. App. Eng in Agr. 17: 557 – 560.
9. Johnson, L. F. , L. Pierce, J. DeMartino, S. Youkhana, R. Nemani, D. Bosch. 2003. Image - based decision tools for vineyard management. Paper n° 33129 ASAE Meeting Presentation. Las Vegas, USA. 11 p.
10. Jones, H. G., M. Stoll, T. Santos, C. Sousa, M Chavez, and O. Grant. 2002. Use of Infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. J. Exp. Bot. 53: 2249 – 2260.
11. Kliewer, W. M., B. M. Freeman, and C. Hossom. 1983. Effect of irrigation, crop levels and potassium fertilization on Carignane vines. I. Degree of water stress and effect on growth and yield. Am J. Enol. Vitic. 34: 186 – 196
- Lamb, D. W., Hall, A. and Louis, J. 2001. Airborne remote sensing of vines for canopy variability and productivity. Australian Grapegrower & Winemaker 449:89-92.
12. Idso, S. B., Jackson, R. D., Pinter, R. J. Reginato, and J.L. Hatfield. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. Agric. Meteorol. 27: 59 – 70.
13. Jackson, R. D., S. B. Idso., R. J. Reginato, P. J. Pinter Jr. 1981. Canopy temperature as a drought stress indicator. Water Resources Res. 17: 1133 – 1138.
14. Naor, A., and S. Cohen. 2003. Sensitivity and variability of maximum trunk shrinkage, midday stem water potential, and transpiration rate in response to withholding irrigation from field – grown apple trees. HortScience. 38: 547 – 551.
15. Sheets, K.R. and J. M. Hendrickx. 1995. Noninvasive soil water content measurement using electromagnetic induction. Water Resources Res. 31(10): 2401-2409.
16. Sudduth, K.A., N.R. Kitchen, and S.T. Drummond. 1999. Soil conductivity sensing on claypan soils: Comparison of electromagnetic induction and direct methods. p. 971-990. In. P.C. Robert et al. (ed.) Proc. 4 th international conference on precision agriculture. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
17. Rhoades, J.D. and D.L. Corwin. 1981. Determining soil electrical conductivity depth relations using an inductive electromagnetic soil conductivity meter. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:255-260.
18. Rhoades, J.D., N.A. Manteghi, P.J. Shouse, and W.J. Alves. 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: new formulations and calibration. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 433-439.
19. Williams, B.G. and D. Hoey. 1987. The use of electromagnetic induction to detect the spatial variability of the salt and clay contents of soil. J. Soil Sci. 25:21-27.