

APLICACIONES DEL FITOMONITOREO EN EL MANEJO DEL RIEGO

■ **Luis A. Gurovich**¹
PROFESOR TITULAR, PhD.
FAC. DE AGRONOMÍA E ING. FORESTAL
P. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE.

■ **Eduardo Gratacos**²
PROFESOR AUXILIAR
FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO,
CHILE.

RESUMEN

Se describe el uso de fitomonitores en huertos de cítricos, kiwis y paltos en Chile en la temporada 2000-2001. La respuesta en desarrollo del fruto y crecimiento de las plantas frente a diferentes tratamientos de riego se evalúa sobre la base de los datos obtenidos con los fitomonitores.

El uso de sensores de fitomonitorio hace posible la medición continua del diámetro de troncos, ramas y frutos en tiempo real, la velocidad de flujo savial en la rama, los valores de humedad del suelo y datos agroclimáticos (radiación incidente, temperatura del aire, condiciones de viento y humedad relativa de aire). Esta información es transmitida en forma digital vía telefonía celular y procesada con sistemas programas gráficos de computación especialmente diseñados. La información obtenida con los fitomonitores se compara con información similar obtenida con estaciones meteorológicas automáticas, tensiómetros y aspersor de neutrones.

Se establece en los huertos diversas estrategias de riego, especialmente riego deficitario y riego con reposición del 100% de la ET real, riegos de alta y baja frecuencia y otras estrategias, concluyéndose que el uso de los fitomonitores en el manejo del riego representa una innovación significativa e integral en la evaluación de las respuestas de las plantas a la disponibilidad de agua del suelo.

INTRODUCCION

Las plantas son organismos vivos que ex-

presan una respuesta fisiológica a los cambios en el balance dinámico del sistema suelo - agua - planta - atmósfera. La velocidad de crecimiento de la planta, determinada en sus estructuras conductivas (tronco, ramas, hojas) o reproductivas (flores y frutos) es la respuesta más sensible y más rápida frente a cualquier modificación natural o artificial del balance del sistema SAPA (esto es, del equilibrio de las velocidades relativas de absorción de agua por las raíces y la evaporación de agua por los estomas de las hojas). En la mayoría de las especies perennes, el crecimiento es un proceso continuo a lo largo de la estación y su magnitud fluctúa en el rango de 10^{-2} a 10^{-0} mm día⁻¹, cuando la disponibilidad de agua en el suelo y las condiciones microclimáticas no limitan la actividad fisiológica normal de los árboles. Mas aun, el crecimiento de las estructuras del árbol presenta ciclos diarios con valores máximos y mínimos que son específicos para cada especie y cultivar.

En los últimos 10 años, el monitoreo de plantas en intervalos discretos de tiempo, ha sido una herramienta valiosa para el manejo agronómico de huertos frutales, viñas y especies vegetales. La dendrometría (el registro periódico de las fluctuaciones del diámetro del tronco), es la aplicación más común del fitomonitorio a escala comercial (Dynamax, 1998; Agricutural Electronics Corporation, 2000) y es utilizada para evaluar el efecto de diferentes estrategias de manejo agronómico, especialmente del riego, sobre la actividad fisiológica de las plantas.

Solo en los últimos 5 años, diferentes grupos de investigadores asociados a

empresas productoras de frutas y vinos, en diferentes países, han iniciado un proceso de desarrollo para introducir y adaptar la tecnología de fitomonitorio, que permite mediciones continuas y en tiempo real de la velocidad de crecimiento de diversos órganos de las plantas, como reacción a diferentes estrategias de manejo del riego o a cambios del micro ambiente. Estas mediciones pueden detectar variaciones en la velocidad del crecimiento en estados muy incipientes de estrés, mucho antes que este pueda afectar negativamente la productividad y/o la calidad de la fruta (Ton and Kleiman, 1989a, b; Ton and Kleiman, 1990; Nilov, 1990a, b; Nilov, 1993; Nilov et al., 1995; Gurovich, 1997).

El fitomonitorio es una tecnología basada en aplicaciones muy recientes de la microelectrónica, la computación y las ciencias de la información, cuyo objetivo es medir y analizar en tiempo el crecimiento de diversos órganos de las plantas y el flujo interno de la savia, asociados con información micro-climática, para establecer en forma cuantitativa el comportamiento fisiológico de las plantas y para definir estrategias agronómicas para optimizar la producción. La tecnología de fitomonitorio combina: a. un sistema de registro de datos, basado en sensores de alta precisión, b. almacenamiento digital de la información obtenida por los sensores y sistemas de transmisión de esta desde el campo hasta un equipo de computación, vía telefonía celular, radio de alta frecuencia o enlaces físicos convencionales y c. programas de computación sofisticados, para interpretar esa información, en relación con el manejo del huerto, la viña o el invernadero, permitiendo optimizar acti-

¹ e-mail: lgurovic@puc.cl

² e-mail: costabrava@entelchile.net

vidades como el riego programado (Gurovich, 1997).

La estrategia de riego (frecuencia y lámina de agua aplicada) basada en la información del crecimiento en el diámetro del tronco, los brotes y el fruto, así como en el diferencial térmico entre las hojas y el aire circundante, la tensión del agua en la hoja, el movimiento relativo de apertura y cierre estomático, la intensidad del proceso fotosintético y otras mediciones en tiempo real es una de las tecnologías mas dinámicas que se han introducido en los últimos años en la industria frutícola y vitivinícola (Jackson and Cherry, 1988; Wanjura, Hatfield and Upchurch, 1990). Desde 1992, la tecnología de fitomonitorio se ha utilizado en una amplia variedad de cultivos agrícolas, producidos en condiciones de invernaderos o en campo abierto, con información relevante y validada para tomate, pimentón, flores y ornamentales, melones, algodón y uva de mesa (Dokoozlian, 1990; Greenspan, M. 1994; Gurovich et al, 1994). Los resultados disponibles indican que esta nueva tecnología es una herramienta versátil y de gran utilidad para evaluar el riego deficitario controlado, esquemas de ahorro de agua y de energía, así como para optimizar el rendimiento y la calidad de la fruta de especies frutales y hortalizas.

La tecnología del fitomonitorio ha dado paso al desarrollo del concepto de "planta hablante", reportado por primera vez en el 2° Simposio Internacional de Sensores para la Horticultura, que tuvo lugar en Dinamarca, en Agosto de 1995. A partir de ese evento, se han publicado numerosos informes sobre el uso experimental y comercial del fitomonitorio en Holanda, Israel, Estados Unidos, Chipre, Alemania, España, Corea, Japón, Filipinas, Australia, Grecia, Sudáfrica, Polonia, Ucrania, Rusia, Argentina, México, Brasil y Chile (Phytech, 2001).

Muchos investigadores están estudiando el uso de información cuantitativa medida en plantas individuales, como una expresión válida de los cambios fisiológicos de las plantas, representando a una comunidad completa de plantas, tanto en invernaderos como en condiciones de campo abierto. Los modernos estudios sobre el comportamiento fisiológico de las plantas, en procesos tan diversos como la fotosíntesis, el flujo savial o las fluctuaciones del diámetro de los troncos y el crecimiento neto de frutos han sido propuestos por varios autores (Nagarajah, S. 1989; Grantz y Williams, 1993). En plantas leñosas el principal parámetro utiliza-

do para obtener información sobre el crecimiento y desarrollo de los arboles, en relación con condiciones ambientales y/o del manejo del riego ha sido el flujo de savia en el tronco y en los brotes, asociado con el déficit de presión de vapor o evapotranspiración real (Matthews and Anderson, 1988, 1989). La incorporación de datos de temperatura del aire y humedad relativa del aire que ocurren en el microclima que rodea el follaje de los cultivos, así como el análisis de la turgencia, el flujo de savia y el crecimiento de órganos específicos de las plantas, incluyendo frutos y bayas, nos ha permitido expandir significativamente las potencialidades del fitomonitorio, tan solo con la incorporación de unos pocos sensores adicionales a una estación meteorológica automática. (Idso, Pinter and Reginato, 1990; Gurovich, 1997).

Durante cada una de las etapas fenológicas del desarrollo y la producción anual de un árbol o parra, parece existir una curva de respuesta altamente específica, denominada "señal específica" (Hepner et al. 1985; Williams, Williams, y Phene, 1993); así, en vez de desarrollar completamente el concepto de "planta hablante", el

fitomonitorio relaciona las señales instantáneas y las tendencias de respuesta de las plantas. Un conjunto de estas respuestas, que describen la intensidad del estrés hídrico de árboles y parras, genera un "retrato funcional" o "protocolo de interpretación" que es específico para cada estado fenológico particular. La disponibilidad de protocolos de interpretación permite reproducir con mucha precisión, las condiciones externas óptimas de un huerto, parronal o viña, que son necesarias para obtener una calidad de fruta o vino predeterminados.

En comparación con los métodos tradicionales usados para evaluar cuantitativamente las condiciones de estrés del sistema suelo-agua-planta-atmósfera (como por ejemplo, tensiómetros, atmómetros, psicrómetros, bombas de presión o temperatura infrarroja diferencial), el fitomonitorio permite mantener a las plantas dentro de un margen mas bien estrecho de condiciones externas alrededor de un valor óptimo, determinado dinámicamente en las investigaciones de terreno, para cada especie y cultivar. Los sensores disponibles para fitomonitorio se presentan en la Tabla 1.

TABLA 1. SENSORES DESARROLLADOS PARA MEDIR Y CALCULAR PARÁMETROS DE CULTIVOS RELACIONADOS CON LA PRODUCTIVIDAD Y LA CALIDAD.

VALORES MEDIDOS Y CALCULADOS	MINIMUM SET	STANDARD SET	EXPANDIDO SET	EXTRA SET
RADIACIÓN TOTAL			*	*
RADIACIÓN FOTOSINTÉTICA				*
TEMPERATURA DEL AIRE		*	*	*
HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE		*	*	*
CONCENTRACIÓN DE CO ₂				*
RESISTENCIA A LA DIFUSIÓN			*	*
TEMPERATURA DEL SUELO			*	*
TEMPERATURA DE LA HOJA			*	*
FLUJO DE SAVIA	*	*	*	*
EVOLUCIÓN DEL DIÁMETRO DE TRONCO	*	*	*	*
EVOLUCIÓN DEL DIÁMETRO DE FRUTOS			*	*
EVOLUCIÓN DEL CRECIMIENTO DE BROTES			*	*
EVOLUCIÓN DEL DIÁMETRO DE BROTES	*	*	*	*
VELOCIDAD DE INTERCAMBIO DE CO ₂				*
DIFERENCIAL TÉRMICO HOJA-AIRE		*	*	*
DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR	*	*	*	*
PUNTO DE ROCÍO		*	*	*
EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL		*	*	*
ÍNDICE DE TRANSPIRACIÓN REAL		*	*	*
ÍNDICE DE STRESS HÍDRICO DEL CULTIVO		*	*	*
INTENSIDAD LUMINOSA		*	*	*
HÓRAS DE FRÍO Y CALOR ACUMULADAS		*	*	*
BALANCE DIARIO DE INTERCAMBIO CO ₂				*
EFICIENCIA FOTOSINTÉTICA				*

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los meses de verano del año 2001, se realizó las primeras experiencias de fitomonitorio en Chile en el manejo de huertos frutales; se evaluó 4 especies: kiwi, naranjo, limón y palto y la localización y calibración de los sensores se basó en la metodología y protocolos desarrollados por la empresa Phyttech Israel (Phyttech, 2000). La información fue recolectada por medio de computadoras portátiles o transmitida directamente desde el campo a un computador, por medio de líneas telefónicas. La información recolectada fue validada con estaciones meteorológicas automáticas, tensiómetros y sonda de neutrones.

En estas experiencias preliminares, se utilizó diferentes estrategias de operación de los sistemas de riego para evaluar la precisión y aplicabilidad del instrumental de fitomonitorio, incluyendo periodos con riego equivalente a 100% ET, seguido de periodos sin riego, así como el uso simultáneo de emisores de diferente descarga y también se comparó el riego diario con una estrategia de hidroponía abierta, esto es, un gran número de eventos de riego muy cortos, a lo largo del día y de la noche.

RESULTADOS

En las Figuras 1 a 5 se presentan algunos ejemplos de resultados obtenidos con equipos de fitomonitorio instalados en huertos comerciales; estos resultados se presentan en el mismo formato gráfico que el programa computacional del equipo de fitomonitorio entrega directamente al usuario.

Para el huerto de paltos (Figura 1) el contenido volumétrico de agua en el suelo a los 30 cm de profundidad (línea de color azul) medido con un sensor basado en la tecnología de Time-Domain Reflectometry (Petersen and Jacobsen, 1995), fluctuó diariamente en el rango de 22.1 a 32.5%, con aplicaciones diarias de agua de riego de dos horas, generalmente en horas de la tarde o la noche. El suelo se des-satura muy rápidamente al finalizar cada evento de riego; el consumo diario de agua debido a la evapotranspiración real (ETa) puede ser calculado a partir de la información presentada en la Figura 1, al integrar el área bajo la curva que muestra la evolución de la humedad del suelo. Los valores de ETa son muy similares al Déficit de Presión de Vapor determinado con los sensores del fitomonitor. Se obser-

va claramente que el día 9 de Marzo se realizó dos ciclos cortos de riego, en comparación con un único evento diario de riego durante la semana del 7 a 13 de Marzo

Un periodo de sequía tuvo lugar entre el día domingo 11 de Marzo y la mañana del 12 de Marzo a mediodía, determinando el mayor rango de variación de la humedad del suelo para la semana. No hay otro instrumento a disposición del productor de frutas y vinos que pueda proporcionarle este tipo de información tan detallada y en forma continua acerca de la operación efectiva del sistema de riego en el campo, información que es de primera importancia para realizar un riego de precisión.

El déficit instantáneo de presión de vapor (línea roja) alcanzó un valor máximo en el rango de 2.1 a 3.6 mm*día⁻¹ alrededor de las 14:00 a 16:00 horas; después e las 20:00 horas prácticamente no ocurre evapotranspiración, situación que se mantiene hasta las 9:30 horas del día siguiente. Los valores de déficit de presión de vapor presentados en la Figura 1 no corresponden exactamente a los valores de Etpotencial, calculados sobre la base del modelo de Penman - Monteith modificado (1996).

Como resultado de la estrategia de riego aplicada en este huerto de paltos, detectada por el sensor de humedad del suelo del equipo de fitomonitorio, el diámetro del fruto se incrementó continuamente du-

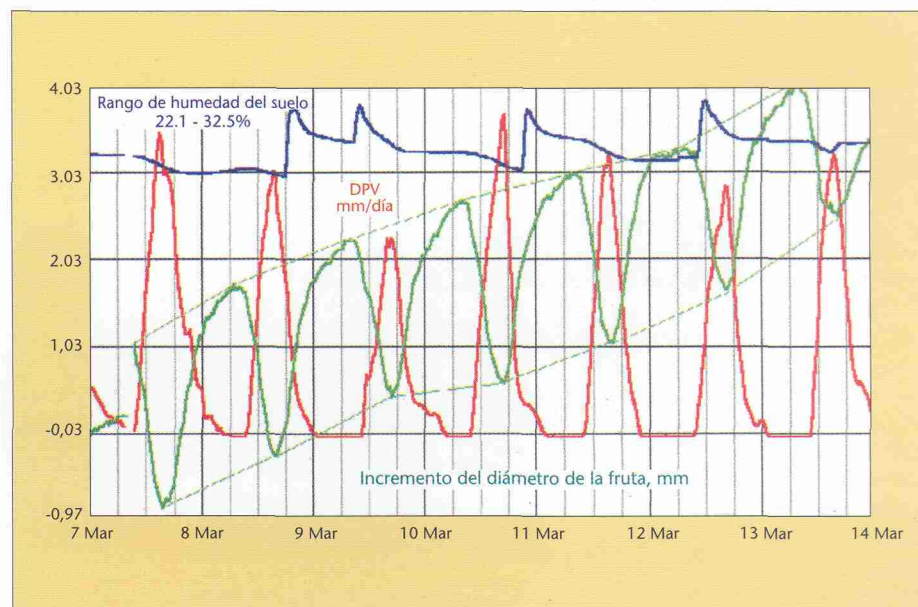
rante toda la semana (9 al 13 Marzo, 2001). El diámetro máximo de fruto varió entre 51.6 y 53.1 mm. Este parámetro también fluctúa a lo largo del día en un rango muy estrecho (51.4 a 52.4 mm). Esta es una indicación relevante acerca del efecto de la estrategia de riego utilizada, sobre la óptima disponibilidad de agua en el suelo.

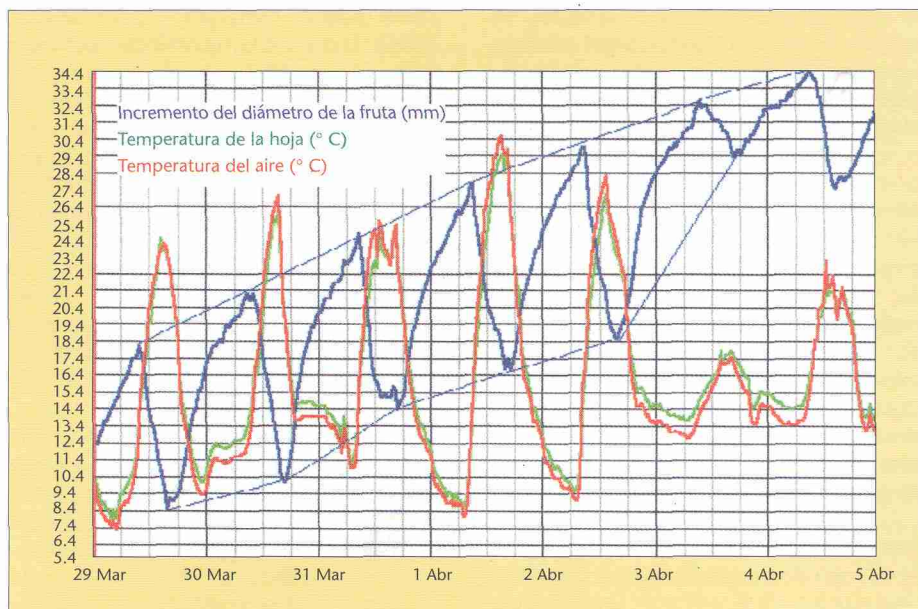
En la Figura 2 se presenta información de fitomonitorio obtenidas en un huerto de limones, para la semana de 24 de Marzo al 5 de Abril, 2001.

La temperatura de la hoja (línea verde) fue muy similar a la temperatura del aire (línea roja) y solo ocasionalmente (3 y 4 de Abril) fue mayor, indicando que en esos días se produjo un estrés hídrico continuo y de poca importancia.

El diámetro del fruto (línea azul) se incrementó constantemente durante el periodo de mediciones, y la contracción del mediodía en el diámetro de frutos resultó mínima, incluso en el periodo sin riego, ocurrido el 3 y 4 de Abril, debido a la reducción de la temperatura del aire (línea roja). Cuando la temperatura del aire se incrementó nuevamente (5 de Abril), se detectó una significativa contracción del diámetro del fruto (línea azul). Por medio de los datos del fitomonitor, se calculó el Índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) (Jackson and Cherry, 1988) que varió en el rango de -1.1 (Abril 4) a +3.6 (Abril 1). El rango calculado se considera una condición de estrés hídrico míni-

■ FIGURA 1. INFORMACIÓN DE FITOMONITORIO PARA PALTOS. CHIÑIGUE, CHILE, MARZO, 2001.





■ FIGURA 2. INFORMACIÓN DE FITOMONITOREO PARA LIMONES CHIÑIGÜE, CHILE, MARZO, 2001.

ma y el diámetro del fruto se incrementó, de acuerdo con esto, entre 41.92 y 43.1 mm, con un mínimo rango de fluctuación durante el día (42.03 a 42.30 mm)

Los datos obtenidos con un equipo de fitomonitorio en un huerto de naranjos de 2 años de edad, se presentan en la Figura 3, para un periodo de 4 días.

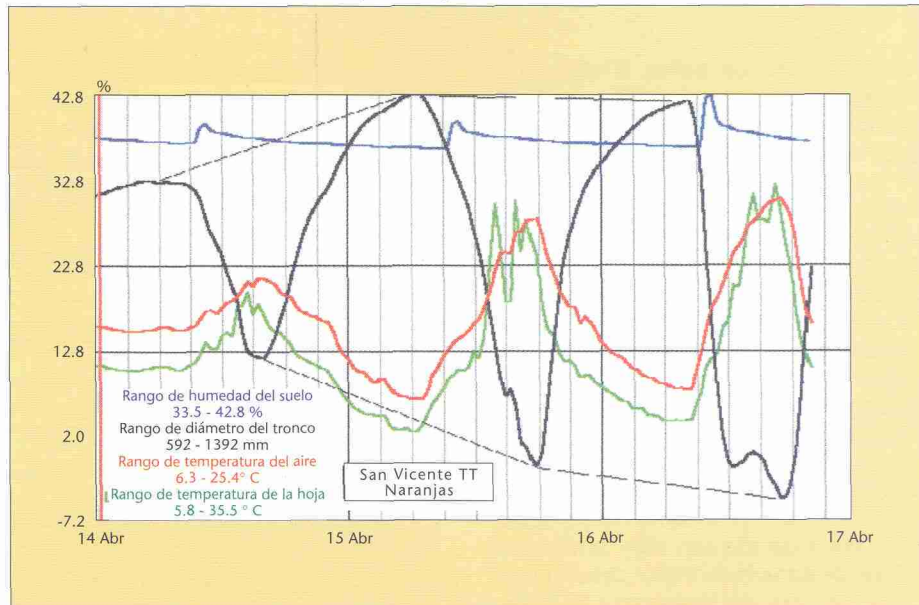
Durante la mayor parte del tiempo, la temperatura de la hoja (línea verde) es significativamente inferior a la temperatura del aire (línea roja), con la excepción de un periodo de 3 horas en la tarde del día 15 de Abril.

Este corto periodo de estrés es coincidente con la mayor contracción del tronco (línea negra); el incremento en diámetro de tronco es positivo, pero la tendencia en las contracciones diarias del tronco corresponde a las condiciones atmosféricas prevalecientes durante el mes de Abril (inicio del otoño, con noches cada vez mas frías y mas húmedas), con temperaturas del aire variando entre 6.3 a 25.4°C y temperatura de la hoja fluctuando en el rango de 5,8 a 35,5°C; el diferencial térmico hoja-aire es indicativo de un CWSI superior a 7, pero esta condición se mantuvo solamente durante unas pocas horas.

El contenido volumétrico del agua en el suelo varió entre 32.5% a 42.8%, con una des-saturación rápida después del ciclo

diario de riego, cuya duración fue de 30 minutos, estrategia de operación del riego que fue muy adecuada para mantener un contenido de agua en el suelo casi constante. Las láminas de agua aplicadas en cada riego fueron coincidentes con los valores de E_{tr} calculados de acuerdo con el modelo de Penman - Monteith, a partir de datos obtenidos por los sensores del fitomonitor.

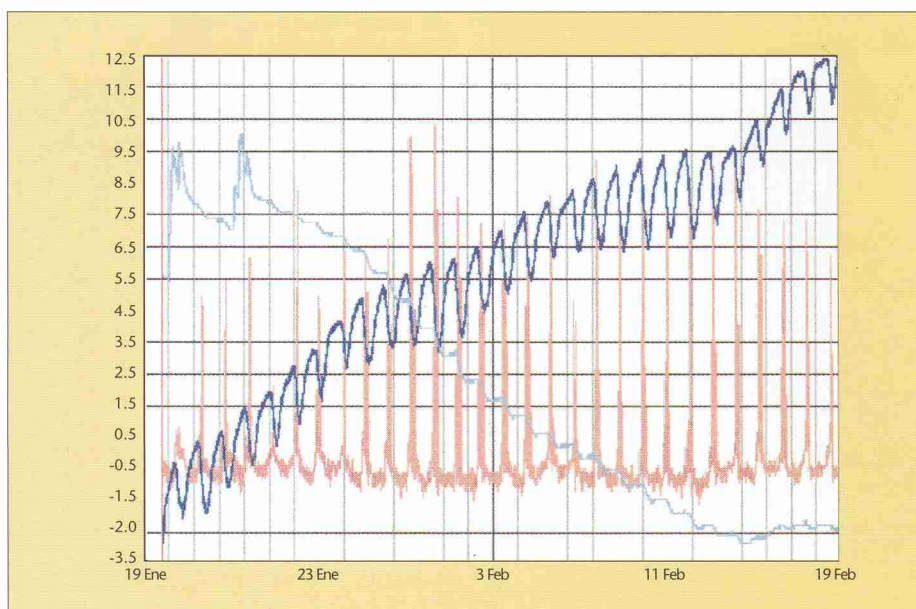
■ FIGURA 3. DATOS DE FITOMONITOREO EN NARANJAS. SAN VICENTE DE TAGUA TAGUA, CHILE, ABRIL, 2001.



Las Figuras 4 y 5 muestran información de un equipo de fitomonitorio instalado en una plantación comercial de kiwis de 10 años de edad, ubicada en La Palma, V Región.

En la Figura 4 el diferencial térmico hoja-aire (línea roja) se relaciona positivamente con el incremento de diámetro del fruto (línea azul) y con el contenido volumétrico de agua del suelo (línea celeste). El crecimiento del fruto muestra una respuesta casi instantánea a una reducción en el contenido de agua en el suelo, correspondiente a la suspensión del riego entre el 23 de Enero y el 13 de Febrero, 2001. El diferencial térmico hoja-aire se hace máximo en los días 30 y 31 de Enero, alcanzando un valor de +10°C; la pendiente de la lía correspondiente al incremento de diámetro de fruto se redujo paulatinamente durante esos mismos días y no recuperó un valor positivo hasta el 13 de Febrero, cuando se reinició el riego de este huerto.

En la Figura 5, las líneas roja y azul oscuro muestran los incrementos en el diámetro del fruto medidos con 2 sensores diferentes; la línea celeste corresponde al contenido volumétrico de agua en el suelo, que se redujo continuamente desde el momento en que se interrumpió el riego (23 de Enero) y no volvió a incrementarse hasta el día 13 de Febrero, cuando se reinició el riego. Las líneas que representan el incremento del diámetro de fruto muestran una reducción en su pendiente (ambos frutos crecieron mas lento cada



■ FIGURA 4. INFORMACIÓN DE FITOMONITOREO PARA KIWI. LA PALMA, CHILE, JANUARY 2001.

día); cuando se reinició el riego, el crecimiento del fruto se reinició casi instantáneamente.

CONCLUSIONES

La experiencia adquirida con estos trabajos preliminares indica que el uso de fitomonitorios en la operación del riego representa un avance tecnológico significativo e integral en la evaluación de las respuestas fisiológicas de las plantas frente a variaciones en la disponibilidad de agua en el suelo. La información obtenida se correlaciona muy significativamente con los datos obtenidos con estaciones meteorológicas automáticas convencionales, con tensiómetros y con sondas de neutrones para medir la humedad del suelo.



Mercedes-Benz

Murialdo S.A.

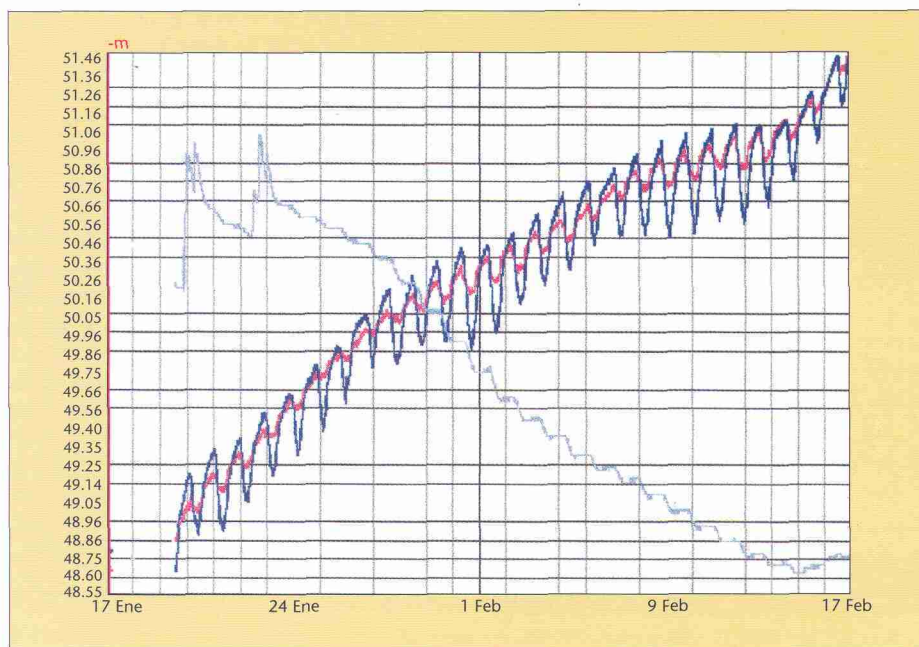
- Camiones Mercedes Benz
- Tolvas
- Recolectores de Basura "ERATEC"
- Grúas PM (Italia)

Solicite mayores antecedentes a:

Coronel Souper 4015 - Fono: 778. 4460 - Fax: 779. 2143

Estación Central - Santiago

E-mail: murialdo@entelchile.net



■ FIGURA 5. INFORMACIÓN DE FITOMONITOREO PARA KIWI, LA PALMA, CHILE, ENERO 2001.

REFERENCIAS

- Agricultural Electronics Corporation, 2000.** <http://www.primenet.com/~agelecco/dendrometer2.htm>
- Dokoozlian, N. K. 1990.** Light quantity and light quality within *Vitis vinifera* L. grape-vines canopy and their relative influence on berry growth and composition. Ph.D. Thesis. University of California, Davis.
- Dynamax, 1998.** <http://www.dynamax.com/p12.htm>
- Greenspan, M. 1994.** Developmental changes in the diurnal water budget of the grape berry exposed to water deficits. MSc. Thesis, University of California, Davis.
- Gurovich, L. A.; Pacheco J. y Sierra, H. 1994.** Long Term Fertigation Scheduling of Table Grape cultivars in Chile. Part I: Irrigation. International Symposium Tablegrape Production. Am. J. Enology and Viticulture. Anaheim. California. U.S.A.
- Gurovich, L. 1997.** Phytomonitoring technology in Viticulture. A review of the state of the Art. Paper presented at the 77th. O. I. V. General Assembly Buenos Aires, Argentina.
- Hepner, Y.; Bravdo, B. Longier, C.; Cohen, S. y Tabacman, H. 1985.** Effect of drip irrigation schedules on growth, yield, must composition and wine quality of Cabernet Sauvignon. Am. J. Enol. Vitic. 36:77-82.
- Idso, S. B.; Pinter, Jr. P. J. y Reginato, R. J. 1990.** Non-water stress baselines: the importance of site selection for air temperature and air vapour pressure deficit measurements. Agric. For. Meteor. 53: 75-82.
- Jackson, D. I., y Cherry, N. J. 1988.** Prediction of a district's grape ripening capacity using a latitude temperature index. Am. J. Enol. Vitic. 39: 19-24.
- Matthews, M. A. y Anderson, M. M. 1988.** Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: Responses to seasonal water deficits. Am. J. Enol. Vitic. 39:313-320.
- Matthews, M. A. y Anderson, M. M. 1989.** Reproductive development in grape *Vitis vinifera* L. responses to seasonal water deficits. Am. J. Enol. Vitic. 40:52-60.
- Nilov, N. G. 1990a.** Control of water regime in the vineyards using a phytomonitoring technique. En: Theoretical and Practical Problems in Modern Physiology of Cultured Plants" pp: 200 - 207. Baktai, Lithuania.
- Nilov, N. G. 1990b.** A specialized phytomonitor for fine tuning vineyard irrigation (*Ampelo-monitor*) 10th. O. I. V. General Assembly, Yalta, September 3 - 13.
- Nilov, N. G. 1993.** The main task of the phytomonitoring in Viticulture (Rus.). Vinogradarstvo I Vinodelie Vol. 1-2:18-22
- Nilov, N. G. 1995.** Control of water regime in the vineyards in connection with the production of the high-quality winemaking raw material. Vinogradarstvo I Vinodelie Vol. 3:42-46
- Petersen, L.W., y O.H. Jacobsen.** Editors. Proceedings of the Symposium: Time-Domain Reflectometry Applications in Soil Science (Foulum, Denmark, Sept 16, 1994) Danish Institute of Plant and Soil Science.
- Phytech, 2001.** <http://www.phytech.co.il/>
- Wanjura, D. F.; Hatfield, J. L. y Upchurch, D. R. 1990.** Crop water stress index relationships with crop productivity. Irrigation Sci. 11:93-100.
- Ton, Y. y Kleiman, E. 1989a.** Plant water status phytomonitoring technique. En: "Water relations of Agricultural Crops". pp. 209-212. Stiinta, Kishinev.
- Ton, Y. y Kleiman, E. 1989b.** Phytomonitoring technique in phytotronics. En: XIII All-union workshop on research automation. pp. 54-55. Stiinta, Kishinev.
- Ton, Y. y Kleiman, E. 1990.** Algorithmic methods in the phytomonitoring. En: "Plant biophysics and Phytomonitoring" pp. 27-33. AFI. Leningrad.
- Williams, L. E.; Williams, D. W. y Phene, C. J. 1993.** Modelling grapevine water use. In: Proc. Eight Australian Wine Ind. Tech. Conf. pp 29-33. Winetitles Adelaide Australia.