



Pontificia Universidad Católica De Chile

**DEPARTAMENTO DE FRUTICULTURA Y ENOLOGIA
PROYECTO DE TITULO**

FITOMONITOREO EN HUERTOS FRUTALES

LUIS MARCELO VERGARA CONTRERAS

SANTIAGO - CHILE

2003

FACULTAD DE AGRONOMÍA E INGENIERIA FORESTAL

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a mi profesor y guía Doctor Luis Gurovich, por compartir desinteresadamente sus conocimientos y por confiar en mis capacidades que he ido desarrollando durante este trabajo de residencia y profesional.

*Dedico mi título de Ingeniero Agrónomo a mi familia, y especialmente
a mi abuela María Teresa, por apoyarme incondicionalmente
a desarrollarme como persona y como futuro profesional de la agronomía.*

INDICE

RESUMEN.....	1
1. Abstract.....	2
2. INTRODUCCION.....	3
3. REVISION BIBLIOGRAFICA	
3.1. El riego programado y Fitomonitor.....	4
3.2. Cultivo del palto.....	5
3.3. Dendrometría.....	6
4. MATERIALES Y METODOS.....	8
5. RESULTADOS Y DISCUSION.....	11
6. CONCLUSIONES.....	25
7. BIBLIOGRAFIA.....	27

INDICE DE FIGURAS

▪ Figura 1a: Crecimiento de los frutos desde 29/10/02 hasta 05/11/02.....	11
▪ Figura 1b: Crecimiento del fruto desde 21/12/02 hasta 29/12/02.....	12
▪ Figura 1c: Crecimiento del fruto desde 16/03/03 hasta 24/03/03.....	12
▪ Figura 2a: Crecimiento del tronco desde 18/11/02 hasta 24/11/02.....	13
▪ Figura 2b: Crecimiento del tronco desde 21/12/02 hasta 29/12/02.....	13
▪ Figura 2c: Crecimiento del tronco desde 16/03/03 hasta 24/03/03.....	14
▪ Figura 3a: Crecimiento de frutos a través de la temporada octubre 2002 – marzo 2003.....	16
▪ Figura 3b: Crecimiento de troncos a través de la temporada octubre 2002 – marzo 2003.....	16
▪ Figura 4a: Crecimiento de frutos y troncos en función de los grados días acumulados.....	19
▪ Figura 4b: Crecimiento de frutos y troncos en función de la ETr acumulada.....	19
▪ Figura 4c: Crecimiento de frutos y troncos en función de La radiación acumulada.....	20
▪ Figura 5: Crecimiento del fruto y contracciones acumuladas del tronco.....	22
▪ Figura 6: Contracciones diarias de los troncos.....	23
▪ Figura 7: Diferencial entre las tasas de crecimiento del fruto.....	24

INDICE DE TABLAS

▪ Tabla 1: Matriz de correlación.....	15
▪ Tabla 2: Resumen de las regresiones multivariantes.....	17
▪ Tabla 3: Resumen de regresiones simples.....	18
▪ Tabla 4: Matriz de correlación.....	21

RESUMEN DEL PROYECTO DE TITULO DE

Luis M. Vergara para el grado de Ingeniero Agrónomo presentado el 20 de agosto de 2003.
Título: Fitomonitorio de Huertos Frutales.

El trabajo de Residencia se realizó entre los días 03 de marzo de 2003, hasta el 20 de agosto de 2003 en el Laboratorio de Riego, del Departamento de Fruticultura y Enología, bajo la supervisión del Profesor Titular Luis A. Gurovich.

Las actividades de Residencia, de acuerdo con las disposiciones académicas de la Facultad, consisten en colaborar activamente en los trabajos docentes y de investigación del Profesor supervisor:

- Inclusión de materiales didácticos a la página de los cursos dictados por el Profesor durante el Semestre I: ACG 1162 Principios Métodos de Riego, AGF 2700 Seminario de Título y AGC 3508 Relación Suelo - Agua - Planta - Atmósfera.
- Habilidad del Laboratorio de Riego
- Actividades docentes como Ayudante del curso AGF 2700 Seminario de Título.
- Inicio de las actividades del Proyecto Manejo Agronómico de la Vid para Producir Vinos de Calidad Excepcional en el Concepto de Terruño.
- Estructuración de los Informes interpretativos semanales de los datos colectados por sensores de fitomonitorio, instalados en 7 plantaciones frutícolas, desde Copiapó hasta San Vicente de Tagua Tagua. Esta última actividad será desarrollada en mayor profundidad en el presente informe.

Resumen Aprobado: _____

Resumen

La utilización de un fitomonitor en un huerto comercial de paltos, ubicado en el valle de Mallaauco en la zona central de Chile, permitió evaluar continuamente el sistema suelo - agua - planta, para evaluar la respuesta a 2 estrategias de riego diferentes. En este artículo se demuestra que el fitomonitor es una herramienta útil para programar los riegos y que además es posible validar un modelo matemático para predecir el crecimiento de los frutos en condiciones climáticas y de manejo diversos.

Abstract

Phytomonitoring equipment installed at a commercial orchard of avocado, located in Mallaauco valley of in the central zone of Chile, enabled us to evaluate continuously the soil - water - plant system behavior for 2 different irrigation strategies. It is demonstrated that phytomonitoring is an useful tool to program irrigation; it is also possible to validate a mathematical model to predict fruit growth in diverse climatic conditions and management.

key words: Phytomonitoring, Irrigation scheduling, Avocado

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la globalización de los mercados ha provocado un aumento en la competitividad entre los países exportadores. Los aranceles de exportación disminuyen paulatinamente para los productos agrícolas, pero también aumentan las exigencias de calidad, tanto para los productos como para los procesos; estas nuevas barreras constituyen limitaciones al libre intercambio, de tal manera que los productores que no cumplen con estas exigencias de calidad, no pueden exportar sus productos.

Si se considera que en Chile la superficie de paltos supera las 19.000 hectáreas, de las cuales aproximadamente un 70% se encontraría en producción en la temporada 2003 - 2004, es posible proyectar que en el mediano plazo, la superficie plantada supere las 22.000 hectáreas y por lo tanto solamente la fruta de buena calidad tendrá posibilidad de ser exportada al mercado norteamericano y probablemente enfrentará precios de venta más bajos que los actuales, lo que implica un riesgo importante de mercado. Esta situación determina la importancia de optimizar la utilización de los recursos, mejorar la calidad de la fruta y los procesos productivos, para aumentar la rentabilidad y como país para desarrollar nuevos mercados.

El fitomonitorio es una tecnología de Agricultura de Precisión que se utiliza como una herramienta útil para programar los riegos, optimizando así el uso de los recursos productivos, principalmente el agua de riego, y permite incrementar la calidad de la producción.

En ese artículo se demuestra que el fitomonitor es una herramienta útil para programar los riegos, al evaluar en forma integral las respuestas en crecimiento de los troncos y frutos, frente a modificaciones de la disponibilidad efectiva de agua en el sistema suelo - planta - atmósfera. Con la información recolectada por los diversos sensores del fitomonitor, es posible validar un modelo matemático para predecir el crecimiento de los frutos en condiciones climáticas y de operación del riego diversas.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

EL RIEGO PROGRAMADO Y FITOMONITOR

El riego programado es el conjunto de técnicas y procedimientos que tienen por objetivo la aplicación de agua a un huerto, para aportar a la planta la lámina de agua necesaria para optimizar el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo; además, permite maximizar la eficiencia de riego y fertilización, porque se disminuye las pérdidas de agua y nutrientes por percolación y escurrimiento.

La programación del riego se basa en el balance entre los requerimientos hídricos del cultivo, los aportes de agua al suelo por el riego y la demanda evaporativa de la atmósfera. Por lo tanto, para determinar el volumen, tiempo y frecuencia del riego con fines de optimización, se debe integrar información de la atmósfera, del estado de desarrollo del cultivo y de las condiciones físico - hídricas del suelo. Para obtener esa información se utilizan estaciones meteorológicas *in situ* (temperatura y humedad relativa del aire, velocidad del viento y radiación solar). Asimismo, la información relativa al contenido y potencial del agua del suelo se puede obtener a través de tensiómetros, bloques de yeso o a través de la difracción de neutrones lentos (Gurovich, 2001).

El Fitomonitor es un equipo desarrollado en Israel hace menos de 10 años, que integra una estación agro meteorológica (medición de parámetros externos a la planta) con sensores tales como medidores de la humedad del suelo, temperatura de la hoja y diámetro del fruto, ramas y tronco (parámetros propios de la planta). El equipamiento para la transmisión remota de los datos y el soporte computacional necesario para su análisis también forman parte del instrumento.

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. Con el uso del fitomonitorio, la programación del riego puede efectuarse en tiempo real, si se dispone continuamente de los datos del estado hídrico del suelo y de los datos meteorológicos y estimaciones de la demanda evapotranspirativa del cultivo, sobre la base de registros continuos de la evapotranspiración potencial (ET_0).

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, con fines de programación del riego, así como una herramienta eficiente para implementar condiciones de riego deficitario controlado (RDC), orientada 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)

El objeto de estudio 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 frente a modificaciones naturales o artificiales del medio ambiente. Muchos científicos consideran al fitomonitorio como una nueva base metodológica de la fisiología vegetal aplicada. (Ton, 2001). Los sensores usados en fitomonitorio 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 para optimizar el uso del agua de riego, maximizando la productividad. (Ton y Kleiman, 1989; 1990; Ton, 1997; Kopyt *et al.*, 2001; Nilov 1993; Gurovich, 1997).

CULTIVO DEL PALTO

El palto posee un sistema radicular superficial y el 80% de las raíces se encuentra hasta 60 cm de profundidad; este sistema posee raíces largas, raíces cortas y pelos radicales, muy ramificados. Las raíces largas forman la mayor parte del sistema permanente, son generalmente leñosas y tienen crecimiento radial cambial, en cambio las raíces cortas, son de efímera existencia (máximo dos años) y no tienen actividad cambial. (Gil, 1997). Las raíces desarrollan pocas proyecciones de sus células epidérmicas denominadas pelos radicales que incrementan el contacto suelo- raíz, lo que lo hace ineficiente en la absorción y conducción del agua (Whiley, 1990).

Debido a sus características, un desbalance parcial de agua puede afectar la productividad, sobre todo si se produce en los momentos críticos. Demasiada humedad provoca asfixia radicular y, además, favorece el desarrollo de *Phytophthora cinnamomi*, hongo que causa la muerte de raicillas. Suelos profundos y bien drenados, asociados con un

programa de riego adecuado a los requerimientos hídricos efectivos del árbol, son fundamentales para una buena productividad. (Gardiazabal, 2000).

Existen resultados contradictorios respecto al efecto del riego en la productividad de los paltos; según Kurtz (1989) al aumentar el agua aplicada se logra un pequeño incremento neto del diámetro final de fruto y del tronco. Meyer (1992) al aumentar el agua aplicada utilizando un aumento de 20 % en los valores de K_c , se logra un aumento en la producción de frutos tempranos, pero el uso del valor normal de K_c aumenta la producción total anual. Por otra parte, Faber (1991) y Olalla (1990) concluyen que la producción y tamaño de fruta no muestra una buena correlación con el agua aplicada durante la temporada de producción pero Lahav y Kalmar (1977) experimentando con una combinación de la frecuencia e índices de riego, demuestran un efecto positivo de la alta disponibilidad hídrica sobre el tamaño final de la fruta. Hay consenso entre los autores que existe un efecto significativo en el tamaño del árbol al final de la temporada y que la maduración de un porcentaje significativo de los frutos se acelera.

Los árboles bien regados también demuestran mayor apertura estomática, lo que facilita la transpiración del agua. (Faber *et al.*, 1991). El palto es muy sensible al estrés hídrico, lo que se refleja en el crecimiento del fruto y tronco; por otra parte, (Olalla, 1990) también ha demostrado que el riego excesivo en suelos de texturas finas reduce el crecimiento del tronco (Adato y Levinson, 1987).

DENDROMETRIA

El dendrómetro es un sensor que se instala en el tronco, una rama o un brote de un árbol; su función es medir los pequeños cambios que experimenta el diámetro del tronco en el tiempo, siendo posible asociar el cambio de diámetro del tronco con el estado hídrico de la planta. Esta metodología no detecta tan rápidamente los cambios de la tensión del agua en la planta, en comparación con el método de la cámara de Scholander (1965); sin embargo, el crecimiento en diámetro del tronco entrega valiosa información sobre el estado hídrico del árbol completo, evitando el efecto que se produce con la escisión de la hoja.

La dendrometría ha sido utilizada ampliamente tanto en arboles frutales como forestales, ya sea tanto para regular el riego como para evaluar las condiciones ambientales. Ginestar y Castel (1995), midieron con dendrómetros la amplitud del crecimiento neto

máximo del diámetro del tronco y las contracciones diarias en troncos de cítricos y demostraron que estos parámetros se relacionan directamente con la tensión del agua en las hojas; así la dendrometría podría ser una herramienta útil para programar el riego. Otras investigaciones en las que han utilizado dendrómetros, reportan que hay un crecimiento neto positivo del tronco cuando las condiciones hídricas y ambientales son favorables; las oscilaciones diarias del déficit de presión de vapor en el día y del diámetro del tronco se deben al aumento de volumen en las noches, al disminuir la demanda hídrica. (Downes, *et al.* 1999; Passos, *et al.* 1991).

Goldhamer *et al.* (1999.) demuestran en un huerto de durazneros que las mediciones continuas del diámetro del tronco detectan mejor el inicio y la magnitud del período de estrés hídrico, en comparación con mediciones discretas, ya que la medición continua refleja el dinamismo de la planta en cuanto a sus necesidades hídricas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en un huerto de paltos (*Persea americana* Mill.) de la variedad Hass perteneciente a la Sociedad Agrícola Los Paltos, la cual se ubica en el valle de Mallarauco, Región Metropolitana, Chile, durante la temporada octubre 2002 hasta marzo 2003.

El equipo de fitomonitorio usado en este trabajo fue el modelo LPS - 05 fabricado por la empresa PhyTech Ltda. Israel, que se instaló en medio del huerto, en dos árboles cercanos y representativos del desarrollo y productividad del sector de riego.

Se implementó dos tratamientos de riego, con microjets de diferente descarga (35 y 47 L/hora respectivamente).

Sensores ambientales (comunes para los dos tratamientos):

- * Temperatura del aire AT-1.
- * Temperatura de la hoja
- * Humedad relativa del aire RHS-2.
- * Radiación solar TIR-4.
- * Humedad del suelo SMS-2L ubicado a 30 cm de profundidad.

Sensores de la planta:

- * Dos dendrómetros DE-1L, uno para cada tratamiento, que mide crecimiento del tronco.
- * Cuatro FI-3EA sensores de crecimiento del fruto, dos para cada tratamiento.

El sistema suelo - árbol - clima fue monitoreado cada 30 minutos por medio de los sensores disponibles en el equipo fitomonitor; los datos obtenidos fueron transmitidos vía Internet, analizados y procesados en el Laboratorio de Riego de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

La determinación de los tiempos y frecuencias de riego normalmente debería realizarse estimando la evapotranspiración de las plantas, con la medición diaria de evaporación de una bandeja evaporimétrica clase A, o con la información de alguna estación meteorológica cercana y utilizando la relación $ET_0 = K_c * K_b * E_{vp} * K_r$ que

estima la evapotranspiración potencial (ET_0) en función del índice de área foliar (K_c) y la ubicación relativa de la bandeja con respecto al cultivo (K_b); se incluye también el efecto de la fenología del huerto (K_r). Sin embargo, en la plantación de paltos donde se realizó este estudio, la frecuencia y duración de cada evento de riego se programó sobre la base de un calendario preestablecido, que se fue modificando de acuerdo a la respuesta del huerto al régimen de riego anterior.

Los datos colectados por el fitomonitor fueron utilizados para calcular variables compuestas como ET_0 , grados días, tasas de crecimiento, etc. El análisis estadístico de esta información se basó en el software Shazam para explicar cuantitativamente las relaciones entre las variables climáticas y el crecimiento de frutos y troncos, por medio de un análisis de regresión correspondiente al modelo:

$$\text{Ecuación 1: } Y = \beta_0 + \beta_1 * GD + \beta_2 * ET_0 + \beta_3 * HS + \beta_4 * RS + \epsilon_i$$

Y: Crecimiento del fruto o tronco acumulado.

GD: grados día acumulados.

ET_0 : Evapotranspiración real acumulada.

RS: Radiación solar efectiva acumulada

ϵ_i : Error no explicado por el modelo.

Para simplificar la interpretación del modelo de regresión se realizaron regresiones lineales simples, es decir, se utilizó sólo una de las tres variables como función del crecimiento acumulado de los frutos. Se realizó diversos análisis estadísticos para los coeficientes β : prueba de significancia global que indica si la regresión es válida en su conjunto (Prueba F) y pruebas individuales con el estadístico t, para confirmar si los estimadores (β) de los parámetros de la población son significativos.

Para los cálculos de ET_0 se utilizó la ecuación de Penman

Ecuación 2:

$$ET_0 = W * R_n + (1 - W) * VPD * FU_2$$

Donde:

W: coeficiente f(pendiente curva presión saturación de vapor, constante psicrométrica y temperatura)

Rn: Radiación Neta

VPD: Déficit de presión de vapor

FU2: Función del viento.

La función de crecimiento neto acumulado (Ecuación 1) depende de factores climáticos como temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento y presión atmosférica, así como de otra variable asociada a la lámina efectiva de riego, que en este estudio corresponde al uso de microjets de 35 y 47 L/hora.

Adicionalmente, se realizó correlaciones simples entre los parámetros del modelo, para conocer el efecto del VPD y/o de la evapotranspiración potencial sobre las contracciones diarias y sobre el crecimiento neto del fruto y tronco. Estas correlaciones simples indican que el crecimiento neto depende de la magnitud de las contracciones día - noche, y éstas dependen del VPD del día anterior, es decir, las contracciones del diámetro del tronco, el VPD y/o la ETo del día anterior (n-1) afectaría al crecimiento neto del fruto del día posterior (n).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la figura 1 y 2 se observa el crecimiento del fruto FI-3EA/20 (35 L/hora) y FI-3EA/3 (47 L/hora) y del crecimiento del tronco DE-1/22 (35 L/hora) y DE-1/22 (47 L/hora) en tres etapas fenológicas diferentes.

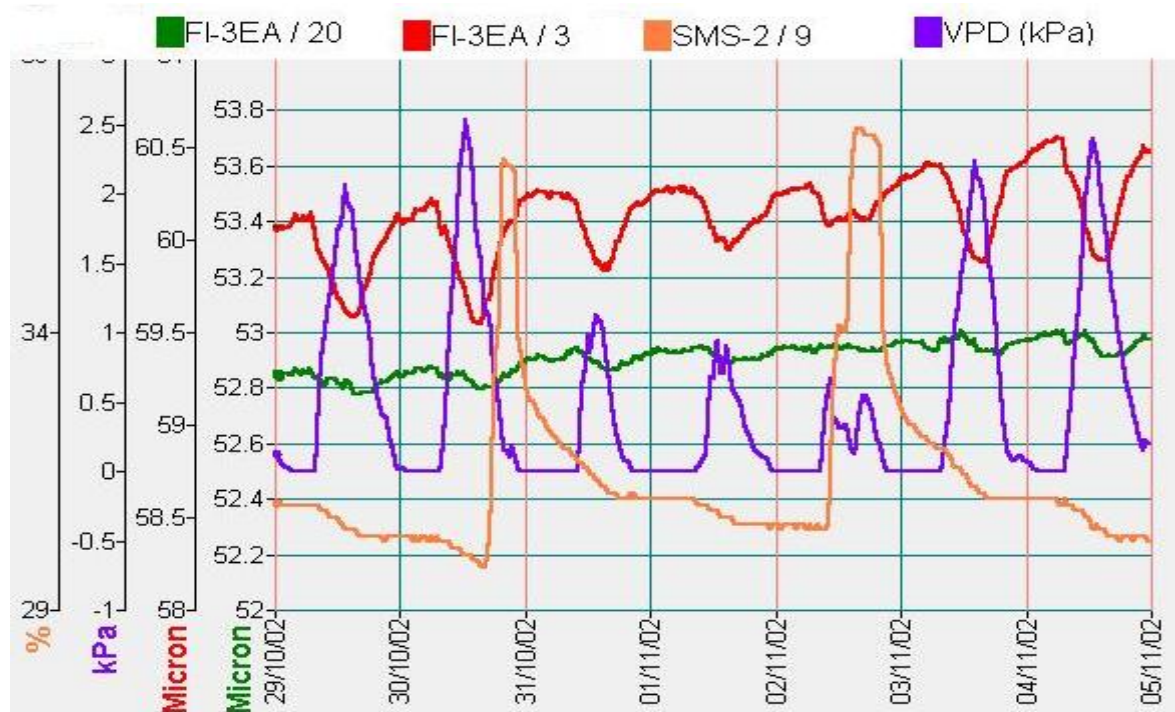


Figura 1a: Crecimiento de los frutos desde 29/10/02 hasta 05/11/02.

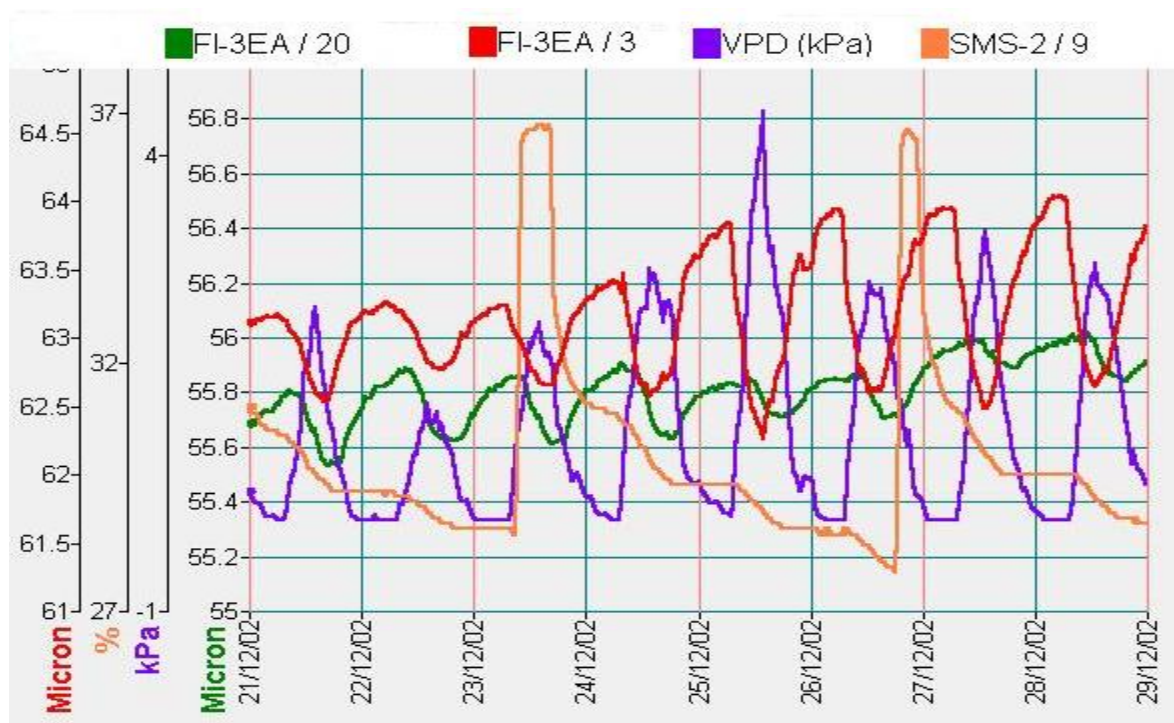


Figura 1b: Crecimiento del fruto desde 21/12/02 hasta 29/12/02

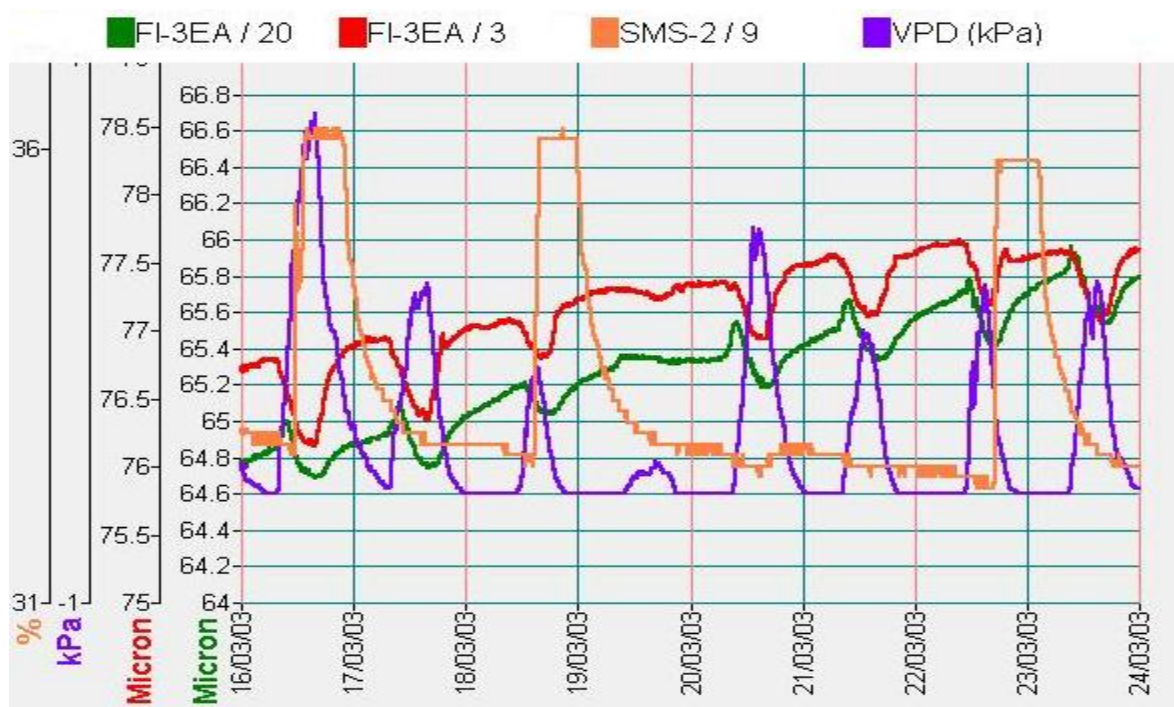


Figura 1c: Crecimiento del fruto desde 16/03/03 hasta 24/03/03

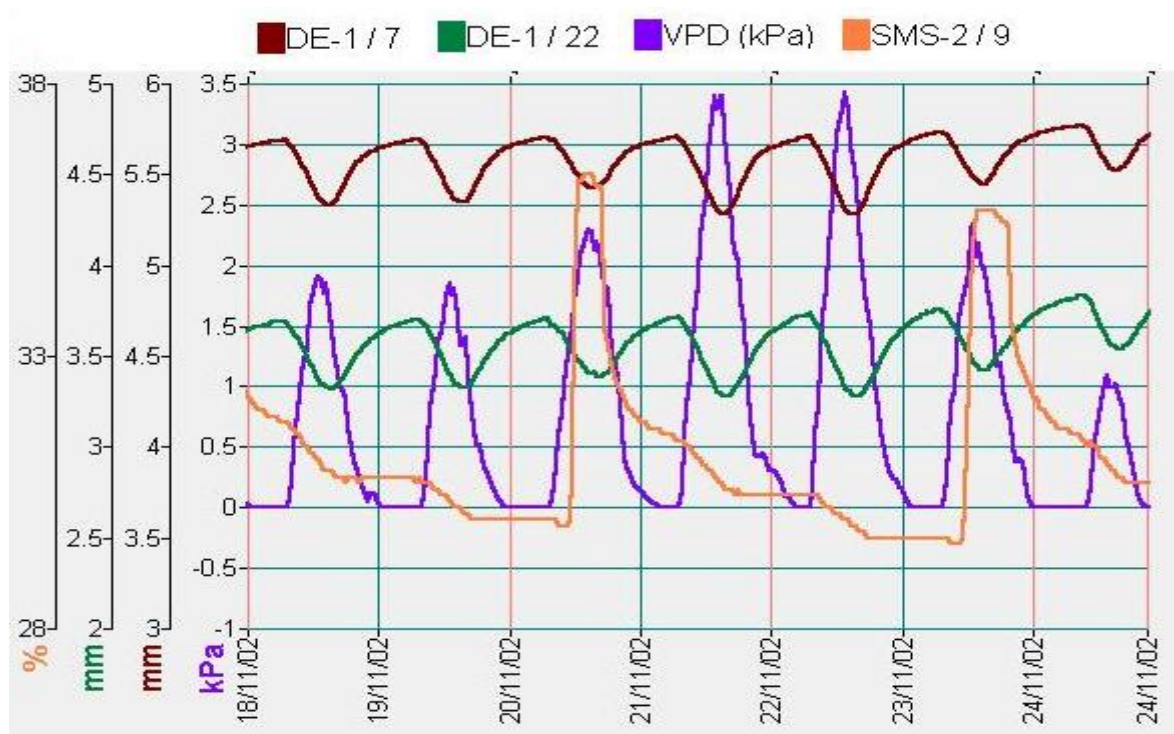


Figura 2a: Crecimiento del tronco desde 18/11/02 hasta 24/11/02

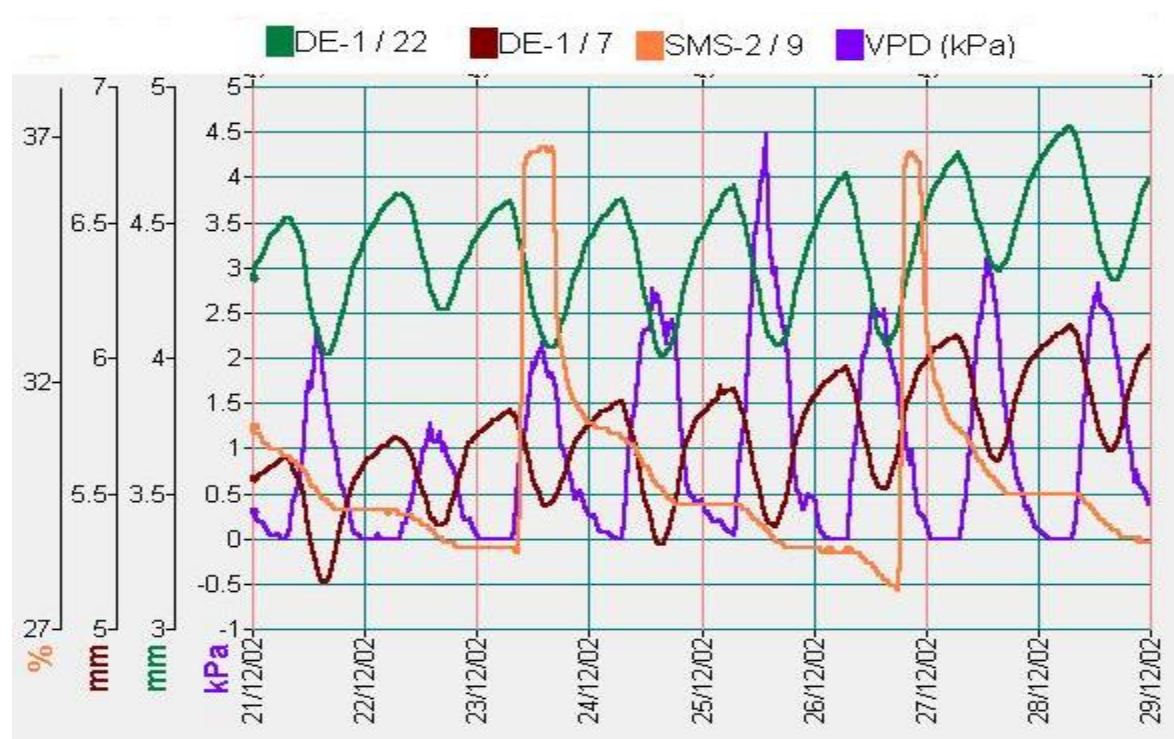


Figura 2b: Crecimiento del tronco desde 21/12/02 hasta 29/12/02

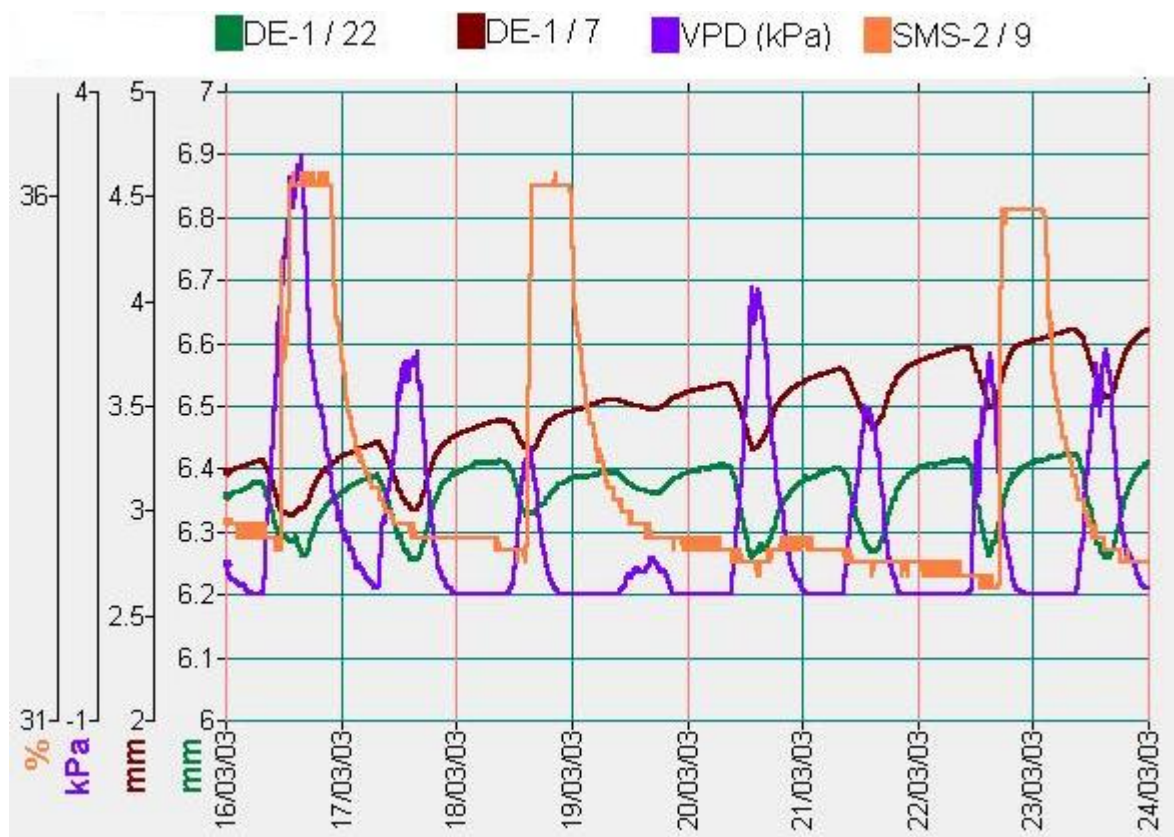


Figura 2c: Crecimiento del tronco desde 16/03/03 hasta 24/03/03

En todas las figuras las mayores contracciones diarias del diámetro del tronco y de los frutos coinciden con los mayores valores de VPD; la pendiente de crecimiento es positiva y aparentemente el rango de fluctuación de la humedad del suelo no afecta la pendiente de la curva de crecimiento; la humedad del suelo corresponde al tratamiento de 35 L/hora y su amplitud de valores es pequeña desde 32 a 36% de humedad.

En las figuras 1a, 1b y 1c el crecimiento del fruto de la planta regada con 47 L/hora en términos netos tiene un diámetro mayor que el fruto de la planta regada con 35 L/hora, pero la pendiente del crecimiento disminuye a medida que pasan los meses; entre febrero y marzo la tasa de crecimiento del tronco y del fruto son menores para el tratamiento 47. Las contracciones del fruto de la planta con 47 L/hora son mayores, comparados con el fruto de planta que recibe 35 L/hora. En días con VPD alto la contracción del fruto es mayor que aquella observada en días con menor VPD.

En las figuras 2a, 2b y 2c el diámetro neto del tronco de la planta regada con 35 L/hora es mayor que el tronco de la otra planta, pero la tasa de crecimiento fue

disminuyendo hasta que en febrero – marzo la tasa de crecimiento de la planta con microjets de 47 L/hora fue mayor.

En la tabla 1 se observan las correlaciones individuales entre crecimiento de frutos y troncos con los parámetros climáticos que influyen el crecimiento vegetal.

Tabla 1: Matriz de correlación, de las variables acumuladas

Variables	F3AC	F20AC	DE7AC	DE22AC	GD	RADAC	ETRAC
Microjet	47 l/ hora	35 L/hora	47 L/hora	35 L/hora			
F3AC	1,00	0,99	0,97	0,93	0,95	0,94	0,95
F20AC	0,99	1,00	0,99	0,96	0,98	0,96	0,97
DE7AC	0,97	0,99	1,00	0,98	1,00	0,99	0,99
DE22AC	0,93	0,96	0,98	1,00	0,99	0,99	0,99
GD	0,95	0,98	1,00	0,99	1,00	0,99	1,00
RADAC	0,94	0,96	0,99	0,99	0,99	1,00	0,99
ETRAC	0,95	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00

Nivel de significancia $\alpha < 1\%$

En la tabla 1 se observa que todas las correlaciones son mayores a 0.93, lo que indica que todas las variables están íntimamente ligadas, por lo tanto el conocimiento de una de las variables podría ser correlacionada con las demás y con esto, hacer inferencias de crecimiento de frutos, conociendo variables climáticas por medio del fitomonitor.

La importancia de estos valores es que se puede crear una función de crecimiento utilizando una o varias de estas variables en el modelo de regresión lineal, para poder inferir el crecimiento en situaciones hipotéticas.

En la figura 3a y 3b se observan los crecimientos de frutos y troncos a través de toda la temporada; se distinguen tres etapas fisiológicas de crecimiento del fruto. F3 y DE7 representan el fruto y tronco del árbol regado con un microjet de 47 L/hora, respectivamente; F20 y DE22 representan el fruto y tronco del árbol regado con un microjet de 35 L/hora.

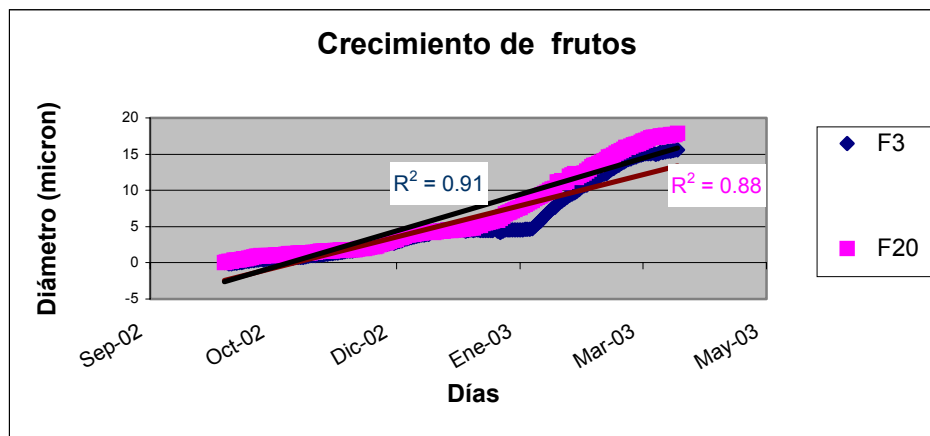


Figura 3a: crecimiento de frutos a través de la temporada octubre 2002 – marzo 2003.

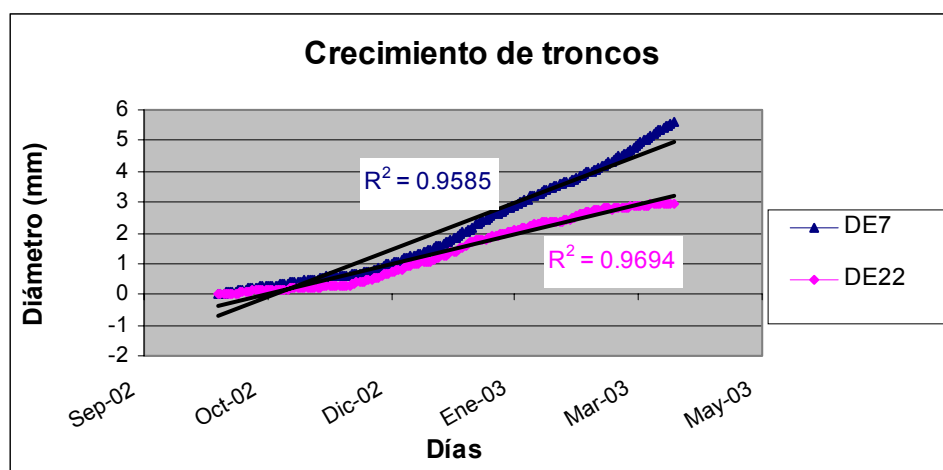


Figura 3b: crecimiento de troncos a través de la temporada octubre 2002 – marzo 2003.

En la figura 3a se observa que en la segunda etapa de crecimiento la planta con riego de microjet de 47 L/hora disminuye su tasa de crecimiento a valores casi nulos, lo que implica que en esta etapa de desarrollo fisiológico hay un exceso de agua en el suelo. Sin embargo, es importante destacar que la planta que recibió más agua total, logra el mayor tamaño final a cosecha; esto sugiere que al inicio de la temporada la demanda de la planta fue mayor que la entrega de agua realizada con el microjet de 35 L/hora y que luego, en la segunda etapa, su tasa de crecimiento disminuyó, debido al exceso de agua.

En la figura 3b se observa que los troncos tienen un crecimiento lineal; la planta con el microjet de 47 L/hora logra mayores tasas de crecimiento, mientras el tronco correspondiente al microjet de descarga 35 L/hora disminuye su tasa de crecimiento. Los

crecimientos de fruto y de tronco tienen una tendencia de crecimiento lineal en el tiempo, que se refleja en los coeficientes de determinación (R^2) mayores al 88%. Por lo tanto, si bien la curva del crecimiento del fruto es una doble sigmoidea, este proceso puede ser representado por una regresión lineal, en el periodo de tiempo que duró este estudio.

En la tabla 2 se resumen las regresiones realizadas para troncos y frutos de las plantas con microjets de 35 y 47 L/hora, considerando como variables independientes: las sumatorias de grados día (GD), Radiación (RADAC) y Evapotranspiración Real (ETrAC).

Tabla 2: Resumen de las regresiones multivariantes.

	Variable Y	F3AC	F20AC	DE7AC	DE22AC
Est.	R^2	0,9205 **	0,9693 **	0,9943 **	0,9891 **
	Desv. ST. Y	1,3995 **	0,99782 **	0,12872 **	0,11133 **
Coef. β	GD	1,67E-02 **	3,79E-02 **	9,53E-03 **	2,30E-03 **
	RADAC	-2,28E-03 **	-7,19E-04 *	9,79E-05 *	-7,46E-05 NS
	ETrAC	0,10086 **	9,52E-03 NS	-8,73E-03 **	4,94E-03 **
	Constante	0,48902 NS	1,1464 **	0,17501 **	-2,38E-02 NS

(* , $P \leq 0.1$; ** $P \leq 0.05$; NS, No Significativo)

Se observa que el coeficiente de determinación es mayor al 92%, por lo tanto, el modelo explicaría muy bien el proceso de crecimiento a través de las variables independientes. La desviación estándar de la proyección es pequeña, y en todas las pruebas de significancia global (prueba F) se obtuvo que $\beta_i \neq 0$ ($P \leq 0.01$), por lo tanto, todas las variables consideradas tienen un efecto sobre el crecimiento del fruto o del tronco.

Se realizaron pruebas de significancia individual (prueba t) para todos los coeficientes β ; en la tabla 2 se presentan los valores de los coeficientes β , los valores con NS no son significativos, los valores con * son significativos al 10% y los valores con ** son significativos al 5%. Por lo tanto las regresiones correspondientes al conjunto de variables considerado en este trabajo, permiten predecir de forma muy precisa el crecimiento del tronco y del fruto, sin embargo, con este tipo de análisis no es posible aislar el efecto de cada variable sobre el crecimiento.

En la tabla 3 se resumen los resultados de las regresiones simples; al considerar sólo una de las variables climáticas, se logra simplificar el modelo y por lo tanto, éstas son más prácticas al momento de predecir el crecimiento del fruto o del tronco. Todos los coeficientes de determinación son mayores al 88%. Estos valores de R^2 son menores a los

obtenidos en la tabla 2; los valores de R^2 también son mayores para los troncos que para los frutos, debido al crecimiento lineal del tronco.

Tabla 3: Resumen de regresiones simples.

		Variable independiente			
		F3AC	F20AC	DE7AC	DE22AC
Stat	R2	0,9112 *	0,9591 *	0,9917 *	0,9883 *
	Desv. ST. Y	1,471 *	1,1452 *	0,15442 *	0,11491 *
β	GD	1,64E-02 *	1,93E-02 *	5,87E-03 *	3,67E-03 *
	Constante	-0,5723 *	-0,47208 *	-3,37E-02	3,68E-02 *
Stat	R2	0,8955 *	0,9343 *	0,9749 *	0,985 *
	Desv. ST. Y	1,5959 *	1,4515 *	0,26863 *	0,13012 *
β	ETrAC	1,94E-02 *	2,27E-02 *	6,95E-03 *	4,37E-03 *
	Constante	-1,6155 *	-1,6631 *	-4,08E-01 *	-2,08E-01 *
Stat	R2	0,8902 *	0,9298 *	0,9723 *	0,983 *
	Desv. ST. Y	1,6365 *	1,5007 *	0,28247 *	0,13846 *
β	RADAC	4,35E-04 *	5,10E-04 *	1,56E-04 *	9,84E-05 *
	Constante	-1,7848 *	-1,8664 *	-4,73E-01 *	-2,50E-01 *

($P \leq 0.1$; * $P \leq 0.05$)

Según los valores de R^2 la variable grados días acumulados explica con menor error la variabilidad del crecimiento, tanto de frutos como troncos. La evapotranspiración real del cultivo presenta un coeficiente de determinación intermedio y la sumatoria de la radiación presenta el menor R^2 ; los coeficientes β resultan significativos en el nivel de 5% para todas estas variables, con la excepción de la constante β_0 de la regresión correspondiente al crecimiento del diámetro de tronco de la planta con micro jet 47 L/hora, con la variable independiente grados día acumulados, que es significativa al 10%.

La evapotranspiración real del cultivo incluye el efecto combinado de todas las variables climáticas en un solo valor, y posiblemente, en condiciones de mayor variabilidad climática, sea mejor predictor del crecimiento de frutos y troncos que la acumulación de grados día.

Al aislar el efecto de las variables independientes, a lo largo de todo el periodo de estudio, las pendientes del crecimiento del fruto son mayores para la planta regada con microjets de 35 L/hora, en comparación con el efecto de los microjets de 47 L/hora.

En las figuras 4a, 4b y 4c se observa la relación de las variables dependientes (crecimiento de fruto y tronco) con las variables climáticas independientes. En las tres figuras se distinguen 3 etapas de crecimiento, que representa los estados fisiológicos del crecimiento del fruto.

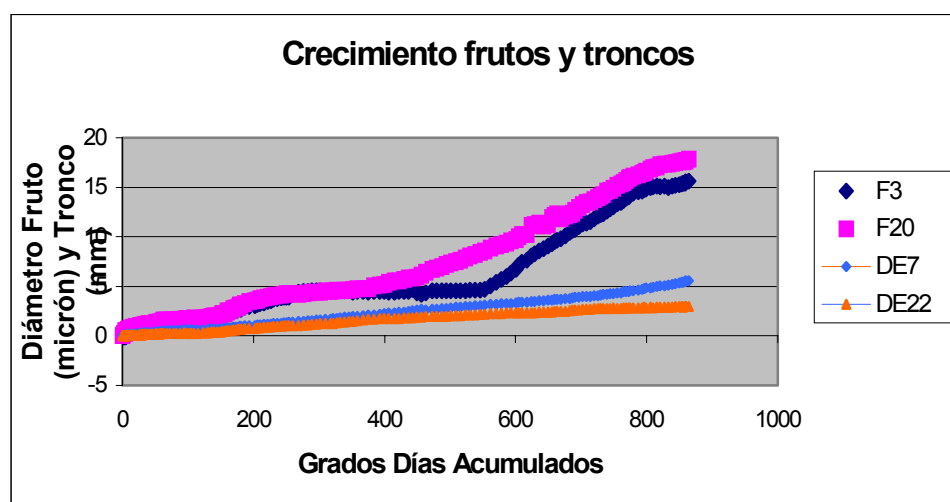


Figura 4a : crecimiento de frutos y troncos en función de los grados días acumulados

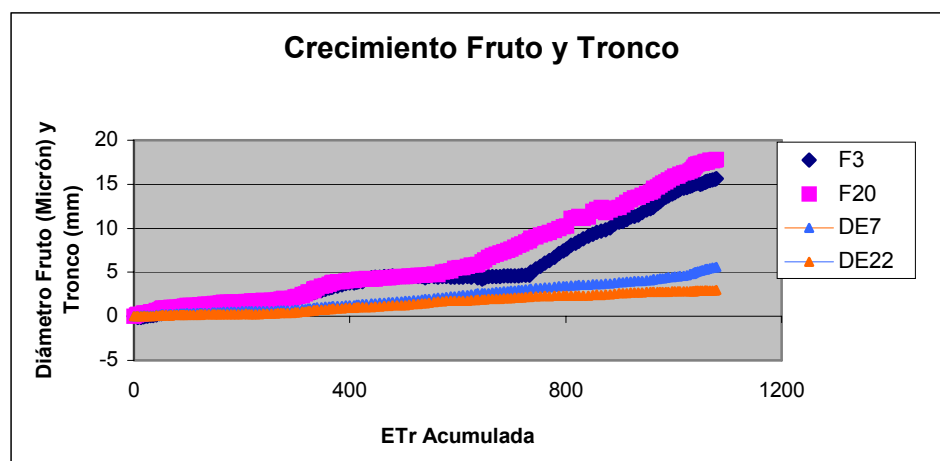


Figura 4b: Crecimiento de frutos y troncos en función de la ETr acumulada.

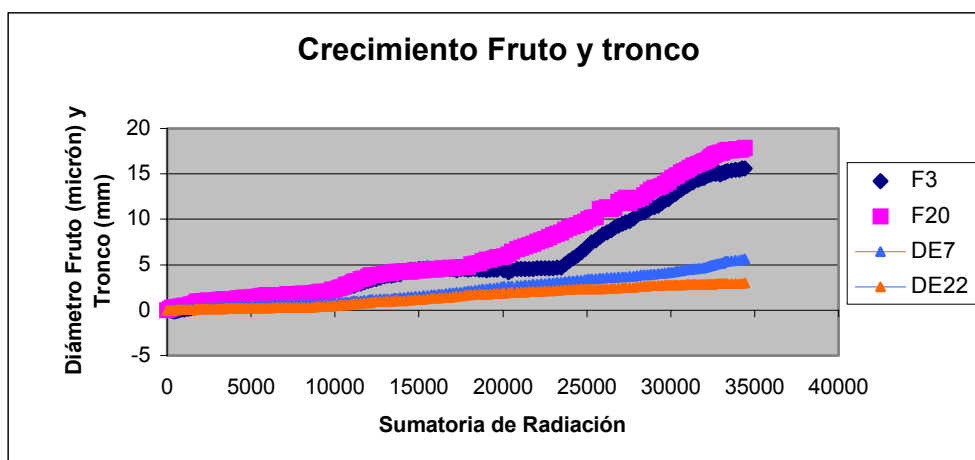


Figura 4c: Crecimiento de frutos y troncos en función de la radiación acumulada.

En las figuras 4a, b y c , la relación entre el crecimiento del tronco y del fruto con las variables independientes resultan ser muy similar a la figura 3, en la cual se muestra el crecimiento en función del tiempo. Al considerar las variables climáticas en vez del tiempo, la regresión puede tener mayor representatividad en cualquier localidad.

Con la información recolectada por los sensores del fitomonitor, es posible estudiar la relación entre las tasas de crecimiento del tronco y del fruto, con la magnitud de la contracción del diámetro de los troncos del día anterior. Como se pudo observar en las figuras 1 y 2, cuando el déficit de presión de vapor es alto, mayor es la contracción del fruto y tronco; de acuerdo con la Tabla 4, las contracciones del día anterior parecen tener una relación directa sobre la tasa de crecimiento del día posterior.

Tabla 4: Matriz de correlación.

Variables	F3TAS	DE7TAS	F20TAS	DE22TAS	CONF3	CONTDE7	CONF20	CONTDE22
CONF3	-0,155	0,196	-0,030 NS	0,341	1,000	0,324	0,049 NS	0,464
CONTDE7	0,383	0,171	0,132 *	0,165	0,324	1,000	0,547	0,612
CONF20	0,256	0,194	0,390	0,069 NS	0,049 NS	0,547	1,000	0,173
CONTDE22	-0,162	-0,029 NS	-0,220	0,236	0,464	0,612	0,173	1,000
VPDPROM	0,127 *	0,041 NS	0,073 NS	0,222	0,689	0,585	0,328	0,327
VPDMAX	0,077 NS	0,079 NS	0,071 NS	0,173	0,695	0,573	0,288	0,344

(P ≤ 5%; * P ≤ 10%; NS no significativos)

Las contracciones del tronco y fruto de la planta regada con 35 L/hora tienen menor correlación con el VPD, en comparación con la información de la planta regada con microjet de 47 L/hora; esto se debería a que la planta mejor hidratada se contrae menos ante el aumento del déficit de presión de vapor. La contracción del tronco tiene mayor correlación con el déficit de presión de vapor promedio diario, en comparación con el VPD máximo del día anterior, por lo tanto el VPD promedio diario puede ser un buen indicador del estado hídrico de la planta.

En la figura 5 se observa el crecimiento de frutos y la sumatoria de las contracciones del tronco. Las contracciones del tronco en el día anterior presentan una baja correlación con la tasa de crecimiento del fruto del día posterior. El fruto que logró mayor crecimiento al final de la temporada corresponde a la planta regada con el microjet de 47 L/hora; sin embargo, el fruto correspondiente a la planta regada con el microjet de 35 L/hora logró un mayor aumento del diámetro al finalizar el período de estudio. La contracción acumulada del tronco de la planta regada con el microjet de 47 L/hora fue mayor, en comparación con el tronco con el otro tratamiento, sin embargo, esta diferencia es de 1.77 mm al final del período de estudio.

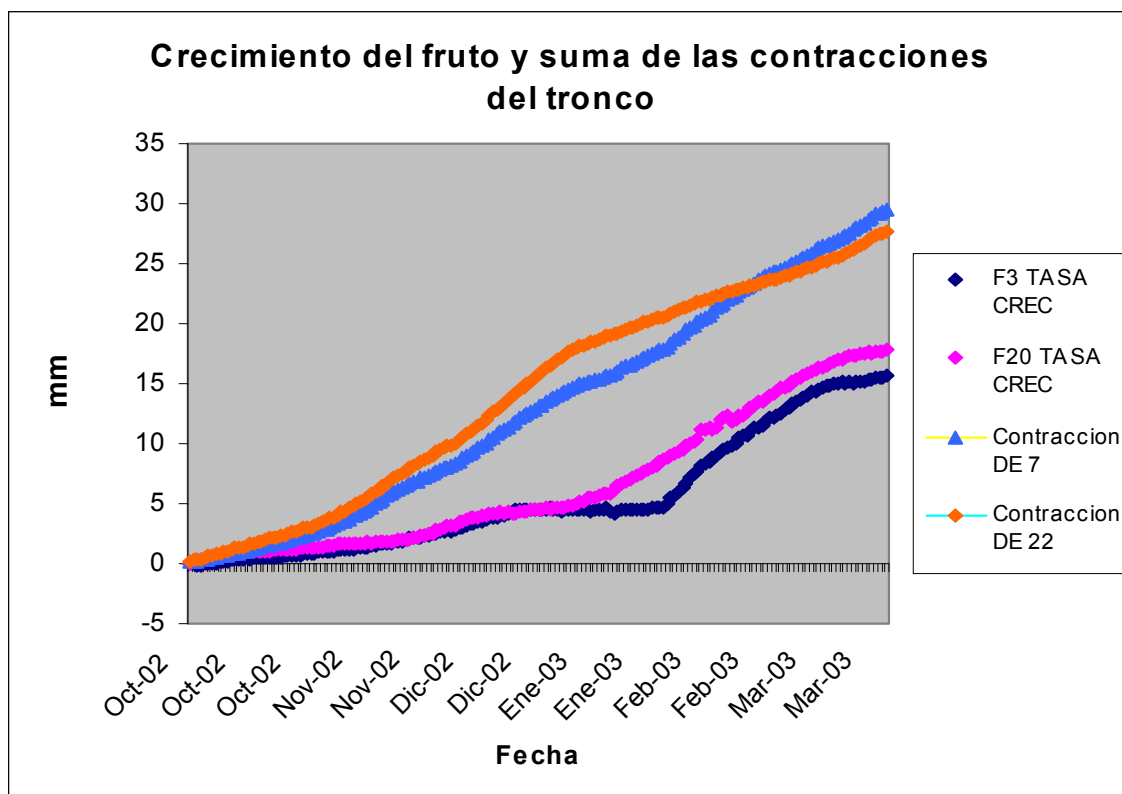


Figura 5: Crecimiento del fruto y contracciones acumuladas del tronco

En la figura 6 se observa que las contracciones diarias son similares en ambos troncos, desde octubre a enero; entre enero hasta febrero la planta regada con un microjet de 47 L/hora sufre grandes contracciones diarias, en comparación con el tronco de la planta regada con el microjet de 35 L/hora.

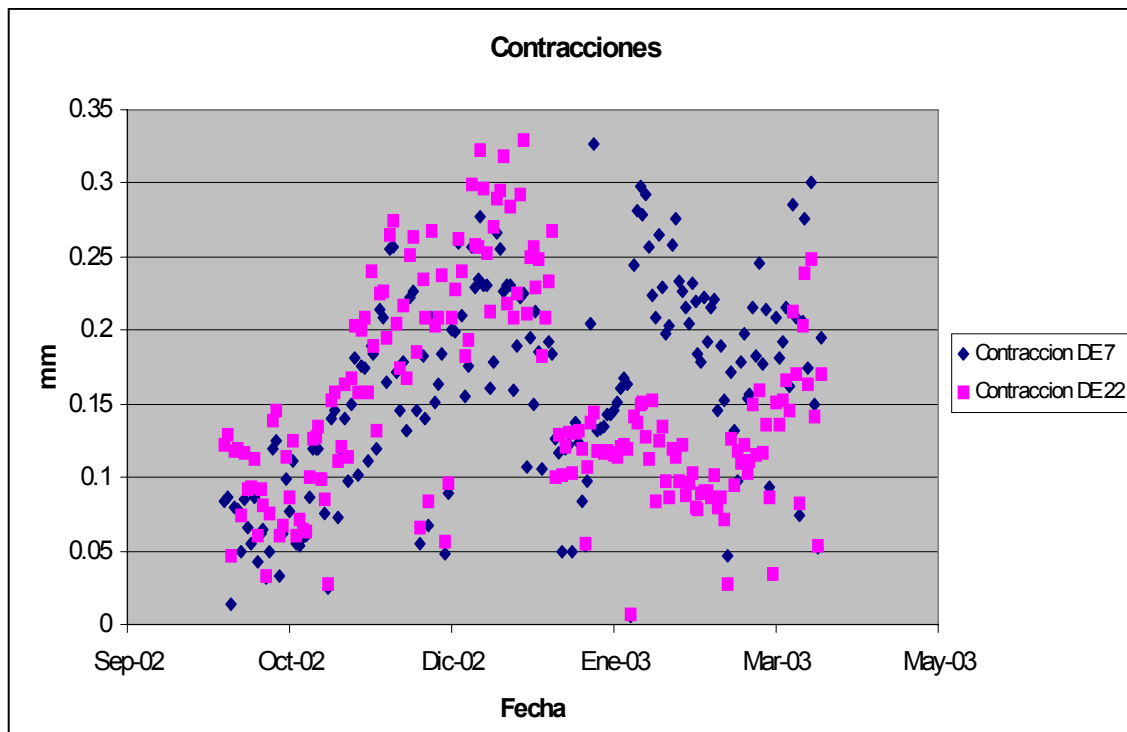


Figura 6: Contracciones diarias de los troncos

En la figura 7 se observa el diferencial en las tasas de crecimiento entre los frutos de la planta con microjet de 47 L/hora (FI 3) y el fruto de la planta con microjet de 35 L/ hora (FI 22); la mayoría de los puntos observados corresponden a valores negativos, es decir el fruto FI 22 tiene una tasa de crecimiento mayor que el otro fruto especialmente entre octubre-enero, a partir de febrero la tendencia se revierte las tasas de crecimiento del fruto FI 3 es mayor a las del otro fruto.

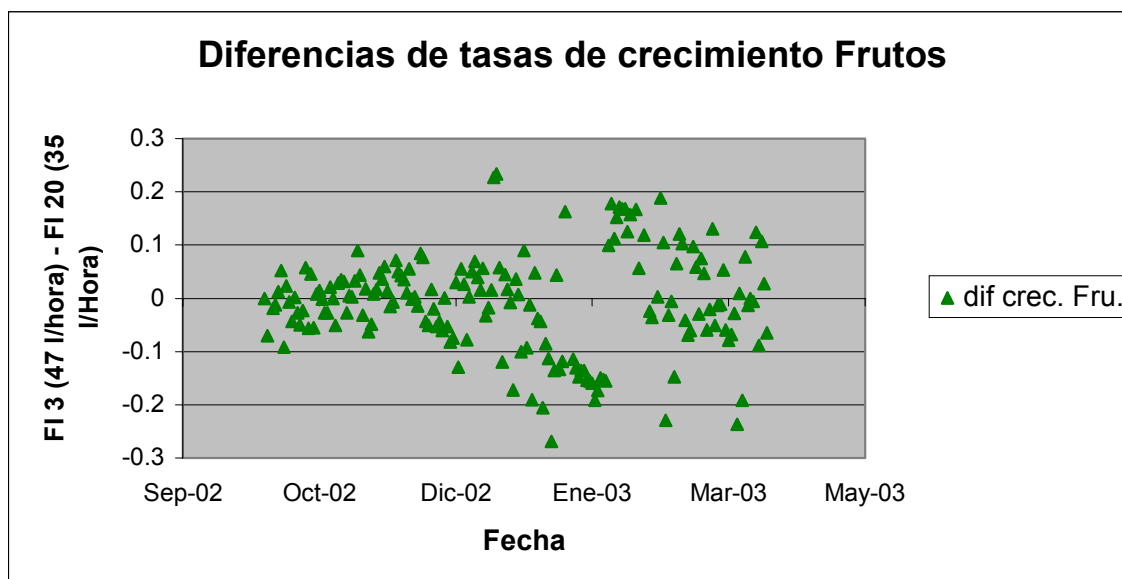


Figura 7: Diferencial entre las tasas de crecimiento del fruto.

Al igual que el comportamiento de las contracciones del tronco, las tasas de crecimiento del fruto son similares entre octubre y diciembre; desde enero a marzo existen diferencias en las contracciones de los troncos, que coinciden con menores tasas de crecimientos del fruto en enero, resultando un crecimiento menor para los frutos de la planta regada con el microjet de 47 L/hora.

CONCLUSIONES

- El fitomonitor es una herramienta útil para programar los riegos, ya que representa en tiempo real el estado hídrico de la planta y frutos.
- El tratamiento de 35 L/hora logra un mayor crecimiento neto del fruto en la época de estudio, pero el tratamiento de 47 L/hora logra un diámetro mayor al final de la temporada, por lo que es recomendable una mayor cantidad de agua a inicios de temporada de crecimiento y luego disminuir el suministro de agua por el riego para maximizar el tamaño final.
- El crecimiento del fruto y tronco presenta oscilaciones diarias que responden a la variación del déficit de presión de vapor.
- La magnitud de las oscilaciones diarias de los diámetros de tronco y fruto depende del estado hídrico de la planta. Se observó una reducción en la velocidad de crecimiento del fruto cuando se produjo un exceso de agua en el suelo.
- .En el rango de contenidos de agua en el suelo que se mantuvo a lo largo del periodo de estudio (32-36%), no hubo reducción en la tasa de crecimiento de troncos y frutos, pero esta tasa fue menor para el tratamiento de 47 L/hora, posiblemente como resultado de la extensión del periodo diario de saturación del suelo.
- Los frutos presentan una curva de crecimiento doble sigmoidea, pero que puede ser representada con bastante exactitud como una línea recta. Como el fruto que creció menos en la época de estudio, pero logró un diámetro neto mayor al final de la temporada, implica que la estrategia de riego óptimo para maximizar la tasa de crecimiento durante toda la temporada es utilizar un coeficiente de ET (K_c) mayor durante los meses de primavera y luego, disminuir este coeficiente durante los meses de verano. Como el índice de área foliar en un huerto de paltos en plena producción es casi constante, se postula que la eficiencia de transpiración de las hojas se reduce en el tiempo.
- Las regresiones lineales simples del crecimiento de troncos y frutos con parámetros climáticos explican satisfactoriamente la variabilidad observada, pero, la regresión múltiple entre estas variables es un mejor predictor.

- Las contracciones del tronco están directamente relacionadas con el VPD promedio y son de mayor magnitud en la planta regada con el microjet de 47 L/hora (exceso de riego).
- El fruto FI 20 logró mayor crecimiento en la etapa de estudio y coincide con una menor sumatoria de contracciones. Este hecho es insuficiente para relacionar las contracciones con el crecimiento del fruto.
- Los crecimientos máximos de los frutos fueron el 13 de febrero para el FI 20=0.88 y el 10 de febrero para FI 3= 0.4 Micrón.

BIBLIOGRAFIA

- Adato, I. y B. Levinson. 1987. The effect of pulsed drip irrigation at two rates on yield and growth of the avocado tree and fruit. *Alon Hanotea* 41:129-140.
- Downes, G; Beadle, C. y Worledge. 1999. Daily stem growth patterns in irrigated *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in relation to climate. *Trees-Structure-and-Function* 14: 2, 102-111.
- Faber, B; Yates, M. y Arpaia, M. 1991. Irrigation Management of Avocados. *California Avocado Society 1991 Yearbook* 78:143-146
- Gil, G. 1997. El potencial productivo. Crecimiento vegetativo y diseño de huertos y viñedos. Santiago, Ediciones Universidad Católica de Chile. 342 pp.
- Ginestar, C. y Castel, J. 1998. Use of stem dendrometers as indicators of water stress in drip-irrigated citrus trees. *Acta Horticulturae*. No. 421, 209-219
- Gurovich, L., 1997. Phytomonitoring technology in Viticulture. A review of the state of the Art. Publicación de los Trabajos presentados a la 77a. Asamblea General de la O.I.V. Diciembre. Buenos Aires, Argentina.
- Gurovich, L. 2001. Riego superficial tecnificado. Santiago, Ediciones Universidad Católica de Chile. 616pp.
- Gardiazabal, I. 2000. Fertirrigación en Palto. Primer Seminario Internacional de Fertirriego En: Soquimich Comercial S.A., 10 pp.
- Goldhamer, D., Fereres, E., Mata, M., Girona, J., y M. Cohen. 1999. Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. Vol. 124 (4): 437- 444.
- Holzapfel, E.; R. Merino, M. Mariño y R. Matta. 2000. Water production functions in kiwi. *Irr. Sci*. Vol. 19 (2): 73-79.
- Kurtz, C.; Guil, I. y I. Klein. 1992. Water Rate Effects on Three Avocado Cultivars. *Proc. Second World Avocado Congress 1992*. California, EEUU. pp. 357-364
- Meyer, J., Yates, M. Stottlemeyer, D., Takele, E., Arpaia, M., Bender G. y G. Witney. 1992. Irrigation and Fertilization Management of Avocados. *Proc. Second World Avocado Congress* pp. 281-288.

- Olalla, L., Salazar, A., Mira, A., Martín, M., Jurado, F. y C. López. 1992. The Response of Avocado Trees in the South of Spain to Different Irrigation Regimes and Wetted Areas. Proc. of Second World Avocado Congress 1992 pp. 317-322
- Passos, E. y Da Silva, J. 1991. Determination of the water status of coconut palms using the dendrometric method. Oleagineux-Paris 46: 6, 233-238; 1 pl.; 11 ref.
- Whiley, A.; Pegg, K.; Saranah, J. y Langdon, P.. 1987. Influence of Phytophthora root rot on mineral nutrient concentrations in avocado leaves. Australian Journal of Experimental Agriculture 27: 173-177.