

USO DE LA TECNICA DEL FITOMONITOR COMO INDICADOR DEL ESTADO HIDRICO DEL KIWI Y SU USO EN RIEGO PROGRAMADO

E. GRATACOS¹ y L. GUROVICH²

¹ Facultad de Agronomía
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Casilla 4-D, Quillota, Chile.

² Departamento de Fruticultura y Enología
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal
Pontificia Universidad Católica de Chile
Casilla 306-22, Santiago, Chile

Abstract

Eduardo Gratacós and Luis Gurovich. Phytomonitoring in Kiwifruit orchards as a plant water status indicator and its use in irrigation scheduling. This article describes the use of phytomonitoring equipment in kiwifruit orchards in Chile. Plant growth and fruit development responses to water stress strategies are analyzed, with actual data obtained from a phytomonitor installed within a commercial orchard. Continuous monitoring of trunk, cane and fruit diameter, leaf temperature, stem sap flow velocity, soil moisture and microclimatic data (incident radiation, air temperature, wind conditions and relative air humidity) are made possible by using phytomonitoring sensors and special software. Phytomonitor Information is compared with data obtained from a conventional automatic weather station, soil tensiometers and neutron moisture probes. Normal and deficit irrigation periods are evaluated, concluding that the use of phytomonitoring techniques in irrigation management represent a significant and comprehensive breakthrough in the evaluation of plant responses to soil water availability.

Key words: Phytomonitoring, dendrology, kiwifruit, water stress.

Cien. Inv. Agr. 30 (2): 113-137. 2003

INTRODUCCION

La programación del riego es el conjunto de procedimientos y técnicas destinadas a determinar el momento y la cantidad de agua a aportar a las plantas cultivadas para un óptimo crecimiento, desarrollo y productividad, supliendo de esta forma, la ausencia o insuficiencia de las precipitaciones atmosféricas. El riego programado tiene como objetivo establecer los volúmenes y fechas apropiadas de los riegos a lo largo del ciclo fenológico de un cultivo. Este riego debe considerar diversos factores, como los requerimientos hídricos y las características de crecimiento propias de la especie y variedad, la demanda evaporativa de la atmósfera, las condiciones físicoquímicas y biológicas

del suelo que determinan su capacidad de retención de agua, y que, junto con la profundidad del sistema radical efectivo, determinan la cantidad de agua posible de ser utilizada en los procesos evapotranspirativos del cultivo. Muchos de estos factores son interdependientes y variables, explicando así la complejidad de una adecuada programación de riego.

Los parámetros utilizados en la programación de los riegos se basan en el balance hídrico entre las necesidades brutas del cultivo, las láminas de riego aportadas y la lluvia efectiva durante la estación de crecimiento. La determinación de este balance requiere de instrumentación micro-meteorológica y de funciones temporales del desarrollo del índice de

área foliar o grado de cobertura foliar. Con la programación del riego se puede maximizar la producción y la calidad de los productos, con un significativo ahorro de agua y fertilizantes, evitando la contaminación de napas subterráneas por percolación profunda (Gurovich *et al.*, 1994; Evans, *et al.*, 1996).

Diversas tecnologías para la programación del riego son utilizadas en diferentes países y cultivos frutícolas (Dry, *et al.*, 2001; Gucci, *et al.*, 1997). En la producción del kiwi, la evaluación de la condición hídrica de las plantas se realiza con diferentes técnicas, (Nazzo *et al.*, 1990; Hickey, 1995; Eastham y Gray, 1998; Chartzoulakis *et al.*, 1997) como la determinación de la humedad del suelo con mediciones directas o indirectas, las mediciones del estado energético del agua en el suelo, las estimaciones de la demanda atmosférica y, en condiciones experimentales, determinaciones del potencial hídrico de las plantas (Buchner *et al.*, 1994) o termometría infrarroja (Giuliani *et al.*, 2001). Otras estrategias utilizadas en la programación del riego en los frutales se basan en mediciones directas del crecimiento de algunos órganos de la planta con diferentes tipos de dendrómetros, asociados al uso de sensores de flujo savial (basándose en el método del pulso de calor), para determinar el momento y la intensidad con la cual la disponibilidad de agua está limitando la transpiración del cultivo. Green y Clothier (1988), midieron el uso de agua en plantas de kiwi usando información del flujo savial, encontrando que esta técnica consistentemente subestimaba el uso efectivo de agua en esta especie, debido a la heterogeneidad térmica de la matriz leñosa, caracterizada por la presencia de grandes haces vasculares y la gran extensión del área intersticial.

La zona radical de una planta de kiwi exhibe una gran variabilidad espacial (Hughes y Gandar, 1995; Hughes *et al.*, 2001) y las técnicas de programación del riego que usan mediciones de evaporación potencial y coeficientes de cultivo tienen una aplicabilidad muy limitada, por la dificultad en la selección de los coeficientes reales para doses de distinto tamaño (Allen *et al.*, 1998; Pereira *et al.*, 1996). Por este motivo, se requiere

de nuevos enfoques metodológicos para la correcta programación del riego en esta especie. Las limitaciones críticas en el registro continuo del contenido de agua en el suelo han sido resumidas recientemente por Van Leeuwen *et al.* (2001), en comparación con el monitoreo directo de las micro - variaciones en el diámetro del tronco y del fruto, que han sido reconocidos por Ton *et al.* (2001) como indicadores más apropiados del déficit hídrico de poca intensidad y duración, producidos en condiciones de campo.

El fitomonitorio es una técnica basada en la microelectrónica y la informática, que permite conocer en tiempo real el estado hídrico de la planta de una forma no destructiva, a través del registro de las respuestas anatómicas y fisiológicas de diversos órganos de las plantas, frente a las condiciones medioambientales y de manejo agronómico.

Las técnicas de fitomonitorio se están usando actualmente en diferentes países del mundo en plantaciones comerciales de cultivos hortícolas, de flores y de árboles frutales tanto con fines de programación del riego, así como una herramienta eficiente para implementar condiciones de riego deficitario controlado (RDC), orientado a la obtención de una determinada calidad de los frutos. El RDC requiere de técnicas para determinar la condición hídrica de la planta, así como de un criterio espacio - temporal en la aplicación del nivel hídrico deficitario (Holpzafel *et al.*, 2000).

La tecnología de fitomonitorio permite registrar directamente y en forma continua las respuestas de la planta a las condiciones del micro - ambiente (crecimiento del diámetro de tronco, de tallo y de fruto, la velocidad de flujo savial y la temperatura foliar), además de mediciones del ambiente (temperatura y humedad relativa del aire, radiación solar, velocidad del viento y contenido de agua del suelo), usando diferentes tipos de sensores.

El objetivo del fitomonitorio es la planta completa, intacta *in situ*, y su propósito es obtener un «retrato funcional» de ésta, que puede ser considerado como una imagen de su comportamiento fisiológico fren-

te a modificaciones naturales o artificiales del medio ambiente. Muchos científicos consideran al fitomonitorio como una nueva base metodológica de la fisiología vegetal aplicada (Ton *et al.*, 2001). Los sensores usados son conectados directamente a la planta, o ubicados muy cerca de ésta y su interpretación está basada en el uso de las tendencias temporales de respuesta, más que en los valores absolutos de cada parámetro climático o de la planta. El fitomonitorio ha sido propuesto como una herramienta sensible y directa para conocer el estado hídrico de la planta cultivada y así poder optimizar el uso del agua de riego, maximizando la productividad (Ton y Kleiman, 1989; 1990; Ton, 1997; Kopyt *et al.*, 2001; Nilov, 1993).

El objetivo de este trabajo fue describir la tecnología del fitomonitorio y evaluar su uso a través de la respuesta cuantitativa del kiwi a diferentes condiciones de disponibilidad de agua en el suelo. La tecnología de fitomonitorio constituye una innovación tecnológica de importancia en el manejo de las relaciones hídricas del sistema suelo - agua - planta - atmósfera con fines de programación del riego; su uso experimental en horticultura y fruticultura se está estudiando a partir de 1999 en una decena de países, siendo Chile el único país latinoamericano en el cual se investiga sus potencialidades.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó en kiwis (*Actinidia deliciosa* C.S. Liang y A.R. Fergusson) de la Estación Experimental La Palma, Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Valparaíso, Quillota, Chile (32° 52' Latitud Sur y 71° 15', Longitud W). La plantación, realizada en el año 1990, está conducida en parrón español, a una distancia de 5 m entre hileras y 2 m sobre la hilera; el cultivar es Hayward, con una distribución de polinizantes estaminados de 16%, cvs. Tomuri y Matua (50% de cada uno). El nivel productivo obtenido en este huerto, como promedio de los últimos 5 años fue 26,4 ton·ha⁻¹, con un calibre promedio de 100 g. fruto⁻¹. La fecha de maduración con fines exportación ocurre en la primera quincena de

marzo, obteniéndose anualmente un rendimiento de embalaje superior al 90%.

La plantación cuenta con un sistema presurizado de riego por microaspersión, con un emisor de 36 L·h⁻¹ por cada 2 plantas (500 micro-aspersores·ha⁻¹); la precipitación del equipo de riego es 1,53 mm·hr⁻¹, considerando una eficiencia de aplicación del sistema de 85%. La determinación de los tiempos y frecuencias de riego se realizó estimando la evapotranspiración de las plantas con la medición diaria de evaporación de una bandeja evaporimétrica clase A, ubicada en la Estación Meteorológica del predio La Palma y el uso de una función temporal del desarrollo del área foliar [$Kc = f(t)$] (Xiloyannis y Galliano, 1988; Mc Aneney *et al.*, 1991; Xiloyannis *et al.*, 1999). Las curvas características de humedad del suelo en dos estratas (0-30 cm y 30-60 cm) (Figura 1), se determinaron de acuerdo con las técnicas descritas por Klute (1986).

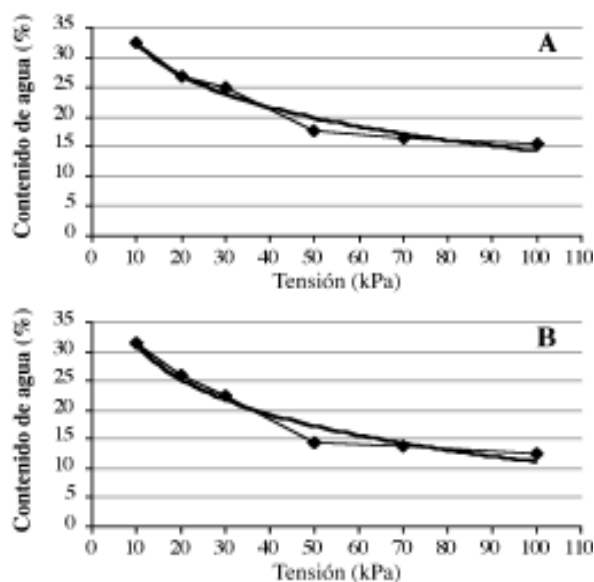


Figura 1. Curvas de retención de humedad en las estratas 0-30 cm (A) y 30-60 cm (B) del suelo presente en el huerto de kiwis, de la Estación Experimental La Palma, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Quillota, Chile.

Soil water retention curves for 0-30 cm (A) and 30-60cm layers (B), respectively, at the kiwifruit orchard located in the Experimental Station La Palma, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Quillota, Chile.

En la poda invernal, antes del inicio del trabajo experimental, se uniformó el número de cargadores por planta, para homogenizar la iluminación y el flujo de vapor de agua en todos los puntos del huerto.

El fitomonitor usado en este trabajo (PhyTech Ltd., Yad Mordechai, Israel, modelo LPS-05) se instaló en el huerto, conectando 8 sensores diferentes a dos plantas de desarrollo y productividad homogéneas.

Sensor de radiación solar (TIR-3). Este sensor está diseñado para medir la radiación total en campo abierto; incluye un detector de temperatura compensado, calibrado contra un piranómetro LI-200 SA, bajo condiciones no obstructivas y naturales de luz solar; este sensor se instaló a 0,6 m por sobre el dosel de las plantas y a 2,5 m sobre el nivel del suelo.

Sensor de temperatura y humedad relativa del aire (ATH-2). Este sensor contiene una unidad de aspiración para que el flujo de aire en torno a los sensores tenga una velocidad constante; en su interior hay un termómetro y un higrómetro de alta resolución; se instaló a la altura del alambrado de la estructura del huerto, bajo el dosel (1,9 m sobre el nivel del suelo).

Sensor de crecimiento de fruto (F-3). Este sensor está diseñado para registrar en forma continua las variaciones en el diámetro de frutos en crecimiento; el sensor incluye un transductor inductivo, provisto con una pinza especial para fijarlo en el fruto en observación. El fitomonitor utilizado en este estudio estuvo provisto de 2 sensores de crecimiento de frutos, que se fijaron a dos frutos en dos brotes de crecimiento indeterminado de la temporada, soportando una carga de 2 frutos cada uno.

Sensor de tasa relativa de flujo savial (SF-4). Este sensor está diseñado para monitorear variaciones en la tasa de flujo savial en los órganos axiales de una planta, por medio de la medición de la velocidad de un pulso de calor producido por un elemento de calentamiento (termocupla), con una disposición simétrica de los elementos termo-sensitivos. El sensor se instaló en la base del cargador de la temporada, y se cubrió con doble capa de papel de aluminio, para evitar un calentamiento externo. Como resultado del flujo xilemático, la temperatura aumenta en la di-

rección del flujo y disminuye en la dirección opuesta y la señal de salida del sensor sigue el gradiente de temperatura.

Sensor de temperatura de hoja (LT-1). El sensor posee un semiconductor con un punto de resistencia térmica, provisto de una pinza especial para fijarlo directamente a la hoja en estudio. En el fitomonitor utilizado en este estudio se instaló dos sensores de temperatura en la tercera hoja bien formada de un brote de la temporada, ubicado en la sección media de los mismos cargadores donde se conectaron los sensores de diámetro de tallo.

Sensor de variación del diámetro del cargador (SD-5). Este sensor está diseñado para registrar variaciones relativas en el diámetro de tallos o pecíolos; incluye un transductor inductivo provisto con una pinza para fijarse en la planta. Dos sensores SD - 5 se instalaron en los primeros 20 cm de la base de un cargador leñoso de un año de edad, en el sector medio del dosel.

Sensor de variación del diámetro del tronco (SD-6). Este sensor permite registrar las variaciones en el diámetro de tronco con una sensibilidad de ± 1 mm; estas variaciones permiten obtener dos tipos de información relevante: la amplitud de la contracción diaria y la tendencia de los valores máximos diarios. Usualmente, el ciclo de la transpiración diaria produce una reducción temporal del contenido de agua en las plantas, que se manifiesta en una reducción proporcional del diámetro del tronco; en el caso de desarrollarse un déficit hídrico, la amplitud de la contracción aumenta. Si el déficit es de mayor intensidad, puede ocurrir que la planta no recupere sus reservas hídricas durante la noche, resultando en un descenso de la tendencia del diámetro máximo de días consecutivos. El fitomonitor usado en este estudio dispuso de dos sensores SD - 6, que se instalaron en el tronco de cada planta, a una altura de 1 m sobre el suelo.

Sensor de humedad del suelo (SMS-1). Este sensor está diseñado para medir el contenido de agua volumétrico en el suelo, basado en la variación de la impedancia, por determinación de la constante dieléctrica aparente. Debido a que la constante

dieléctrica (CD) del agua (80) es significativamente mayor que la CD de los materiales componentes del suelo (3-4), o que la CD del aire (1), este parámetro depende primariamente de su contenido de agua. El fitomonitor usado en este estudio incluyó un sensor de contenido de agua del suelo, que se instaló a 40 cm de profundidad y a 50 cm del tronco de una planta.

Sonda de neutrones. El contenido volumétrico de agua del suelo se determinó también mediante una sonda de neutrones marca Campbell Pacific Nuclear Mod. 503. Se instaló 4 tubos de acceso de aluminio, de 80 cm de largo, separados a 1 m de distancia, en forma perpendicular a la línea de plantación. Se eligió las mediciones del tubo de acceso mas cercano a la ubicación del tensiómetro y del sensor de humedad del fitomonitor, a 20 y 40 cm, para comparar los registros de humedad del suelo.

Tensiómetros convencionales. En este estudio se instalaron dos tensiómetros marca Irrrometer a 30 y 60 cm de profundidad y a 40 cm del tronco de las plantas en observación, junto a los tubos del aspersor de neutrones (Ciordia *et al.*, 1993); las mediciones de tensión de agua en el suelo se registraron diariamente a las 09:00 horas.

Sensores meteorológicos adicionales. La información meteorológica se registró por medio de una estación metereológica automática, marca Lufft, modelo Opus 2, Fellbach, Alemania (http://www.lufft.de/s_index.htm), ubicada en la Estación Experimental La Palma.

Este estudio se realizó entre el 15 de diciembre, 2000 y el 12 de marzo, 2001, registrando la información entregada por los sensores del fitomonitor antes descritos, en forma continua cada 20 min, las 24 h del día. Con el propósito de facilitar el análisis de la información obtenida, este intervalo de 87 días se dividió en los siguientes períodos:

Primer período, comprendido entre el 15 y el 27 de diciembre de 2000; se caracterizó por una condición de riego normal del huerto, con reposición parcial de las láminas evapotranspiradas, en tres eventos de riego, con un aporte total efectivo de 58,1

mm, y una evaporación de bandeja clase A acumulada de 77,7 mm durante estos días. El contenido volumétrico de agua del suelo, medido con el sensor SMS - 1, se mantuvo en el rango de 40,7% y 39,2 % y las lecturas tensiométricas diarias fueron inferiores a 12 kPa, en ambas estratas del perfil del suelo (Cuadro 1).

Segundo período, comprendido entre el 28 de diciembre, 2000 y el 11 de enero, 2001; durante este período se suspendió totalmente el riego. La lámina de agua deficitaria (con respecto a la lámina de capacidad de campo) acumulada en el perfil al inicio fue 15,01 mm y al finalizar 76,21 mm. El tensiómetro a 30 cm varió en 2 y 80 kPa, el 27 de diciembre y 11 de enero, respectivamente y el tensiómetro de 60 cm subió de 10 a 50 kPa en igual periodo (Cuadro 1).

Tercer período, comprendido entre el 12 y el 25 de enero. Durante este período se restableció el riego normal del huerto, reponiéndose el 100% de la lámina evapotranspirada en el período, pero sin restituir la lámina deficitaria acumulada anteriormente (81,41 mm el día 12 de enero); al finalizar el tercer período, la lámina deficitaria fue 79,17 mm. Los riegos aplicados totalizaron 58,13 mm y la lámina evapotranspirada en el período fue de 61,8 mm. Los tensiómetros registraron lecturas entre 58 y 2 kPa a 3 cm y entre 50 y 14 kPa a 6 cm (Cuadro 2).

Cuarto período, comprendido entre los días 26 de enero y 13 de febrero, durante el cual se suspendió totalmente el riego. Al inicio, la lámina deficitaria acumulada desde que el experimento comenzó, fue de 82,25 mm y al final alcanzó a los 150,31 mm. La tensión del agua en el suelo se inició en 14 y 16 kPa y terminó el período con valores de 98 y 82 kPa a 30 y 60 cm, respectivamente (Cuadro 2).

Quinto período, comprendido entre los días 14 de febrero y el 12 de marzo. Se regó en cuatro oportunidades, reponiéndose una lámina total de 59,68 mm. La fluctuación de la tensión del agua estuvo en el rango de 4 y 84 kPa a 30 cm, mientras que el tensiómetro ubicado a 60 cm de profundidad registró entre 74 y 90 kPa (Cuadro 3).

Cuadro 1. Registros diarios de evapotranspiración, riegos aplicados, lecturas de tensiómetros, y contenido de agua del suelo determinado con un aspersor de neutrones, entre los días 15 de diciembre 2000 y 28 de febrero 2001 (primer a quinto períodos de este estudio).

Daily ET_o , irrigation events, tensiometer readings and soil water content (tensiometry) between December 15, 2000 to February 28, 2001

Fecha día	ETo mm	ETc mm	ETc acumulada mm	Tiempo de riego h:min		Riegos mm	Tensión kPa		Humedad %	
				teórico	real		30 cm	60 cm	20 cm	40 cm
Periodo 1										
Diciembre 2000										
15	5,6	5,6	5,6			0,0	2,0	6,0	24,5	25,1
16	6,8	6,8	12,4			0,0	4,0	8,0		
17	6,7	6,7	19,1	12:19	12,5	19,4	4,0	8,0		
18	5,7	5,7	5,7			0,0	2,0	8,0	25,1	25,1
19	3,8	3,8	9,5			0,0	2,0	10,0		
20	3,3	3,3	12,8			0,0	4,0	12,0	24,3	24,7
21	3,8	3,8	16,6			0,0	8,0	12,0	23,8	24,0
22	4,6	4,6	21,2	13:40	13,5	20,9	10,0	12,0	24,4	24,8
23	6,4	6,4	6,7			0,0	2,0	6,0		
24	6,8	6,8	13,5			0,0	2,0	8,0		
25	7,2	5,8	19,2	12:13	11,5	17,8	2,0	8,0		
26	6,7	5,4	6,8			0,0	2,0	8,0	24,4	25,0
27	4,1	3,3	10,1			0,0	2,0	10,0		
Total	71,5	67,9			37,5	58,1				
Periodo 2										
Diciembre 2000										
28	6,2	5,0	15,0	8:46	0,0	0,0	10,0	12,0		
29	6,1	4,9	19,9			0,0	22,0	16,0	22,3	23,2
30	6,6	5,3	25,2			0,0	26,0	18,0		
31	4,6	3,7	28,9	8:55	0,0	0,0	36,0	18,0		
Enero 2001										
01	4,6	3,7	32,5			0,0	40,0	20,0		
02	4,4	3,5	36,1			0,0	48,0	20,0	20,4	21,7
03	2,2	1,8	37,8	5:46	0,0	0,0	52,0	20,0	21,2	22,2
04	4,2	3,4	41,2			0,0	58,0	22,0	18,9	21,7
05	6,1	4,9	46,1			0,0	60,0	24,0	18,7	21,8
06	6,8	5,4	51,5			0,0	66,0	28,0	17,7	21,2
07	4,9	3,9	55,4	11:21	0,0	0,0	68,0	30,0		
08	5,2	4,2	59,6			0,0	70,0	32,0	17,4	20,6
09	7,1	5,7	65,3			0,0	70,0	38,0	16,8	20,5
10	6,8	5,4	70,7	9:51	0,0	0,0	72,0	42,0	17,1	19,8
11	6,9	5,5	76,2			0,0	80,0	50,0	21,5	20,2
Total	76,5	61,2			0,0	0,0				

ETo = Evapotranspiración potencial, ETc = Evapotranspiración del cultivo.

Cuadro 2. Registros diarios de evapotranspiración, riegos aplicados, lecturas de tensiómetros, y contenido de agua del suelo determinado con un aspersor de neutrones, entre los días 15 de diciembre 2000 y 28 de febrero.

Daily ET_p, irrigation events, tensiometer readings and soil water content (tensiometry) between December 15, 2000 to February 28, 2001

Fecha día	ET _o mm	ET _c mm	ET _c acumulada mm	Tiempo de riego h:min		Riegos mm	Tensión kPa		Humedad %	
				teórico	real		30 cm	60 cm	20 cm	40 cm
Periodo 3										
Enero 2001										
12	6,5	5,2	81,4	6:54	7,0	10,9	58,0	50,0	20,1	20,7
13	5,9	4,7	75,3			0,0	2,0	50,0	22,7	22,7
14	4,9	3,9	79,2			0,0	10,0	46,0		
15	7,2	5,7	84,9	9:15	9,5	14,7	28,0	46,0	20,2	21,1
16	5,5	4,4	74,6			0,0	2,0	42,0	22,8	23,4
17	4,2	3,4	78,0			0,0	8,0	42,0	22,2	22,8
18	5,3	2,2	80,2			0,0	16,0	36,0	21,6	22,3
19	5,8	6,6	86,8	12:01	12,0	18,6	38,0	36,0		
20	6,2	5,0	73,2			0,0	2,0	32,0	23,4	24,4
21	5,2	4,2	77,4			0,0	2,0	18,0		
22	5,8	4,6	82,0	8:57	4,0	14,0	8,0	18,0	21,6	23,2
23	5,2	4,2	80,0		5,0	0,0	2,0	16,0	22,7	24,0
24	5,1	4,1	76,3			0,0	4,0	14,0	22,3	22,8
25	3,6	2,9	79,2			0,0	10,0	14,0	21,3	22,5
Total	76,4	61,1			37,5	58,1				
Periodo 4										
Enero 2001										
26	3,8	3,1	82,3	9:07	0,0	0,0	14,0	16,0	20,4	21,9
27	4,3	3,4	85,7			0,0	26,0	18,0		
28	4,3	3,4	89,1			0,0	36,0	22,0	20,3	22,0
29	4,8	3,8	93,0			0,0	54,0	22,0	19,1	21,7
30	5,4	4,3	97,3	9:42	0,0	0,0	72,0	24,0	18,5	21,3
31	5,2	4,2	101,4			0,0	80,0	24,0	18,2	21,0
Febrero 2001										
01	5,6	3,9	105,4			0,0	84,0	26,0	17,7	20,5
02	6,2	4,3	109,7	8:00	0,0	0,0	88,0	28,0	17,2	19,6
03	5,9	4,1	113,8			0,0	90,0	34,0	16,6	19,6
04	5,0	3,5	117,3			0,0	90,0	40,0		
05	5,7	4,0	121,3			0,0	98,0	52,0	16,3	19,2
06	4,4	3,1	124,4	9:28	0,0	0,0	54,0	54,0	16,6	19,3
07	4,5	3,2	127,6			0,0	60,0	64,0	15,9	19,1
08	4,7	3,3	130,8			0,0	64,0	66,0	16,0	18,6
09	5,2	3,6	134,5			0,0	66,0	72,0	16,0	18,8
10	5,7	4,0	138,5	9:04	0,0	0,0	70,0	74,0	15,7	18,8
11	6,1	4,3	142,7			0,0	74,0	76,0		
12	5,9	4,1	146,9			0,0	78,0	80,0	15,4	18,3
13	4,9	3,4	150,3			0,0	84,0	82,0	14,7	18,2
Total	97,6	710,1			0,0	0,0				

ET_o = Evapotranspiración potencial, ET_c = Evapotranspiración del cultivo.

Cuadro 3. Registros diarios de evapotranspiración, riegos aplicados, lecturas de tensiómetros, y contenido de agua del suelo determinado con un aspersor de neutrones, entre los días 15 de diciembre 2000 y 28 de febrero 2001 .

Daily ET_p, irrigation events, tensiometer readings and soil water content (tensiometry) between December 15, 2000 to February 28, 2001

Fecha día	ET _o mm	ET _c mm	ET _c acumulada mm	Tiempo de riego h:min		Riegos mm	Tensión kPa		Humedad %	
				teórico	real		30 cm	60 cm	20 cm	40 cm
Periodo 5										
Febrero 2002										
14	4,6	3,2	153,53	9:42	9,5	14,7	26,0	78,0	18,4	19,0
15	4,1	2,9	141,67			0,0	40,0	74,0	18,1	19,1
16	4,0	2,8	144,47			0,0	70,0	78,0	17,5	19,0
17	3,8	2,7	147,13			0,0	78,0	82,0		
18	3,5	2,5	149,58			0,0	82,0	82,0	16,2	18,2
19	3,8	2,7	152,24	8:40	7,0	10,9	84,0	82,0	19,3	18,5
20	4,6	3,2	144,61		2,0	3,1	30,0	84,0	18,6	18,8
21	2,9	2,0	143,54			0,0	34,0	84,0	17,8	18,7
22	3,6	2,5	146,06			0,0	36,0	86,0	17,5	18,5
23	3,9	2,7	148,79			0,0	68,0	86,0	16,9	18,5
24	3,1	2,2	150,96	8:10	8,0	12,4	74,0	86,0		
25	4,3	3,0	141,57			0,0	32,0	88,0	17,9	18,8
26	4,5	3,2	144,72			0,0	46,0	88,0	17,4	18,8
27	4,4	3,0	147,72	5:57	12,0	18,6	60,0	90,0		
28	4,5	3,2	132,27			0,0	12,0	80,0	19,7	19,0
Marzo 2001										
01	4,4	3,1	135,37			0,0	8,0	74,0	19,74	19,01
02	5,3	3,7	139,07			0,0	16,0	70,0	18,92	19,00
03	4,8	3,4	142,47	8:35:00	12,0	18,6	28,0	72,0	17,91	18,31
04	3,9	2,7	126,57			0,0	2,0	64,0		
05	3,6	2,5	129,07			0,0	6,0	58,0	20,97	21,53
06	4,5	3,2	132,27			0,0	8,0	52,0	19,63	20,28
07	4,7	3,3	135,57			0,0	14,0	54,0	18,31	19,72
08	4,1	2,9	138,47			0,0	20,0	60,0	17,62	19,32
09	3,6	2,5	140,97	11:12:00	12,0	18,6	26,0	64,0	21,6	20,03
10	3,8	2,7	125,07			0,0	6,0	58,0	20,46	19,57
11	4,0	2,8	127,87	3:30:00	4,0	6,2	8,0	52,0		
12	3,8	2,7	124,37			0,0	2,0	46,0	20,27	19,73
Total	110,1	77,1			66,5	103,1				
Total periodos en estudio	438,3	343,4			141,5	219,3				

ET_o = Evapotranspiración potencial, ET_c = Evapotranspiración del cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSION

La extensa base de datos obtenida con las mediciones realizadas por medio de los sensores del fitomonitor permitieron analizar las respuestas fisiológicas del kiwi, a los cambios en la

dinámica del sistema suelo - agua - atmósfera, producido por la alternancia, entre periodos, de la disponibilidad óptima y restringida del agua en el suelo. El comportamiento del sub-sistema suelo - agua se presenta en las Figuras 2, 3, 4 y 5.

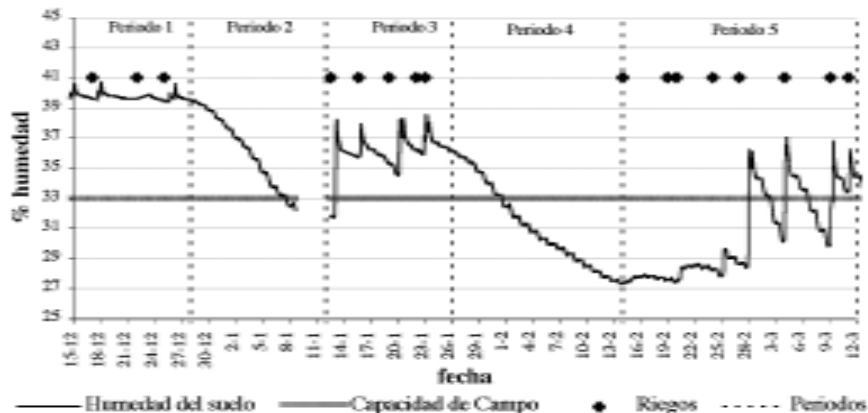


Figura 2. Variación en el contenido de humedad del perfil del suelo, medido con el fitomonitor a 40 cm, a 50 cm del tronco.

Soil water content at 40 cm, 50 cm from the trunk, measured with a Phytomonitor.

Los 5 períodos de manejo del riego descritos anteriormente se indican en la Figura 2. Hubo 3 períodos con riego (con 3, 5 y 8 eventos en los períodos 1, 3 y 5 respectivamente), los que fueron claramente detectados por el sensor de humedad del suelo, con un incremento inmediato del contenido de agua, seguidos por rápidos procesos de redistribución del agua en el perfil del suelo. En los períodos 2 y 4 el proceso de desecamiento progresivo del suelo y su tasa variable permitieron establecer con precisión la capacidad de campo del suelo en un 34% (Figura 2, línea horizontal) (34%) y la intensidad en la restricción hídrica impuesta en ambos períodos sin riego (contenidos mínimos de 32% y 28%, respectivamente).

Durante los períodos regados, el contenido de agua en el suelo fue prácticamente uniforme y superó en más de un 40% al contenido de agua correspondiente a la capacidad de campo de este suelo.

La sonda de neutrones (Figura 3) detectó, al igual que el sensor de contenido de agua del suelo del fitomonitor comentado anteriormente, el régimen de riego establecido en el ensayo, pero con la sensibilidad fue bastante menor y con valores muy inferiores a los contenidos de agua reales del suelo. Posiblemente, el aspersor de neutrones utilizado requiere de una calibración especial para las condiciones presentes en el perfil del suelo.

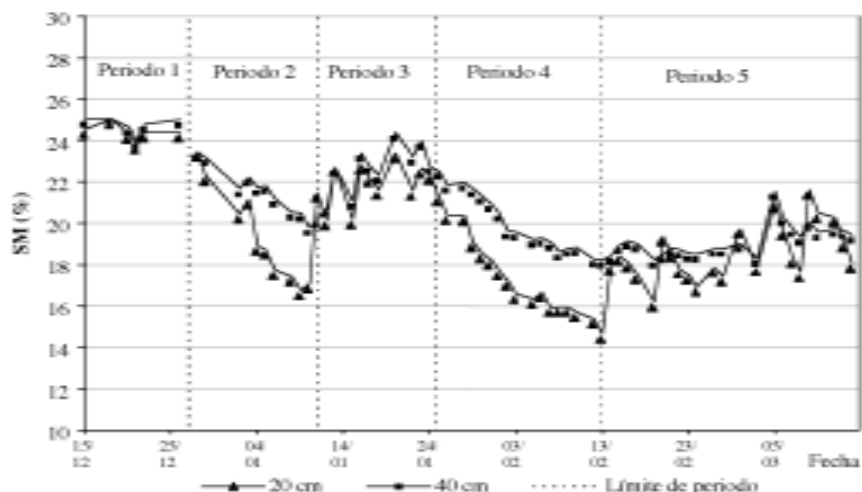


Figura 3. Variación en el contenido de humedad de suelo (SM) medido con sonda de neutrones a 20 y 40 cm de profundidad.

Soil water content (SM) at 20 and 40 cm depth. Neutrometer.

La información diaria obtenida con tensiómetros instalados a diferentes profundidades en el perfil del suelo (Figura 4), correspondió también al régimen de riego establecido durante el ensayo, pero con una sensibilidad aún menor que aquella correspondiente a la sonda de neutrones. Es importante señalar que a los 30 cm de profundi-

dad, la tensión del agua al finalizar los períodos de déficit hídrico fue de 80 y 100 kPa, respectivamente, rango considerado deficitario y con efectos negativos sobre el calibre de la fruta, especialmente si estas condiciones de alta tensión se hubieran mantenido por períodos más prolongados.

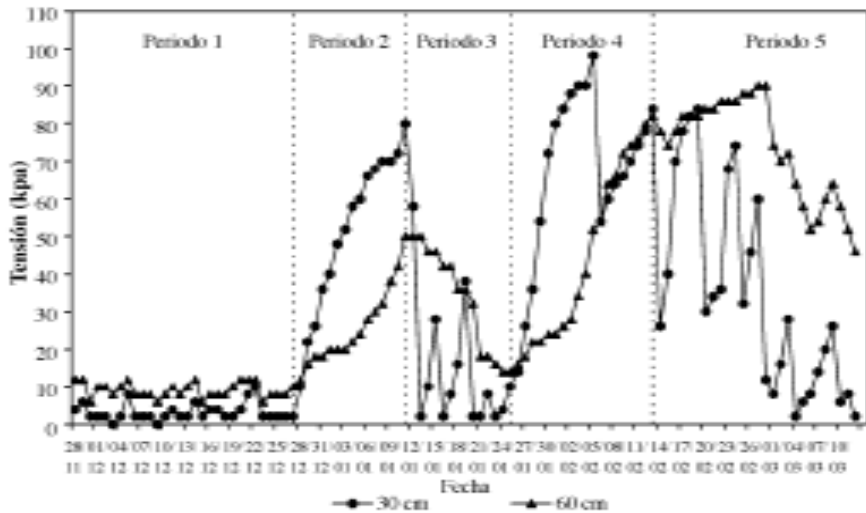


Figura 4. Variación en la tensión del agua (KPa) en el suelo medida con tensiómetros ubicados a 30 y 60 cm de profundidad.
Soil water tension (KPa) at 30 and 60 cm depth.

En la Figura 5 se presenta el registro de ET potencial acumulada y las láminas de riego aplicadas a la plantación durante el período de desarrollo del

ensayo. El balance hídrico resultante es deficitario, de acuerdo con la información proporcionada en las Cuadros 1, 2, 3.

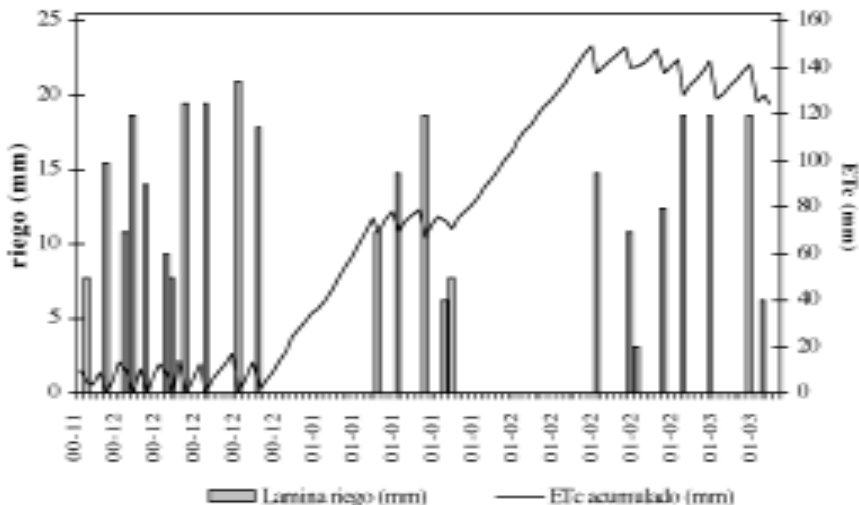


Figura 5. Riego en kiwi (*Actinidia deliciosa*): Registro de evaporación acumulada y láminas de reposición. *Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) irrigation: Cumulative ET and water depths applied.*

Además de las curvas que relacionan directamente la respuesta en crecimiento de algunos órganos (tronco, cargadores y frutos), con cambios en las condiciones meteorológicas como el déficit de presión de vapor (DPV) y los cambios en el contenido de agua del suelo (SM) (Gurovich y Gratacós, 2002), en este trabajo se ha definido algunos nuevos indicadores compuestos, que permiten visualizar con más precisión la respuesta del kiwi a cambios de su micro y meso - ambiente. Estos índices son los siguientes:

Índice de estrés hídrico ISH. Es la relación entre la amplitud de la contracción diaria (DCA) del diámetro de cargador y tronco en relación con el déficit de presión de vapor (DPV) y la humedad de suelo (SM). La DCA se determinó en relación al concepto de línea de base del máximo potencial (*potential maximum baseline*) (Ton, comunicación personal, 2001).

$$ISH = (\Delta CA) / DPV$$

Tendencias del diámetro máximo diario de tronco (τTD) y cargador (τSD) en relación con DPV y SM.

$$\tau TD = f [DPV, SM]$$

$$\tau SD = f [DPV, SM]$$

Tendencia del diámetro máximo diario del fruto en relación con las variaciones de contenido de agua del suelo.

$$\tau DF = f [SM]$$

Velocidad de flujo savial nFS) en relación con el DPV.

$$vFS = f [DPV]$$

Diferencia de temperatura entre hoja y aire (DTH-A) en relación con DPV y SM.

$$(\Delta TH-A) = f [DPV, SM]$$

En la Figura 6 se presenta una visión general de los registros de los sensores del fitomonitor, indicándose con los números 1 al 5 cada uno de los períodos definidos anteriormente. En forma adicional, se analizó el efecto del déficit hídrico sobre el crecimiento del fruto, entre los días 16 de enero al 1 de marzo de 2001, debido a la estabilización que presenta la curva de crecimiento del fruto en este período (Hall, and McPherson, 1997; Gandar *et al.*, 1996), cuando ya ha alcanzado más del 80% de su tamaño final (N° 6 en Figura 6).

Todas las curvas de crecimiento muestran la forma típica sigmoidea estacional que caracteriza el desarrollo del fruto de kiwi (Sale, 1985; Hall, *et al.*, 1996). Asimismo, los sensores duplicados (diámetro de tronco, de cargador y de fruto) muestran un comportamiento muy similar de cada uno de los órganos de la planta monitoreados en este trabajo. El diámetro de tronco mostró respuestas de mayor sensibilidad al DPV y SM, en comparación con las respuestas del diámetro del cargador y del diámetro del fruto.

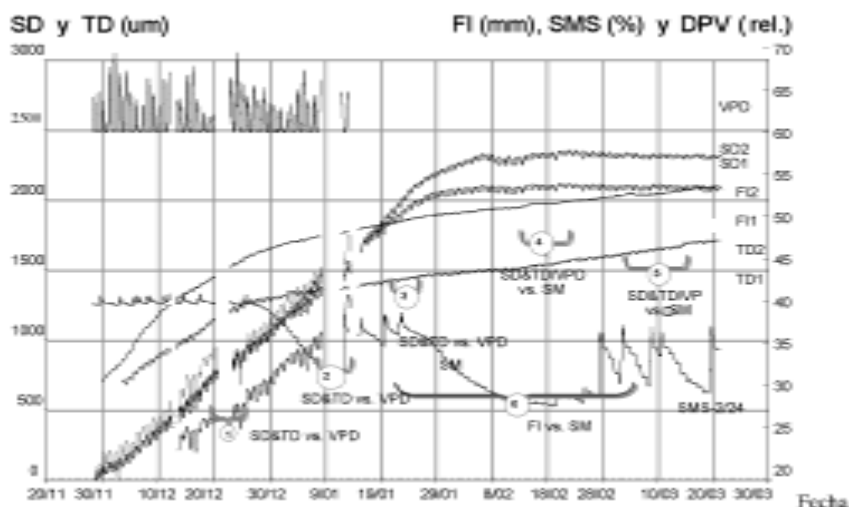


Figura 6. Vista general de los principales registros del fitomonitor. Los períodos analizados en detalle, se indican con los números 1 al 6.

Phytomonitor data. Time intervals are indicated by numbers 1 to 6.

Como resultado de las variaciones del DPV, los troncos, cargadores y frutos presentaron contracciones y expansiones diurnas y nocturnas, respectivamente (Figuras 7 A y B). Se observó

una muy alta correlación entre DCA (amplitud de contracción diaria) y el DPV promedio diario ($R^2= 0,90$ y $0,76$ para troncos y cargadores, respectivamente).

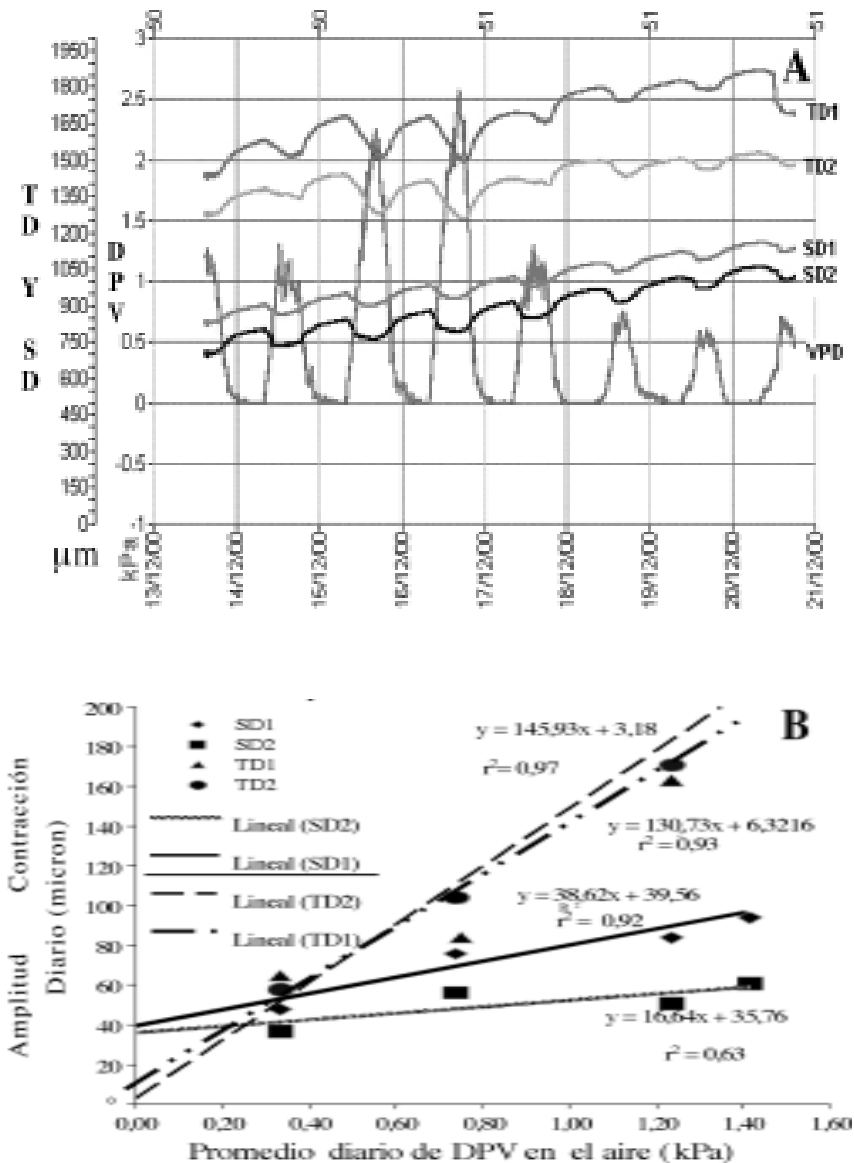


Figura 7.A. Incremento de diámetro del tronco (TD) y del cargador (SD) en relación con el DPV en el período de riego normal, B análisis de regresión de la amplitud de contracción diaria DCA (método PMB) y promedio diario de DPV. Huerto de kiwi, Quillota, Chile.

A. Trunk diameter increment (TD) and fruiting cane diameter (SD) in relation to VPD during unrestricted irrigation. B. linear regression for daily contraction (DCA) and average VPD. Kiwifruit orchard, Quillota, Chile.

La variación en el diámetro de tronco es altamente sensible a las condiciones climáticas y está altamente correlacionada con el potencial hídrico de la planta (Simonneau *et al.*, 1993). Diversos autores han descrito relaciones entre el diámetro del tronco (TD) y otros indicadores de la planta (Goldhamer *et al.*, 1999), por ejemplo, el potencial hídrico del tallo (SWP) (Cohen *et al.*, 1999). En condiciones de campo, las mediciones de TD se hacen con transductores de desplazamiento lineal variable, instrumentos conocidos genéricamente como dendrómetros (Huguet y Genard, 1996; Li *et al.*, 1989; Cohen *et al.*, 1997; Goldhamer y Fereres, 2001). La programación del riego basada en mediciones con dendrómetros es una técnica utilizada habitualmente en huertos frutales en algunas regiones del mundo.

En la Figuras 8 y 9 se presenta la evolución del crecimiento radial de dos troncos de kiwi, en los períodos de restricción hídrica, durante los cuales el huerto no se regó. En el período 2 (primera restricción hídrica) la disminución del contenido de agua del suelo (SM) fue progresiva y la tasa de crecimiento de ambos troncos también

disminuyó progresivamente, pero esta disminución se inició solamente 7 días después del inicio de la restricción total de agua de riego, asociada a condiciones de alta demanda evaporativa, (alta temperatura y baja humedad relativa del aire). En el tercer período (12 al 25 enero, 2001), la tasa de crecimiento de los troncos aumentó después de cada evento de riego (Figuras 8 y 9), haciéndose evidente que el contenido de agua en el suelo, al finalizar el período 2, fue deficitario para sostener el crecimiento continuo. El riego del 19 de enero, con una lámina de 18,6 mm, causó la mayor tasa en el crecimiento del tronco al día siguiente.

En el período 4 (segundo período sin riego), la disminución en la tasa de crecimiento del diámetro de los troncos se inició 8 días después de iniciada la restricción total de riego. Durante el último período de recuperación (período 5) el crecimiento positivo de los troncos ocurrió solo en el día siguiente a un evento de riego, pero en los días subsiguientes, el tronco disminuyó nuevamente su diámetro, porque el déficit de humedad del suelo acumulado en los períodos 2 y 4, no permitió suplir la ET de la plantación.

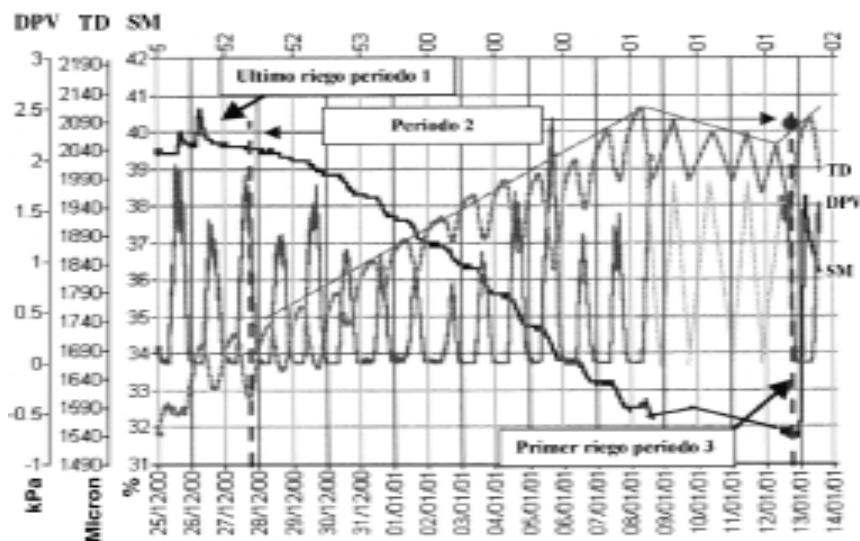


Figura 8. Contenido de humedad del suelo (SM) y diámetro del tronco (TD), en relación con el déficit de presión de vapor (DPV) en el período 2.

Soil water content (SM) and trunk diameter (TD), related to VPD in period N° 2.

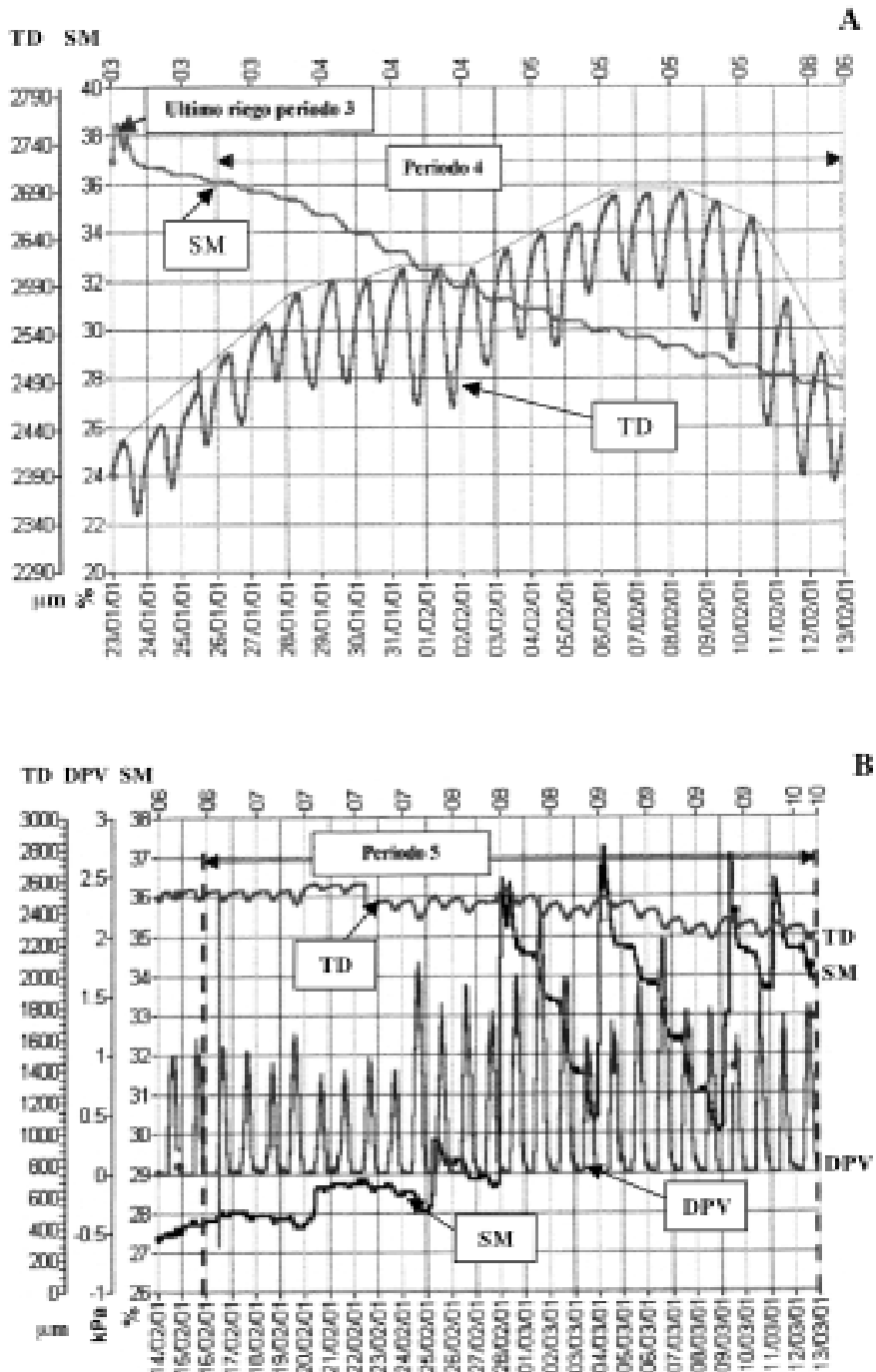


Figura 9. Contenido de humedad del suelo (SM) y diámetro del tronco (TD), en relación con el déficit de presión de vapor (DPV) en los períodos 3 y 4 (A) y 5 (B).

Soil water content (SM) and trunk diameter (TD), related to VPD in periods N° 3 and 4 (A) and N° 5 (B).

La velocidad de crecimiento radial de troncos y de cargadores (brotes de un año de edad), determinada con los sensores del fitomonitor, se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Tasa media diaria de crecimiento radial ($\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$) de dos troncos y dos cargadores (brotes del año) en plantas de kiwi (*Actinidia deliciosa*), durante 5 períodos de manejo hídrico diferenciado.

*Trunk and fruiting cane daily diameter increments ($\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$) in Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*), for 5 irrigation periods considered.*

	Tronco A		Tronco B	
	mínimo $\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$	máximo $\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$	mínimo $\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$	máximo $\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$
Período 1	0,235	0,296	0,258	0,307
Período 2	0,328	0,340	0,367	0,393
Período 3	0,364	0,395	0,289	0,366
Período 4	-0,031	-0,012	-0,068	0,010
Período 5	-0,005	0,022	-0,140	-0,101
	Cargador A F		Cargador B F	
	mínimo $\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$	máximo $\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$	mínimo $\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$	máximo $\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$
Período 1	0,356	0,376	0,342	0,345
Período 2	0,330	0,330	0,408	0,419
Período 3	0,237	0,255	0,335	0,360
Período 4	0,037	0,043	0,067	0,081
Período 5	0,006	0,034	0,017	0,037

Las tasas máximas y mínimas diarias de crecimiento radial de los troncos y cargadores fluctuaron en un rango muy estrecho durante cada período de estrategia de riego, pero fueron claramente diferenciales entre los períodos; el déficit hídrico del período 2 redujo la velocidad de crecimiento solamente en el cargador A. Sin embargo, en el período 4 la reducción en la tasa de crecimiento afectó a ambos troncos y a ambos cargadores. La recuperación de la tasa de crecimiento correspondiente al período 5, fue incipiente, como resultado del déficit hídrico acumulado.

La sensibilidad de la amplitud de contracción diaria (ΔCA) por efecto del DPV, definida como índice de estrés hídrico (ISH) fue más alta en los troncos que en los cargadores, con valores promedio de $172,1 \mu\text{m}\cdot\text{kPa}^{-1}$ y $75,7 \mu\text{m}\cdot\text{kPa}^{-1}$, respectivamente.

La sensibilidad al ISH medido en el tronco aumentó considerablemente en los períodos de restricción hídrica (períodos 2 y 4), desde 148 a $194 \mu\text{m}\cdot\text{kPa}^{-1}$. La sensibilidad al ISH de los cargadores tuvo un comportamiento muy similar en ambos períodos de restricción hídrica con $93,1$ y $93,2 \mu\text{m}\cdot\text{kPa}^{-1}$ (Figura 10).

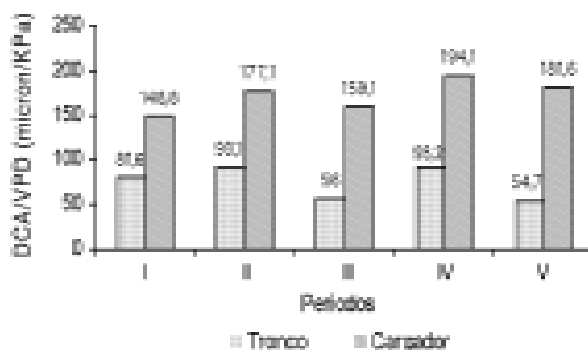


Figura 10. Índice de estrés hídrico para tronco y cargadores de kiwi (*Actinia deliciosa*) durante los 5 períodos del estudio.

*Water stress index in trunk and fruiting cane in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) for 5 irrigation periods considered.*

La reposición del riego al finalizar los períodos 2 y 4 redujo sustancialmente la sensibilidad al ISH. En el Cuadro 5 se muestra que el promedio diario de DVP fue ocasionalmente igual los días 17 y 20 de enero; y se puede observar como el riego del 20 de enero reduce la DCA.

Cuadro 5. Déficit de presión de vapor (DVP), contenido de agua del suelo (SM) e incremento en el diámetro de troncos (DCA), en dos fechas.

Vapor pressure Deficit (VPD), soil water content (SM) and daily trunk diameter increment (DCA), for two specific dates.

Fecha	Promedio diario DVP (kPa)	Humedad máxima de Suelo (vol. %)	Promedio ΔCA de troncos (μm)
17-01-01	0,65	36,2	96,5
20-01-01	0,65	38,3	73,5

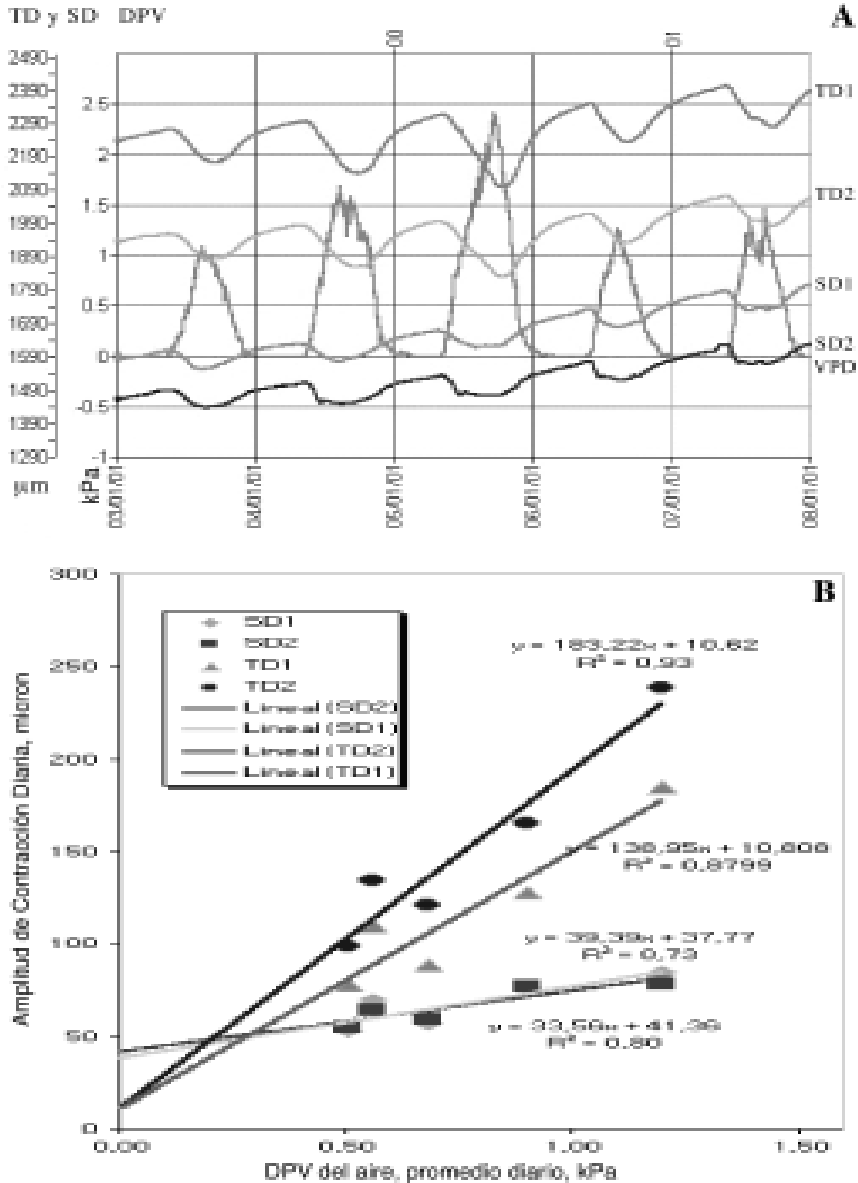


Figura 11. A. Respuesta de los diámetros de Tronco y Tallo al DPV en el primer período sin riego (período 2) B. Análisis de Regresión de la Amplitud de Contracción Diaria (DCA) y el DPV promedio diario. Huerto kiwi, Quillota, Chile 2000/2001.

A. Trunk and fruiting cane diameters in relation to VPD, during period N° 2 (no irrigation). B. Linear regression analysis of daily trunk and cane contractions (DCA) and average VPD. Kiwifruit orchard, Quillota, Chile 2000/2001.

Para la misma ET, bastó solo un 2,1 % de reducción en el SM, para que se redujera la contracción del tronco en un 23.8%. El análisis de regresión para $ISH = DCA / DVP$ no fue aplicable en condiciones de contenido de humedad de suelo (SM) variable, como se muestra en las Figuras 11, 12, 13 y 14 para

los períodos 2, 3 y 5, respectivamente. El aumento en el DCA y la depresión progresiva de los diámetros máximos diarios, resultaron ser una representación fidedigna de la dinámica del desarrollo de estrés hídrico en el kiwi. En condiciones de DVP variable, el desarrollo del ISH puede mostrar aún mayor sensi-

bilidad (Figura 14), con una variación en el rango de 100-130 a 300-360 mm·kPa⁻¹ antes del 14 de febrero, para luego caer abruptamente al nivel inicial después del primer riego. El ISH medido en los cargadores, demostró un efecto similar, pero con menor mag-

nitud; para el período 4 (segundo período de restricción hídrica), se observó un aumento del ISH durante la semana anterior al 14 de febrero. Es interesante señalar que existe una correlación lineal casi perfecta entre el contenido de humedad de suelo SMI y el ISH.

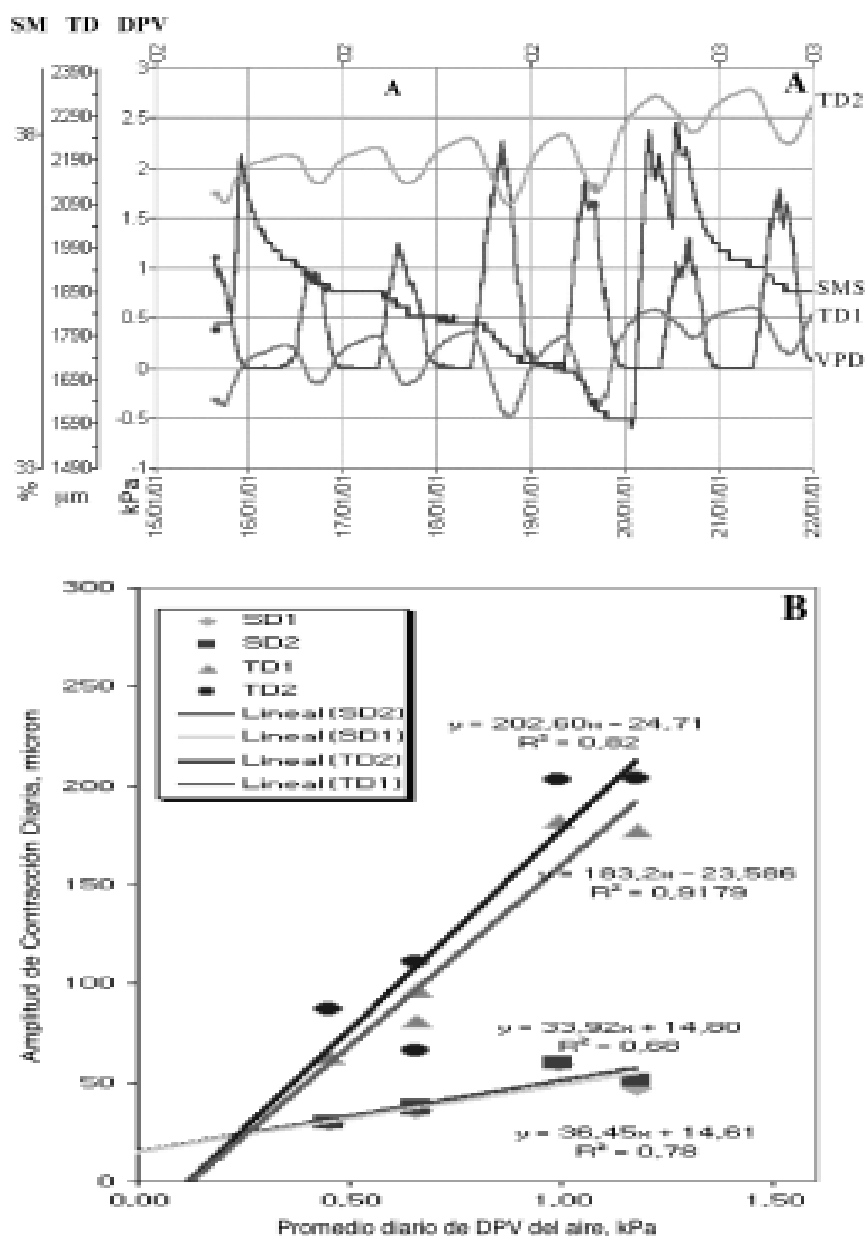


Figura 12. A. Respuesta de los diámetros de Tronco y Tallo al DVP del aire en el primer período de reposición del riego (período 3), luego de 2 semanas de suspensión en la aplicación del riego. B. Análisis de regresión de la Amplitud de Contracción Diaria (DCA) y DVP promedio diario para el período 3.

A. Trunk and fruiting cane diameter increment for period 3 (irrigated), after a 2 week dry spell. B. Linear regression analysis of daily trunk and f. cane contractions (DCA) and average VPD. Kiwifruit orchard, Quillota, Chile 2000/2001.

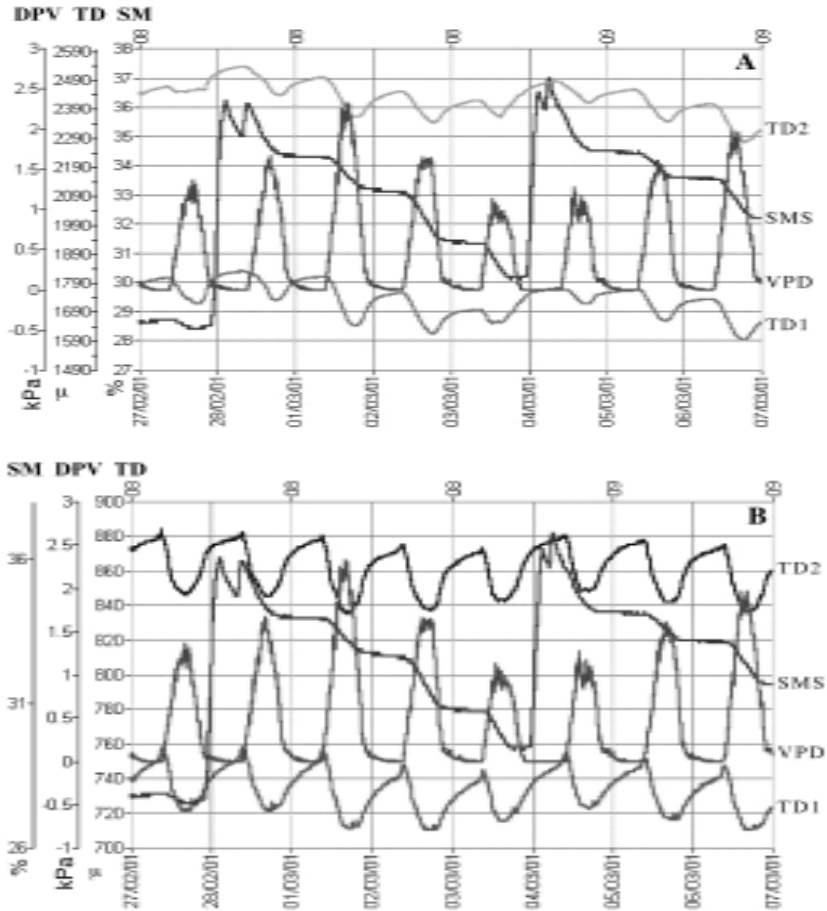


Figura 13. Respuesta del diámetro de Tronco (TD) (A), Tallo (SD) (B) al DVP y al contenido de agua en el suelo (SM) en el período final de riego (período 5). *Trunk diameter (TD) (A), fruiting cane diameter (SD). (B) responses to VPD and soil water content (SM) for period N° 5 (fully irrigated).*

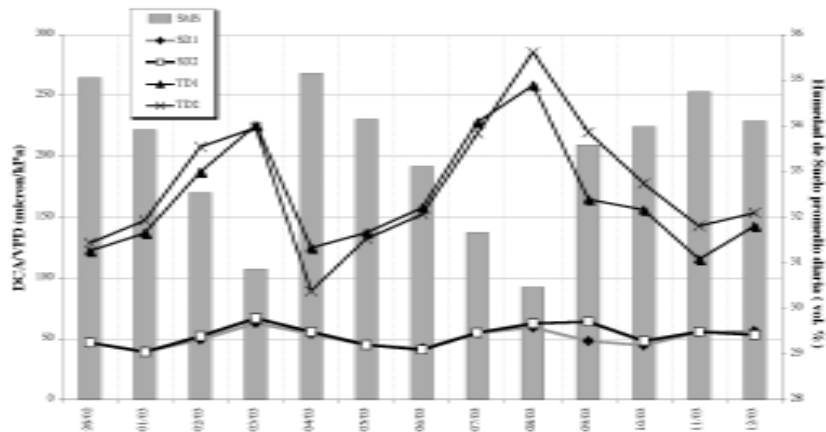


Figura 14. Respuesta del Índice de Estrés Hídrico (ISH = DCA/DVP) al DPV y al contenido de agua en el suelo (SM) en el período final de riego (período 5). *Water stress index ((ISH = DCA/VPD) in relation to VPD and soil water content (SM) for period N° 5 (fully irrigated).*

El sensor de flujo de savia (SF) permitió establecer otro índice relativo de estrés hídrico, como complemento del ISH; los resultados de estas mediciones se presentan en la Figura 15. Cohen *et al.* (2001), relacionó el flujo savial en árboles frutales plantados en lisímetros, con la tasa de transpiración determinada gravimétricamente, encontrando un $r^2 = 0,95$. Resultados presentados por Green y Clothier (1988) en plantas de kiwi indican que la interpretación del flujo savial debe considerar la anatomía del tronco, para lograr una calibración mas precisa de este indicador.

Los registros de flujo savial en el período de déficit hídrico mas intenso y prolongado, indican valores prácticamente constantes, a diferencia del efecto mostrado por el DT y ST, que disminuyen continuamente, hasta que la plantación se vuelve a regar. Según Ton (2000), la proporcionalidad entre el flujo savial y el rango de detección del sensor se limita a un máximo de $3 \text{ mL}\cdot\text{h}^{-1}$, motivo por el cual es posible que en una planta de kiwi sea mas adecuado instalar el sensor en el pecíolo de la hoja, pues el flujo en el cargador o en el tronco podría exceder este valor máximo. De acuerdo con Judd *et al.*, (1986), la tasa de transpiración de hojas individuales de kiwi varía en el rango de $67 \text{ mg H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, cuando la ETp es inferior a $3 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$, incrementándose a $153 \text{ mg H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, valor que corresponde a $5\text{-}6 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$, en un día soleado y ventoso, en el cual la ETp es de $6,6 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$

Los estudios de la función estomática en kiwis han sido limitados. Grant y Ryugo (1984) encontraron que la fotosíntesis neta y la conductancia estomática en condiciones de campo, presentan una relación lineal positiva; en hojas expuestas y hojas sombreadas, la conductancia estomática reportada por estos autores fue $0,65$ y $0,15 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente. Según Buwalda *et al.* (1991), la conductancia estomática aumenta con la edad de la hoja, en el rango de $0,2$ a $0,9 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}$ a los 30 y 90 días, respectivamente. Van Oostrum (1985) reportó valores de conductancia estomática de $0,5$ a $1,2 \text{ c}\cdot\text{s}^{-1}$, que es mayor a los valores medidos en otras especies frutales. Asimismo, Judd *et al.*, 1986, determinaron que la conductancia estomática del kiwi es relativamente alta durante la noche y el consumo de agua durante las horas de oscuridad puede representar hasta un 20% del total, con un incremento durante las primeras horas de la mañana, una disminución temporal al mediodía y una disminución pronunciada en la tarde, a medida que disminuye la radiación solar en las horas de la tarde (Buwalda *et al.*, 1992).

La conductancia estomática es relativamente constante con potenciales hídricos (Y) de $-0,60 \text{ MPa}$ o mayores, pero se reduce significativamente a medida que el potencial hídrico se hace mas negativo, hasta el cierre estomático total, cuando $Y = -2,9 \text{ MPa}$, aunque el marchitamiento parcial de las hojas se hace evidente a simple vista con $Y = -0,9 \text{ MPa}$ (Buwalda y Smith, 1990; Smith y Buwalda, 1994). Los estomas permanecen abiertos cuando el flujo savial es de $1,4 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$, hasta la marchitez incipiente, cerrándose totalmente cuando el flujo es $0,04 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ (Van Oostrum, 1985). Sin embargo, en el kiwi la conductividad hidráulica de la raíz, tronco y cargadores es una de las mas altas entre las especies frutales, con valores de $6,4\cdot 10^5 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ (McAneney y Judd, 1983; Dicho *et al.*, 1999); asimismo, la exploración radical también es grande, en el orden de $5 \text{ km}\cdot\text{m}^{-2}$ (Hughes *et al.*, 1986), lo que permite mantener un alto potencial hídrico en la hoja. En consecuencia, el kiwi tiene un control estomático relativamente poco eficiente, a pesar de presentar una baja densidad de estomas (120 estomas por mm^2), de acuerdo con Nazzo *et al.*, 1987.

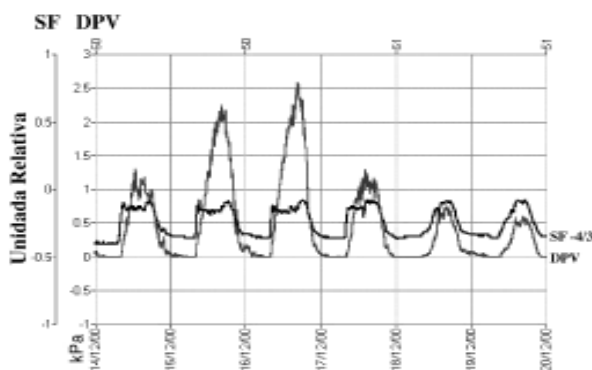


Figura 15. Velocidad de flujo savial (SF) y déficit de presión de vapor (DPV) en Kiwi, durante un período de restricción hídrica (período 2). *Sap flow rate and VPD in Kiwifruit, for period 2 (dry spell).*

Un tercer índice de estrés hídrico es el diferencial térmico hoja-aire (LATD), (Figura 16). En el proceso de ET el calor de evaporación del agua ($80 \text{ cal}\cdot\text{gr}^{-1}$) se obtiene de la energía calórica del agua en la cavidad subestomática, causando una reducción de la temperatura interna de la hoja (Gurovich, 1989, Jackson, *et al.*, 1981, 1988; Wanjura *et al.*, 1990). Una planta con disponibi-

lidad suficiente de agua en el suelo para expresar completamente la ETp, mantiene una temperatura entre 2 y 5 °C inferior a la temperatura del aire que rodea al dosel aéreo (Van Zyl, 1986). Los sensores térmicos del fitomonitor permiten registrar el LATD continuamente (Figura 16) y asociar este índice al SM y al DVP, en forma simultánea.

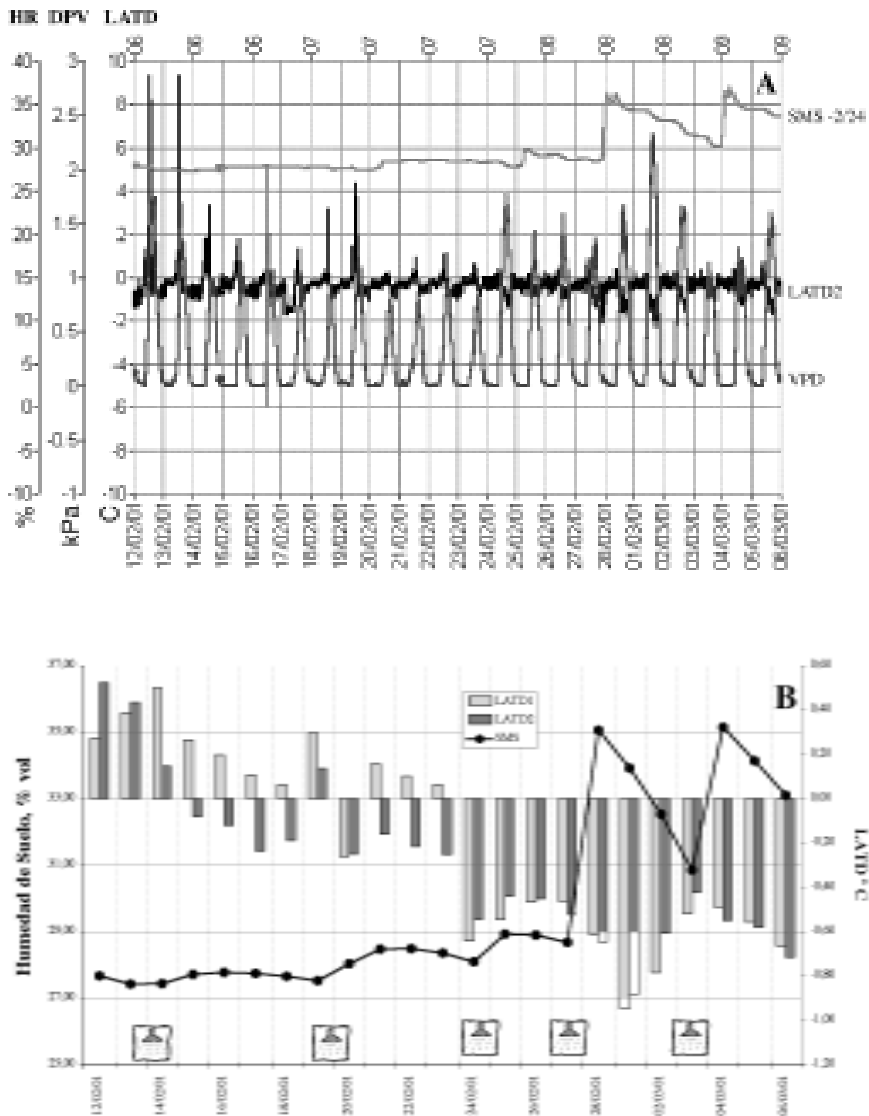


Figura 16. Registros de diferencia de temperatura entre hoja y aire (LATD) en el período de reposición del riego luego del 2° estrés hídrico. (A) información directa del fitomonitor. (B) Promedio diario de LATD, SM y DVP.

Leaf – air temperature difference (LATD) for periods N° 2 (no irrigation) and 3 (fully irrigated).

La información contenida en la Figura 16 refleja la significativa sensibilidad del LADT como indicador de estrés hídrico cuando varía el SM y el VPD. Inmediatamente después de cada evento de riego, aun cuando éste corresponda a láminas de agua reducidas, que incrementan la SM solamente en 4% (riego del día 22 de febrero de 2001), el LADT alcanza valores negativos, que

indican el reinicio de la ET.

La curva de crecimiento del diámetro de fruto (FD), Figura 17, mostró en general menor sensibilidad en la respuesta a las modificaciones de los factores ambientales inducidos por los dos períodos de restricción de riego, en comparación con la sensibilidad mostrada por el diámetro de troncos y cargadores.

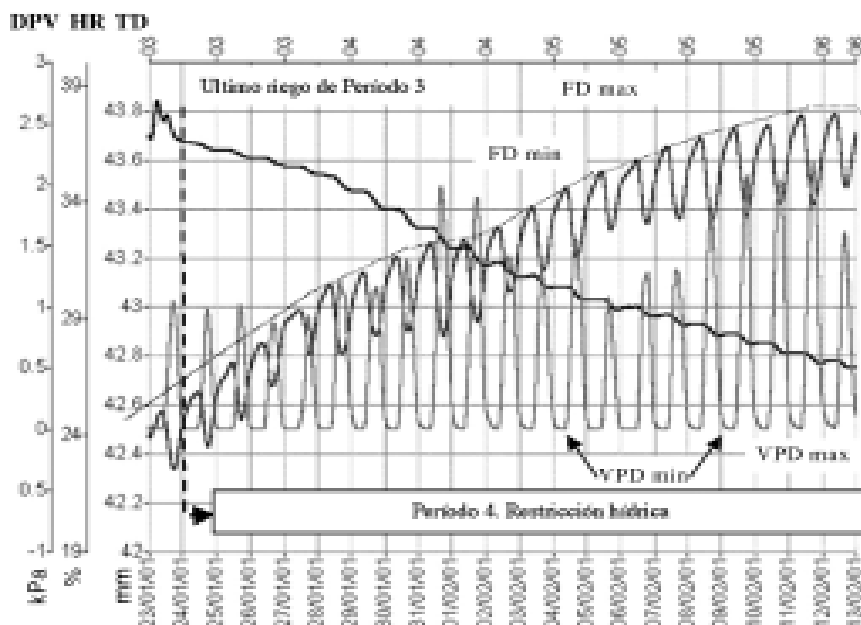


Figura 17. Crecimiento diario del fruto de kiwi durante el período 4 (restricción hídrica). *Daily fruit growth for period N° 4 (no irrigation).*

La tasa de crecimiento de FD se va reduciendo paulatinamente, a medida que se incrementa el déficit hídrico en el suelo; sin embargo, FD está afectado también por el DPV diario, especialmente cuando se considera la intensidad de la contracción diurna del fruto (Figura 17). Cuando el DVP es alto, la contracción es significativa, pero en aquellos días en que el VPD es más reducido, la contracción diurna es mucho menor, a pesar de no haber un cambio importante en el SM.

Es interesante destacar que el crecimiento del fruto (FD) durante los períodos de restricción hídrica (períodos 2 y 4) se inicia diariamente a la misma hora que el período sin déficit. Sin embargo, en el primer caso (restricción hídrica), el FD se detiene a las 22:00 horas, y en los períodos sin restricción

éste continua hasta las 8:30 horas del día siguiente. Por otra parte, en los períodos de restricción hídrica la velocidad de incremento del DF disminuyó, pero en ningún momento el DF disminuyó su tamaño, a diferencia del DT, que sufre una contracción neta (Figuras 11, 12, 13 y 14). Según Cohen *et al.*, 2001 esto se debe a la redistribución de agua desde el tronco hacia otros tejidos de la planta, como una respuesta adaptativa a las condiciones de estrés hídrico de la planta.

La recuperación del FD después de finalizar la restricción hídrica, si bien presentó una respuesta más lenta y menos sensible que la recuperación del DT y DC, también constituyó un indicador de condiciones de estrés hídrico que se podría utilizar para hacer riego programado, especialmente en el pe-

río fenológico final del kiwi, correspondiente al período desde el cambio de color de las semillas hasta la cosecha, período durante el cual DT y DC

tienen un crecimiento diario muy limitado. El crecimiento del DF se asocia con las variaciones de SM, de acuerdo con el Cuadro 6.

Cuadro 6. Velocidad de crecimiento del fruto en los 5 períodos.

Fruit growth rate for all 5 periods

Período	Tasa diaria de crecimiento del Diámetro de Fruto (mm/día)		Condiciones de Manejo del Riego
	Fruto 1	Fruto 2	
1. 15.12.00 al 27.12.00	0,360 – 0,366	0,370 – 0,375	Riego Normal
2. 28.12.00 al 11.01.01	0,099 – 0,111	0,162 – 0,171	Déficit hídrico progresivo I
3. 12.01.01 al 25.01.01	0,010 – 0,102	0,136 – 0,137	Reactivación del riego I
4. 26.01.01 al 13.02.01	0,050 – 0,052	0,066 – 0,067	Déficit hídrico progresivo II
5. 14.02.01 al 28.02.01	0,087 – 0,092	0,137 – 0,137	Reactivación del riego II

Los valores mínimos y máximos de cada columna del Cuadro 6 corresponden a la diferencia entre el DF mínimo y el DF máximo del último día, respectivamente, menos el DF inicial de cada período de riego. El cambio en la velocidad de crecimiento del DF, como resultado de la reducción del SM (períodos 2 y 4) es muy significativo; asimismo, la recuperación de esta velocidad a reiniciarse el riego (períodos 3 y 5) es también apreciable.

CONCLUSIONES

Todos los indicadores del fitomonitor (excepto uno, basado en el monitoreo de flujo savial) representan adecuadamente el estado fisiológico de la planta bajo condiciones ambientales y de humedad de suelo variable.

El tronco manifiesta la mayor sensibilidad al estado hídrico de la planta. Los cargadores (madera productiva de un año) fueron mucho menos sensibles, y los efectos sobre los frutos fueron pequeños pero distinguibles.

El Índice de Estrés Hídrico ($WSI = \Delta CA / DVP$) se observa como una buena representación del estado hídrico de la planta, en condiciones cambiantes de riego.

El experimento confirma la aplicabilidad y confiabilidad de la técnica del fitomonitor para evaluar el estado hídrico en plantas cultivadas de kiwi.

RESUMEN

Este trabajo describe el uso de equipos de fitomonitor en un huerto de kiwi en Chile. El crecimiento vegetativo y el desarrollo de los frutos en respuesta a estrategias de riego deficitario, se analizan con datos recolectados por una batería de sensores instalados en el interior de una plantación comercial. Estos sensores permiten la medición continua del diámetro de troncos, brotes y frutos, así como la temperatura foliar, el flujo de savia en el tronco, el contenido de agua en el suelo y datos microclimáticos (radiación incidente, temperatura y humedad relativa del aire, e intensidad y dirección del viento). La información recolectada por los sensores es procesada con un sistema computacional especialmente diseñado con este propósito. La información obtenida con el fitomonitor se compara con información obtenida de una estación meteorológica automática convencional, tensiómetros y neutrómetro de humedad del suelo. Se evalúan periodos de riego normal, alternados con eventos de riego deficitario, concluyéndose que el uso de las técnicas de fitomonitor para la programación del riego re-

presentan un avance tecnológico significativo en la evaluación de las respuestas de las plantas a las condiciones de disponibilidad hídrica.

Palabras claves: Fitomonitoreo, dendrología, kiwi, estrés hídrico

LITERATURA CITADA

- Allen, R. B., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. Irrig. and Drain. Paper 56, Food and Agric. Organization of the United Nations, Rome, Italy. 300 pp.
- Buchner, R. P., D. A. Goldhamer and D. A. Shaw. 1994. Irrigation scheduling in kiwifruit growing and handling, J. K. Hasey, R. S. Johnson, J. A. Grant, and W. O. Reil (eds.) University of California Publication 3344, pp. 43-49.
- Buwalda, J. G. and Smith, G. S. 1990. Acquisition of carbon, nutrients and water by kiwifruit. Horticultural Review 12:307-347.
- Buwalda, J. G., T. G. A. Green, J. S. Meekings and D. J. Coneybear. 1992. Measurement of canopy gas exchange of kiwifruit vines using a suite of whole-canopy cuvettes. Environ. Exp. Bot. 32: 425-438.
- Buwalda, J. G., J. S. Meekings and G. S. Smith. 1991. Seasonal changes in photosynthetic capacity of leaves of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) vines. Physiol. Plant. 83: 93-98.
- Chartzoulakis, A. K.; I. Therios and B. Noitsakis. 1997. The effect of soil water deficits on internal water relations of kiwifruit. Acta Hort. 444: 305-310.
- Ciordia, M., M.B. Díaz, M. Coque and J. Gómez Aparisi. 1993. The effect of different irrigation rates on kiwifruit growth and cropping. Acta Hort. 335: 235-240.
- Cohen, M., D. A. Goldhamer, E. Fereres, J. Girona and M. Mata. 2001. Assessment of peach tree responses to irrigation water deficits by continuous monitoring of trunk diameter changes. J. Hort. Sci. and Biotech. 76: 55-60.
- Cohen, M. T. Ameglio, P. Cruziat, P. Archer, C. Valancogne and S. Dayau. 1997. Yield and physiological responses of walnut trees in semi-arid conditions: application to irrigation scheduling. Proceedings 2nd. International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, 9-13 September 1996, Chania, Crete. Acta Hort. 449:273-280.
- Dichio, B., R. Baldassarre, V. Unzo, R. Biasi and C. Xyloyannis. 1999. Hydraulic conductivity and xylem structure in young kiwifruit vines. Acta Hort. 498: 159-164.
- Dry P. R., B. R. Loveys, M. G. McCarthy and M. Stoll. 2001. Strategic irrigation management in Australian vineyards. J. Int. Sci. Vigne Vin 35:129-139.
- Eastham, J. and S. Gray. 1998. A preliminary evaluation of the suitability of sap flow sensors for use in scheduling vineyard irrigation. Am. J. Enol. Vitic 49(2): 171-176.
- Evans, R., R. E. Sneed and D.K. Cassel. 1996. Irrigation scheduling to improve water and energy use efficiencies. North Carolina Coop. Extension Service AG 452.
- Gandar, P. W., A. J. Hall and H.N. de Silva. 1996. Deterministic models for fruit growth. IV International Symposium on Computer Modelling in Fruit Research and Orchard Management. Acta Hort. 416: 132-139.
- Goldhamer, D. A., E. Fereres, M. Mata, J. Girona and M. Cohen. 1999. Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 124:437-444.
- Goldhamer, D. A. and E. Fereres. 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. Irrig. Sci. 20:115-125.
- Gucci, R., R. Massai and C. Xyloyannis. 1997. Comparison of three irrigation systems of pergola trained kiwifruit orchard. Acta Hort. 444: 75-83.
- Giuliani, R., E. Magnanini and J A. Flore. 2001. Potential use of infrared thermometry for the detection of water deficit in apple and peach orchards. ISHS Acta Hort. 557: 38-43.
- Green, S. R. and B. E. Clothier. 1988. Water use of kiwifruit vines and apple trees by the heat - pulse technique. J. Exp. Bot. 39: 115-123.

- Gurovich, L. 1989. Una nueva técnica para determinar las necesidades de riego en huertos y parronales. *Aconex (Chile)* 26: 21-26.
- Gurovich, L. and E. Gratacós. 2002. Phytomonitoring applications in irrigation management Proc. World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources. Fos de Iguazu, Brasil. p. 896-901.
- Gurovich, L., J. Pacheco and H. Sierra. 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.
- Hall, A. J., H. G. McPherson, R.A. Crawford and N. G. Seager. 1996. Using early-season measurements to estimate fruit volume at harvest in kiwifruit. *New Zealand Journal of Crops and Hort.* 24: 379-391.
- Hall, A. J. and H. G. McPherson. 1997. Modelling the influence of temperature on the timing of bud break in kiwifruit. III International Symposium on Kiwifruit. ISHS Acta Hort. 444: 164-186.
- Hickey, T. 1995. Irrigation Practices for vinegrapes - irrigation monitoring equipment. *The Austral Grapegrower Winemaker*. February Issue: 45-46.
- Holzapfel, E. A., R. Merino, M. A. Mariño and R. Matta. 2000. Water production functions in kiwi. *Irr. Sci.* 19: 73-79.
- Hughes, K. A., P. W. Gandar, P. H. Menalday and V.O. Snow. 1986. A survey of kiwifruit root systems. DSIR Plant Physiol. Div. Techn. Rep. 22, Palmerston North. Nueva Zelanda.
- Hughes, K. A. and P. W. Gandar. 1995. Exploration and exploitation of soil by apple, kiwifruit, peach, Asian pear and grape roots. *Plant and Soil* 175: 301-309.
- Hughes, K. A., P. de Willigen, P. W. Gandar and B.E. Clothier. 2001. Kiwifruit root systems: structure and function. *Acta Hort.* 557: 113-119.
- Huguet, J.G. and Genard, M. 1996. Modelling the response of peach fruit growth to water stress. *Tree Physiology* 16: 407-415.
- Jackson, R. D., S.B. Idso, R. J. Reginato and Jr. P.J.Pinter. 1981. Canopy temperatures as a crop water stress indicator. *Water Resource Res.* 17:1133-1138.
- Jackson, R. D., W.P. Kustas, and B.J. Choudhury. 1988. A re-examination of the crop water stress index. *Irrig. Sci.* 9: 309-317.
- Judd, M. J., K. J. McAneney and M.C.T. Trought. 1986. Water use by sheltered kiwifruit vines under advective conditions. *N.Z.J. Agric. Res.* 29: 83-92.
- Klute, A. 1986. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods.* Second Edition. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI. USA. p. 635-670.
- Kopyt, M., Y. Ton, Z. Ben-Ner and A. Bachrach. 2001. A trial of the phytomonitoring technique for roses. *Acta Hort.* 547: 205-212.
- Li S.H., J.G. Huguet, C. Bussi. 1989. Irrigation scheduling in a mature peach orchard using tensiometers and dendrometers. *Irrig. & Drain. Systems* 3: 1-12.
- McAneney, K.J. and M. J. Judd, 1983. Observations on kiwifruit (*Actinidia chinensis* Planch) root exploration, root pressure, hydraulic pressure, hydraulic conductivity and water uptake. *N.Z. J. Agric. Res.* 26:507-510.
- Mc Aneney, K. J., P.T. Prendergast and M. S. Still. 1991. Irrigation management for optimum kiwifruit size. *Acta Hort Vol:* 297:269-275.
- Nilov N.G. 1993. The main task of phytomonitoring in viticulture. *Vinogradarstvo i Vinodelie (rus.)*. 11: 19-25.
- Pereira, L.S., R. G. Allen, M. Smith and W.O. Pruitt. 1996. Modifications to the FAO Crop Coefficient Approach. *Proceedings International Conference on Evapotranspiration and Irrigation Scheduling, ASAE, San Antonio, Texas*, p. 124-132.
- Sale, P. R. 1985. *Kiwifruit.* Government Printing Office, Wellington, New Zealand. 131pp.
- Simmoneau, T., R. Habib, J.P. Goutouly and J.G. Huguet. 1993. Diurnal changes in stem diameter depend upon variations in water content: direct evidence in peach trees. *J. Exp. Bot.* 44:615-621.
- Smith, G.S., and J.G. Buwalda. 1994. Kiwifruit. In: *Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops, Vol. I, Temperate Crops.* CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, USA. p 135- 163.

- Ton Y. and E. Kleiman. 1989. Phytomonitoring technique for investigating plant water status. In: M. Kushnirenko (ed.). Water relations of agricultural crops (rus.). "Stiinta", Kishinev, Rusia. p 209-212.
- Ton Y. and E. Kleiman. 1990. Algorithmic methods in phytomonitoring. In: O. Lyalin (ed.). Plant biophysics and phytomonitoring (rus.). AFI, Leningrad, Rusia. p. 27-33
- Ton Y. 1997. Phytomonitoring system. IV International Congress on New Agricultural Technologies. Puerto Vallarta. Jalisco. Mexico: 89-95.
- Ton, Y., M. Kopyt and N. Nilov. 2001. Phytomonitoring technique for tuning irrigation of vineyards. Proc. International Symposium on Irrigation and Water Relations in grapevine and fruit trees. Mendoza, Argentina.
- Xiloyannis, C. and A. Galliano, 1988. Criteri per la scelta del sistema di irrigazione e della tecnica irrigua. Atti Convegno sull' Actinidia, Saluzzo. p. 107-126.
- Xiloyannis, C., B. Dichio, G. Montanaro, R. Biasi and V. Nazzo. 1999. Water use efficiency of pergola trained kiwifruit plants. Acta Hort. 498:151-158.
- Van Leeuwen C., X. Chone, O. Tregoat and J-P. Gaudillere. 2001. The use of physiological indicators to assess vine water uptake and to manage vineyard irrigation. The Australian Grapegrower and Winemaker 449: 18-24.
- Van Oostrum, A.J. 1985. Kiwifruit water use characteristics and physiological responses to the presence and absence of irrigation in an Ohinepanea loamy sand. M.S. Thesis, Univ. Waikato. Nueva Zelanda.
- Van Zyl, J.L. 1986. Canopy temperature as water stress indicator in vines. S.Afr.J.Enol.Vitic.7:53-60.
- Wanjura, D.F., J.L. Hatfield and D.R. Upchurch. 1990. Crop water stress index relationships with crop productivity. Irrig. Sci.11: 93-99.

FE DE ERRATAS

En la Revista Ciencia e Investigación Agraria, volumen 30 número 1, Enero - Abril 2003 en la nota el pie de la página 41, en el Cuadro 3 de la página 44 y en el Cuadro 5 de la página 45 debe decir: "Cron: equivale a un día de desarrollo del cultivo a temperatura óptima o día efectivo (Norero, 1987b)."