

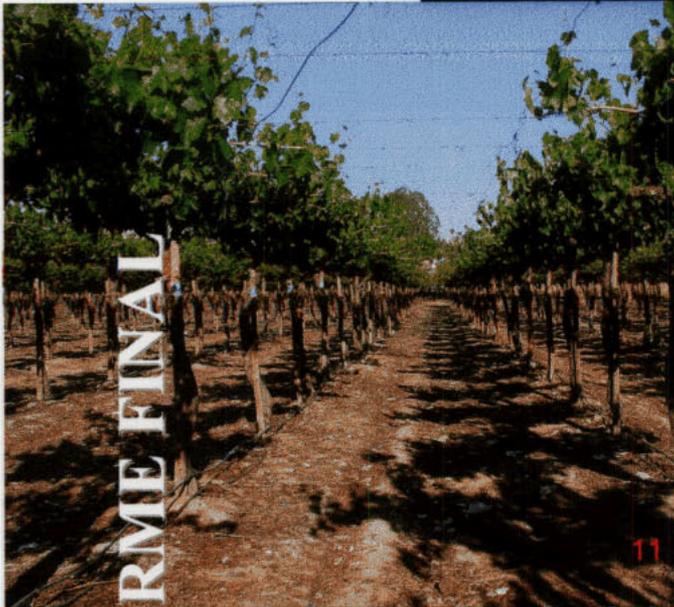
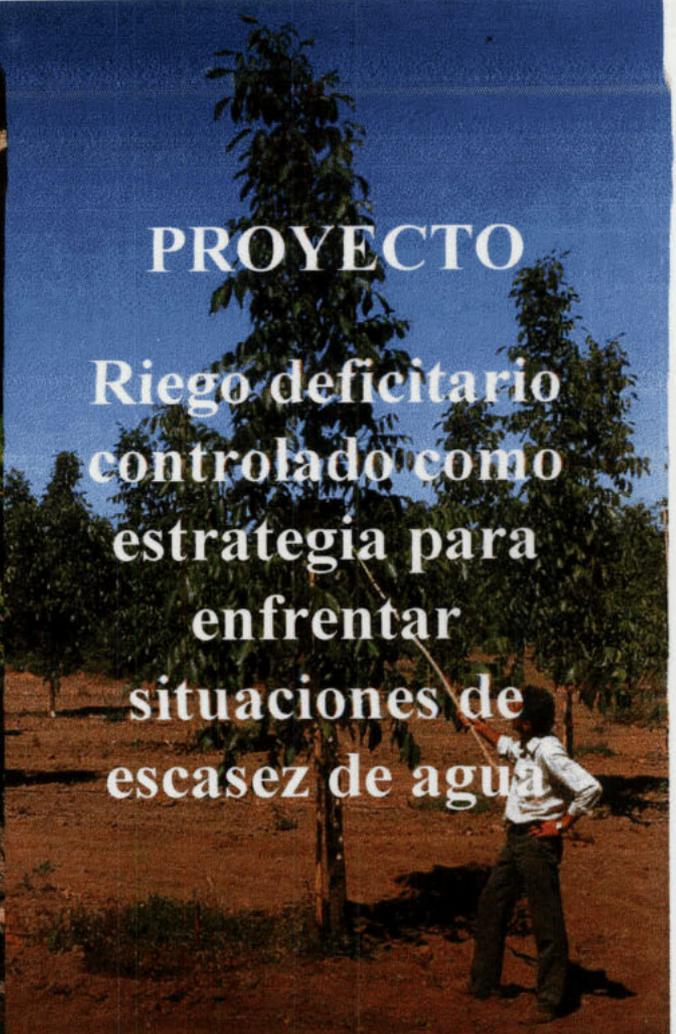


GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE AGRICULTURA



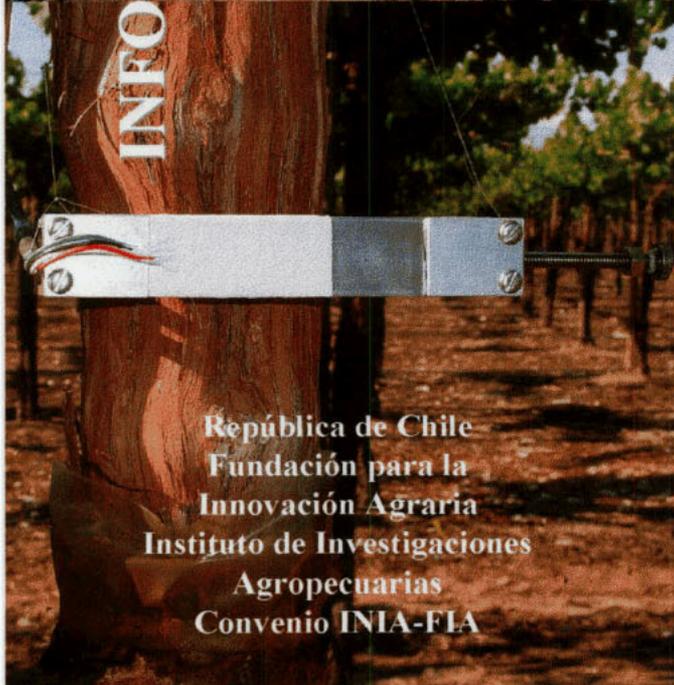
# PROYECTO

## Riego deficitario controlado como estrategia para enfrentar situaciones de escasez de agua



INFORME FINAL

11



República de Chile  
Fundación para la  
Innovación Agraria  
Instituto de Investigaciones  
Agropecuarias  
Convenio INIA-FIA

Código  
V977-A-0-A-005

Julio 2001





GOBIERNO DE CHILE  
INIA LA PLATINA

UNIDAD DE PROYECTOS FIA
RECEPCIONADO 24.07.01
Nº INGRESO 1012

Santiago, 20 de Julio del 2001

Señora  
Margarita D'Etigny L  
Directora Ejecutiva  
Fundación para la Innovación Agraria  
Presente

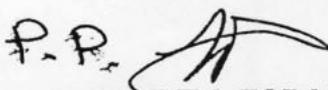
Ref.: Informe Técnico Proyecto  
FIA V97-0-A-005

De mi consideración:

Adjunto a la presente Informe Técnico Final del Proyecto FIA V97-0-A-005 denominado "Riego Deficitario Controlado en situaciones de Escasez de Agua", que en esta oportunidad se compone de:

3 Informes Técnicos  
1 Disco compacto

Atentamente,

  
RAUL FERREYRA ESPADA

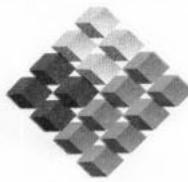
Adj. Lo indicado

RFE/kyg.



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS  
CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIÓN LA PLATINA

SANTA ROSA 11610, PARAD. 33, LA PINTANA - TEL.: 5417223 - FAX: 5417667 - CASILLA 439/3 - SANTIAGO DE CHILE



GOBIERNO DE CHILE  
INIA LA PLATINA

## INFORME TECNICO FINAL

**INSTITUCION EJECUTANTE** : **INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS**

**INSTITUCION PATROCINANTE** : **FUNDACION PARA LA INNOVACION AGRARIA**

**NOMBRE DEL PROYECTO** : **“Riego deficitario controlado como estrategia para enfrentar situaciones de escasez de agua**

**CODIGO** : **V 977 – A – 0 – A – 005**

**PERIODO** : **ENERO 1998 – JUNIO 2001**

**FECHA PRESENTACION** : **27 de JULIO de 2001**

# INDICE GENERAL

<b>ANTECEDENTES GENERALES</b>	<b>1</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>2</b>
<b>TEXTO PRINCIPAL</b>	<b>5</b>
<b><i>Resumen propuesta original</i></b>	<b>5</b>
<b><i>Cumplimiento de los objetivos del proyecto</i></b>	<b>7</b>
Objetivos planteados en la propuesta original	7
Resultados obtenidos en el proyecto	7
<u>Nogales</u>	7
<u>Olivos</u>	8
<u>Vides de Mesa</u>	9
<b><i>Aspectos metodológicos del proyecto</i></b>	<b>9</b>
Descripción de la metodología realmente utilizada	10
Principales problemas metodológicos enfrentados	13
<b><i>Descripción de actividades y tareas</i></b>	<b>14</b>
Actividades y tareas programadas	15
Actividades y tareas realizadas	18
<b><i>Resultados del proyecto</i></b>	<b>22</b>
<b><i>Problemas enfrentados durante la ejecución del proyecto</i></b>	<b>22</b>
<b><i>Cuadro resumen de costos y calendario de ejecución</i></b>	<b>23</b>
<b><i>Difusión de los resultados obtenidos</i></b>	<b>24</b>
<b><i>Impactos del proyecto</i></b>	<b>24</b>
Nogales	24
Olivos	24
Vides de mesa	25
<b><i>Conclusiones y recomendaciones</i></b>	<b>27</b>
<b><i>Anexos</i></b>	<b>29</b>
<b><i>Bibliografía consultada</i></b>	<b>30</b>

## I. ANTECEDENTES GENERALES

<b>Nombre de proyecto:</b>	Riego deficitario controlado como estrategia para enfrentar situaciones de escasez de agua
<b>Código :</b>	V 97 - A - 0 - A - 005
<b>Región :</b>	V Región
<b>Fecha de aprobación:</b>	29 - Diciembre - 1997
<b>Agente Ejecutor:</b>	INIA
<b>Coordinador del Proyecto:</b>	Raúl Ferreyra E
<b>Profesionales Participantes :</b>	Raúl Ferreyra E Gabriel Sellés V Iván Sellés M Gamalier Lemus S
<b>Costo Total:</b>	\$ 128.613.605
<b>Aporte del FIA:</b>	\$ 47.268.136
<b>Periodo de Ejecución:</b>	1 de enero de 1998 a 30 de junio del 2001

## II. RESUMEN EJECUTIVO

Chile es un país que se caracteriza por que gran parte de su superficie corresponde a una zona semi-árida, por lo cual el desarrollo está condicionado a la disponibilidad del recurso agua.

En efecto, el aumento de la población y la multiplicidad de usos que el progreso demanda han hecho que el agua se convierta en un recurso imprescindible para el desarrollo económico y social del país. El rápido crecimiento de la demanda ha hecho que el agua sea cada vez un recurso más escaso, tanto en calidad como en cantidad, no solo en las regiones semi-áridas, sino también en zonas densamente pobladas e industrializadas. Por lo cual su cuidadosa administración, conservación y empleo más eficiente pasa a adquirir una importancia fundamental.

Por lo anterior se desarrolló este proyecto cuyo objetivo era el desarrollar técnicas de riego deficitario controlado (RDC), en huertos de Olivos; Nogales y Uva de mesa, como estrategia para afrontar períodos de escasez de agua., basadas en la disminución de las tasas de riego normalmente utilizadas, permitiendo así afrontar con éxito los problemas de escasez de agua, y/o generar sistemas de optimización del uso del agua en zonas de escasez hídrica permanente, con niveles de productividad y calidad competitivos para frutas de exportación, como también en áreas de secano y/o de riego eventual.

Según la propuesta original, los resultados obtenidos en esta investigación permitirán ofrecer a los productores agrícolas una técnica de manejo del riego que realice importantes economías de agua por sobre las que permite obtener el riego tecnificado. Este ahorro de agua podría ser cercano al 30 o 40% de las necesidades hídricas netas de las plantas, sin afectar significativamente los rendimientos ni la calidad de la producción. Como resultado global, se espera mejorar la potencialidad productiva de los huertos frutales en condiciones de sequía, lo que significa generar mecanismos de respuesta permanente en estos sistemas frutícolas a los fenómenos climáticos mencionados, y/o ampliar las actuales zonas de cultivo de estas especies hacia zonas de menor disponibilidad hídrica permanente, como es el caso del secano.

Este trabajo se desarrolló con agricultores de las comunas de San Felipe y Los Andes (V Región). Como productos de este proyecto, se espera realizar un aporte a la validación de nuevas alternativas de manejo de riego de los huertos frutales frente a condiciones críticas de disponibilidad de riego, como una forma de optimizar los niveles de utilización de este recurso, por sobre las eficiencias de aplicación que pueden obtenerse a partir de la tecnificación del riego superficial, como es el caso del riego localizado de alta frecuencia.

A continuación se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas para el cultivo del Nogal; Olivo y Vid de Mesa en lo relacionado a las practicas de riego deficitario controlado.

Los potenciales hídricos xilemáticos son un buen indicador del estado hídrico de las plantas y pueden ser utilizados por los agricultores como una herramienta para controlar el riego, sobre todo cuando se aplican estrategias de riego deficitario controlado. Esto concuerda con información reportada por Williams L, 2000 donde indica que cada vez mayor número de agricultores en California utilizan cámara de presión para controlar el riego, especialmente en Uva de Mesa.

De los trabajos realizados se desprende la importancia de contar con un contenido adecuado de humedad en el suelo al inicio de la temporada de desarrollo del cultivo. Ya que esto, favorece la implementación de las técnicas de riego deficitario controlado. Esto se puede lograr con las precipitaciones invernales y en casos de años secos a través del riego en esta estación.

En el Nogal se puede disminuir el agua aplicada en la fase III en un 50%, lo que significa un ahorro del agua aplicada total de un 27% y en años lluviosos y en suelos con alta retención de humedad se puede disminuir el agua aplicada en la fase I; II y III en un 47% sin afectar los rendimientos.

En el olivo, Restricciones hídricas severas durante la fase III de crecimiento del fruto (aplicación del 25% de la Etc) representan una economía de agua del 35%, sin embargo se afecta el peso final del fruto, tanto en años de baja carga como de alta carga. Una mejor

estrategia de riego deficitario parece ser reducción del agua aplicada durante toda la temporada (aplicación del 60% de la Etc del cultivo). Con esta estrategia se logra una economía de agua del 40% y no se afecta el peso final de los frutos, respectos de las otras estrategias de restricción hídrica. Con esta estrategia el déficit es menos severo durante la fase III.

En la vid de mesa en años lluviosos o con riego invernal y en suelos con alta retención de humedad se puede disminuir el agua aplicada entre brotación a pinta o pinta – cosecha en un 40% no produciendo déficit hídrico y por lo tanto no afectando los rendimientos. En la vid de mesa var Sultanina se puede reducir el agua aplicada de un 40% entre brotación y pinta permiten una economía del 20% del agua aplicada total y reducciones de un 40% del agua aplicada entre pinta y cosecha permiten una economía del 13% del agua aplicada total.

### III. TEXTO PRINCIPAL

#### 1.- Resumen propuesta original

Chile es un país que se caracteriza por que gran parte de su superficie corresponde a una zona semi-árida, por lo cual el desarrollo está condicionado a la disponibilidad del recurso agua.

En efecto, el aumento de la población y la multiplicidad de usos que el progreso demanda han hecho que el agua se convierta en un recurso imprescindible para el desarrollo económico y social del país. El rápido crecimiento de la demanda ha hecho que el agua sea cada vez un recurso más escaso, tanto en calidad como en cantidad, no solo en las regiones semi-áridas, sino también en zonas densamente pobladas e industrializadas. Por lo cual su cuidadosa administración, conservación y empleo más eficiente pasa a adquirir una importancia fundamental.

La agricultura es el sector que consume los mayores volúmenes de agua ( 90% del total) para el riego permanente de unas 1, 2 millones de há en forma segura y otras 0,7 millones de há eventuales o sin seguridad. La superficie bajo riego corresponde al 38% del total de los suelos arables del país, las que sin embargo aportan con un 60 a 65 % al PGB sectorial.

Dentro de la zona regada se desarrolla la fruticultura, actividad que ocupa una superficie del orden de las 182.380 has. a nivel del país, (cerca del 10% de los suelos regados), las que aportan una cifra cercana al 20% del valor total de la producción agropecuaria del país.

De los antecedentes expuestos anteriormente, se desprende la importancia del uso del agua en el sector agropecuario, fundamentalmente en el hortofrutícola.

Dado que los recursos hídricos que se destinan a la agricultura están compitiendo cada vez más con los requerimientos de otros sectores (energía, agua potable, minería, entre otros), es importante desarrollar o adecuar tecnologías que permitan, por una parte aumentar la eficiencia del uso del agua, y por otra parte disminuir las demandas de los

cultivos, sin que la producción se vea significativamente afectada, de manera de mantener el desarrollo agrícola , sin interactuar negativamente con el crecimiento de los otros sectores.

La fruticultura de exportación constituye uno de los pilares del desarrollo agroeconómico nacional, siendo los sistemas de producción en fresco los más afectados por situaciones de sequía y/o de menor disponibilidad de este recurso. La sequía no sólo afecta la productividad y rentabilidad de los huertos y empresas involucradas, sino que genera pérdida de riqueza (por abandono de las inversiones públicas y privadas de largo plazo realizadas), desempleo y pobreza; siendo por tanto necesario -desde el punto de vista privado y social- emprender un desarrollo tecnológico enfocado a otorgar mayor sustentabilidad permanente a los sistemas frutícolas frente a períodos y/o situaciones de escasez de agua de riego.

Este proyecto tiene como objetivo el desarrollar técnicas de riego deficitario controlado (RDC), como estrategia para afrontar períodos de escasez de agua.

Este trabajo se desarrollará huertos de Olivos; Nogales y Uva de mesa de agricultores de las comunas de San Felipe y Los Andes (V Región). Como productos de este proyecto, se espera desarrollar y validar nuevas alternativas de manejo de riego de los huertos frutales frente a condiciones críticas de disponibilidad de riego, como una forma de optimizar los niveles de utilización de este recurso, por sobre las eficiencias de aplicación que pueden obtenerse a partir de la tecnificación del riego superficial, como es el caso del riego localizado de alta frecuencia.

Como resultado global, se espera mejorar la potencialidad productiva de los huertos frutales en condiciones de sequía, lo que significa generar mecanismos de respuesta permanente en estos sistemas frutícolas a los fenómenos climáticos mencionados, y/o ampliar las actuales zonas de cultivo de estas especies hacia zonas de menor disponibilidad hídrica permanente, como es el caso del secano.

## **2.- Cumplimiento de los objetivos del proyecto**

En este punto se presentan los objetivos y resultados planteados en la propuesta original y los resultados e impactos obtenidos con el proyecto

### **2.1. Objetivos y resultados planteados en la propuesta original**

El objetivo de este proyecto era el desarrollar técnicas de riego deficitario controlado (RDC), como estrategia para afrontar períodos de escasez de agua., basadas en la disminución de las tasas de riego normalmente utilizadas, permitiendo así afrontar con éxito los problemas de escasez de agua, y/o generar sistemas de optimización del uso del agua en zonas de escasez hídrica permanente, con niveles de productividad y calidad competitivos para frutas de exportación, como también en áreas de secano y/o de riego eventual.

Según la propuesta original, los resultados obtenidos en esta investigación permitirán ofrecer a los productores agrícolas una técnica de manejo del riego que realice importantes economías de agua por sobre las que permite obtener el riego tecnificado. Este ahorro de agua podría ser cercano al 30 o 40% de las necesidades hídricas netas de las plantas, sin afectar significativamente los rendimientos ni la calidad de la producción.

Lo anterior permitiría a los productores tener elementos concretos de toma de decisiones en la asignación del recurso hídrico en períodos de escasez en las áreas regadas, sino también la incorporación a alguna actividad frutícola en áreas en que normalmente el recurso hídrico es escaso, como son los secanos.

### **2.2. Resultados obtenidos en el proyecto**

Un resumen de los principales resultados obtenidos en Nogales; Olivos y Uva de Mesa se presentan a continuación:

#### **2.2.1. Nogales**

En el nogal la disminución del aporte hídrico durante la fase III permite disminuir el agua aplicada en un 27% sin afectar los rendimientos. Sin embargo se observa una

tendencia a disminuir la calidad de los frutos producidos. (Disminución del % de frutos exportables por color). Este efecto se podría aminorar si se adelanta la cosecha.

Por otra parte en años lluviosos y en suelos con alta retención de humedad de puede disminuir el agua durante las fases I, II y III en un 47% sin afectar significativamente los rendimientos. Sin embargo al igual que la disminución del agua, solo en la fase III, se observa una tendencia a disminuir la calidad de los frutos producidos. (Disminución del % de frutos exportables por color).

Un déficit en la fase I; II y III del orden del 47% podría afectar la diferenciación floral del año siguiente en un 11%. Sobre todo si el déficit hídrico ocurre en un año de baja pluviometría.

### 2.2.2. Olivo

En el olivo, las condiciones de humedad de suelo a principios de primavera, que pueden otorgar las precipitaciones invernales, son importantes para el desarrollo del cultivo. En años con inviernos secos se debiera restituir la humedad del suelo mediante riego, aun cuando durante la temporada se riegue en forma deficitaria.

Restricciones hídricas severas durante la fase III de crecimiento del fruto (aplicación del 25% de la Etc) representan una economía de agua del 35%, sin embargo se afecta el peso final del fruto, tanto en años de baja carga como de alta carga. Restricciones menos severas en esta etapa (aplicación del 40% de la Etc), afectan el tamaño del fruto solo en los años de baja carga frutal.

Una mejor estrategia de riego deficitario parece ser reducción pareja del agua aplicada (aplicación del 60% de la Etc del cultivo durante toda la temporada). Con esta estrategia se logra una economía de agua del 40% y no viéndose afectado el peso final de los frutos, respecto de las otras estrategias de restricción hídrica ya que durante la fase III el déficit es menos severo.

### 2.2.3. Vides de mesa

En la vid de mesa, en años lluviosos o con riego invernal y en suelos con alta retención de humedad se puede disminuir el agua aplicada entre brotación a pinta o pinta – cosecha en un 40% no produciendo déficit hídrico y por lo tanto no afectando los rendimientos

Reducciones del agua aplicada de un 40% entre brotación y pinta permiten una economía del 20% del agua aplicada total y reducciones de un 40% del agua aplicada entre pinta y cosecha permiten una economía del 13% del agua aplicada total.

Reducción de un 75% del agua aplicada posterior a cosecha, no afecta los rendimientos permitiendo disminuir el agua aplicada en un 15%

Agricultores del valle de Aconcagua aplican cantidades superiores a las necesidades brutas en un 29%. Produciendo problemas de crecimiento en suelo francos de este valle por disminución en la aireación.

Aplicaciones excesivas de aguas en 29% afectan el desarrollo de las plantas en suelos francos del valle de Aconcagua.

Es necesario indicar, dada la complejidad fisiológica de las especies frutales, donde los efectos de un año se manifiestan en el año siguiente, que para la obtención de resultados más concluyentes en relación a efectos de largo plazo que tiene el uso de las técnicas de RDC se requiere de un mayor número de años de investigación.

### **3.- Aspectos Metodológicos del proyecto.**

En este punto se describe la metodología utilizada; principales problemas enfrentados y modificaciones introducidas durante la ejecución del proyecto.

### 3.1. Descripción de la metodología efectivamente utilizada

#### 3.1.1. Ubicación y material vegetal

Los experimentos de Riego Deficitario se llevó a cabo en un huerto de Olivo; Nogales y Uva de mesa de agricultores de las provincias Los Andes y San Felipe V región, durante las temporadas 1998/99 a 2000/01

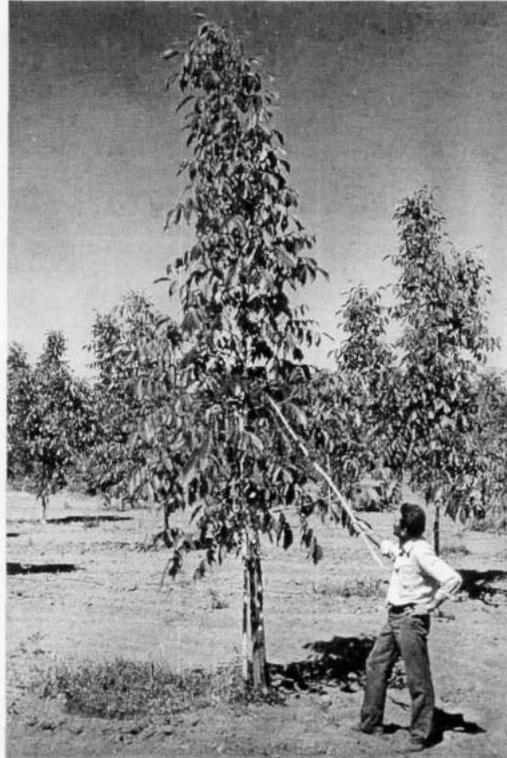


Foto ensayo arboles de tres año (primer año de ensayo Nogales)

El clima de la zona es de tipo mediterráneo, con marcada concentración invernal de las precipitaciones y un verano prolongado y seco. El periodo de lluvias está concentrado entre los meses de mayo y agosto, con magnitudes entre los 250 y 450 mm anuales. El periodo seco es de ocho meses. En invierno cae aproximadamente el 70% de las precipitaciones anuales y durante los meses de verano solamente el dos por ciento. La humedad del aire está principalmente influida por el relieve y la distancia al océano, caracterizando a la zona de Aconcagua con veranos de humedad relativa homogénea, entre 55 y 65%, mientras que en invierno oscila entre 60% en el sector oriental y 85% en el occidental. La temperatura media anual de la zona alcanza los 16 °C, con máximas superiores a los 32 °C en verano y mínimas cercanas a los 2,5 °C.

### 3.1.2. Tratamientos

Los tratamientos de Riego Deficitario consistieron en la aplicación de distintos regímenes de riego con una restricción del suministro de agua en distintas etapas fenológicas en relación con un testigo que recibió el 100% de reposición de la evapotranspiración del cultivo durante toda la temporada. Detalle de los tratamientos para cada especie frutal se encuentran en los anexos.

El diseño experimental es de bloques al azar, con 4 tratamientos y tres repeticiones.

El análisis estadístico se realizará mediante análisis de varianza (ANDEVA) y de reflejar diferencias significativas, se aplicará la prueba de comparaciones múltiples de LSD al 95%.

El cálculo de las necesidades de riego del cultivo se realizó sobre la base de la evaporación de una bandeja clase A ubicada en el predio. Para relacionar la evaporación del cultivo con la evaporación de bandeja se utilizó la siguiente fórmula:

$$Etc = Kc * Eto$$

Donde:

Etc = Evaporación del cultivo, en mm/ día.

Kc = Coeficiente de cultivo, para el periodo correspondiente.

Eto = Evapotranspiración potencial, en mm/día.

El tiempo de riego se calculó sobre la base del tratamiento que correspondió al 100% de reposición de las necesidades de riego, según la siguiente ecuación:

$$TR \text{ (horas)} = \frac{Etc * A * L}{N^{\circ} * Q * Ea}$$

Donde:

Etc = Evapotranspiración del cultivo, en mm/día

A = Distancia de plantación sobre la hilera en metros

L = Distancia de plantación entre la hilera, en metros

N° = Número de goteros por parra

Q = Caudal del emisor en litros/hora

Ea = Eficiencia de aplicación

Las mediciones que se realizaron fueron las siguientes:

### 3.1.3. Crecimiento vegetativo

Crecimiento de brotes cada 15 días, hasta que no se detecte crecimiento. Se seleccionaron dos plantas por parcela y cuatro brotes por planta, ubicados en los cuatro puntos cardinales.

Peso de poda. Se seleccionaron cinco plantas por parcela.

### 3.1.4. Productividad

Diámetro de fruto, con un pie de metro cada dos semanas. Se seleccionaron quince frutos por árbol y dos árboles por parcela.

Rendimiento por calibre y calidad del producto obtenido en postcosecha. Se utilizaron cinco plantas por parcela.

### 3.1.5. Estado hídrico de la planta

Potencial xilemático. Se midió al mediodía, a dos hojas por planta y dos plantas por repetición. Se realizaron mediciones cada 15 días.

Conductividad estomática. Se midió quincenalmente en la mañana (10:00AM). Se consideraron dos plantas por repetición y dos hojas por planta.

En el anexo 1 se presenta mayor detalle de la metodología utilizada en cada especie frutal.

### 3.2. Principales problemas metodológicos enfrentados

El principal problema metodológico enfrentado fue la duración de la experiencia, debido a que los frutales por ser cultivo permanentes ven muy afectado en su comportamiento fisiológico por lo ocurrido el año anterior (clima; manejo etc). Por lo tanto para lograr algunos resultados concluyentes se requiere de trabajos de largo plazo. Debido a lo anterior se solicito al FIA una ampliación de la duración del proyecto, la cual resulto en la ampliación del proyecto en 9 meses. En el punto 4.1 aparece indicada las actividades programadas incluida esta ampliación.

#### **4.- Descripción de las actividades y tareas**

En este punto se presentan las actividades y tareas programada y realizada con su fecha de inicio y termino

#### 4.1. Actividades y tareas programadas

**Año N° 1 1998/99**

<b>Objetivo</b>	<b>Actividad N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fecha Inicio</b>	<b>Fecha Término</b>
1. Evaluación del RDC en olivos, cerezo y uva de mesa.	1.1	Actualización y sistematización de la revisión bibliográfica pertinente al diseño de la investigación.	Diciembre/97	Junio/98
1.	1.2	Selección de huertos y montaje de ensayos.	Junio/98	Agosto/98
1.	1.3	Adquisición y habilitamiento de equipos.	Junio/98	-
1.	1.4	Diseño definitivo de los sistemas de evaluación en las unidades en ensayo.	Junio/98	Julio/98
2. Determinación de los umbrales críticos de RDC en frutales.	2.2	Comportamiento del crecimiento vegetativo bajo condiciones de RDC. Evaluación de la productividad del árbol a través de los años. Análisis del efecto del RDC sobre la productividad y calidad comercial de los frutos en las especies estudiadas. Comportamiento en postcosecha de la fruta sometida a RDC.	Agosto de 1998	Abril/99
3. Evaluación de respuestas bajo RDC en el largo, mediano y corto plazo.	3.1	Visitas y Días de campo en las localidades con los grupos participantes; como actividades de capacitación a agricultores, técnicos y profesionales en el sistema RDC en frutales.	Mayo/98	Abril/99

Objetivo	Actividad N°	Descripción	Fecha Inicio	Fecha Término
2.Determinación de los umbrales críticos de RDC en frutales.	2.1	Aplicación de tratamientos de RDC, mediciones de seguimiento y evaluación de ensayos.	Agosto/99	Abril/00
	2.2	Evaluación y seguimiento de parámetros de del crecimiento vegetativo y productivo de los frutales en estudio.	Agosto/99	Abril/00
	2.3	Evaluación de los niveles de ahorro de agua de riego. Evaluación económica del impacto del ahorro de agua generado por RDC, tanto en condiciones donde hay agua (por aumento de superficie regada), y en la incorporación de áreas deficitarias al cultivo de estas especies.	Agosto/99	Abril/00
3.Evaluación de respuestas bajo RDC en el largo, mediano y corto plazo.	3.1	Visitas y Días de campo en las localidades con los grupos participantes; como actividades de capacitación a agricultores, técnicos y profesionales en el sistema RDC en frutales.	Diciembre de 1999	Marzo de 2000
	3.2	Análisis comparativo de la productividad comercial en zonas con dispinibilidad de riego limitada bajo sistemas de riego tradicional y/o tecnificado, versus sistema de riego con DHC.	Mayo/99	Abril/00
	3.3	Evaluación de parámetros de productividad y calidad del crecimiento vegetativo y productivo, y a nivel de postcosecha.	Mayo/99	Abril/00

<b>Objetivo</b>	<b>Actividad N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fecha Inicio</b>	<b>Fecha Término</b>
2.Determinación de los umbrales críticos de RDC en frutales.	2.1	Aplicación de tratamientos de RDC, mediciones de seguimiento y evaluación de ensayos.	Agosto/00	Abril/2001
	2.2	Evaluación y seguimiento de parámetros de del crecimiento vegetativo y productivo de los frutales en estudio.	Agosto/00	Abril/2001
	2.3	Evaluación de los niveles de ahorro de agua de riego. Evaluación económica del impacto del ahorro de agua generado por RDC, tanto en condiciones donde hay agua (por aumento de superficie regada), y en la incorporación de áreas deficitarias al cultivo de estas especies.	Agosto/00	Abril/2001
3.Evaluación de respuestas bajo RDC en el largo, mediano y corto plazo.	3.3	Evaluación de parámetros de productividad y calidad del crecimiento vegetativo y productivo, y a nivel de postcosecha.	Mayo/00	Abril/2001
4.Transferencia y divulgación de resultados.	4.1	Visitas y Días de campo en las localidades con los grupos participantes; como actividades de capacitación a agricultores participantes en el sistema RDC en frutales en estudio.	Mayo/00	Abril/2001
	4.2	Seminario de divulgación y análisis de los métodos y resultados.	Mayo/00	Junio/2001

## 4.2 Actividades y tareas realizadas

**Año N° 1 1998/99**

<b>Objetivo</b>	<b>Actividad N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fecha Inicio</b>	<b>Fecha Término</b>
1. Evaluación del RDC en olivos, cerezo y uva de mesa.	1.1	Actualización y sistematización de la revisión bibliográfica pertinente al diseño de la investigación.	Dic/97	Junio/98
1.	1.2	Selección de huertos y montaje de ensayos.	Junio/98	Agosto/98
1.	1.3	Adquisición y habilitamiento de equipos.	Junio/98	-
1.	1.4	Diseño definitivo de los sistemas de evaluación en las unidades en ensayo.	Junio/98	Julio/98
2. Determinación de los umbrales críticos de RDC en frutales.	2.2	Comportamiento del crecimiento vegetativo bajo condiciones de RDC. Evaluación de la productividad del árbol a través de los años. Análisis del efecto del RDC sobre la productividad y calidad comercial de los frutos en las especies estudiadas. Comportamiento en postcosecha de la fruta sometida a RDC.	Agosto de 1998	Abril/99
3. Evaluación de respuestas bajo RDC en el largo, mediano y corto plazo.	3.1	Visitas y Días de campo en las localidades con los grupos participantes; como actividades de capacitación a agricultores, técnicos y profesionales en el sistema RDC en frutales.		15/dic/99  64 participantes

Objetivo	Actividad N°	Descripción	Fecha Inicio	Fecha Término
2.Determinación de los umbrales críticos de RDC en frutales.	2.1	Aplicación de tratamientos de RDC, mediciones de seguimiento y evaluación de ensayos.	Agosto/99	Abril/2000
	2.2	Evaluación y seguimiento de parámetros de del crecimiento vegetativo y productivo de los frutales en estudio.	Agosto/99	Abril/2000
	2.3	Evaluación de los niveles de ahorro de agua de riego. Evaluación económica del impacto del ahorro de agua generado por RDC, tanto en condiciones donde hay agua (por aumento de superficie regada), y en la incorporación de áreas deficitarias al cultivo de estas especies.	Agosto/99	Abril/2000
3.Evaluación de respuestas bajo RDC en el largo, mediano y corto plazo.	3.1	Visitas y Días de campo en las localidades con los grupos participantes; como actividades de capacitación a agricultores, técnicos y profesionales en el sistema RDC en frutales.		20 Abril de 2000  48 personas
	3.2	Análisis comparativo de la productividad comercial en zonas con disipinibilidad de riego limitada bajo sistemas de riego tradicional y/o tecnificado, versus sistema de riego con DHC.	Mayo/99	Abril/2000
	3.3	Evaluación de parámetros de productividad y calidad del crecimiento vegetativo y productivo, y a nivel de postcosecha.	Mayo/99	Abril/2000

Objetivo	Actividad N°	Descripción	Fecha Inicio	Fecha Término
2.Determinación de los umbrales críticos de RDC en frutales.	2.1	Aplicación de tratamientos de RDC, mediciones de seguimiento y evaluación de ensayos.	Agosto/00	Abril/2001
	2.2	Evaluación y seguimiento de parámetros de del crecimiento vegetativo y productivo de los frutales en estudio.	Agosto/00	Abril/2001
	2.3	Evaluación de los niveles de ahorro de agua de riego.  Evaluación económica del impacto del ahorro de agua generado por RDC, tanto en condiciones donde hay agua (por aumento de superficie regada), y en la incorporación de áreas deficitarias al cultivo de estas especies.	Agosto/00	Abril/2001
3.Evaluación de respuestas bajo RDC en el largo, mediano y corto plazo.	3.3	Evaluación de parámetros de productividad y calidad del crecimiento vegetativo y productivo, y a nivel de postcosecha.	Mayo/00	Abril/2001
4.Transferencia y divulgación de resultados.	4.1	Visitas y Días de campo en las localidades con los grupos participantes; como actividades de capacitación a agricultores participantes en el sistema RDC en frutales en estudio.		18/Abril/2000  61 personas
	4.2	Seminario de divulgación y análisis de los métodos y resultados  Boletines divulgativos		Por Realizar

El proyecto fue ejecutado de acuerdo a lo programado. Solamente se reemplazaron 3 días de campos y charlas técnicas por la realización de tres boletines. La razón para realizar este cambio, acordado con el supervisor, se debe a que en la fecha que correspondía realizar los días de campo y charla los resultados aun no eran concluyentes. Los boletines se entregaran 45 días después de la fecha de entrega de este informe, de acuerdo a lo solicitado en junio del 2001. En esa fecha se realizara el seminario a los agricultores de la quinta región, lugar donde se aprovechara de entregarles los boletines.

## **5.- Resultados del proyecto**

En los anexos se presenta en detalle los resultados obtenidos en Olivos; Nogales y Vides de Mesa.

## **6.- Problemas enfrentados durante la ejecución del proyecto**

Durante la ejecución del proyecto no se presentaron problemas legales, técnicos, administrativo y de gestión. Solamente los indicados en el punto 3.2 (ampliación del plazo de ejecución del proyecto) y 4.2 (cambio de actividades de difusión)

## 7.- Calendario de ejecución y cuadro resumen de costo

Consolidado Enero 1998-Junio 2001

ASIG.	DETALLE	Total	Informe N° 1	Informe N° 2	Informe N° 3	Informe N° 4	Informe N° 5	Informe N° 6	Informe N° 7 (a Junio)	Saldos	Total Real
		Programado	Real								
	PERSONAL	22.677.554	1.605.312	3.211.039	3.319.266	3.372.159	3.542.982	3.179.714	3.547.958	899.124	21.778.430
01	SUELDOS	22.677.554	1.605.312	3.211.039	3.319.266	3.372.159	3.542.982	3.179.714	3.547.958	899.124	21.778.430
02	HONORARIOS									-	-
	OPERACIÓN	11.917.270	35.500	1.774.063	874.001	1.001.225	2.015.611	1.627.668	4.206.138	383.064	11.534.206
01	JORNALES						33.333	186.665	399.991	(619.989)	619.989
01	VIATICOS		33.600	387.710	179.600	105.726	320.200	322.800	901.800	(2.251.436)	2.251.436
02	COMBUSTIBLES LUBRICANTES			159.250	280.365	348.020	565.100	391.460	880.166	(2.624.361)	2.624.361
10	MATERIALES Y SUMINISTROS			1.092.801	146.256	197.512	537.597	331.176	1.424.585	(3.729.927)	3.729.927
11	OTROS SERVICIOS GENERALES		1.900	134.302	267.780	349.967	559.381	395.567	599.596	(2.308.493)	2.308.493
		11.917.270			-					11.917.270	-
	DIVULGACION	1.435.303	-	-	-	-	-	185.000	-	1.250.303	185.000
01	SEMINARIOS, PUBLICACIONES	1.435.303						185.000		1.250.303	185.000
02	APOYO LOGISTICO									-	-
	INVERSIONES	8.256.566	-	-	-	-	-	-	-	-	8.256.566
00	COMPRA MATERIAL INVENTARIABLE	8.256.566								-	8.256.566
	GASTOS DE ADMINISTRACION	3.043.726	300.000	498.511	419.327	437.339	372.427	359.816	519.525	136.781	2.906.945
	CASTOS DE INFRAESTRUCTURA									-	-
	<b>TOTALES APROBADOS</b>	<b>47.330.419</b>	<b>1.940.812</b>	<b>5.483.613</b>	<b>4.612.594</b>	<b>4.810.723</b>	<b>5.931.020</b>	<b>5.352.198</b>	<b>8.273.621</b>	<b>2.669.272</b>	<b>44.661.147</b>

**Nota:** Falta incluir los gasto que se realizaran para la impresión y edición de los boletines.

## **8.- Difusión de los resultados obtenidos**

Durante la realización del proyecto se realizaron 3 días de campos, como se indica en el punto 4.2. Además se escribirán 3 boletines divulgativos, sobre manejo de riego en cada especie, basado en los resultados del proyecto, los cuales serán entregado 45 días después de la entrega de este informe. La entrega de los boletines a los agricultores de los Andes y San Felipe se realizara junto con un seminario que mostrara los resultados logrados con el proyecto.

## **9.- Impactos del proyecto**

En este punto se presenta los impactos logrados con el proyecto en las tres especies frutales que se incluyeron en el proyecto

### **9.1. Nogal**

Se puede realizar una disminución del 50% del agua aplicada durante la etapa III de crecimiento del fruto sin afectar en forma significativa el crecimiento ni la productividad del cultivo, siempre y cuando se asegure un adecuado suministro hídrico durante las etapas I y II de crecimiento del fruto. La gran duración de esta etapa (mediados de enero hasta finales de marzo) hace que un ahorro del 50% signifique un 27% menos de agua durante toda la temporada.

El déficit hídrico en las primeras dos etapas del fruto no afecta fuertemente la calidad del fruto, pero se observa una tendencia a bajar la productividad del árbol, probablemente por afectar la inducción floral en la temporada siguiente. Esta reducción ha llegado a producir una reducción de 11% en la carga frutal.

### **9.2. Olivo**

Se puede restringir el riego hasta en un 40% sin afectar el desempeño biológico de árbol, siempre y cuando se mantenga un estado hídrico aceptable durante la etapa III del fruto, con potenciales hídricos xilemáticos del orden de  $-2$  MPa. Una estrategia basada en una restricción permanente permite lograr este objetivo. La restricción severa del riego

durante la última fase de desarrollo del fruto (aplicación del 25% de la ETc) afecta fuertemente el tamaño final del fruto, tanto en años de alta carga frutal como de baja carga.

La alternancia de años de alta y baja carga frutal es inherente al cultivo, y no se observó ninguna mejoría en los años de baja carga frutal por efecto de un buen suministro hídrico. Sí se observó una baja en la cantidad de frutos a la cosecha cuando el déficit ocurrió temprano en la temporada. Futuras investigaciones permitirían aclarar las causas de este comportamiento.

El tamaño del fruto y el comportamiento hídrico del cultivo mejoran cuando la humedad del suelo en primavera es adecuado, por lo que riegos en inviernos de escasa lluvia, que mejoren la humedad del suelo en primavera son altamente recomendables.

### 9.3. Vides de mesa

En condiciones de buen almacenamiento de agua en el suelo se pueden efectuar reducciones en aporte hídrico del 13 al 20% sin que las plantas manifiesten ningún síntoma de estrés. Esto indica que el riego invernal, en inviernos de escasa pluviometría, pueden ayudar fuertemente al buen desarrollo del cultivo en condiciones de baja disponibilidad de agua de riego.

Riegos del 60 % de la ETc entre brotación y pinta, del 60% entre pinta y cosecha o del 25% de la ETc en poscosecha, y en suelos con alta capacidad de retención de agua, permiten reducir en un los porcentajes de agua aplicada entre un 13 y un 20% y no afectan el desarrollo de la planta.

El desarrollo de raíces en suelos de tipo franco se ve afectado por condiciones de alto riego, restringiendo el crecimiento de las raíces y el volumen de suelo explorado por las mismas. En este tipo de suelos, la aplicación de riegos 29% mayores a la ETc no favorecen el desarrollo de las plantas y perjudican el crecimiento radicular, probablemente por una deficiente aireación del suelo, existiendo una fuerte relación entre el desarrollo de la parte aérea y el desarrollo de las raíces.

En el predio donde se realizó el proyecto, el agricultor aplica cantidades superiores a las necesidades brutas en un 29%, produciendo problemas de crecimiento en suelos francos probablemente por una disminución en la aireación.. Es necesario hacer notar que los suelos predominante del valle de Aconcagua son los suelos francos.

En resumen los resultados de este trabajo nos permiten disponer de estrategias de riego para la Vid de Mesa que permite disminuir el agua aplicada en periodo de restricción hídricas en porcentajes que varían entre un 13 y 20%.

## 10.- Conclusiones y recomendaciones

A continuación se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas para el cultivo del Nogal; Olivo y Vid de Mesa en lo relacionado a las practicas de riego deficitario controlado.

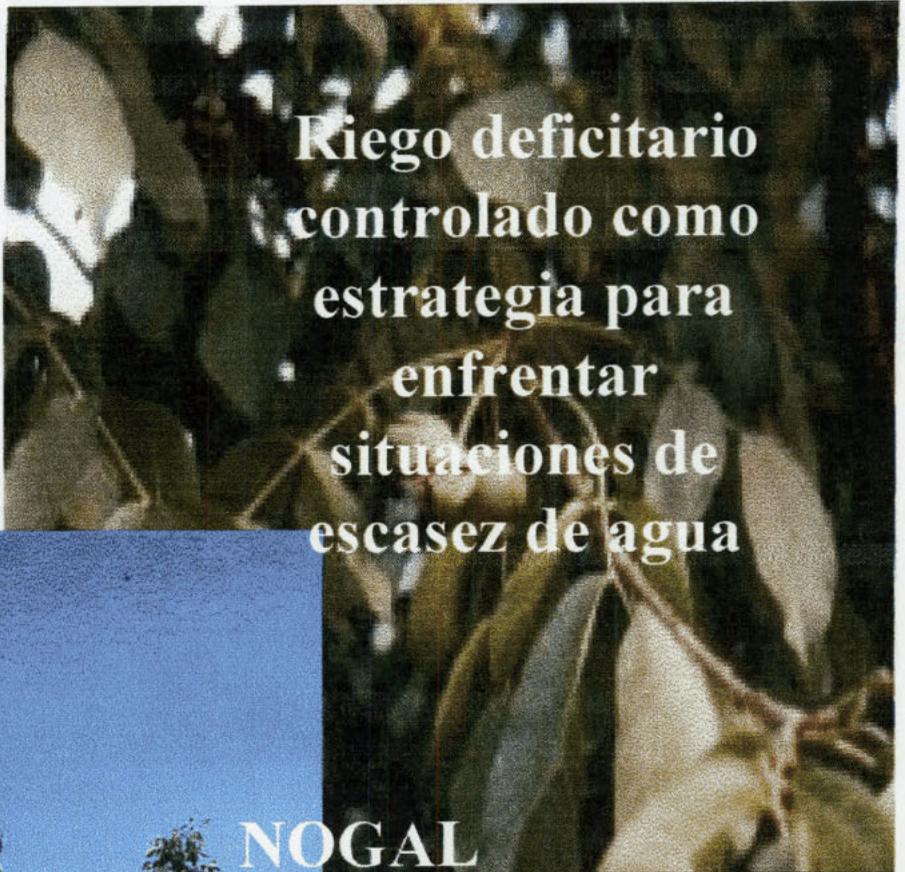
- Los potenciales hídricos xilemáticos son un buen indicador del estado hídrico de las plantas y pueden ser utilizados por los agricultores como una herramienta para controlar el riego, sobre todo cuando se aplican estrategias de riego deficitario controlado.
- De los trabajos realizados se desprende la importancia de contar con un contenido adecuado de humedad en el suelo al inicio de la temporada de desarrollo del cultivo. Ya que esto, favorece la implementación de las técnicas de riego deficitario controlado. Esto se puede lograr con las precipitaciones invernales y en casos de años secos a través del riego en esta estación.
- En el Nogal se puede disminuir el agua aplicada en la fase III en un 50%, lo que significa un ahorro del agua aplicada total de un 27% y en años lluviosos y en suelos con alta retención de humedad se puede disminuir el agua aplicada en la fase I; II y III en un 47% sin afectar los rendimientos.
- En el olivo Restricciones hídricas severas durante la fase III de crecimiento del fruto (aplicación del 25% de la Etc) representan una economía de agua del 35%, sin embargo se afecta el peso final del fruto, tanto en años de baja carga como de alta carga. Una mejor estrategia de riego deficitario parece ser reducción del agua aplicada durante toda la temporada (aplicación del 60% de la Etc del cultivo). Con esta estrategia se logra una economía de agua del 40% y no se afecta el peso final de los frutos, respectos de las otras estrategias de restricción hídrica. Con esta estrategia el déficit es menos severo durante la fase III.

En la vid de mesa en años lluviosos o con riego invernal y en suelos con alta retención de humedad se puede disminuir el agua aplicada entre brotación a pinta o pinta – cosecha en un 40% no produciendo déficit hídrico y por lo tanto no afectando los rendimientos. En la vid de mesa var Sultanina se puede reducir el agua aplicada de un 40% entre brotación y pinta permiten una economía del 20% del agua aplicada total y reducciones de un 40% del agua aplicada entre pinta y cosecha permiten una economía del 13% del agua aplicada total.

## 11.- Anexos



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE AGRICULTURA



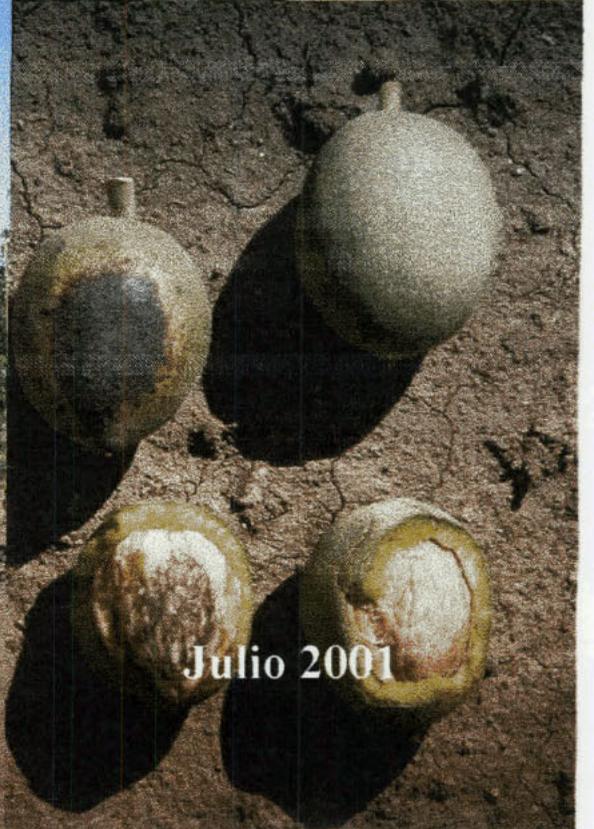
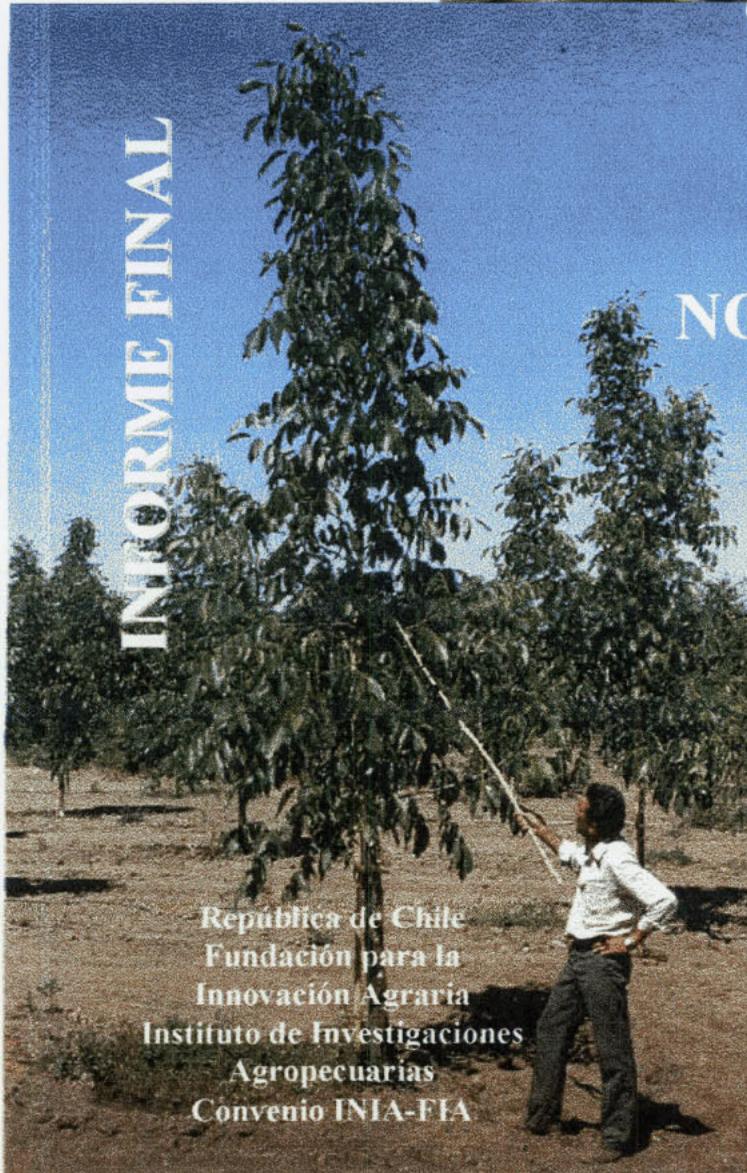
Riego deficitario  
controlado como  
estrategia para  
enfrentar  
situaciones de  
escasez de agua

INFORME FINAL

NOGAL

República de Chile  
Fundación para la  
Innovación Agraria  
Instituto de Investigaciones  
Agropecuarias  
Convenio INIA-FIA

Julio 2001



# **RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO COMO ESTRATEGIA PARA ENFRENTAR SITUACIONES DE ESCASEZ DE AGUA EN NOGALES.**

## **INTRODUCCION**

En las últimas décadas, aún en condiciones normales de precipitaciones, el agua se ha convertido en un recurso cada vez más escaso debido a la mayor demanda originada por el aumento de la población y del desarrollo económico. El desarrollo alcanzado por algunas naciones ha generado, incluso, una fuerte competencia por el agua entre distintas actividades productivas, como son las mineras, industriales y agrícolas.

En el caso de Chile, debido a que la mayor parte de su clima es clasificado como árido y semiárido, no se puede realizar una agricultura sin riego. Tal condición hace que el sector consuma el equivalente al 84 por ciento del agua disponible. Con este recurso, se riega en forma permanente 1,2 millones de hectáreas, es decir el 38 por ciento de los suelos arables, los cuales aportan entre un 60 y un 65 por ciento del producto geográfico bruto sectorial.

Desde fines de la década de los 80, la escasez generalizada de agua para la agricultura generó una fuerte necesidad de crear estrategias orientadas a mejorar la eficiencia de su uso. Un primer paso fue el desarrollo del riego localizado, que permitió aumentar la eficiencia de aplicación del agua de riego desde un 45 por ciento, obtenida en riegos superficiales, a un valor cercano al 90 por ciento. Posteriormente se han desarrollado técnicas de manejo del riego en frutales como es el RDC (Riego Deficitario Controlado) para situaciones de disponibilidad limitada de agua. Esta técnica se basa en reducir la cantidad de agua aplicada en periodos fenológicos poco sensible a la falta de humedad – es decir que no se afecta significativamente el rendimiento ni la calidad de los fruto – y en mantener los riegos en un cien por ciento de las necesidades de los árboles durante los

periodos críticos, generalmente asociados a la floración y a las primeras etapas de desarrollo del fruto

La elaboración de esta estrategia requiere un detallado conocimiento de los periodos críticos del cultivo, es decir, aquellos momentos fenológicos en los que el desarrollo de un estrés hídrico puede disminuir en forma considerable la producción y/o la calidad de la cosecha.

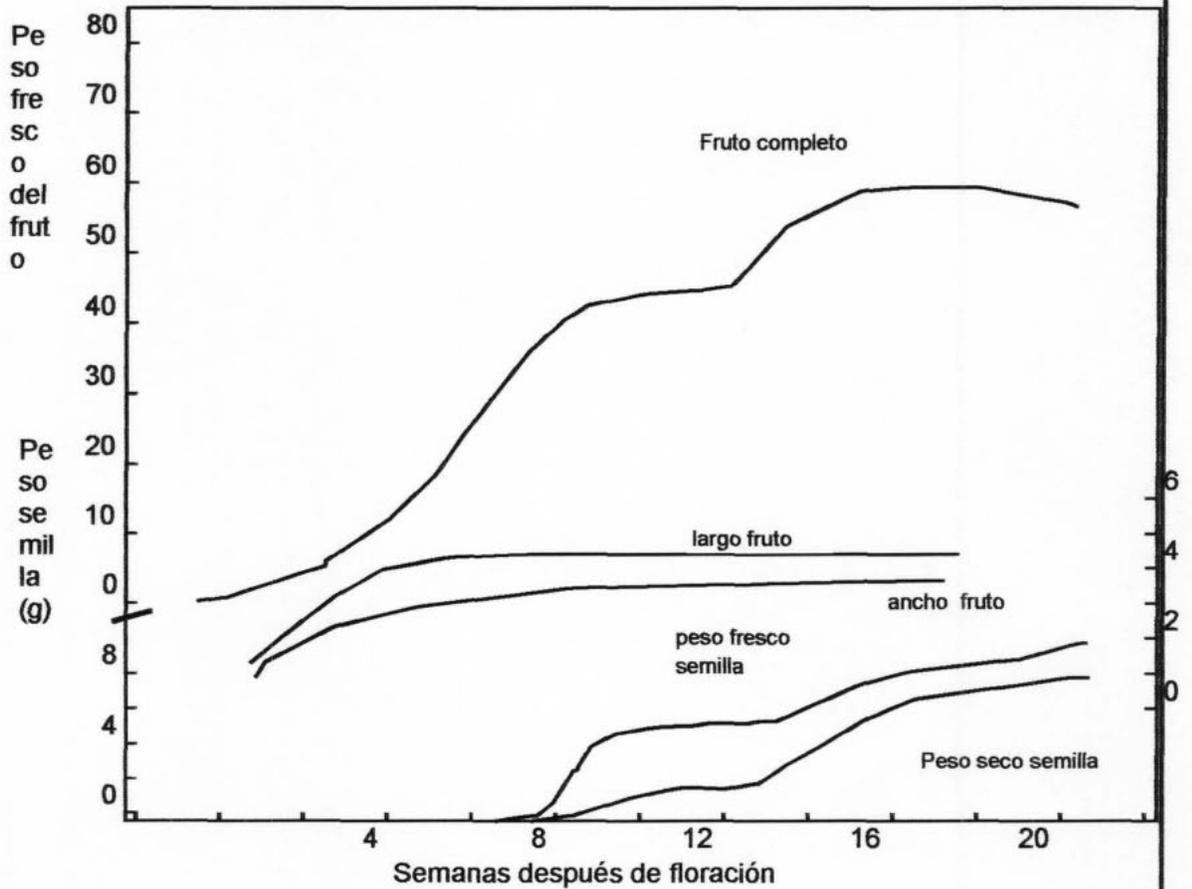
No hay muchos estudios sobre los efectos del déficit hídrico sobre el crecimiento y desarrollo de los nogales, pero en general los existentes indican que la falta de agua o estrés hídrico, resultado de un manejo inadecuado del riego, puede afectar el crecimiento de los árboles, disminuir la producción y afectar la calidad de la nuez. Sin embargo, no todos los estados fenológicos del árbol y del fruto presentan una misma sensibilidad al estrés hídrico, por lo que los déficits de agua en determinados periodos no necesariamente perjudican el crecimiento de las plantas y sus rendimientos, pero si pueden afectar la calidad de la fruta. En relación con esto último, contar con humedad adecuada en el suelo (cercana a la capacidad de campo) durante la primavera es importante para la obtención de frutos de tamaño comercial.

En casos extremos, la falta de agua en el nogal provoca serios daños, tales como amarillamiento prematuro y caída de hojas de ramas terminales, problema que se ve acentuado en suelos poco profundos y de baja retención de humedad. (Martin et al 1980)

Durante el periodo inicial de crecimiento del fruto, entre 5 a 6 semanas después de floración (Figura 1), la escasez de humedad podría producir un gran porcentaje de frutos muy pequeños. La cubierta de la nuez comienza a endurecerse a mediados de diciembre, posteriormente el crecimiento es casi nulo. Por ese motivo el tamaño final de los frutos quedaría definido por la disponibilidad de agua durante la primavera y aplicaciones de agua después que la cáscara se ha endurecido (mediados de verano o más tarde) no incrementarían el tamaño de la nuez. (Cohen et al , 1997)

A pesar que la falta de agua después de las 5 a 6 semanas de floración no tiene ningún efecto sobre el tamaño final del fruto, en ese periodo se inicia el aumento del peso de la nuez por acumulación de aceites, por lo tanto la escasez de agua durante los meses de diciembre, enero y febrero podría afectar el llenado y color del fruto (nueces más livianas y más oscuras con alto grado de cascara más delgada y con problemas de sellados entre valvas). Esto es más evidente en las partes del árbol donde la fruta se encuentra más expuesta al sol. Para evitar dicha pérdida de calidad, en zonas con baja precipitación es recomendable proporcionar riegos durante el invierno, de modo de tener humedad durante la primavera y verano.

Figura 1. Crecimiento del fruto y semilla de nogal



Fuente: Universidad de California

Aunque el nogal es capaz de sobrevivir con un riego reducido, no se conocen experiencias a nivel de campo relacionadas con estrés hídrico en periodos fenologicos criticos.

En, California, en una zona de suelos arcillosos, se comparó durante dos años (1977 y 1978) un riego mínimo con una normal en un huerto de nogal de 8 años de edad de la variedad 'Ashley' (Martin *et al*, 1980). Se tomó un bloque que se dividió en cuatro parcelas, alternando el riego entre parcelas regadas y no regadas. Los árboles regados recibieron 8 riegos, además de la lluvia, con cada uno de los cuales se aportó, en promedio, 1.250 m<sup>3</sup>/ha. Los árboles sin riego se mantuvieron sólo con el agua aportada por lluvias, cuyo promedio en la zona es de 6.750 m<sup>3</sup>/ha.

675 mm

1 mm → 10 m<sup>3</sup>/ha

California.

La adaptabilidad de los nogales sin riego fue evidente durante la primera temporada de crecimiento, en que los árboles sobrevivieron en su totalidad sin síntomas visibles de estrés. No obstante se observó que el crecimiento del tronco en árboles sin riego fue significativamente menor que el de los regados, pero en la segunda temporada cuando el riego se repuso en ambos tratamientos no hubo diferencias (Cuadro 1). Tampoco hubo diferencias significativas en la mayoría de los factores de calidad de la nuez atribuibles al riego en 1977, salvo una reducción de peso de la nuez (21 por ciento menor) en las parcelas sin riego. En la temporada siguiente, cuando se regaron ambas parcelas, se detectó un leve pero significativo incremento en el peso de la nuez en muestras tomadas de parcelas que no fueron regadas el año anterior (Cuadro 1). La causa de este aumento de peso de las nueces no está clara, quizás los árboles conservaron una ventaja marginal en hidratos de carbono para las primeras etapas de crecimiento del fruto en el segundo año.

Cuadro 1. Crecimiento del tronco, peso, valor y calidad del grano en nueces regadas y no regadas, variedad Ashley. 1977 y 1987.

Tratamiento	Crec. tronco (cm)	Peso semilla	Distribución de nueces por factores de calidad (%) <sup>1</sup>							
			Pálido			Comestible			Off grade	Mold
			Pálido (A)	Ambar (B)	Ambar (C)	total (A+B+C)				
<b>1977</b>										
Sin riego (T1)	0,74 a	8,93 a	33,0 a	8,9 a	4,9 a	46,8 a	4,0 a	0,8 a	2,9 a	
Con riego (T2)	1,38 b	11,28 b	35,0 a	7,9 a	2,4 a	45,3 a	4,0 a	0,9 a	3,1 a	
<b>1978</b>										
Con riego 1978(T1)	1,93 a	10,10 b	30,2 a	2,8 a	1,1 a	43,1 a	7,0 a	0,0	15,4 a	
Con riego 1978(T2)	1,59 a	9,48 a	27,4 a	3,2 a	2,1 a	32,7 a	5,5 a	0,0	12,6 a	

<sup>1</sup>Clasificación estandarizada por el USDA

Ramos *et al*, 1978 en un estudio similar, en el Valle de San Joaquín, en nueces "Serr" encontraron que la suspensión del riego durante la primera etapa de desarrollo del fruto provoca una importante reducción de su tamaño (hasta en un 27%) en comparación con plantas bien regadas, mientras que déficits tardíos no se reflejan en el tamaño final de la nuez. Además las nueces ubicadas en lugares del árbol expuestos al sol presentaron menor calidad. Por último, no encontraron diferencias en la calidad entre nueces cosechadas de la parte sombreada de los árboles, ya sea regados o sin riego. El cultivar Serr sería más sensible al estrés hídrico que 'Ashley' o bien el grado de estrés hídrico fue diferente entre los dos experimentos.

Ramos et al (1978) estiman por otra parte que el efecto de un déficit hídrico sobre el crecimiento vegetativo depende del momento en que este se produzca, puesto que los brotes crecen más rápido principalmente durante los dos primeros meses de la temporada, mientras que el engrosamiento de ramas y del tronco continúa durante el resto de la temporada. Por lo tanto, se estima que la disponibilidad de agua durante la primera mitad del verano es vital para promover un buen crecimiento de las ramas.

Charlot (1990), en Francia determinó que aplicaciones de agua mediante goteo, en cantidades equivalentes a 50% de la Etc durante toda la temporada producía menos fruta y nueces de menor calibre que aplicaciones al 75% y 100% de la Etc. El tratamiento con 75% produjo un mayor porcentaje de frutos de calibre superior que arboles regados al 100% de la Etc,

Por lo indicado anteriormente, el Instituto de investigaciones Agropecuarias (INIA), ejecuto en el Valle de Aconcagua un proyecto financiado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) denominado “Riego Deficitario Controlado en frutales, como estrategia para enfrentar situaciones de escasez de agua” cuyo objetivo es aumentar la competitividad de los sistemas frutícolas ante situaciones de limitación de disponibilidad de los recursos hídricos, mediante el desarrollo y validación de paquetes tecnológicos que permitan a los fruticultores incorporar prácticas de manejo del Riego Deficitario Controlado (RDC), basados en la disminución de las tasas de riego normalmente utilizadas, permitiendo así afrontar con éxito los problemas de escasez de agua y/o generar sistemas de optimización del uso de agua en zonas de escasez hídrica permanente, con niveles de productividad y calidad competitivas para frutas de exportación, como también en áreas de secano y/o riego eventual.

A través de este proyecto se implementó un experimento a nivel de campo en un huerto de nogales, ubicado en la comuna de San Esteban, el cual plantea por objetivos:

- Evaluar la aplicación de sistemas de Riego Deficitario Controlado en distintos periodos fenológicos en Nogal, cuantificando sus efectos sobre el crecimiento vegetativo, producción y calidad comercial de frutos.

- Evaluar la respuesta fisiológica del nogal frente a períodos de restricción

# METODOLOGÍA

## Ubicación del ensayo

El ensayo fue realizado entre las temporadas agrícolas 1998/99 a 2000/01 en el predio del Señor Rubén Briones C ubicado en la localidad de Miraflores, comuna de San Esteban, provincia de Los Andes , V Región. Comprende una superficie aproximada de 1,4 has de nogales 'Serr', de 3 años, plantados a 7\*7 m.

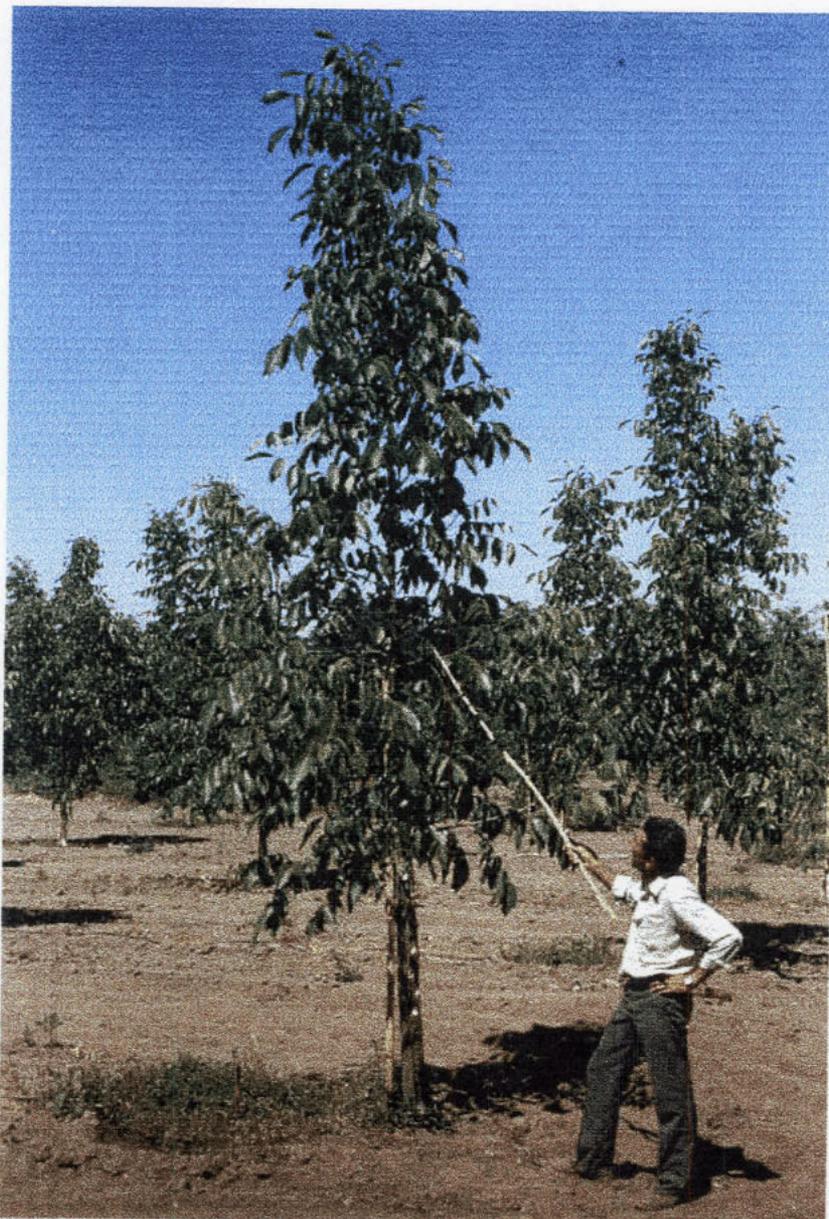


Foto ensayo arboles de tres año (primer año de ensayo)

El clima de la zona es de tipo mediterráneo, con marcada concentración invernal de las precipitaciones y un verano prolongado y seco. El periodo de lluvias está concentrado entre los meses de mayo y agosto, con magnitudes entre los 250 y 450 mm anuales. El periodo seco es de ocho meses. En invierno cae aproximadamente el 70% de las precipitaciones anuales y durante los meses de verano solamente el dos por ciento. La humedad del aire está principalmente influida por el relieve y la distancia al océano, caracterizando a la zona de Aconcagua con veranos de humedad relativa homogénea, entre 55 y 65%, mientras que en invierno oscila entre 60% en el sector oriental y 85% en el occidental. La temperatura media anual de la zona alcanza los 16 °C, con máximas superiores a los 32 °C en verano y mínimas cercanas a los 2,5 °C.

### **Tratamientos de riego**

El ensayo fue regado con un microaspersor autocompensado por planta. Los tratamientos fueron aplicados con aspersores de 95, 70 y 45 L/h para reponer el 100, 70 y 50% de la ETc respectivamente.

El ensayo se dispuso en bloques al azar, con tres bloques y cuatro tratamientos de riego los que fueron:

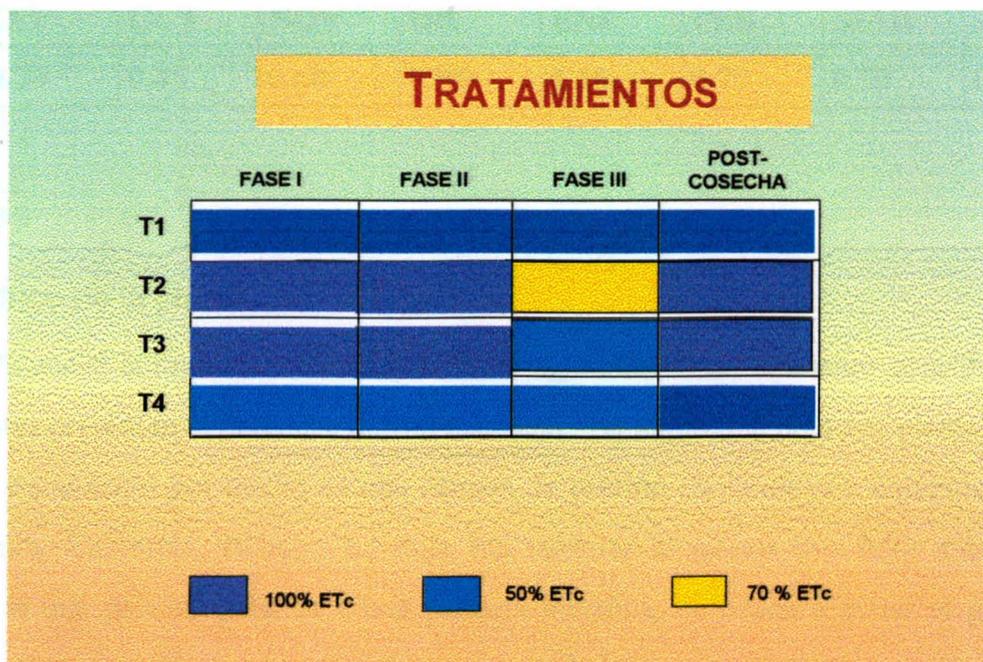
T1: Tratamiento testigo. Se regó con el equivalente al 100% de las necesidades hídricas de los árboles (ETc) durante toda la temporada de crecimiento.

T2: Riego con un 100% de la ETc desde inicios de brotación hasta el final de la etapa II de crecimiento del fruto; riego con un 70% de las necesidades hídricas durante la etapa III.

T3: Riego con un 100% de la ETc desde inicios de brotación hasta el final de la etapa II de crecimiento del fruto; riego con un 50% de las necesidades hídricas durante la etapa III.

T4: Riego con un 50% de la ETc desde brotación hasta la cosecha.

Figura 2. Tratamiento de riego



La evapotranspiración del cultivo (ETc) se calculó en base a la ecuación (Allen *et al.*, 1998):

$$ETc = Eb * Kp * Kc$$

Donde:

ETc: Evapotranspiración potencial del (mm/día).

Eb: Evaporación de bandeja (mm/día)

Kp: Coeficiente de bandeja

Kc Coeficiente de cultivo

El valor de coeficiente de bandeja se estableció en 0,7 (Allen *et al.*, 1998). Los coeficientes de cultivo utilizados se obtuvieron del trabajo de Luis Cariola L, en que se ajustaron los valores de Kc del Nogal para el Valle de Aconcagua (Cuadro 2).

Las cargas de agua que se aplicaron tomaron en cuenta la eficiencia de aplicación del método de riego por microaspersión, considerada en un 85%

Cuadro 2. Coeficiente de cultivo (Kc) del Nogal

Mes	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Kc	0.20	0.45	0.60	0.95	1.10	0.77	0.50	0.20

## Mediciones

### Estado hídrico de la planta

El Potencial hídrico xilemático se midió al mediodía solar, momento considerado en que las plantas presentan el potencial diurno más bajo. Se midió una hoja por planta y nueve plantas por tratamiento por medio de una cámara de presión (Soilmoisture equipment corp, Santa Barbara, California, EUA). La hoja fue cubierta al menos una hora antes de la medición con una película plástica y una película metálica, en orden a evitar el gradiente planta-atmósfera y equilibrar su potencial con el las estructuras que la sostienen, siguiendo la metodología propuesta por Meyer y Reicosky (1985). Se realizaron mediciones periódicas a lo largo de la temporada.

La conductancia estomática (gs) se estimó a partir de la resistencia estomática (rs,  $gs=1/rs$ ) en la mañana (10:00AM), momento en que los estomas se encuentran completamente abiertos (Fernandez *et al.*, 1997) por medio de un porómetro de flujo estable Li 1600 (Li-COR inc. Lincoln, Nebraska, EUA). Se consideraron veintiún plantas por tratamiento y una hoja por planta, con características de hoja adulta y expuesta al sol, en los mismos días que se midió potencial hídrico xilemático.

### Crecimiento vegetativo

En forma periódica se midió el largo de brotes, hasta que no se detectó crecimiento. Se seleccionaron seis plantas por tratamiento y cuatro brotes por planta, orientados hacia los cuatro puntos cardinales.

## Crecimiento de frutos

Periódicamente se midió el diámetro ecuatorial de 10 frutos en doce árboles por tratamiento. Las mediciones se realizaron con un pie de metro.

## Producción

En cada temporada se cosecharon individualmente seis árboles por tratamiento, a los que se les pesó la producción total sin pelón. De cada árbol se extrajo una muestra representativa, en la que se pesaron individualmente los frutos con cáscara y sin ella, y se les evaluó el color y defectos.

## RESULTADOS

### Volumen de agua aplicado

En el cuadro 3 se observan los volúmenes totales de agua aplicados durante la temporada (septiembre a marzo) en cada uno de los tratamientos. La reducción del volumen de agua fluctuó entre el 16 y 47 por ciento en los tratamientos de riego deficitario en comparación con el tratamiento T1.

Cuadro 3. Volúmenes de agua aplicados a los distintos tratamientos de Riego Deficitario o lo largo de la temporada, expresados en M<sup>3</sup>/ha.

Tratamiento	1998/99 3 <sup>a</sup> año	1999/00 4 <sup>a</sup> año	2000/01 5 <sup>a</sup> año	Disminución Agua aplicada promedio (%)
T1	2970,0	7612,0	6766,0	0,00
T2	2401,0	6542,0	5762,0	16,00
T3	1975,0	5828,0	5094,0	27,00
T4	1781,0	3806,0	3383,0	47,00

### Estado hídrico de las plantas

Las mediciones de potencial xilemático en la planta han demostrado ser el indicador más confiable de su estado hídrico, permitiendo establecer con claridad si existe algún efecto de un tratamiento de riego sobre esta.

Los valores de potencial xilemático de la hoja (figura 3), en mediciones realizadas al mediodía, estuvieron proporcionalmente relacionados con el aporte de agua, lo que implica un efecto de los distintos regímenes de riego sobre el estado hídrico de la planta.

En general, todos los tratamientos presentaron una disminución del potencial a lo largo de la temporada. Este fenómeno de reducción del potencial se debe a que la transpiración de la planta excede la capacidad de absorción de agua por las raíces a pesar de que exista un suficiente contenido de humedad en el perfil. Además, se observa que los

valores de potencial se hicieron más negativos en periodos en que el déficit fue más intenso (T3 y T4) (a partir del 30 de Enero aproximadamente inicio de la etapa III).

Figura 3a. Efecto del RDC en nogal (Serr) sobre el potencial xilemático 1998/99

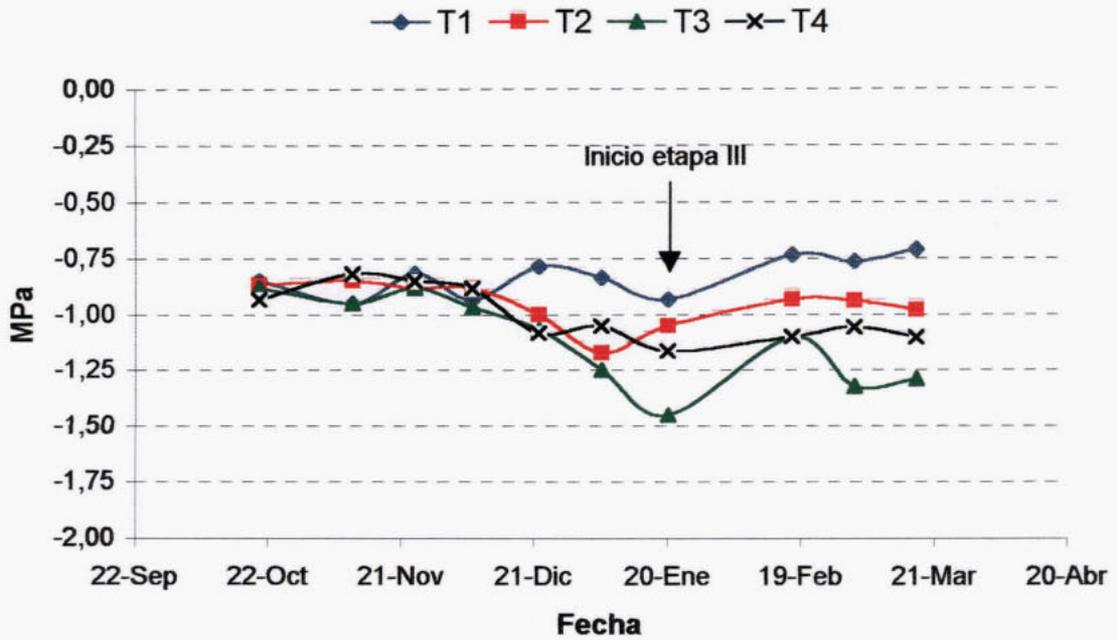


Figura 3b. Efecto del RDC en nogal (Serr) sobre el potencial xilemático 1999/00

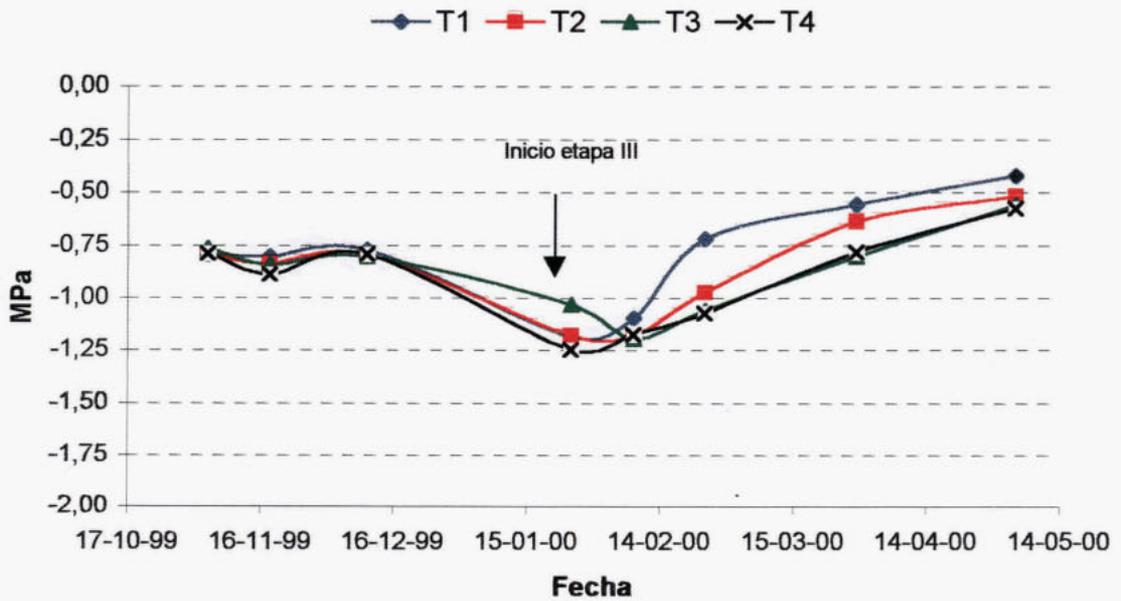
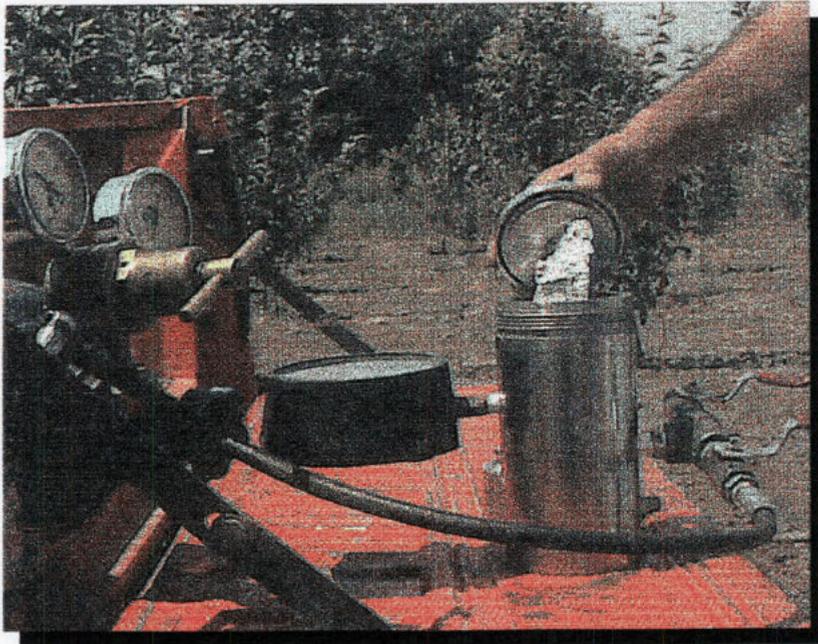
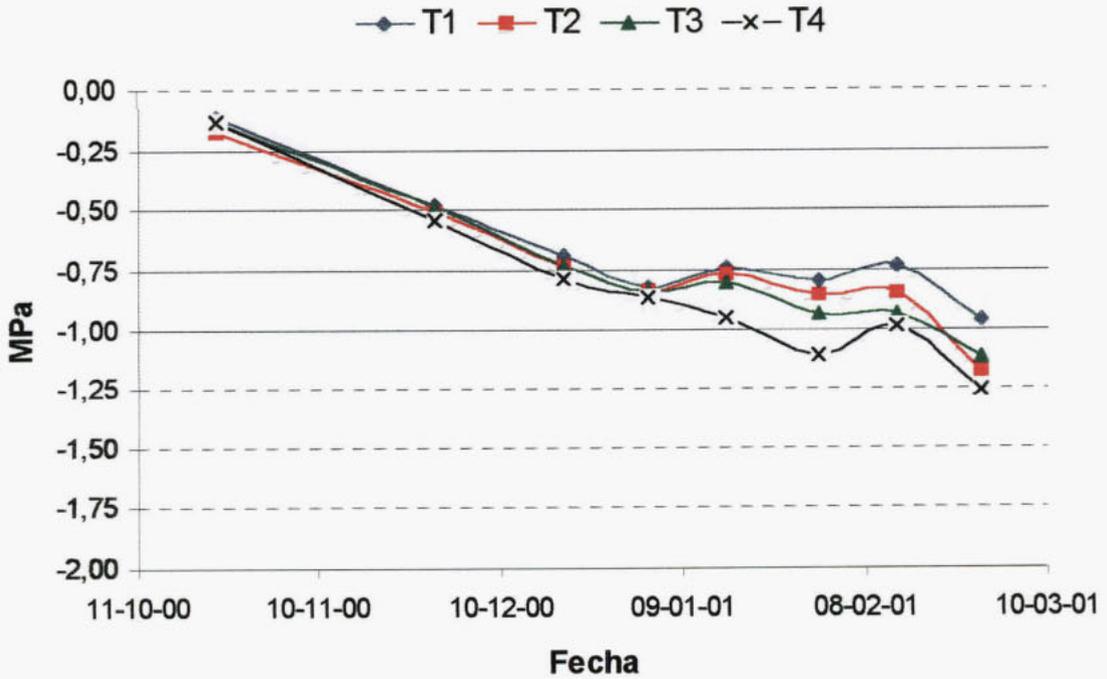


Figura 3c. Efecto del RDC en nogal (Serr) sobre el potencial xilemático 2000/01



Las mediciones de potencial hídrico xilemático realizadas a medio día indican, que los períodos sin déficit de riego los valores disminuyen hasta  $-0.8$  MPa (figura 3). Estos valores descienden a aproximadamente  $-1.0$  MPa cuando se repuso el 70% de la Etc (T2) y a  $-1.2$  MPa en promedio cuando se repuso el 50% de la Etc (T3 y T4).

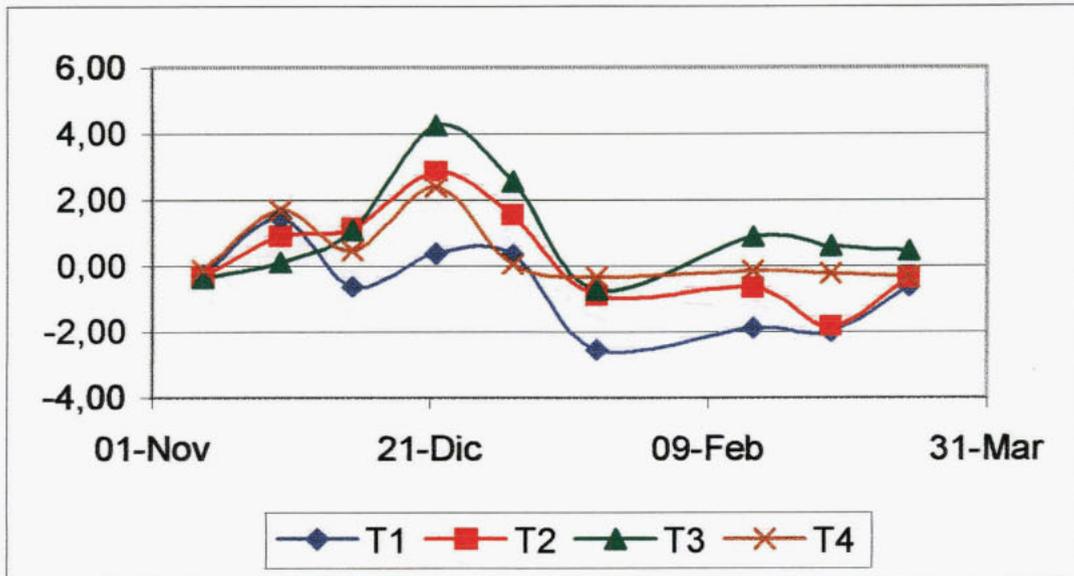
Las mediciones de temperatura de las hojas, junto a la temperatura del aire, permiten también determinar si el aporte hídrico que el suelo entrega a la planta es suficiente para su óptimo desarrollo (Gurovich, 1989).

*→ ¿cuáles son  
normal?*

En la figura 4 se observan los valores del Índice de Estrés Diario (IDD) a través de toda la temporada de producción, obtenidos por diferencia de temperatura entre el aire y la hoja. Los valores menores del índice corresponden a períodos en que se repuso la totalidad de las necesidades de riego (T1) y períodos con estrés mínimo (T2, con 70% de T1), en la medida en que disminuye la disponibilidad de agua para la planta el índice aumenta a valores cada vez más positivos (T3 y T4 durante las etapas tres de crecimiento del fruto)



Figura 4a. Evolución del Índice de Estrés Diario (IDD) durante la temporada. 1998/99



La conductancias estomática se presenta en la figura 5. Los valores menores correspondieron a períodos en que se repuso la totalidad de las necesidades de riego (T1). A medida que disminuyó la disponibilidad de agua para la planta el índice aumentó.

Los valores de conductancias estomática fluctuaron entre 1.25 y 0.25 cm/s. Los valores entre 1.66 a 0.4 corresponden a plantas con un suministro hídrico normal; valores entre 0.4 a 0.25 corresponden a nogales con déficit hídrico (figura 4).

En la figura 5 se muestra la evolución de la conductancia estomática observada en los distintos tratamientos del ensayo, siendo concordante con los potenciales xilemáticos. Tal como se muestra en la figura 5, la mayor conductancias estomática se produce en la época en que los potenciales xilemáticos alcanzan sus valores más negativos. Por otra parte, ambos sucesos se ven afectados a su vez con la mayor demanda evaporativa de la atmósfera.

I 1,6 bien.  
I 0,4  
I 0,25 déficit

Figura 5a. Efecto del RDC en nogal (Serr) sobre la resistencia estomática 1998/99

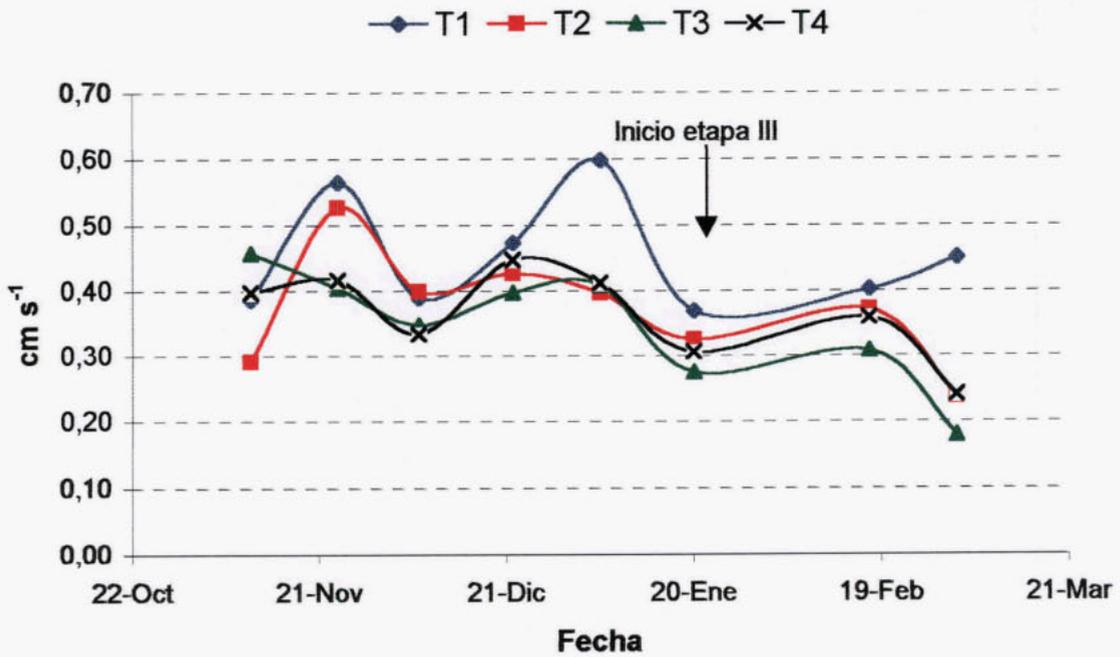
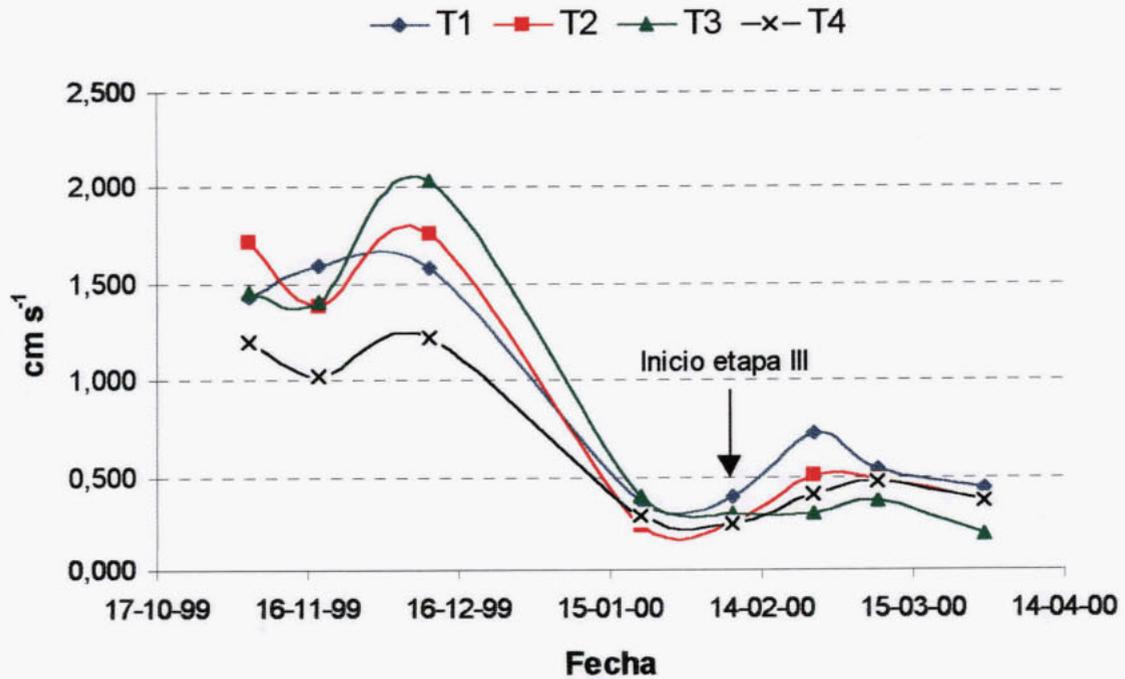


Figura 5b. Efecto del RDC en nogal (Serr) sobre la resistencia estomática 1999/00





A partir de la información anterior se puede señalar que los tratamientos aplicados afectaron el estado hídrico de las plantas. Un resumen de valores del estado hídrico de las plantas con diferentes grados de estrés se presenta en el cuadro 4. El potencial hídrico xilemático es un indicador adecuado del estado hídrico de las plantas y puede ser útil para controlar el estrés hídrico en nogales.

Cuadro 4 Valores medios del estado hídrico de las plantas encontrado durante los periodos de déficit hídricos

<b>Grado de estrés</b>	<b>Potencial xilemático a medio día (Mpa)</b>	<b>T° Hoja - T° Aire (° C)</b>	<b>Resistencia Estomática (cm s<sup>-1</sup>)</b>
<b>Sin estrés</b>	-0,8	-1,5	0,8 – 2,5
<b>Estrés 30% Fase III</b>	-1,0	-1,0	2,5 – 3,0
<b>Estrés 50% Fase III</b>	-1,2	-0,9	3,0 – 4,0
<b>Estrés 50% Fase I; II Y III</b>	-1,2	0,0	2,5 - 3,0

## Crecimiento vegetativo

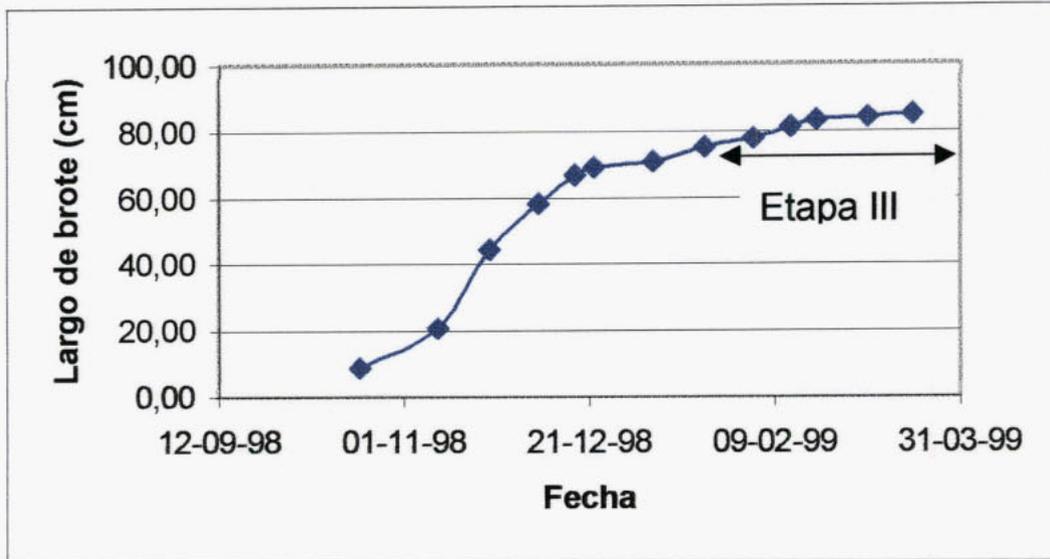
### Crecimiento de brotes

La figura 6 muestra el crecimiento acumulado medio de los brotes seleccionados. En general, la tasa de crecimiento va en aumento desde de la brotación, hasta los inicios del desarrollo del fruto. Posteriormente, la velocidad de crecimiento disminuye hasta el punto de hacerse prácticamente nulo un mes antes de cosecha en todos los tratamientos.

El largo de brotes es un parámetro de crecimiento del árbol con gran variabilidad por lo cual sólo se obtuvieron tendencias que indican que el menor crecimiento lo presentó el tratamiento con riego deficitario durante toda la temporada (T4), seguido de los tratamientos T2 y T3 (70 y 50 por ciento de T1, respectivamente). Los déficit hídricos disminuyeron el crecimiento

de los brotes entre un 12,5 y 7% . La mayor reducción de crecimiento, como se indicó anteriormente, la presentó el tratamiento T4 (Cuadro 5).

Figura 6. Crecimiento de brotes 1998/99 (promedio tratamiento)



### Desarrollo del fruto

La evolución del diámetro de nuez se presenta en la figura 7 donde se observa que el crecimiento máximo del fruto se produce entre octubre y fines de enero (Etapa I y II de crecimiento del fruto) distinguiéndose una etapa de mayor crecimiento entre octubre y mediados de diciembre donde el fruto alcanza el 82 % de su tamaño.

Cuadro 5. Efecto del déficit hídrico en el crecimiento del Nogal

Trat.	Diámetro de la fruto			Largo de brote			Nº de frutos
	(mm)			(cm)			Por árbol
	98/99	99/00	00/01	98/99	99/00	00/01	00/01
T1	51.7a	33.3a	41.1a	92.1a	99.6a	96.2a	836a
T2	51.0a	34.6a	41.2a	83.9a	79.7a	82.4a	860a
T3	50.4a	39.4a	41.5a	84.8a	86.3a	85.4a	876a
T4	48.8a	36.1a	41.8a	79.7a	81.6a	80.5a	748a

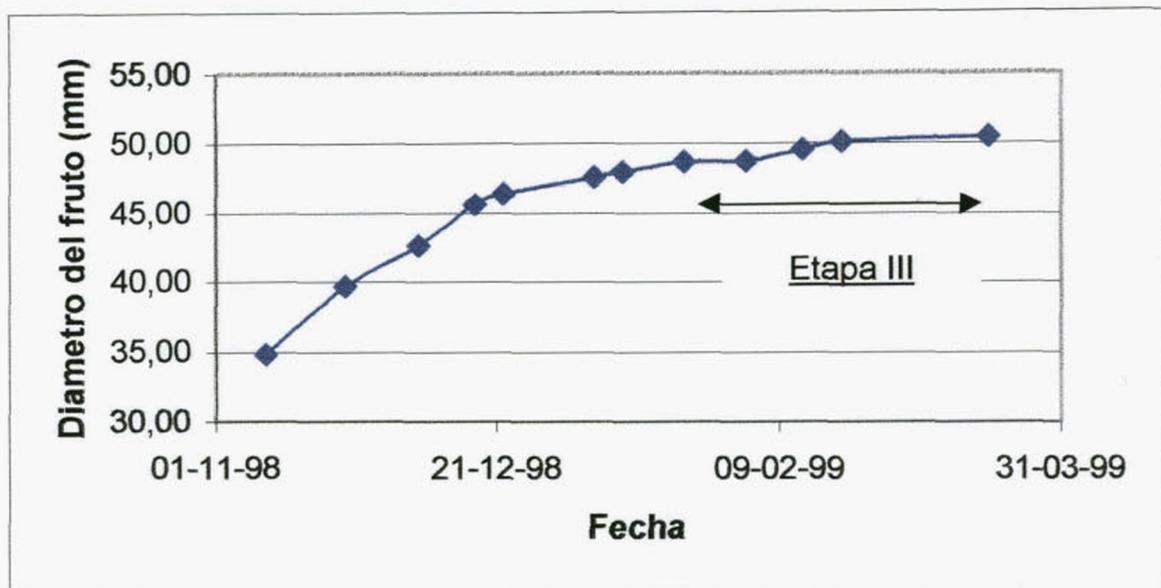
Letras distintas en cada columna indican diferencia significativa (LSD 95%); IAF índice de área Foliar

En el cuadro 5 se observa que el tamaño de fruto no fue afectado por los tratamientos de riego. Esto se puede explicar por que los déficit hídricos en los tratamientos T2 y T3

ocurrieron después del 30 de Enero donde el tamaño de la nuez está definido casi en su totalidad (figura 7) y el llenado de fruto depende en gran medida de la traslocación de fotosintatos. En el caso del tratamiento T4 en el cual el déficit hídrico ocurrió antes y después del 30 de enero, solo en la temporada 98/99 el fruto tendió a ser más pequeño que el de los otros tratamientos, probablemente debido a la baja precipitación invernal de esa temporada (29.7 mm). Las temporadas siguientes presentaron un invierno lluvioso por lo cual la disminución de agua aplicada durante la etapa I y II de crecimiento de fruto fue suplida por el agua de lluvia almacenada en el suelo. Esto concuerda con la información de potenciales hídricos xilémicos (figura 3) los cuales disminuyen con respecto al testigo solamente a partir de mediados de diciembre. La disminución de agua aplicada durante octubre y mediados de diciembre correspondió en la temporada 2000/01 a 1800 m<sup>3</sup>/ha lo que puede ser suplido por 180 mm de precipitación efectiva. Las precipitaciones invernales fueron superiores a este valor (220 y 330 mm respectivamente). Por otra parte, es importante indicar que en primavera (octubre a mediados de diciembre) la demanda hídrica del nogal es baja (360 mm).

Resultados obtenidos por Cohen et al (1997) señalan que el tamaño del fruto no se ve afectado cuando se aplican cantidades de agua equivalentes al 20% de la Etc entre diciembre y marzo, si han recibido el 100% de la Etc en periodos previos. Por otra parte estos autores indican que un déficit hídrico afecta el tamaño cuando este ocurre en el periodo de rápido crecimiento de la Nuez.

Figura 7. Crecimiento del fruto en nogal (Serr) 1998/99 Promedio tratamiento.



## Rendimiento

En el cuadro 6 se muestran los rendimientos obtenidos en los distintos tratamientos de riego. Los tratamientos deficitarios no afectaron significativamente los rendimientos (Cuadro 6), sin embargo en la temporada 2000/01 se aprecia una disminución, no significativa del punto de vista estadístico, del 15% del rendimiento en el tratamiento que estuvo sometido a un déficit permanente (T4) (Fase I, II y III del crecimiento del fruto). La razón porque los déficit hídricos no afectan los rendimientos es la misma de señalada para el crecimiento del fruto. Respecto a la disminución de rendimiento en el tratamiento T4 esta se podría explicar por el menor número de fruto observados en este tratamiento la temporada 2000/01, ya que no existió diferencia en el peso promedio de los frutos (cuadro 5). Este menor número de fruto se podría deber a que este tratamiento afectó la inducción floral el año anterior. La diferenciación floral comienza a fines de primavera y principio de verano, periodo en que este tratamiento se podría encontrarse más estresado que los otros evaluados.

Cuadro 6. Efecto del déficit hídrico en el rendimiento y crecimiento del Nogal

Trat.	Rendimiento (Kg/ha) ?		
	98/99	99/00	00/01
T1	106a ?	624a	2377a
T2	94a	759a	2345a
T3	91a	694a	2476a
T4	73a	811a	2039a

Letras distintas en cada columna indican diferencia significativa (LSD 95%); IAF índice de área foliar



### Calidad del fruto

En el cuadro 7. Se observan diversos parámetros de calidad medidos en muestras de nueces provenientes de los distintos tratamientos de riego deficitario. En éste se observa un mayor porcentaje de nueces de mejor calidad en los tratamientos sin déficit hídrico. Tratamientos con déficit hídrico durante la fase III producen un numero mayor de nueces oscura. En el cuadro 7 se puede observar que la magnitud de los déficits hídricos aplicados no afectó el porcentaje de frutos con golpe de sol sobre todo cuando los arboles eran más adultos.



**Cuadro 7. Efecto del RDC en nogal sobre la calidad de nueces <sup>1</sup>**

Tratamiento	Color 1 y 2 (%)		° Color		golpe de Sol (%)	
	1998/99	2000/01	1998/99	2000/01	1998/99	2000/01
T1	46,67a	80,6a	1,84a	1,91a	6,7a	4,6a
T2	35,56a	71,5a	2,22a	2,13a	13,3a	6,8a
T3	24,44a	72,6a	2,67a	2,24a	10,0a	8,2a
T4	13,33a	73,6a	2,38a	2,04a	22,2a	5,9a

Color: 1(extra claro) 2 (claro) 3 (ámbar claro) 4 (ambar)



## CONCLUSIONES

- La disminución del aporte hídrico durante la fase III permite disminuir el agua aplicada en un 27% sin afectar los rendimientos. Sin embargo se observa una tendencia a disminuir la calidad de los frutos producidos. (Disminución del % de frutos exportables por color). Este efecto se podría aminorar si se adelanta la cosecha.
- Durante años lluviosos y en suelos con alta retención de humedad se puede disminuir el agua durante las fases I, II y III en un 47% sin afectar significativamente los rendimientos. Sin embargo al igual que la disminución del agua, solo en la fase III, se observa una tendencia a disminuir la calidad de los frutos producidos. (Disminución del % de frutos exportables por color).
- Un déficit en la fase I; II y III del orden del 47% podría afectar la diferenciación floral del año siguiente en un 11%. Sobre todo si el déficit hídrico ocurre en un año de baja pluviometría. Sin embargo, para conocer con mayor precisión los efectos en el largo plazo de los déficit hídrico en nogales es necesario analizar un número de años mayor.
- El potencial hídrico xilemático es un indicador adecuado del estado hídrico de las plantas y puede ser útil para controlar estrés hídrico en Nogales.

## BIBLIOGRAFIA

**ALLEN, R. G.; PEREIRA, D.; RAES, D. y SMITH, M. 1988.** Crop evaporation: Guidelines for computing water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper 56, Roma.

**AMÉGLIO, T.; ARCHER, P.; COHEN, M.; VALANCOGNE C.; DAUDET, F.; DAYAU S. and CRUIZIAT P. 1999.** Significance and limits in the use of predawn leaf water potential for tree irrigation. *Plant and Soil* 207 (2): 155-167.

**BATCHELOR, L. 1923.** Methods of Harvesting and irrigation in Relation to moldy walnuts. University of California. Bulletin N° 367, 676-696.

**CHARLOT, G. 1999.** L'irrigation du Noyer. *Infos-Ctifl* (62): 6-10

**COHEN, M.; AMEGLIO, T.; VALANCOGNE, P. y DAYAU, S. 1997.** Yield and Physiological responses of walnut trees in semiarid conditions: Application to irrigation scheduling. *Acta Hort.* 449: 273-280

**COHEN, M.; GIRONA, J.; VALANCOGNE, C.; AMEGLIO, T.; CRUIZIAT, P. y ARCHER, P. 1993.** Water consumption and optimization of the irrigation in orchards. *Acta Horticulture* 335: 349 – 357.

**GERMAN, E.; PRUNET, J.; y GARCIN, A. 1999.** Le Noyer. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Legumes, Paris, Francia. 279 p.

**GIRONA, J.; MATA, M.; GOLDHAMER, D.; JOHNSON, R. y DEJONG, T. 1993.** Patterns of soil and tree water status and leaf functioning during regulated deficit irrigation scheduling in peach. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 118 (5): 580 - 586.

**GOLDHAMER, D.; PHENE, R.; BEEDE, R.; RAMOS, D.; SIBETT, G. y KJELGREN, R.** Hedgerows use more water, but increase efficiency, profit in young walnuts. *California Agriculture.* 49.(4), 25-29.

**GREVE, L.; MCGRANAHAN, G.; HASEY, J.; SNYDER, R.; KELLY, K.; GOLDHAMER, D. y LABAVITCH, J. 1992.** Variation in Polyunsaturated Fatty acids composition of persian walnut. *J. Amer. Soc. Hort* 117 (3): 518-522.

**JONES, M. G.; LAKSO, A. N. y SYVERSTER, J. P. 1985.** Physiological control of water status in temperate and subtropical fruit trees. *Hort. Rev.* 7: 301-344

**LOBATO, A.** Manejo general del riego en nogales. INIA. Centro Regional de Investigación Intihuasi.

**MARTIN, G.; URIU, K. y NISHIJIMA, C. 1980.** The effect of drastic reduction of water input on mature walnut trees. *HortScience* 15 (2): 157-158.

**RAMOS, D. 1998.** Walnut production manual. California University. Division of Agriculture and Natural resources (USA). 319 p.

**RAMOS, D.; BROWN, L. and MARANGONI, B. 1978.** Water stress affects size and quality of walnuts. *California Agriculture*, octubre: 5-6.

**SAMBEEK, J.; and. MCBRIDE, F. 1993.** Grass control improves Early growth of black walnut more than either deep ripping or irrigation. *Annual report* 84: 9-19.

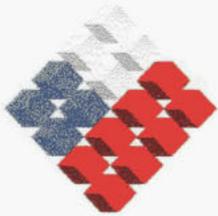
**SANCHEZ-BLANCO, M.; TORRECILLAS, A.; GIRONA, J.; MARSAL, J. y DOMINGO, R. 1995.** Riego deficitario controlado. Mundi prensa. 188 p.

**SCHOLANDER, P. F.; HAMEL, H. T. HEMMINGSEN, E.A. y BRADSTREET, E.D. 1964.** Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of Mangrove and some others plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.* 51: 119-225.

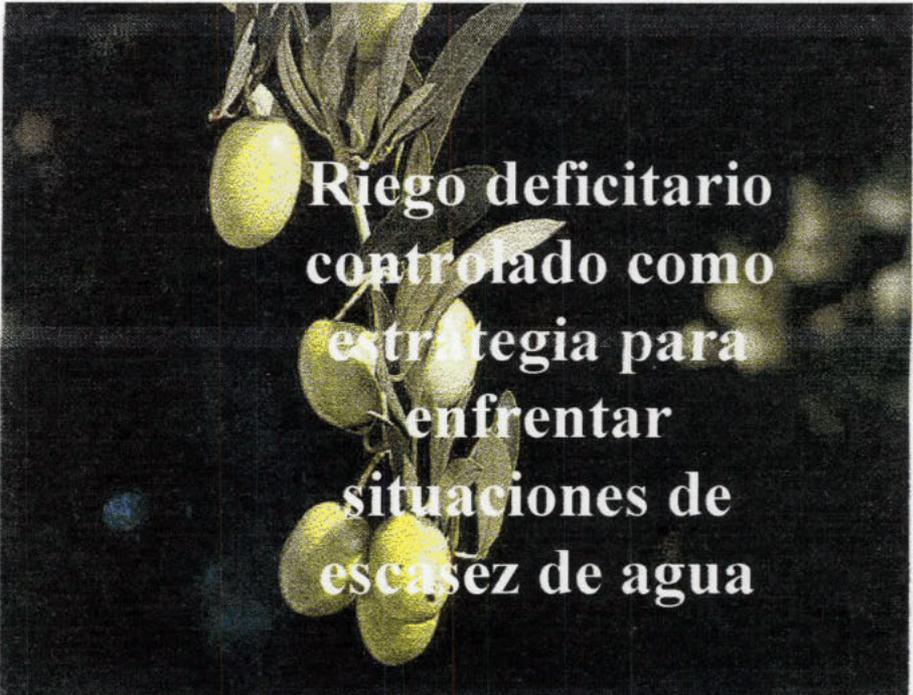
**TEVIOTDALE, B. and SIBBETT, G. 1982.** Midwinter irrigation can reduce deep bark canker of walnuts. *California Agriculture* Mayo-Junio 1982: 6-7.

**TORRECILLAS, A.; RUIZ-SANCHEZ, M.; LEÓN, A. y DELAMOR, F. 1989.** The response of young almond trees to different drip irrigated conditions. Development and yield. *Journal of the Horticultural Science*. 64: 1-7.

**VEIHMEYER, F. 1972.** The Availability of soil moisture to plants: results of empirical experiments with fruit trees. *Northern Nut Growers Association* 114 (4): 269-294.



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE AGRICULTURA



Riego deficitario  
controlado como  
estrategia para  
enfrentar  
situaciones de  
escasez de agua



INFORME FINAL

OLIVO

República de Chile  
Fundación para la  
Innovación Agraria  
Instituto de Investigaciones  
Agropecuarias  
Convenio INIA-FIA

Julio 2001

# RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO COMO ESTRATEGIA PARA ENFRENTAR SITUACIONES DE ESCASEZ DE AGUA EN OLIVOS

## INTRODUCCION

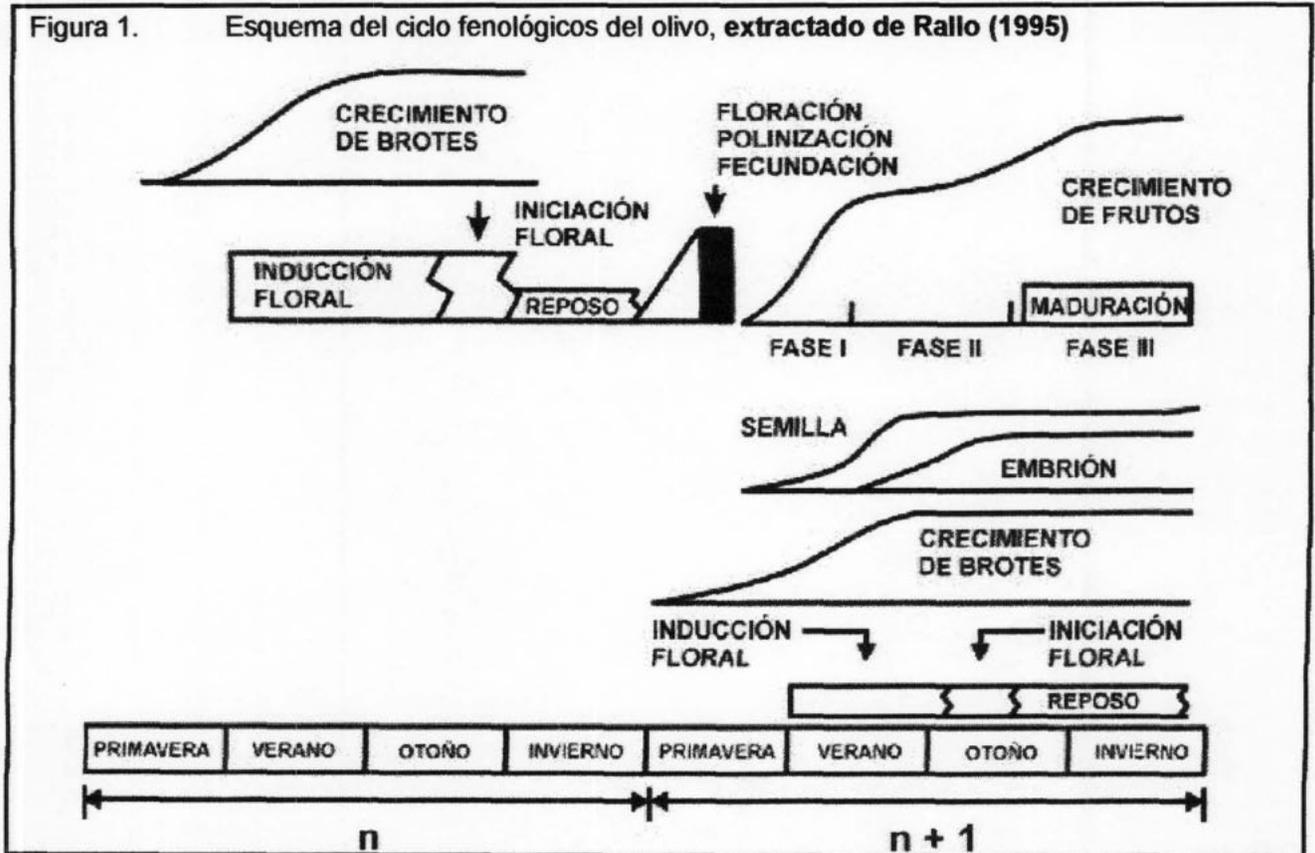
El olivo es una especie perenne, proveniente de la zona del Mediterráneo, en donde la época de mayor crecimiento y desarrollo de los árboles coincide con la época de menores precipitaciones. Tradicionalmente el olivo ha sido cultivado como especie de secano, con precipitaciones anuales que bordean los 400 a 500 mm, aunque hay referencias que ha sido cultivado con precipitaciones menores, del orden de 200 mm anuales. Varios autores sin embargo han demostrado el positivo efecto que tiene el riego sobre la producción, la nutrición y el crecimiento del árbol. (Pastor *et al*, 1995; Nuzzo *et al*, 1997; Androulakis y Loupassaki, 1997; Proietti y Antognozzi, 1996). El efecto del déficit hídrico sobre el árbol ha sido estudiado preferentemente en relación a la situación de secano, o bien respecto a déficits permanentes en toda la temporada de crecimiento, y existe poca información sobre el efecto del estrés hídrico controlado en los diferentes estados fenológicos.

Una característica importante del desarrollo del olivo es su ciclo bienal, es decir, el desarrollo de estructuras florales se realiza en yemas axilares formadas en la temporada anterior. Un esquema del ciclo biológico del olivo se presenta en la figura 1.

La inducción de las yemas es un proceso complejo en el que no están totalmente definidos los agentes que intervienen ni su oportunidad, pero parece muy probable que ocurra muy temprano, junto con la presencia de frutos y del ácido giberélico que sus semillas producen, (Rallo, 1996).

La floración del olivo es posterior a la reactivación del crecimiento en las yemas vegetativas, en el momento en que ellas están en una clara fase activa, mientras que el cuajado de los frutos es contemporáneo a la declinación de esta fase (Poli, 1986; Loussert y Brousse, 1980). Aunque es difícil encontrar un déficit hídrico importante temprano en la temporada en la zona de cultivo tradicional del olivo, Iannotta *et al*. (1996) encontraron que la aplicación de riego reduce el porcentaje de aborto ovárico y aumenta la tasa de cuajado de frutos. Bini *et al*.

(1997) encontraron que la aplicación de riego en primavera y verano favorece el crecimiento de brotes y la floración de retorno. Vidal y Padlog (1972), por el contrario, encontraron que el déficit hídrico en el inicio de la temporada de crecimiento no afecta el número de flores en la siguiente temporada, pero si reduce la cantidad de flores perfectas.



Muchas investigaciones en las que se compara la producción de secano y de riego en el olivo demuestran que el crecimiento del fruto es fuertemente influido por la disponibilidad de agua (Nuzzo *et al.*, 1997; Androulakis *et al.*, 1997; Patuni *et al.*, 1999). Proietti y Antognozzi (1996) Encontraron que la aplicación de riego aumenta el valor comercial del fruto aumentando su tamaño y la relación pulpa/carozo. Sin embargo en otros casos solo se ha encontrado un mejor desarrollo de los árboles, tamaño de fruto y producción cuando se comparan árboles regados con árboles no regados. Diferentes regímenes de riego no han mostrado diferencias entre sí (Michelakis *et al.*, 1994).

El crecimiento del fruto del olivo, como el de cualquier otra drupa, esta caracterizado por una curva de crecimiento de tipo doble sigmoídea, en donde se distinguen claramente tres fases de crecimiento, denominadas fases I, II y III (Tombesi, 1994; Loussert y Brousse, 1980), las que están caracterizadas por fenómenos fisiológicos distintos.

En la primera fase de crecimiento ocurre un notable aumento de tamaño, debido tanto a la división como a la expansión celular, con una duración de aproximadamente un mes (Tombesi, 1994). Durante esta fase se desarrolla el endocarpio o carozo hasta alcanzar prácticamente su tamaño final. Estos procesos de crecimiento iniciales, pueden verse afectados por el aporte hídrico, la carga frutal presente y el estado nutricional del árbol entre otros factores (Poli, 1986; Loussert y Brousse, 1980). Proietti y Antognozzi (1996) determinaron que el mayor efecto del aporte hídrico sobre los frutos de árboles en condiciones de secano fue sobre la división mas que en la expansión celular, manifestando así la importancia de este primer estado de crecimiento del fruto. La primera fase concluye con el inicio del endurecimiento del endocarpio (Tombesi, 1994)

A continuación de la fase descrita, y en un período que va desde los 45 días después de plena flor (DDPF) hasta los 90 DDPF, el crecimiento del fruto disminuye sensiblemente, tanto en diámetro como en peso fresco al tiempo que se produce el endurecimiento del endocarpio y desarrollo del embrión (Tombesi, 1994). Esta fase se denomina fase II.

Finalmente el fruto experimenta un nuevo incremento de tamaño, esta vez debido al incremento del volumen de las células del pericarpio (elongación), denominada fase III. Este crecimiento cesa cuando ocurre el cambio de color de la epidermis que determina el comienzo de la maduración, acompañado de una reducción del porcentaje de agua total y un aumento en el contenido de aceite (Tombesi, 1994; Loussert y Bousse, 1980). Inglese *et al.* (1996), trabajando con el cultivar Carolea en Lameza Terme, Italia, con 480 mm de precipitación anual promedio, encontraron que la aplicación de 80 mm suplementarios de riego en esta etapa aumentó el tamaño del fruto. Al mismo tiempo se observó un aumento del contenido de aceite y de potasio de los frutos, y un retraso en la maduración.

El crecimiento vegetativo, por su parte, se caracteriza por presentar dos períodos de crecimiento, uno a principios de primavera y otro a finales de verano y principios de otoño. El primer período de crecimiento se inicia antes que comience la fase I del fruto y es simultáneo con proceso de diferenciación de las yemas florales. Este crecimiento reduce sensiblemente su tasa al iniciarse la floración y cuajado del fruto (Loussert y Brousse, 1980) . La reducción de la tasa de crecimiento de las ramillas es variable de acuerdo a la carga frutal del árbol, llegando incluso a converger los dos períodos de crecimiento en un solo crecimiento algo ralentizado en los meses de verano en años de poca carga (Rallo y Suarez, 1989, citado por Rallo *et al.*, 1996).

La simultaneidad de los procesos de desarrollo vegetativo y reproductivo a inicios de la primavera significa una fuerte competencia por asimilados y nutrientes minerales entre ambos tipos de centros de crecimiento, y favorece a la manifestación de una de las características productivas más importantes del olivo: el añerismo o vecería (Poli, 1986), ). la que consiste básicamente en la alternancia de años de alta producción (año "on") con años de baja producción (año "off"). Esta alternancia es debida en gran medida a una inhibición de la inducción floral (Rallo, 1994; Poli, 1986; Lavee y Avidan, 1994; Rallo *et al.*, 1994).

Durante los años de alta producción además se produce un bajo crecimiento vegetativo (Lavee y Avidan, 1994) y en los años de baja producción (años de descanso o años off) el proceso se revierte, manifestando el árbol un gran desarrollo vegetativo, tanto de brotes apicales como de brotes anticipados y una mayor floración de retorno incluso en condiciones de baja vernalización (Nigond *et al.*, 1975; citado por Poli, 1986).

Psyllakis (1976) estudió el comportamiento de la alternancia respecto del régimen hídrico en los siguientes parámetros: tamaño medio de brotes, número de racimos florales por metro de brote, número de flores por racimo, número de flores fértiles, número de frutos cuajados, caída de frutos entre cuajado y cosecha, tamaño medio de frutos y contenido de aceite de los frutos. Luego de cuatro años de observaciones, este autor encontró que la aplicación de riego reduce la variabilidad de estos caracteres entre años "on" y años "off", favoreciendo el número de racimos florales, flores fértiles y frutos en los años "off".

La presente investigación busca determinar el efecto del déficit hídrico sobre el crecimiento, la producción y la calidad del olivo cv. Sevillana, aplicado en distintas magnitudes y en diferentes etapas de crecimiento del fruto.

## METODOLOGIA

### Ubicación del ensayo

El ensayo fue realizado entre las temporadas agrícolas 1998/99 a 2000/01, en la localidad de Tierras Blancas, comuna de San Felipe, V Región, en el predio Chacra Santa Isidora perteneciente al Sr. Heriberto Figueroa. Comprende una superficie de 1,1 has aproximadamente, de olivos cv. Sevillana de 8 años de edad y plantados en curvas de nivel, en un marco promedio de 5 x 5m, con los cultivares Empeltre y Ascolana Ternera como polinizantes (15% de las plantas).



La primera y última temporada correspondieron a años de baja carga frutal ( años off) en tanto que la temporada 1999/2000, correspondió a un año de alta carga (año on)

El clima de la zona es de tipo mediterráneo, con marcada concentración invernal de las precipitaciones y un verano prolongado y seco. El periodo de lluvias está concentrado entre

los meses de mayo y agosto, con magnitudes entre los 250 y 450 mm anuales. El periodo *seco* es de ocho meses. En invierno cae aproximadamente el 70% de las precipitaciones anuales y durante los meses de verano solamente el dos por ciento. La humedad del aire está principalmente influida por el relieve y la distancia al océano, caracterizando a la zona de Aconcagua con veranos de humedad relativa homogénea, entre 55 y 65%, mientras que en invierno oscila entre 60% en el sector oriental y 85% en el occidental. La temperatura media anual de la zona alcanza los 16 °C, con máximas superiores a los 32 °C en verano y mínimas cercanas a los 2,5 °C.

### **Tratamientos de riego**

Antes de la aplicación del ensayo el huerto se regaba por surcos en contorno, por lo que se instaló un sistema de riego por microaspersión, con un emisor autocompensado de 45 L/h por planta.

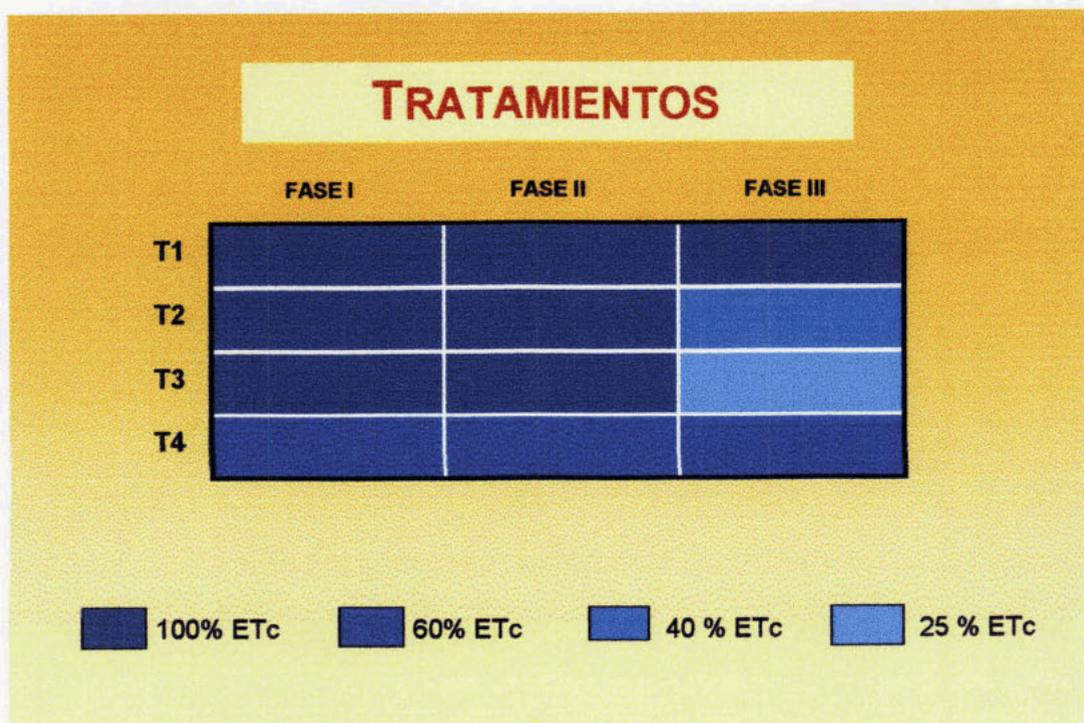
El ensayo se dispuso en un sistema de bloques al azar, con tres bloques y cuatro tratamientos de riego los que fueron:

T1: Tratamiento testigo. Se regó con el equivalente para suplir el 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante toda la temporada.

T2: Riego con 100% de la ETc desde reactivación del crecimiento hasta completar la fase II de crecimiento del fruto y 40% de la ETc en la fase III de crecimiento del fruto

T3: Riego con 100% de la ETc desde reactivación del crecimiento hasta completarse la fase II de crecimiento del fruto y 25% de la ETc en la fase III de crecimiento del fruto.

T4: Riego con 60% de la ETc durante toda la temporada.



La evapotranspiración del cultivo (ETc), se calculó en base a la ecuación ( Allen *et al.*, 1998):

$$ETc = Eb * Kp * Kc$$

Donde:

ETc: Evapotranspiración potencial del cultivo (mm/día)

Eb: Evaporación de bandeja (mm/día)

Kp: Coeficiente de bandeja

Kc: Coeficiente de cultivo

El valor de coeficiente de bandeja se estableció en 0,7 (Allen et al 1998). El coeficiente de cultivo se obtuvo de resultados publicados por Goldhamer *et al.* ( 1994), considerándose un valor de 0,7 para toda la temporada.

Las cargas de agua que se aplicaron tomaron en cuenta la eficiencia de aplicación del método de riego por microaspersión, considerada en 85%.

## Mediciones

### Estado hídrico del suelo.

El estado hídrico del suelo fue evaluado mediante la medición del potencial mátrico, utilizando tensiómetros. Los tensiómetros se instalaron a dos profundidades, 30 cm y 60 cm, en todos los tratamientos.

### Estado hídrico de las plantas

El estado hídrico de la planta no sólo depende del estado hídrico del suelo sino también de la demanda evaporativa atmosférica y de las características de la planta, tales como la distribución radicular y la conductancia hidráulica (Jones et al., 1985). Por tal razón se evaluó directamente el estado hídrico de la planta a través del potencial hídrico xilemático y de la conductancia estomática

El potencial hídrico xilemático se midió por el método de la bomba de presión (Scholander *et al.*, 1965), de acuerdo a la metodología descrita por Meyer y Reicosky (1985). Las mediciones se realizaron en ramillas de un año, ubicadas en el tercio medio del árbol, al medio día solar, momento considerado de que las plantas presentan su potencial diurno más bajo. Se midió una ramilla por árbol en 9 árboles por tratamiento, a lo largo de la temporada de crecimiento

La conductancia estomática ( $g_s$ ) se estimó a partir de la resistencia estomática ( $r_s$ ,  $g_s = 1/r_s$ ) medida un porómetro de flujo estable Li 1600 (LI-Cor inc, Lincoln, Nebraska, EUA). Las mediciones se realizaron a las 10:00 hs, momento en que los estomas se encuentran completamente abiertos (Fernández *et al.*, 1997). Se midió la conductancia de una hoja por planta, con características de hoja adulta, ubicada en el tercio medio del árbol y expuesta al sol, en 21 plantas por tratamiento, en los mismos días que se midió el potencial hídrico .

### Crecimiento vegetativo

En forma periódica se midió el largo de brotes apicales en 12 plantas por tratamiento, los que se marcaron en la última yema formada para evitar confundir crecimiento del ciclo

anterior. De cada planta se seleccionaron cuatro brotes, cada uno orientado hacia un punto cardinal.

### Crecimiento de frutos

Periódicamente se midió el diámetro ecuatorial de 10 frutos en 24 árboles por tratamiento. Las mediciones se realizaron con un pié de metro

### Producción

En Cada temporada se cosecharon individualmente 6 árboles por tratamiento, a los cuales se les pesó la producción total. De cada árbol se extrajo una muestra de representativa de frutos, los que fueron pesados individualmente y diferenciando cada árbol.

### Contenido de aceite (extracto etéreo)

A pesar de que cv. Sevillana es un cultivar de mesa, una vez realizada la cosecha, se realizó una muestra compuesta de 150 frutos de cada tratamiento, a la que se le determinó el porcentaje de materia seca y extracto etéreo por medio del método - - - - -

## RESULTADOS

### Agua aplicada

En el cuadro 1 se muestra las cargas promedio de agua aplicadas, de las tres temporadas a cada tratamiento durante la temporada de riego (octubre a abril). La cantidad total promedio de agua aplicada al tratamiento T1 (100% ETc) alcanzó a 7.720 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> por temporada., el tratamiento que recibió la menor cantidad de agua corresponde al T4. Los mayores volúmenes de agua se aplicaron desde brotación a fin de la etapa II (octubre a fines de enero).

Cuadro 1. Volumen promedio de agua de riego aplicada en los tratamientos (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)

	Riego programado (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )			
	T1	T2	T3	T4
Brotación a fin etapa II	4.261	4261	4261	2.557
Inicio etapa III a cosecha	3.459	1321	785	2.075
<b>TOTAL m3 ha-1</b>	<b>7.720</b>	<b>5.582</b>	<b>5.046</b>	<b>4.632</b>
<b>% de ETc total</b>	<b>100,0</b>	<b>72,3</b>	<b>65,3</b>	<b>60,0</b>
<b>% de Ahorro</b>	<b>0,0</b>	<b>27,7</b>	<b>34,6</b>	<b>40,0</b>

Los volúmenes de agua de riego que recibieron los tratamientos en cada temporada de investigación, se presentan en el cuadro 2. En el mismo cuadro se ha incluido la cantidad de precipitaciones que ocurrieron en el período, las que significaron un aporte adicional de agua. Las precipitaciones se concentraron fundamentalmente entre los meses de junio a septiembre. El año más seco corresponde a la temporada 1998/1999, año de inicio del ensayo, donde la precipitaciones fueron de 27,9 mm. Esto quiere decir que las plantas iniciaron su desarrollo en condiciones de un suelo muy seco. En las temporadas siguientes las precipitaciones fueron de 222,4 y 333,1 mm, para las temporadas 1999/2000 y 2000/01 respectivamente. Durante esta última temporada, 49,3 mm de lluvia cayeron en el mes de marzo del 2001. Las precipitaciones normales en el sector del ensayo son de 250 mm.

Cuadro 2. Aporte anual de agua de riego y precipitaciones en los diferentes tratamientos en cada año del ensayo (mm).

Tratamiento	Temporada 98/99			Temporada 99/00			Temporada 00/01		
	Riego	lluvia	Total	Riego	lluvia	Total	Riego	lluvia	Total
T1	621.9	27,9	649.8	836.3	222,4	1058.7	858.5	333,1	1191.6
T2	480.2	27,9	508.1	591.1	222,4	813.5	603.2	333,1	936.3
T3	444.8	27,9	472.7	529.8	222,4	752.2	539.3	333,1	872.4
T4	373.1	27,9	401	501.8	222,4	724.2	515.1	333,1	848.2

### Estado hídrico del suelo

El control del estado hídrico del suelo se realizó mediante tensiómetros. Los valores medidos presentaron una alta variabilidad, y en muchas situaciones los valores de potencial mátrico del suelo fueron inferiores a los de rango de lectura del instrumento (0 a -70 KPa). Sin embargo indicaron una tendencia del comportamiento del estado hídrico del suelo bajo los distintos tratamientos de riego. En el régimen de 100% de Etc los tensiómetros se mantuvieron en un rango de entre -10 a -40 KPa durante toda la temporada de riego. Estos valores fueron similares para los tratamientos T2 y T3 solo hasta fines de la etapa II de crecimiento del fruto. Posteriormente las lecturas tensiométricas aumentaron, llegando incluso a superar el rango de medición del tensiómetro. En el tratamiento T4 ( 60% de Etc), el potencial mátrico del suelo tendió a ser menor que en los otros tratamientos entre brotación y fines de la fase II en respuesta a la menor cantidad de agua aplicada.

En el régimen de 100% de Etc las lecturas tensiométricas presentaron su mayor variación a 30 cm de profundidad, manteniéndose con una menor variación los potenciales mátricos medidos a 60 cm. Lo anterior indicaría que la mayor parte del agua extraída por los árboles provino de los primeros 30 cm de suelo. En cambio en los otros tres tratamiento el potencial mátrico disminuyó en ambas profundidades (30 y 60 cm). Es necesario señalar que en un número importante de oportunidades los tensiómetros se encontraron fuera del rango de funcionamientos, lo que indica que el potencial mátrico del suelo disminuyó bajo los -80 KPa.

## Estado hídrico de la planta

### Potencial hídrico xilemático

En las figuras 2a, 2b y 2c se muestra la evolución del potencial hídrico xilemático medido a medio día en las tres temporadas de ensayo. El comportamiento del potencial xilemático fue similar en los tres años para los diferentes tratamientos, en el sentido que durante las fases I y II del crecimiento del fruto todos los tratamientos que recibieron 100% de ETc ( T1, T2 y T3), presentaron valores similares, los que fluctuaron entre  $-1.63$  y  $-1.06$  MPa en las tres temporadas. En cambio el tratamiento T4 ( 60% de ETc), para el mismo período presentó valores que fluctuaron entre  $-2$  y  $-1,26$  MPa, en respuesta a la menor carga de agua aplicada desde inicios de temporada. Cabe señalar sin embargo que los valores más bajos de potencial en este tratamiento ( $-2$  MPa) se presentaron en la primavera de la temporada 1998/99, luego de un invierno de precipitaciones anormalmente bajas (29,7 mm). En las temporadas siguientes, con mayores lluvias en invierno, los valores fluctuaron entre  $-1.6$  y  $-1.3$  MPa en este tratamiento.

Posteriormente, durante la etapa III y hasta mediados del mes de marzo, los potenciales hídricos de las plantas sujetas a tratamientos de estrés durante esta fase de desarrollo del fruto (T2, 40% de ETc, y T3, 25% de ETc) bajan hasta llegar a valores mínimos de  $-2$  MPa en el tratamiento T2 y de entre  $-2.1$  a  $-3.4$  en el tratamiento T3. El tratamiento T4 en este período. presentó valores similares a T2 y superiores a T3.

Los valores medidos de potencial xilemático están en el rango señalado por otros autores. Moreno *et al.* (1996) y Fernández *et al.* (1997) tanto en árboles regados ( entre  $-1$  y  $-2$  MPa) como en árboles no regados , entre  $-1$  y  $-3$  MPa. Por otra parte Fernández *et al.* (1997), encontraron que árboles regados con un tercio del agua que plantas bien regadas presentaron potenciales hídricos similares, lo que podría atribuirse a un adecuado control estomático de las pérdidas de agua.

Figura 2a. Potencial xilemático a medio día (MPa), medido en los diferentes tratamientos de riego durante la temporada 1998/1999

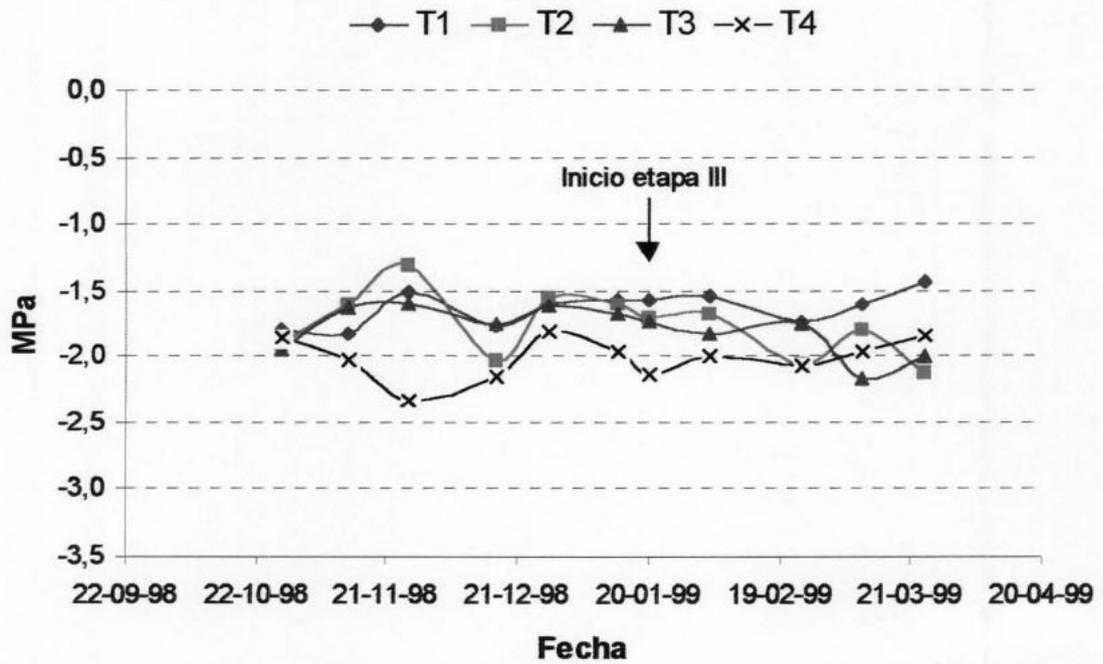


Figura 2b. Potencial xilemático a medio día (MPa), medido en los diferentes tratamientos de riego durante la temporada 1999/2000

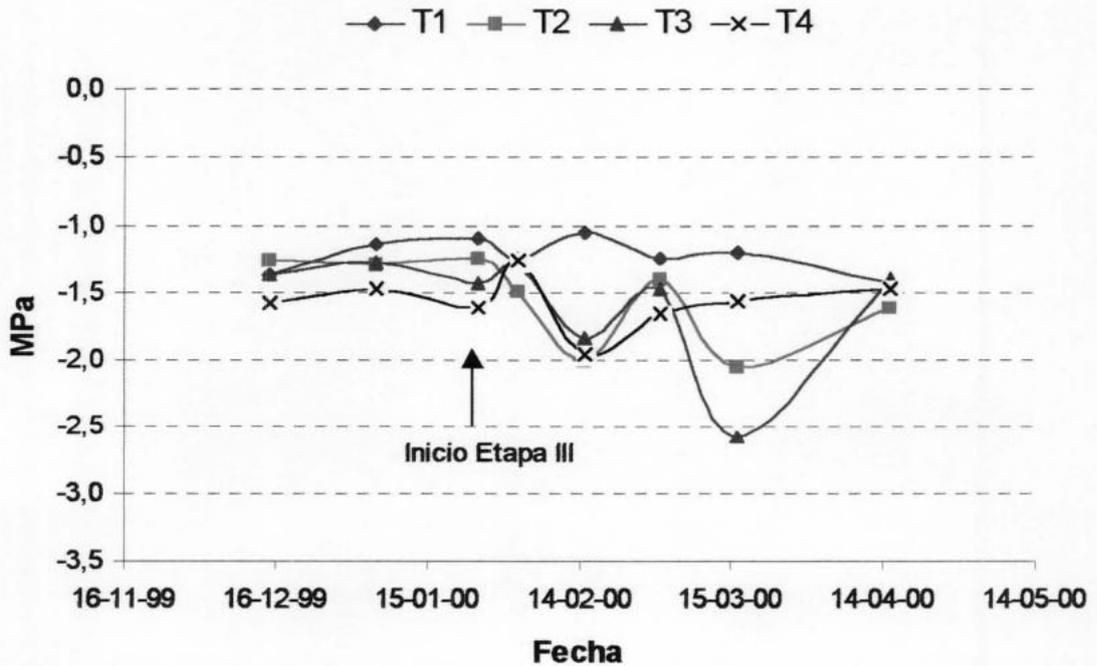
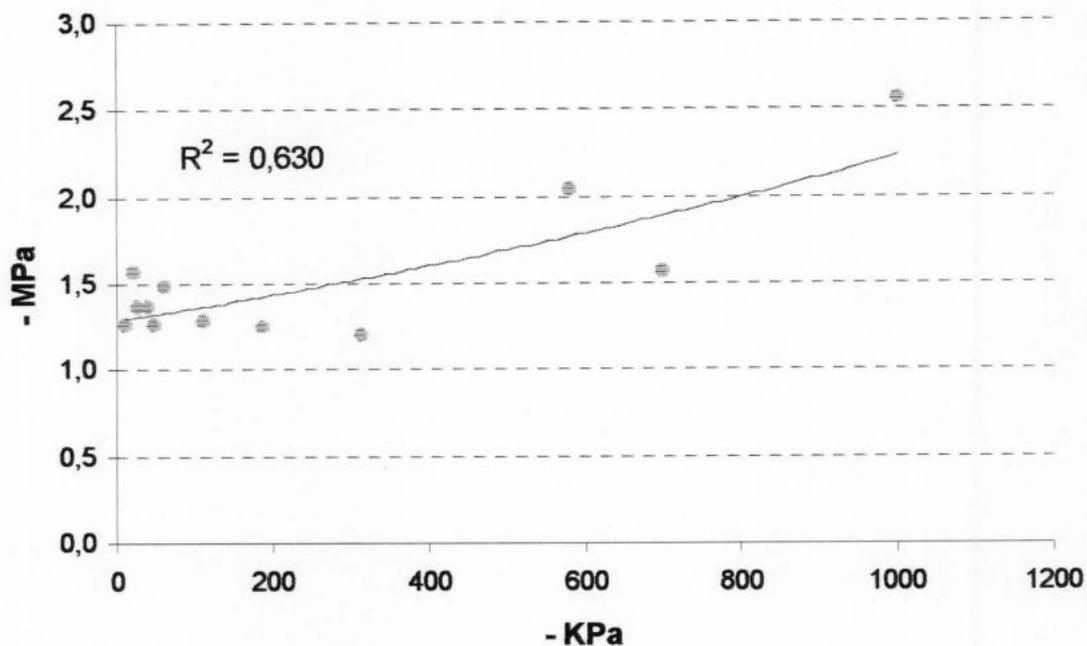


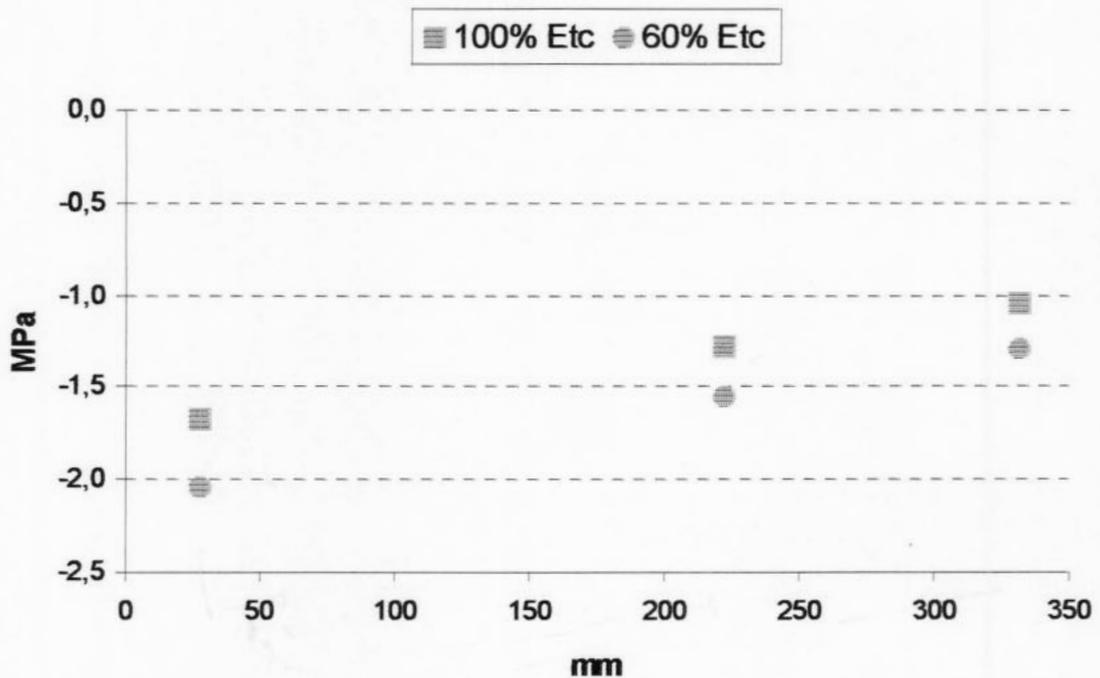


Figura 3. Relación entre el potencial xilemático (MPa), medido a medio día y el potencial mátrico del suelo (KPa)



Como ya se ha indicado, el potencial xilemático medido durante la fase II se mostró estrechamente ligado con las precipitaciones invernales. En efecto, los potenciales hídricos medidos durante esta fase, en la temporada 1998/99, cuando las precipitaciones invernales fueron del orden de 29 mm, fueron inferiores a los medidos en las temporadas siguientes, donde las precipitaciones fueron superiores a los 200 mm (figura 4)

Figura 4. Relación entre el Potencial Hídrico Xilemático ( $\Psi_x$ ), medido en la fase II (MPa) y las precipitaciones invernales de la temporada (mm), en los tratamientos con 100% de ETc (T1) y 60% de ETc (T4)



Lo anterior demostraría la importancia de las lluvias invernales en la recuperación de la humedad del suelo, quedando esta disponible para ser absorbida por las plantas. El hecho de que el fenómeno se observa tanto en plantas bien regadas como las regadas en forma deficitaria (60% de ETc) se podría atribuir a que las raíces de las plantas exploran un volumen de suelo mayor al mojado por los microaspersores. La profundidad de raíces del olivo puede alcanzar hasta 1 m de profundidad (Poli 1986), pudiendo extenderse lateralmente hasta unos 2,5 m del árbol (Fernández *et al.*, 1991)

#### Conductancia estomática

Los tratamientos de riego también se manifestaron en la conductancia estomática (gs), medida a las 10:00 A.M

La figura 5 muestra la evolución de la conductancia estomática durante la temporada 1999/2000 en los árboles con distintos tratamientos de riego. Se observa que el comportamiento de la conductancia estomática es similar al comportamiento presentado por el

potencial xilemático (figura 2b). Una vez iniciadas las restricciones hídricas de los tratamientos T1 y T2 en la fase III, la conductancia estomática de las plantas en ambos tratamientos disminuye respecto del testigo bien regado. El tratamiento regado con el 60% de la ETc durante toda la temporada tendió a presentar una conductancia estomática inferior a los otros tratamientos durante la fase II de crecimiento del fruto. El tratamiento bien regado (T1) presentó conductancias estomáticas que fluctuaron entre 0,8 y 0,4  $\text{cm s}^{-1}$ . En las plantas bajo situaciones de estrés, la conductancia estomática llegó a valores de 0,25  $\text{cm s}^{-1}$ . Valores similares a los medidos en el tratamiento T1 han sido determinados por Fernández *et al.* (1997) en olivos cultivar Manzanillo bajo condiciones de riego, en tanto que en árboles no regados los valores fluctuaron entre 0,6 y 0,3  $\text{cm s}^{-1}$ , en condiciones de máximo estrés (-3,5 MPa).

La relación entre el potencial xilemático medido a medio día y la conductancia estomática se presenta en la figura la figura 6

Figura 5. Conductancia estomática ( $\text{gs, cm s}^{-1}$ ) en la temporada 1999/2000.

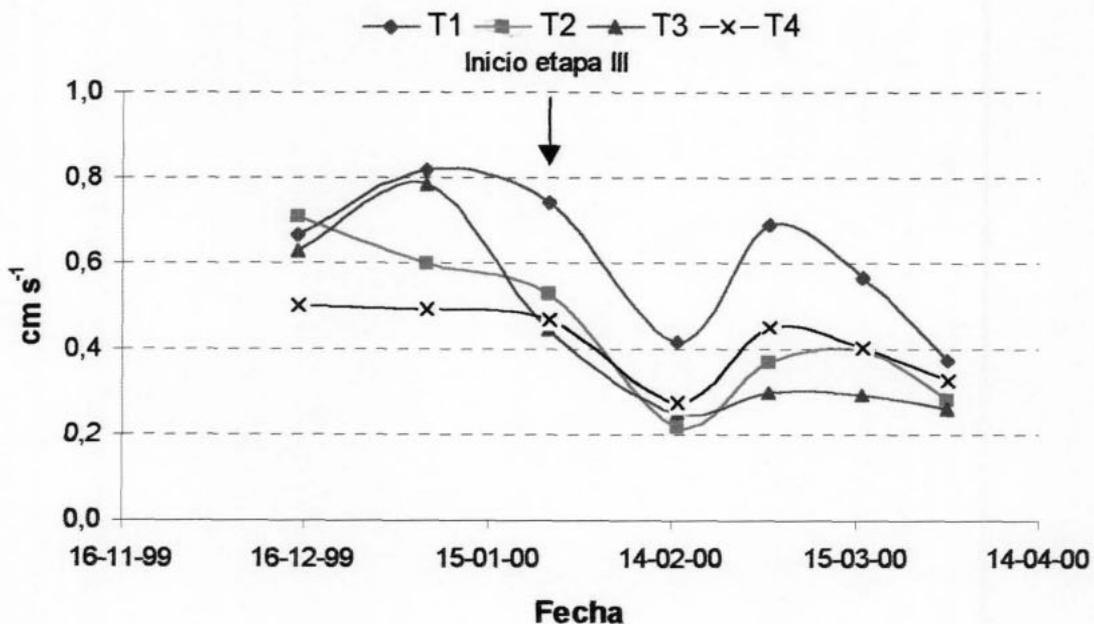
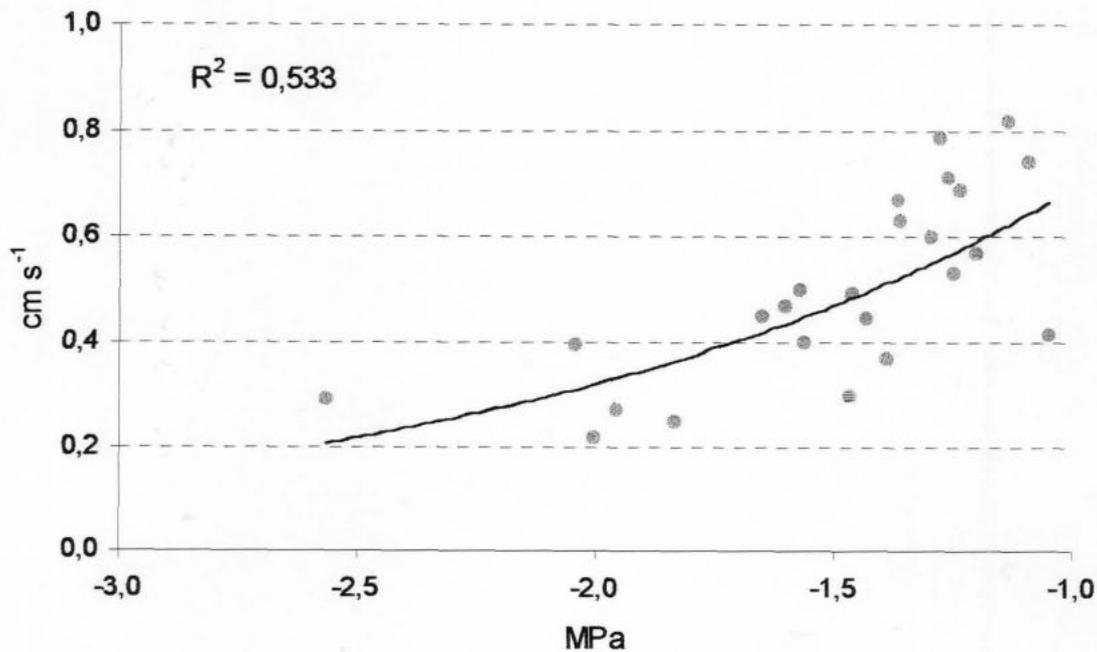


Figura 6. Relación entre el potencial hídrico xilemático ( $\Psi_x$ ) medido a medio día (MPa) y la conductancia estomática ( $\text{gs, cm s}^{-1}$ )

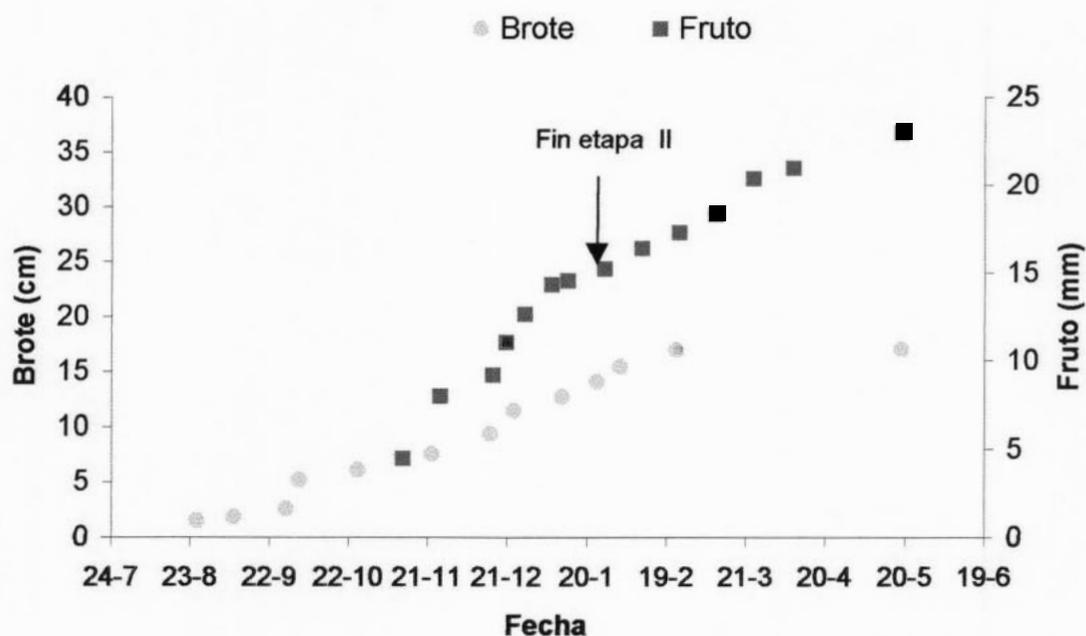


De la figura anterior se desprende que la conductancia estomática disminuye regularmente con el potencial hídrico, no existiendo un valor umbral de cierre estomático. Tendencias similares han sido observados en olivos por Fernández *et al.* (1997) y en otros especies frutales por Fereres *et al.* (1979), Castel y Fereres (1982) y Torrecillas *et al.* (1988).

### Crecimiento vegetativo

En la figura 7 se presenta la curva típica de crecimiento de brotes observada en los árboles regados con 100% de la ETc. El mayor crecimiento de brotes se observa entre primavera y mediados de verano, durante el desarrollo de las etapas I y II de crecimiento del fruto. Posteriormente, cuando los frutos inician su tercera fase de crecimiento, el crecimiento del brote se detiene.

Figura 7. Crecimiento de brotes (cm) y de frutos (mm) en árboles regados con 100% de la ETc (temporada 1998/99)



Metheney *et al.* (1994) encontraron que el crecimiento de brotes se veía disminuido por déficit hídricos inducidos por la aplicación permanente de niveles de agua equivalentes al 55% de la ETc del cultivo. Michelakis *et al.* (1994), en el cultivar Kalamon, encontró un menor desarrollo (altura de plantas, volumen de copa y perímetro de tronco) entre árboles regados y

no regados, sin embargo las diferencias entre estos parámetros no eran claras cuando los riegos se realizaron con potenciales mátricos del suelo de  $-200$  KPa o de  $-1.500$  KPa.

En presente estudio no se observaron diferencias significativas en el crecimiento longitudinal de los brotes en ninguna de las tres temporadas (cuadro 3). El mayor crecimiento de brotes se produce durante la primavera y mediados de verano, antes de que se inicie la fase III de crecimiento de fruto (figura 6), por lo cual es lógico de esperar que no existan diferencias entre los tratamientos que en este período recibieron 100% de Etc, T1, T2 y T3. Estos dos últimos fueron sujetos a déficit hídrico una vez que el crecimiento de los brotes prácticamente se había completado. En relación al tratamiento T4, al que se le aplicó el 60% de ETc desde inicios de temporada, a excepción de la temporada 1998/99, las precipitaciones invernales superaron los 200 mm, lo que habría permitido acumular una cantidad de agua en el suelo, la que fue utilizada por la planta mitigando los aportes reducidos de agua en este período, como se refleja en los potenciales hídricos xilemáticos ( figura 2b y 2c). Durante el primer año de ensayo, a pesar de las mayores condiciones de estrés a las que se vieron sujetas las plantas del T4 en primavera, (figuras 2a y 4) no se detectó diferencias en el crecimiento de las ramillas, lo que podría atribuirse a una alta variabilidad observada entre los distintos árboles. En este tratamiento se observó un menor desarrollo de ramillas laterales que en los otros tratamientos, en la temporada 1998/99, sin embargo este parámetro no fue cuantificado.

Cuadro 3 Largo final del brote apical (cm) en las distintas temporadas y tratamientos

Temporada	T1	T2	T3	T4
98/99	12,55 a	14,69 a	8,33 a	14,21 a
99/00	17,01 a	17,88 a	18,31 a	19,69 a
00/01	13,91 a	8,49 a	12,41 a	10,35 a

Letras distintas en cada fila indican diferencia significativa (LSD 95%)

## Producción

Como ya se ha indicado el olivo es un árbol que se caracteriza por su alternancia en la producción, existiendo años de baja producción (años off) seguidos de años de alta producción (años on). En este ensayo las temporadas 1998/99 y 2000/01, correspondieron a años de baja carga y la temporada 1999/2000 correspondió a un año de alta carga frutal.

### Carga frutal

La carga frutal, a la cosecha, que presentaron los árboles de los diferentes tratamientos durante las tres temporadas se presenta en el cuadro 4. En las dos temporadas de baja producción (1998/99 y 2000/01), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, presentando un alta variabilidad entre árboles, en particular en el primer año de ensayo. En la temporada de alta carga (año on, 1999/2000) existieron diferencias con el tratamiento T4, el cual presentó un menor número de frutos por árbol a la cosecha que los otros tres tratamientos (cuadro 4). Michelakis *et al.* (1994), encontró que en años de alta carga se caían menos frutos en árboles bien regados que en árboles sujetos a déficit o sin riego, cosa que no sucedía en años de baja carga. En el caso de este ensayo el menor número de frutos a la cosecha no se podría atribuir a una caída de frutos en la temporada, puesto que este fenómeno no se observó. Goldhammer *et al.* (1994) encontraron que déficit hídricos severos (entre 40 y 25% de la ETc) durante toda la temporada disminuían la carga frutal en relación a plantas que recibieron mayores aportes de agua. La causa del fenómeno observado en este ensayo en el año de alta carga no esta clara, pero se podría atribuir una menor inducción floral en la temporada anterior, en respuesta al mayor déficit hídrico (figura 2a) que presentaron las plantas en el T4 desde inicios del período de crecimiento, y a un menor número de ramillas laterales que se observaron en este tratamiento.

Cuadro 4. Carga frutal, peso de frutos a la cosecha y producción total de fruta de los tratamientos en cada temporada

Temporada	Frutos/árbol (x 1.000)				g/fruto				Kg/árbol			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
<b>1998/99</b>	0,93 a	0,56 a	0,66 a	1,17 a	8.98a	7.60b	7.16c	6.93c	8.3 <sup>a</sup>	4.3a	4.7a	8.1a
<b>1999/00</b>	19,37 a	18,06 a	19,73 a	15,92 b	3.70a	3.84a	3.35b	3.82a	71.8a	69.3a	66.1a	60.8 <sup>a</sup>
<b>2000/01</b>	1,13 a	1,00 a	1,12 a	1,13 a	7.75a	7.08b	6.72c	6.90bc	7.3a	7.3a	6.3a	7.7a

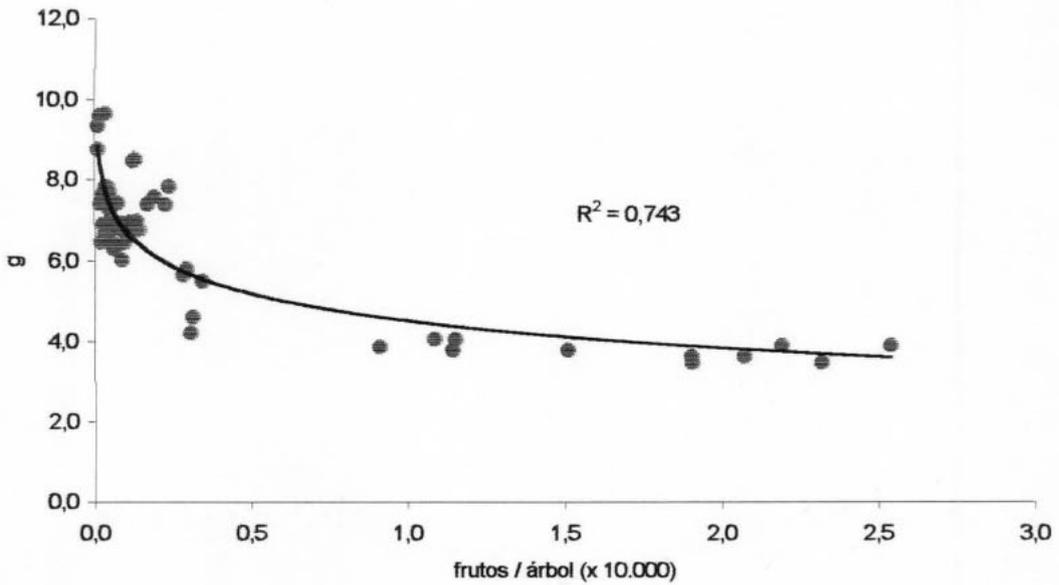
Letras distintas en cada fila indican diferencia significativa (LSD 95%)

### Tamaño de frutos

En los olivos cultivados para producir aceitunas de mesa (como el cultivar Sevillana) el tamaño del fruto es la variable de calidad que más fuertemente influye en el precio del producto, por lo que en este tipo de explotaciones es un objetivo importante alcanzar calibres altos.

Dado que en el olivo existen años de alta carga frutal y años con baja carga frutal, además de las condiciones hídricas de la planta, el tamaño del fruto está estrechamente relacionado con la carga frutal presente. En los años de alta carga frutal, dada la fuerte competencia que existe entre ellos por agua y nutrientes, los frutos son más pequeños que en los años de baja carga frutal (figura 8).

Figura 8. Relación entre el número de frutos por árbol y el peso final de los frutos a la cosecha



Aplicaciones de agua equivalentes a un 60% de la Etc desde inicios de brotación hasta el término de la fase II de desarrollo del fruto provocaron una reducción del diámetro del fruto al término de esta fase sólo durante un año de baja carga frutal (1998/1999), no observándose diferencias en el año de alta carga frutal (1999/2000) como muestra el cuadro 5. Es necesario señalar sin embargo que la temporada 1998/1999, correspondió a un año de bajas precipitaciones invernales (29,7 mm), lo que generó que el tratamiento de 60% presentara desde temprano en la temporada potenciales hídricos xilemáticos del orden de los - 2 MPa (figura 2a). No se realizaron mediciones diámetro de frutos durante la segunda temporada de baja producción (2000/01), donde el estado hídrico de las plantas fue más alto (figura 2c).



Cuadro 5. Tamaño del fruto (mm) al completarse la etapa II en árboles con y sin déficit en las temporadas de alta y baja producción

% ETc aplicado en las etapas I y II	Tamaño del fruto (mm) al completarse la etapa II	
	Alta carga	Baja carga
100%	12,70 a	16,24 a
60%	12,74 a	14,99 b

Letras distintas en cada fila indican diferencia significativa (LSD 95%)

Un fenómeno similar al descrito se observa al comparar el peso final del fruto a la cosecha entre las plantas regadas durante todo el período de crecimiento con 100% -T1- y 60% de la ETc -T4- (cuadro 4). Diferencias significativas en el peso del fruto a la cosecha entre ambos tratamientos se observaron solo en las temporadas de baja carga frutal (1998/99 y 2000/01). Durante la temporada de alta carga frutal el tamaño de los frutos fue similar en los tratamientos T1 y T4. Lo anterior indicaría que en períodos de alta carga frutal, la competencia que se genera entre los frutos por nutrientes y asimilados sería más importante que el efecto de un déficit hídrico moderado durante toda la temporada. Michelakis *et al.* (1994), en la variedad Kalamon, no encontraron diferencias en el tamaño del fruto entre árboles regados y no regados, sin embargo la diferencia de tamaño de los frutos tendió a ser mayor en los años de menor carga frutal.

Por otra parte, aplicaciones de déficit hídrico solo en la fase III de crecimiento del fruto (tratamientos T2 y T3), afectaron el peso final de los frutos a la cosecha (cuadro 4). Restricciones hídricas severas (aplicación del 25% de la ETc, T3) afectaron el peso final del fruto tanto en los años de baja carga (1998/99, 2000/01) como en el año de alta carga (1999/2000). La aplicación de un 25% de la ETc durante la fase III de crecimiento de fruto significó que las plantas alcanzaran potenciales hídricos xilemáticos mínimos de entre  $-2,5$  a  $-3,3$  MPa en los meses de febrero a marzo (figuras 2a a 2c). Déficit hídricos severos en la etapa III afectan el tamaño del fruto a la cosecha, independiente de la carga frutal presente en los árboles. Este tratamiento presentó un tamaño de frutos a la cosecha similar al T4, que recibió restricción hídrica durante toda la temporada, durante los años de baja carga. Incluso durante el año de alta carga el tamaño del fruto fue mayor en el tratamiento T4.

Restricciones de agua más moderadas en esta fase (40% ETc, T2) afectaron el peso final del fruto solo en los dos años de baja carga frutal (cuadro 4). Este tratamiento (T2), sin embargo, presentó un mayor peso de frutos a la cosecha que T3 y similar a T4 en dos de las tres temporadas estudiadas. Las diferencias entre ambos tratamientos se produjeron en el año de bajas precipitaciones (1998/99). Baratta *et al.* (1985) y Inglese *et al.* (1996) señalan que aplicaciones de agua durante el período de crecimiento del mesocarpio (fase III) aumentan el peso de la fruta.

## Rendimiento

En el presente ensayo, en variedad Sevillana, la producción sufrió importantes variaciones interanuales debido a la carga frutal que presentaron los árboles como consecuencia del añerismo que caracteriza a esta especie, no observándose diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los tres años de ensayo (cuadro 4). La producción es consecuencia de la cantidad de frutos presentes en el árbol y del tamaño de los frutos. Los efectos producidos por los tratamientos de riego sobre estos componentes del rendimiento no habrían sido lo suficientemente fuertes para afectar la producción final de los árboles bajo las condiciones de riego que se establecieron en el ensayo.

Los resultados obtenidos por otros investigadores muestran resultados claros del efecto del riego cuando se comparan situaciones con y sin riego, sin embargo cuando se compararan

distintos regímenes de riego los resultados no son tan evidentes. Nuzzo *et al.* (1997), en el cv. Coratina, y Michelakis *et al.* (1994), en el cv Kalamon, encontraron mayores rendimientos en plantas regadas que aquellas no regadas, sin embargo estos últimos autores no encontraron diferencias entre los diferentes tratamientos de riego que utilizaron, concluyendo que un buen desarrollo de la planta, producción y calidad de fruto y una adecuada economía de agua se lograba cuando los riego se realizan cada vez que el potencial mátrico del suelo llega a  $-1,5$  MPa. Por otra parte, Goldhammer *et al.* (1994), en el cv Manzanillo, encontraron un 48% de disminución de rendimientos al reducir la cantidad de agua aplicada durante toda la temporada de 100% de la ETc al 55% de la ETc. Inglese *et al.* (1996), en el cv. Carolea, encontraron mayores producciones en árboles regados en la fase III de crecimiento de frutos que en árboles no regados. Estas diferencias se podrían atribuir a diferencias entre los distintos cultivares, y a las diferentes condiciones ambientales existentes en los lugares de ensayo (disponibilidad de agua en el suelo, lluvia, temperatura, entre otros factores).

### Contenido graso

A pesar que el cv. Sevillana es un cultivar de mesa, se realizaron análisis de extracto etéreo de todos los tratamientos al momento de la cosecha, no encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos de riego en ninguno de los tres años de ensayo (cuadro 6). Sin embargo en los años de baja producción, el contenido de grasas de los frutos fue más alto que en la temporada de alta producción, manifestando una fuerte dependencia de la carga frutal (figura 9).

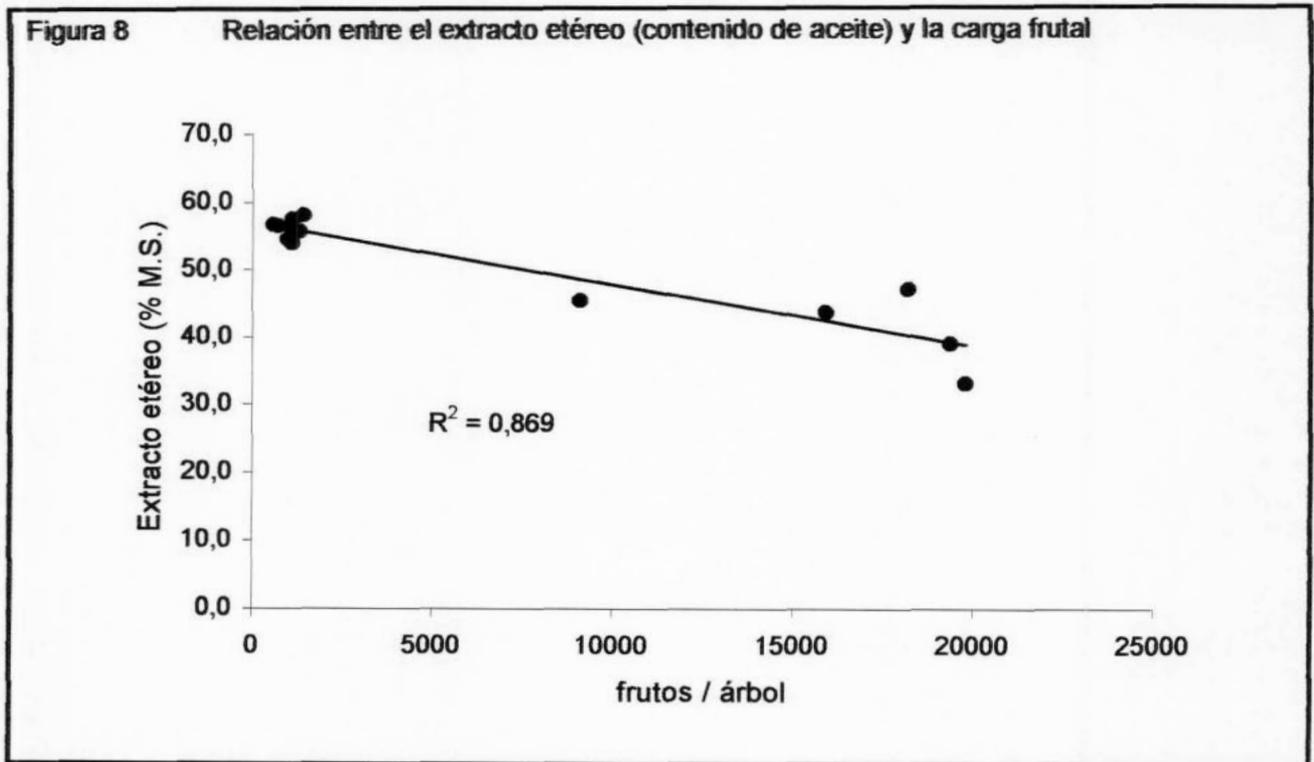
Cuadro 6. Contenido de grasa (Extracto etéreo, en % base materia seca)

Tratmiento	98/99	99/00	00/01
T1	56.35 a	38.77 a	57.43 a
T2	56.65 a	46.94 a	54.54 a
T3	56.45 a	32.95 a	53.99 a
T4	55.65 a	43.46 a	58.00 a

Letras distintas en cada fila indican diferencia significativa (LSD 95%)

Estos resultados concuerdan con los de Michelakis *et al.* (1994), quienes señalan que el contenido de aceite no parecer estar afectado por los regímenes de riego, sino más bien con la

carga frutal de los árboles, siendo el contenido de aceite mayor en los años de baja carga que en los años de alta producción.



## CONCLUSIONES

El ensayo realizado en Olivos cv. Sevillana permite sacar algunas conclusiones de interés, no obstante ellas se ven limitadas por el hecho que esta especie, por sus características fisiológicas presenta una gran variabilidad productiva de un año a otro, dificultando la interpretación de los resultados en ensayos de corto plazo :

- Las condiciones de humedad de suelo a principios de primavera que otorgan las precipitaciones invernales son importantes para el desarrollo del cultivo. En años con inviernos secos se debiera restituir la humedad del suelo mediante riego, aún cuando durante la temporada se riegue en forma deficitaria.
- Restricciones hídricas severas durante la fase III de crecimiento del fruto (aplicación del 25% de la ETc) representan una economía de agua del 35%, sin embargo se afecta el peso final del fruto, tanto en años de baja carga como de alta carga. Restricciones menos severas en esta etapa (aplicación del 40% de la ETc), afectan el tamaño del fruto solo en los años de baja carga frutal.
- Una mejor estrategia de riego deficitario parece ser reducción pareja del agua aplicada equivalente al 60% de la ETc del cultivo durante toda la temporada. Con esta estrategia se logra una economía de agua del 40% y no viéndose afectado el peso final de los frutos, respectos de las otras estrategias de restricción hídrica.
- Esta estrategia de déficit permanente, sin embargo, produjo una fuerte baja en la carga frutal de la temporada “on”, la que parece tener su origen en la temporada anterior. Futuras investigaciones en este sentido son necesarias para determinar su origen.

## BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, D.; RAES, D. y SMITH, M. 1988.** Crop evaporation: Guidelines for computing water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper 56, Roma.
- ANDROULAKIS, I.; LOUPASSAKI, M. y SCHWABE, W. 1997.** The content of mineral elements in the leaves of the olive cv. Koroneiki in relation to irrigation and the time of sampling. *Acta Horticulturae* 449: 401-409.
- BARATTA, B.; CARUSO, T.; Di MARCO, L. y INGLESE, P. 1985.** Effeti dell'irrigazione sulle caratteristiche delle olive nela cv. "Nocellara del Belice". *Frutticoltura* 3 (4): 61-66
- BINI, G.; SAPIA, L.; BRICCOLI BATI, C. y TOSCANO, P. 1997.** Irrigazione dell'olivo con sistemi a microportata. *L'Informatore Agrario* 22: 37-44
- CASTEL, J. Y FERERES, E. 1982.** Responses of young almomd trees to two drought periods in the field. *J. Hort. Sci.* 57: 175-187
- DICHIO, B.; NUZZO, V.; XILOYANNIS, C.; CELANO, G. y ANGELOPOULOS, K. 1997.** Drought stress-induced variation of pressure-volume relationships in *Olea europaea* L. Cv. "Corantina". *Acta Horticulturae.* 449: 83-89
- ESCOBAR, H. 1981.** Fenología del olivo del valle de Azapa. En: Primeras Jornadas Olivícolas Nacionales. Universidad de Tarapacá.
- FERERES, E.; CRUZ-ROMERO, G.; HOFFMAN, G. Y RAWLINS, S. 1979.** Recovery of orange trees following severe water stress. *J. Appl. Ecol.* 16: 833-842
- FERERES, E. y ORGAZ, F. 1995.** El riego del Olivar. VII Simposio Científico-Técnico Expoliva. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba. Cuadernos de Fitopatología, 3<sup>er</sup> Trimestre' 1995. p 119 - 123.
- FERNANDEZ, J.; MORENO, F.; CABRERA, F.; ARUUE, J. y MARTÍN-ARANDA, J. 1991.** Drip irrigation, soil characteristics and the root distribution and root activity of olive trees. *Plant and Soil* 133: 239-251

**FERNADEZ, J.; MORENO, F.; GIRÓN, I. y BLÁZQUEZ, O. 1997.** Stomatal control of water use in olives trees leaves. *Plant and Soil* 190: 179-192

**GOLDHAMER, D; DUNAI, J; FERGUSON, L; LAVEE, S. y KLEIN, I. 1994.** Irrigation requirements of olive trees and responses to sustained deficit irrigation. *Acta Horticulturae* 356: 172 - 175.

**GRAMMATIKOPOULOS, G; KARABOUR- NIOTIS, G.; KYPARISSIS, A.; PETROPOULOU, Y. y MANETAS, Y. 1994.** Leaf Hairs of Olive (*Olea europaea*) prevent stomatal closure by Ultraviolet-B radiation. *Australian Journal of Plant Physiology* 21: 239-301

**GUERRERO, A. 1988.** Nueva olivicultura. Ed. Mundi-prensa. Madrid. 269 p.

**INGLESE, P.; BARONE, P. y GULLO, G. 1996.** The effect of complementary irrigation on fruit growth, ripening pattern and oil characteristics of olive (*Olea europaea* L.) cv Carolea. *Journal of Horticultural Science* 71: 257-263

**JONES, M. G.; LAKSO, A. N. y SYVERSTER, J. P. 1985.** Physiological control of water status in temperate and subtropical fruit trees. *Hort. Rev.* 7: 301-344

**LAVEE, S. Y AVIDAN, N. 1994.** Protein content and composition of leaves and shoot bark in relation to alternate bearing of olive trees (*Olea europaea* L.). *Acta Horticulturae* 356: 143-147.

**LAVEE, S.; NASHEF, M.; WODNER, M y HARSHEMESH, H. 1990.** The effect of complementary irrigation aded to out olive trees on fruit characteristics, yield and oil production. *Adv. Hort. Sci.* 4: 135-138.

**LOUSSERT, R. y BROUSSE, G. 1980.** El Olivo. Madrid, Mundi-prensa. 533 p.

**MICHELAKIS, N.; VOUYOUCALOU, E. y CLAPAKI, G. 1994.** Planth growth and yield of olive tree cv. Kalamon, to different levels of soil water potential and methods of irrigation. *Acta Horticulturae* 356: 205-214.

**METHENEY, P.; FERGUSON, L.; GOLDHAMER, D. y DUNAI, J. 1994.** Efects of irrigation on Manzanillo olive flowering and shoot growth. *Acta Horticulturae* 356: 168-171.

**MORENO, F.; FERNANDEZ, E.; CLOTHIER, B. and GREEN, S. 1996.** Transpiration and root water uptake by olive trees. *Plant and Soil* 184: 85-96.

**NUZZO, V; XILOYANNIS, C; DICHIO, G; MONTANARO, G; CELANO, G. 1997.** Growth and yield in irrigated and non-irrigated olive trees cultivar Corantina over four years after planting. *Acta Horticulturae* 449: 75-82

**OSORIO; A. 1981.** Diagnóstico y técnicas de riego en olivos en el valle de Azapa. Primeras Jornadas Olivícolas Nacionales. Universidad de Tarapacá. p 272-303

**PATUMI, M.; D'ANDRIA, R.; FONTANAZZA, G.; MORELLI, G.; GIORIO, P. y SORRENTINO, G. 1999.** Yield and oil quality of trained trees of three cultivars of olive (*Olea europaea* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Horticultural & Biotechnology* 74 (6) 729-737.

**PASTOR, M; CASTRO, J. y ORGAZ, F. 1995.** Posibilidades de utilización de programas de riego deficitario en olivar tradicional de la provincia de Jaén. VII Simposio Científico-Técnico Expoliva. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba. Cuadernos de Fitopatología, 3<sup>er</sup> Trimestre' 1995. p 138 - 141.

**PASTOR, M y ORGAZ, F. 1995.** Riego deficitario del Olivar, los programas de recorte de riego en Olivar. *Agricultura, revista agropecuaria. Suplemento Mayo Expoliva'95.* p 46 -52.

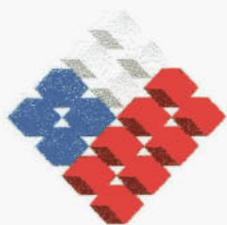
**PAVEL, E. y FERERES, E. 1998.** Low soil temperatures induce water deficits in olive (*Olea europaea*) trees. *Physiologia Plantarum* 104: 525-532

**POLI, M. 1986.** The olive's alternating production pattern. *Olivae. Madrid.* 12: 7-27

**PRIOETTI, P y ANTOGNOZZI, E. 1996.** Effect of irrigation on fruit quality of table olives (*Olea europaea*) cultivar Ascolana tenera. *New Zeland Journal of Crop and Horticultural Science* 24: 175-181.

**SCHOLANDER, P. F.; HAMEL, H. T. HEMMINGSEN, E.A. y BRADSTREET, E.D. 1964.** Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of Mangrove and some others plants. Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A. 51: 119-225.

**TORRECILLAS, A.; RUIZ-SANCHEZ, M. C.; LEON, A. Y GARCIA, A. 1988.** Stomatal response to leaf water potential in almond trees under drip irrigated and non irrigated conditions. Plant Soil 112: 151-153

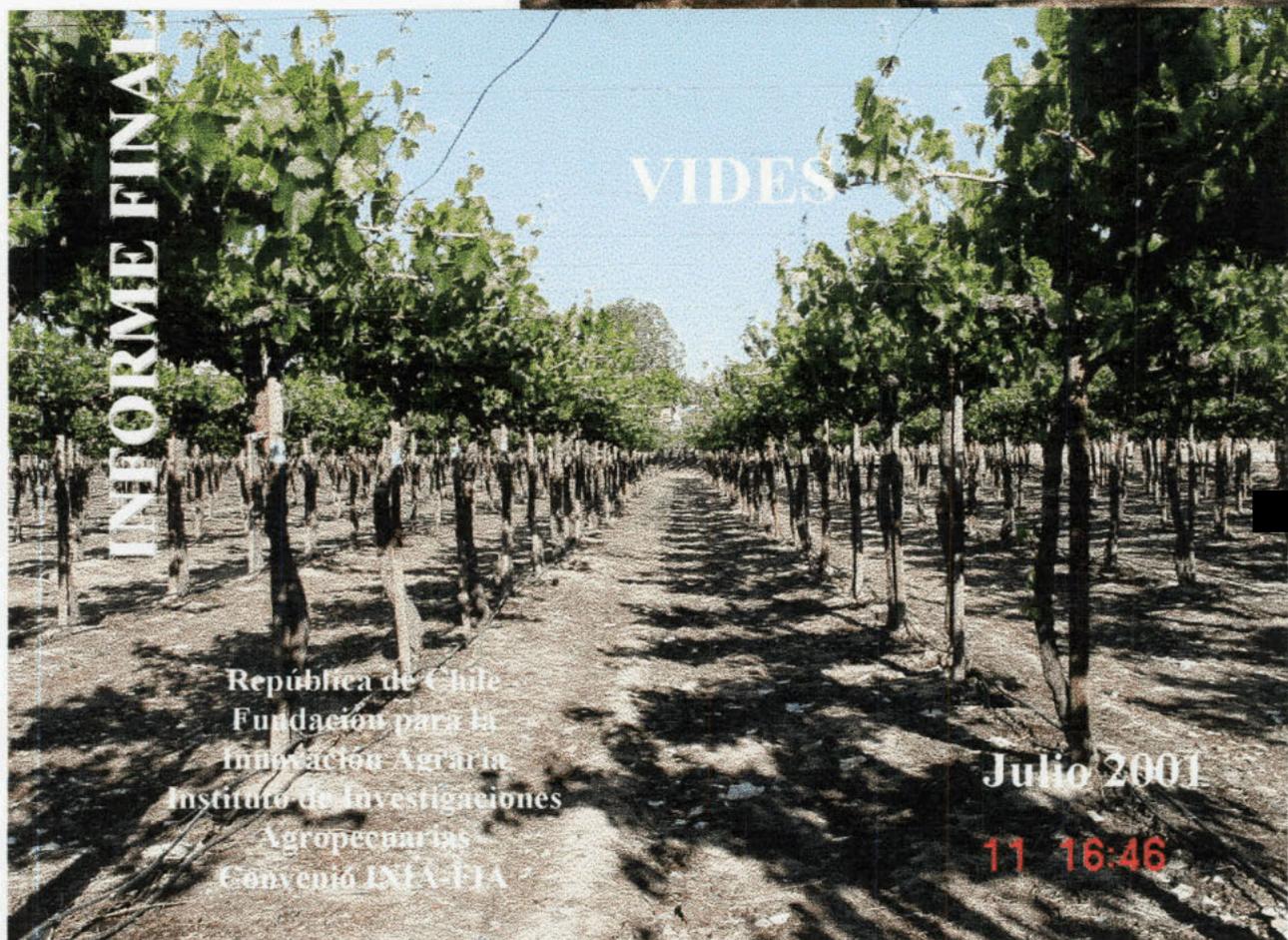


GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE AGRICULTURA



Riego deficitario  
controlado como

estrategia para  
enfrentar  
situaciones de  
escasez de agua



INFORME FINAL

VIDES

República de Chile  
Fundación para la  
Innovación Agraria  
Instituto de Investigaciones  
Agropecuarias  
Convenio INIA-FIA

Julio 2001

11 16:46

# **RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO COMO ESTRATEGIA PARA ENFRENTAR SITUACIONES DE ESCASEZ DE AGUA EN UVA DE MESA**

## **INTRODUCCIÓN**

La uva de mesa es la principal especie frutal en Chile. Su cultivo se extiende desde la III hasta la VII región del país y comprende aproximadamente 45.000 ha, equivalente a un 24% de la superficie total destinada a la explotación de fruta, colocando a Chile entre los principales productores de uva de mesa del hemisferio sur. Dentro de sus variedades destaca Thompson Seedles (Sultanina), por ser la más importante en términos de volumen de producción y exportación, debido principalmente a su alta demanda y precios que alcanza en el mercado exterior.

La mayor parte del área de producción de la uva de mesa corresponde a condiciones de clima semi árido, en que es indispensable utilizar el riego. En estas zonas es habitual que se presenten condiciones de sequía en forma de ciclos interanuales, de duración e intensidad variables. Durante los años secos ha sido necesario restringir la disponibilidad de agua de riego a los agricultores, lo que representa un problema económico de proporciones para los agricultores.

Para hacer frente a esta situación, además del aumento en la eficiencia del uso de agua de riego que significa implementar sistemas de riego localizado, han surgido en los últimos años estrategias de asignación de agua de riego en condiciones de sequía adaptando el plan de riego a los requerimientos hídricos específicos de cada etapa fenológica, según especie y variedad. Esta estrategia se conoce como “Riego Deficitario Controlado (R.D.C)” y consiste en regar en forma diferenciada, en los momentos en que realmente se necesita aumentar la disponibilidad de agua para el cultivo, los que se conocen como “períodos críticos” y que están asociados a etapas fenológicas específicas.

Cada etapa del crecimiento está caracterizada por distintas actividades metabólicas y presenta distinta sensibilidad al déficit hídrico. Existen períodos en los cuales, a pesar de existir una alta demanda evaporativa, las consecuencias de un déficit hídrico no son tan

notables sobre la producción y su calidad. Por el contrario, existen períodos en que la demanda hídrica es menor y la sensibilidad al déficit de agua es alta (afecta fuertemente a la producción y su calidad).

### **Brotación a Floración**

Según Winkler (1980), en la variedad Thompson Seedless este período se extiende por 6 a 8 semanas, dependiendo del clima. Yakasovic (1994) observó en el valle de Aconcagua una duración de 6 semanas.

Aunque es poco frecuente un déficit de humedad de suelo importante en esta etapa, por ocurrir en Chile precipitaciones durante el invierno, en ciertas zonas esta humedad puede agotarse muy rápidamente, ya sea por precipitaciones insuficientes durante los meses húmedos o por baja capacidad de almacenaje del suelo, asociado a una alta irradiación solar.

Wample (1997) sostiene que de producirse un estrés hídrico en el período comprendido entre brotación y floración, la primera sería desuniforme y se detendría o reduciría el crecimiento de brotes. También es posible que el desarrollo de flores y la viabilidad del polen y los pistilos se reduzca. También se han apreciado deficiencias tempranas de zinc y boro, como consecuencia de una inadecuada captación de estos elementos como consecuencia del déficit hídrico.

Este mismo autor señala que al producirse un estrés hídrico en floración, además de una disminución de la cuaja debida a la viabilidad del polen y pistilos, cambios hormonales asociados al estado hídrico de la planta podrían contribuir al aborto floral y abscisión de racimos. Además, en ciertas variedades de vid, la inducción de las yemas florales para la temporada siguiente empieza dos semanas antes de plena flor, y continúa por unas cuatro semanas, por lo que el déficit en este período puede resultar en un menor número de racimos por planta en la siguiente temporada.

## **Floración a Pinta**

Diversos autores y estudios señalan a este período como el más sensible desde el punto de vista del riego. Hardie y Considine (1976) señalan que un déficit de humedad en el suelo durante el período comprendido entre floración hasta cerca de cuatro semanas posteriores a la antésis produce las mayores pérdidas de producción, debido principalmente a una reducción en el número y tamaño de las bayas.

En un estudio llevado a cabo por INIA en Vicuña, IV Región, en la variedad Flame Seedless, se vio que suspender el riego por 10 días durante el período de cuaja produjo un aumento importante en la cantidad de bayas pequeñas o millerandaje.

Becker y Zimmermann (1984) sometieron a plantas cultivadas en macetero a regímenes alternados de humedad, encontrando que las plantas que sufrieron un estrés antes de pinta y que posteriormente recibían riego normal no lograron el peso de baya de aquellas plantas que no presentaron estrés antes de pinta pero que fueron sometidas a restricción después de éste evento. También determinaron que el crecimiento vegetativo estaba influenciado muy fuertemente por el aporte hídrico en el período que va desde brotación a pinta.

## **Pinta a Cosecha**

Déficit hídricos posteriores a pinta no afectan tan fuertemente el desarrollo del fruto (Gurovich y Steiner, 1987; Peacock y Dokoozlian, 1997; Williams *et al*, 1995), aunque puede resultar en una rápida senescencia de las hojas más basales, seguido por abscisión de hojas y pérdida de canopia, lo que a su vez puede producir daño por golpe de sol y retrasar la madurez del fruto por una baja en los fotosintatos (Wample, 1997).

Este último aspecto no es tan claro, ya que algunos autores señalan que un déficit moderado puede producir el efecto contrario, es decir, un adelanto en la madurez (Gurovich y Steiner, 1987; Peacock y Dokoozlian, 1997). Peacock y Dokoozlian (1997) encontraron, en la variedad Crimson Seedless que la reducción del riego al 50% de la ETP seis a diez semanas antes de cosecha produjo un fuerte aumento del color y del contenido de azúcar de

las bayas, pero no afectó el peso ni el tamaño de ellas, así como tampoco afectó la producción total o comercial.

### **Poscosecha**

Muchas veces, este periodo posterior a la descarga del parrón es descuidado como estado de crecimiento, y se pone poca atención al manejo del riego.

Si bien es cierto que ya no se puede afectar la producción directamente, es importante recordar que ésta es la época normal para el crecimiento de raíces, en especial las más profundas (Ibacache y Lobato, 1995) y reposición de las reservas alimenticias a nivel de yemas, tronco y radicular (carbohidratos y aminoácidos), que pueden tener una incidencia importante en la brotación de la próxima temporada

### **Receso Invernal**

En este período, al no haber hojas presentes ni crecimiento, los requerimientos hídricos de la parra son claramente menores que en las etapas anteriormente nombradas, pero también hay que considerar que en primavera se producirá un período de activo crecimiento de las raíces, posterior de la brotación en la parte aérea y muy dependiente de la temperatura del suelo (Ibacache y Lobato, 1995), por lo que riegos tempranos que bajen la temperatura del suelo y reduzcan su aireación no son aconsejables.

Este último aspecto cobra especial importancia en suelos con baja macroporosidad, donde el problema de la aireación es particularmente delicado. En suelos con escasa macroporosidad, donde riegos tempranos impliquen llegar a brotación con una baja aireación del suelo es preferible regar en invierno para asegurar un tiempo suficiente para drenar el suelo antes de que empiece el crecimiento de las raíces (septiembre a octubre, según Ibacache y Lobato (1995))

Otros antecedentes, sin embargo, apuntan a que la sequía invernal puede no tener efectos negativos para la planta. En un estudio llevado a cabo por INIA en Vicuña, IV Región, durante tres temporadas sobre la variedad Thompson Seedless, se probó en un grupo de parras el efecto de la supresión de riego durante el período de receso invernal, y se

compararon con plantas regadas durante el invierno. En el primer grupo, el primer riego se realizó en el momento de aplicación de cianamida hidrogenada, en una fecha que fluctuó desde el 12 de junio al 19 de julio, y posteriormente se regó normalmente. El segundo grupo se regó cuando la humedad del suelo llegaba al 50% de la humedad aprovechable.

Aunque no se encontraron diferencias significativas, el tratamiento sin riego invernal obtuvo una brotación más precoz y ligeramente mayor. También hubo una mayor producción total, dada por un mayor número de racimos por planta, aunque de peso individual algo menor, y un mayor crecimiento vegetativo (peso de poda). Los autores, sin embargo, no entregan antecedentes acerca de las condiciones del suelo, que sería de gran importancia en la decisión de aplicar o no riegos invernales.

El Instituto de investigaciones Agropecuarias (INIA), ejecuto en el Valle de Aconcagua un proyecto financiado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) denominado “Riego Deficitario Controlado en frutales, como estrategia para enfrentar situaciones de escasez de agua” cuyo objetivo es aumentar la competitividad de los sistemas frutícolas ante situaciones de limitación de disponibilidad de los recursos hídricos, mediante el desarrollo y validación de paquetes tecnológicos que permitan a los fruticultores incorporar prácticas de manejo del Riego Deficitario Controlado (RDC), basados en la disminución de las tasas de riego normalmente utilizadas, permitiendo así afrontar con éxito los problemas de escasez de agua y/o generar sistemas de optimización del uso de agua en zonas de escasez hídrica permanente, con niveles de productividad y calidad competitivas para frutas de exportación, como también en áreas de secano y/o riego eventual.

A través de este proyecto se implementó un experimento a nivel de campo en un parronal de Uva de Mesa, ubicado en la comuna de San Esteban, el cual plantea por objetivos:

- Evaluar la aplicación de sistemas de Riego Deficitario Controlado en distintos periodos fenológicos en Uva de Mesa, cuantificando sus efectos sobre el crecimiento vegetativo, producción y calidad comercial de la fruta.
- Evaluar la respuesta fisiológica de la Vid frente a períodos de restricción

# METODOLOGÍA

## Ubicación del ensayo

El ensayo fue realizado en la localidad de Curimón, comuna de San Felipe, V Región, en el predio perteneciente a Inversiones Moncuri Ltda. Comprende una superficie de 0,22 has aproximadamente de uva de mesa cv. Sultanina en plena producción y plantados en un marco de 3,5 x 2,5 m. Para implementar el ensayo se instaló un sistema de riego por goteo, con una línea de goteros de 4 L/h ubicados cada 1 m.

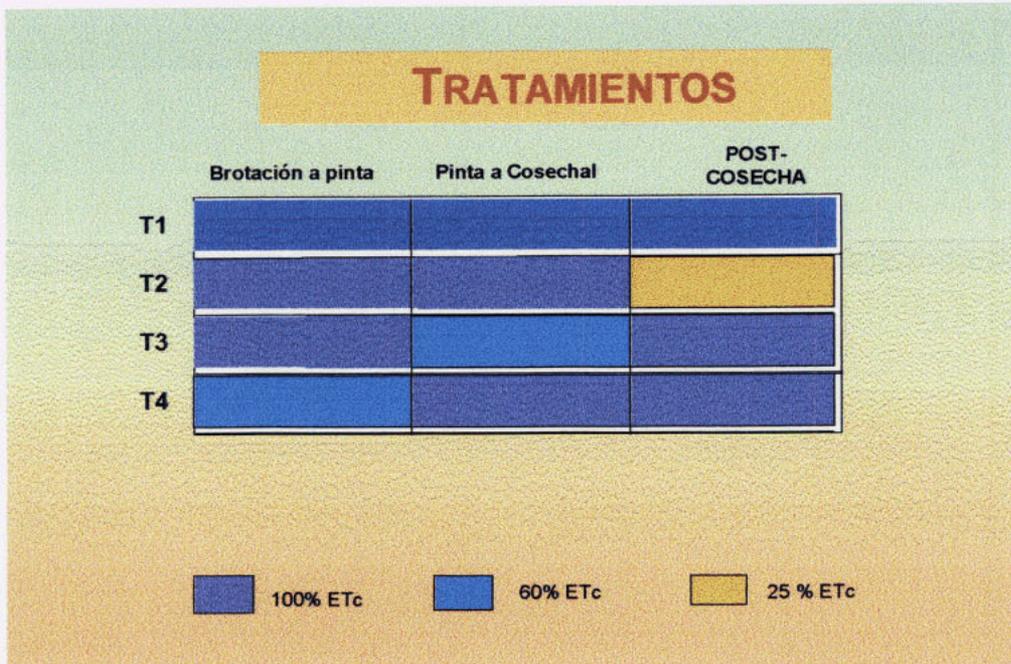


El clima de la zona es de tipo mediterráneo, con marcada concentración invernal de las precipitaciones y un verano prolongado y seco. El periodo de lluvias está concentrado entre los meses de mayo y agosto, con magnitudes entre los 250 y 450 mm anuales. El periodo seco es de ocho meses. En invierno cae aproximadamente el 70% de las precipitaciones anuales y durante los meses de verano solamente el dos por ciento. La humedad del aire está principalmente influida por el relieve y la distancia al océano, caracterizando a la zona de Aconcagua con veranos de humedad relativa homogénea, entre 55 y 65%, mientras que en invierno oscila entre 60% en el sector oriental y 85% en el occidental. La temperatura media anual de la zona alcanza los 16 °C, con máximas superiores a los 32 °C en verano y mínimas cercanas a los 2,5 °C.

### **Tratamientos de riego**

El ensayo se dispuso en un sistema de bloques al azar, con tres bloques y cuatro tratamientos de riego los que fueron:

- T1: Tratamiento testigo. Se regó con el equivalente para suplir el 100% de la ETc durante toda la temporada.
- T2: Riego con 100% de la ETc desde brotación hasta cosecha. 25% de la ETc en poscosecha
- T3: Riego con 100% de la ETc desde brotación hasta pinta. 60% de la ETc desde pinta a cosecha. 100% de la ETc en poscosecha.
- T4: Riego con 60% de la ETc de brotación a pinta. 100% de la ETc desde pinta a cosecha y poscosecha.



La evapotranspiración potencial del cultivo (ETc) se calculo por medio de la ecuación (Allen *et al.* 1998):

$$ETc = Eb * Kp * Kc$$

Donde:

ETc: Evapotranspiración potencial del cultivo (mm/día)

Eb: Evaporación de bandeja (mm/día)

Kp: Coeficiente de bandeja

Kc: Coeficiente de cultivo

El valor de coeficiente de bandeja se estableció en 0,7 (Allen et al 1998). Los coeficientes Kc que se utilizaron para los distintos periodos de crecimiento de la Uva de Mesa fueron los ajustados para el Valle de Aconcagua por Luis Cariola L (cuadro 1).

Las cargas de agua que se aplicaron tomaron en cuenta la eficiencia de aplicación del método de riego por goteo, considerada en 90%.

Cuadro 1. Coeficiente de cultivo Kc (Uva de Mesa cv. Thompson seedless)

Fecha	Kc	Estado fenológico
	0,15	Antes de brotación
13 - Sep	0,20	Inicio brotación
20 - Sep	0,20	
27 - Sep	0,20	
04 - Oct	0,20	
11 - Oct	0,25	Brote 40 cm
18 - Oct	0,25	
25 - Oct	0,30	Brote 80 cm
01 - Nov	0,40	
08 - Nov	0,60	Inicio Floración
15 - Nov	0,65	
22 - Nov	0,70	
29 - Nov	0,80	Baya 6 mm
06 - Dic	0,85	
13 - Dic	0,90	Baya 10 mm
20 - Dic	0,90	
27 - Dic	0,90	Cierre racimos
03 - Ene	0,90	
10 - Ene	0,95	Inicio pinta
17 - Ene	0,90	
24 - Ene	0,90	
31 - Ene	0,80	
07 - Feb	0,70	Inicio cosecha
14 - Feb	0,60	
21 - Feb	0,60	Fin cosecha exportación
28 - Feb	0,50	Fin cosecha país
07 - Mar	0,30	
14 - Mar	0,30	
21 - Mar	0,30	
28 - Mar	0,30	
04 - Abr	0,20	
	0,15	Caída de hojas

## Mediciones

### Estado hídrico de la planta

El estado hídrico de la planta no sólo depende del estado hídrico del suelo sino también de la demanda evaporativa atmosférica y de las características de la planta, tales como la distribución radicular y la conductancia hidráulica (Jones et al., 1985). Por tal razón se evaluó directamente el estado hídrico de la planta a través del potencial hídrico xilemático y de la conductancia estomática

El potencial hídrico xilemático se midió por el método de la bomba de presión (Scholander *et al.*, 1965), de acuerdo a la metodología descrita por Meyer y Reicosky (1985). Las mediciones se realizaron en hojas con características de hoja adulta, al medio día solar, momento considerado de que las plantas presentan su potencial diurno más bajo. Se midió una hoja por árbol en 9 árboles por tratamiento, a lo largo de la temporada de crecimiento

La conductancia estomática se midió con un porómetro de flujo estable Li 1600 (LI-Cor inc, Lincoln, Nebraska, EUA) al las 10:00 hs. Se midió la conductancia de una hoja por planta, con características de hoja adulta, en 21 plantas por tratamiento.



## Crecimiento vegetativo

En forma periódica se midió el largo de brotes en 6 plantas por tratamiento. De cada planta se seleccionaron cuatro brotes, cada uno orientado hacia un punto cardinal. En las temporadas 1999/00 y 2000/01 se pesó el material leñoso de un año obtenido en la poda de 15 parras por tratamiento.

El crecimiento diario del diámetro de los troncos se midió utilizando un sistema de captosres de desplazamiento lineal (Dinamax dex-100 ). Se instalaron ocho captosres de desplazamiento, conectados a un módulo de almacenamiento de datos que permite registrar en forma continua las lecturas. Los captosres de desplazamiento fueron ubicados en el tronco a una altura de 1,5 m aproximadamente sobre el nivel del suelo. Al tronco se le removi6 la corteza suelta, de modo que las variaciones de diámetro registradas no se vieran afectadas por ella.

Con este sistema se pudo determinar la contracci6n m6xima diaria (CMD) que presentaron los troncos en respuesta a las condiciones ambientales y de riego (selles y Berger, 1990).

## Crecimiento de frutos

Se midió periódicamente el diámetro ecuatorial de 10 frutos en 24 6rboles por tratamiento con un pie de metro. En la temporada 2000/2001 se midió el peso seco 250 frutos por tratamiento al momento de pinta y cosecha.

## Producci6n

Se cosecharon tres grupos de 5 6rboles por tratamiento, a los que se cont6 el n6mero de racimos antes y despu6s de cosecha. De cada grupo se extrajo una muestra de 20 racimos, los que se pesaron individualmente. De estos racimos se obtuvo una muestra de 150 bayas, las que fueron pesadas individualmente, con el objeto de determinar el peso de bayas a la cosecha.

Finalmente al momento de la cosecha, se determinó el contenido de sólidos solubles con un refractómetro y la acidez total de jugo por medio de una titulación, utilizando 10 mL de jugo y NaOH 0,1 N.

## RESULTADOS

### Agua aplicada a los tratamientos

En el cuadro 2 se muestra la reposición de agua que tuvieron los distintos tratamientos en cada uno de los años de estudio, considerando que el riego comienza la 2ª semana de octubre y termina la 2ª semana de abril. Se observa que la cantidad total de agua aplicada al tratamiento T1 (100% de la ETc) varía desde los 5.721 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en la temporada 1998/1999 hasta los 4.858 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> aplicados en la temporada 1999/2000.

La reducción del suministro hídrico en las diferentes etapas resultó en un ahorro de agua total que fue desde un 13 %, en el tratamiento T2, hasta un 20 % en el tratamiento T4 respecto al testigo (Cuadro 2). En el tratamiento con déficit antes de punta (T4) la economía se produce entre mediados de septiembre hasta mediados de enero. En el cuadro 2 se ha incluido el volumen de agua aplicado por el agricultor en la temporada 2000/01, el que supera en un 29% al tratamiento T1 (100% de ETc).

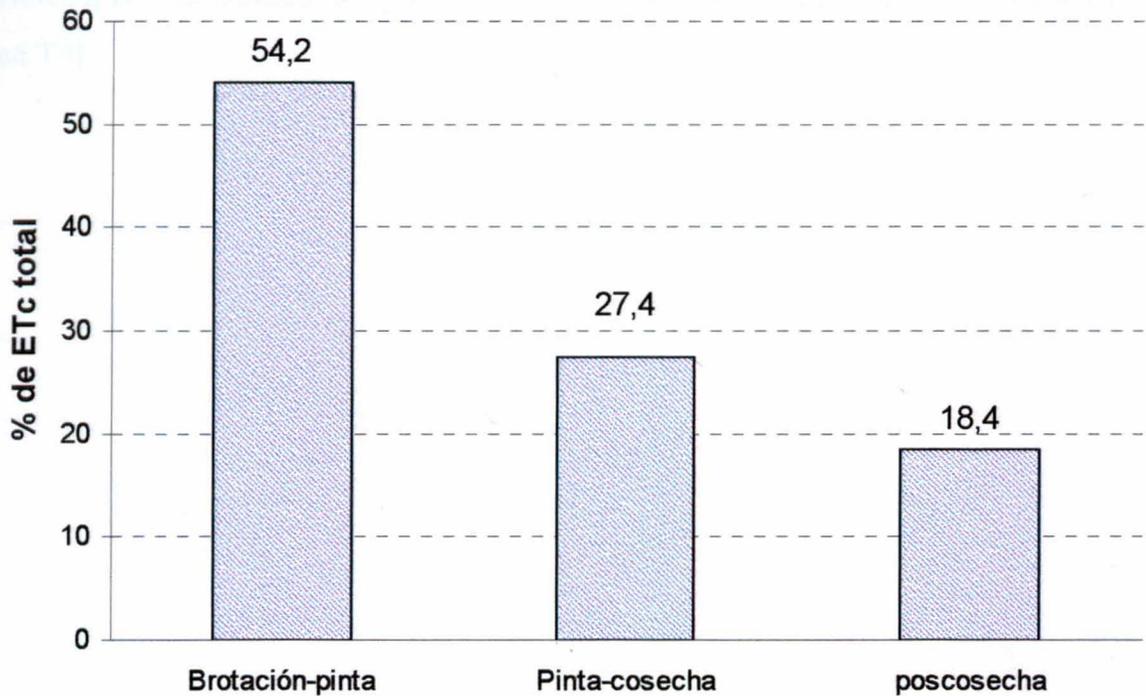
Cuadro 2. Volúmenes de agua aplicados (riego) en los distintos tratamientos de Riego Deficitario a lo largo de la temporada, expresados en m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Tratamiento	1998/99	1999/00	2000/01	Agua aplicada promedio respecto al testigo (%)
T1	5.751	5.647	4.858	100
T2	4.949	4.802	4.104	85
T3	5.099	4.901	4.214	87
T4	4.528	4.586	3.960	80
Agricultor	-----	-----	6.286	129
Pp. efectiva	279	1.120	1.665	

La distribución de las necesidades hídricas de las plantas en los distintos estados fenológicos, expresados en forma porcentual, se presentan en el cuadro 3. Algo más del

50% de los requerimientos hídricos totales ocurren entre brotación y pinta (septiembre a inicios de enero)

Cuadro 3. Evapotranspiración del cultivo por periodo fenológico.



### Estado hídrico de las plantas

El estado hídrico de las planta fue determinado a través de los potenciales hídricos xilemáticos y la conductancia estomática

El potencial hídrico xilemático, a medio día, mostró un comportamiento similar en las tres temporadas de estudio. Los potenciales fluctuaron entre  $-0.6$  y  $-1$  Mpa lo cual muestra que las plantas no estuvieron sometida a estrés hídrico en ningún momento del periodo de desarrollo del cultivo. Según Williams *et al.* (1995) la vides de mesas se encuentran extresadas cuando presenta potenciales xilematicos medidos a medio día inferiores a  $-1.1$  Mpa .

Este comportamiento puede ser explicado por las reservas de humedad que presenta el suelo luego del invierno debida a las precipitaciones o riego de post cosecha. La precipitaciones aportaron 279, 1.112 y 1.665 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en la primera, segunda y tercera temporada respectivamente (cuadro 2), concentrados en los meses de invierno principalmente. En las dos últimas temporadas las precipitaciones fueron incluso superiores a la disminución de agua aplicada (680 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en el tratamiento T3 y 1.060 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en T4)

Figura 2a. Potencial hídrico xilemático, medido a medio día, en la temporada 1998/1999

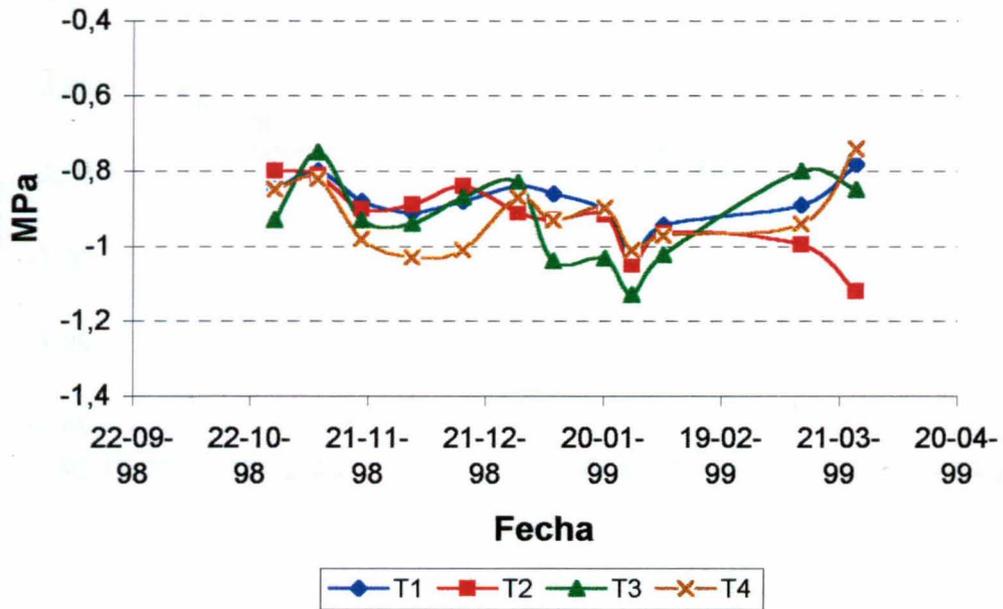


Figura 2b. Potencial hídrico xilemático, medido a medio día, en la temporada 1999/2000

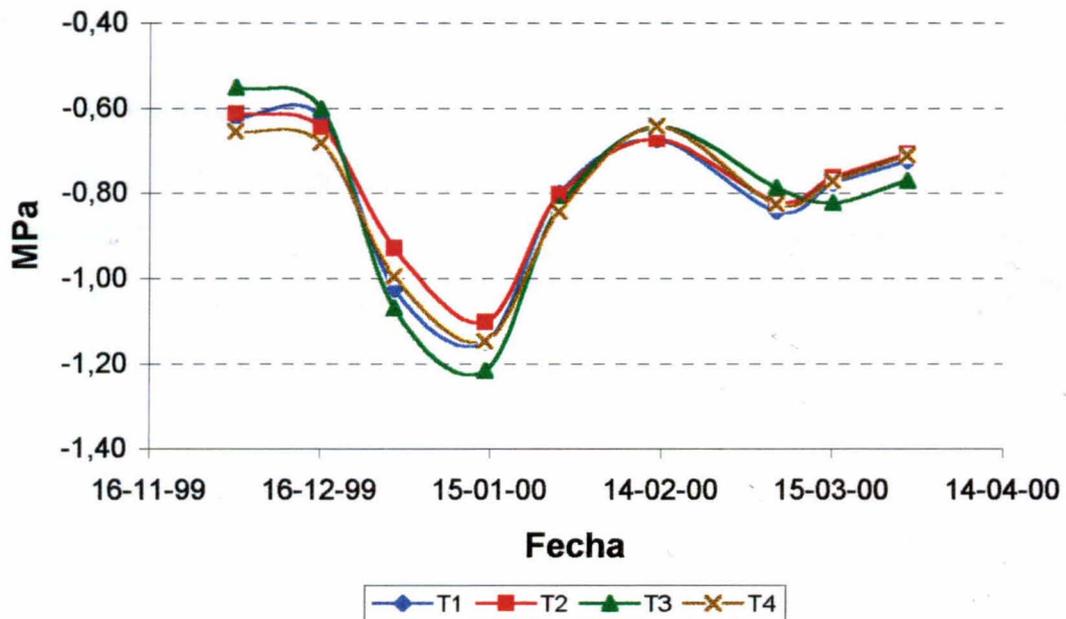
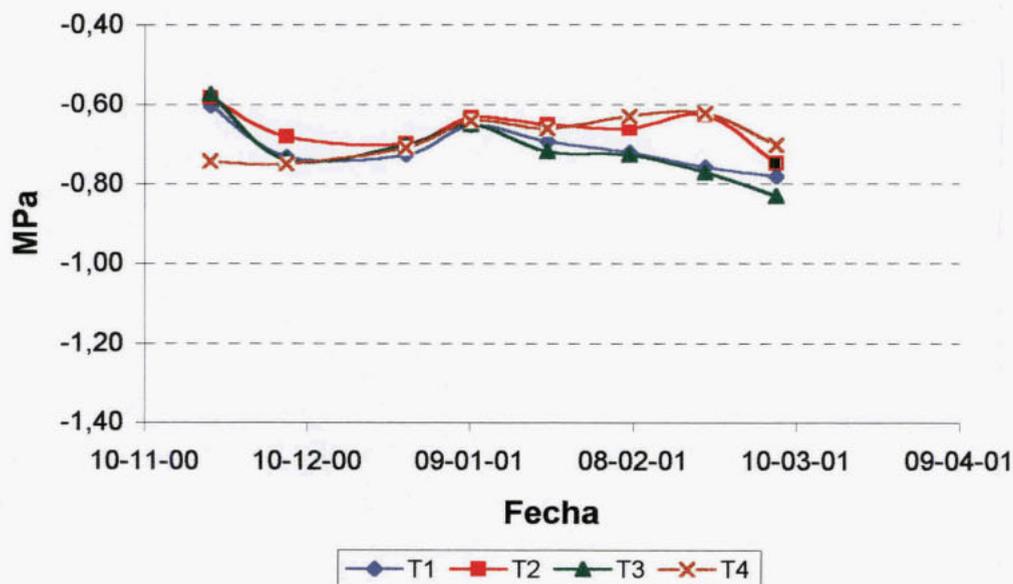


Figura 2c. Potencial hídrico xilemático , medido a medio día, en la temporada 2000/01



La conductancia estomática tiene una directa relación con el estado hídrico del cultivo, integrando factores edáficos, fisiológicos y climáticos. Básicamente refleja el grado de apertura de los estomas en las hojas, y fue medido con un porómetro de flujo estable.

En concordancia con los potenciales xilemáticos medidos, no se presentaron diferencias entre tratamientos, presentando todos ellos valores similares. Las variaciones en el curso de la temporada estarían más relacionadas con factores ambientales (déficit de presión de vapor, temperatura) que con el estado hídrico de las plantas (Jarvis 1976)

Figura 3a. Conductancia estomática en la temporada 1998/1999

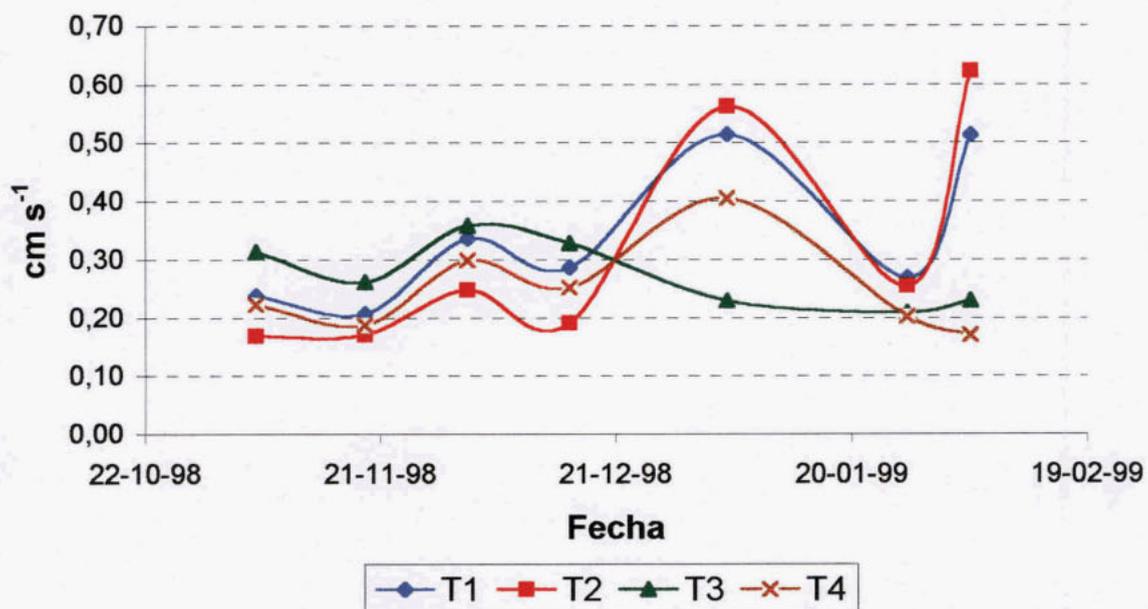
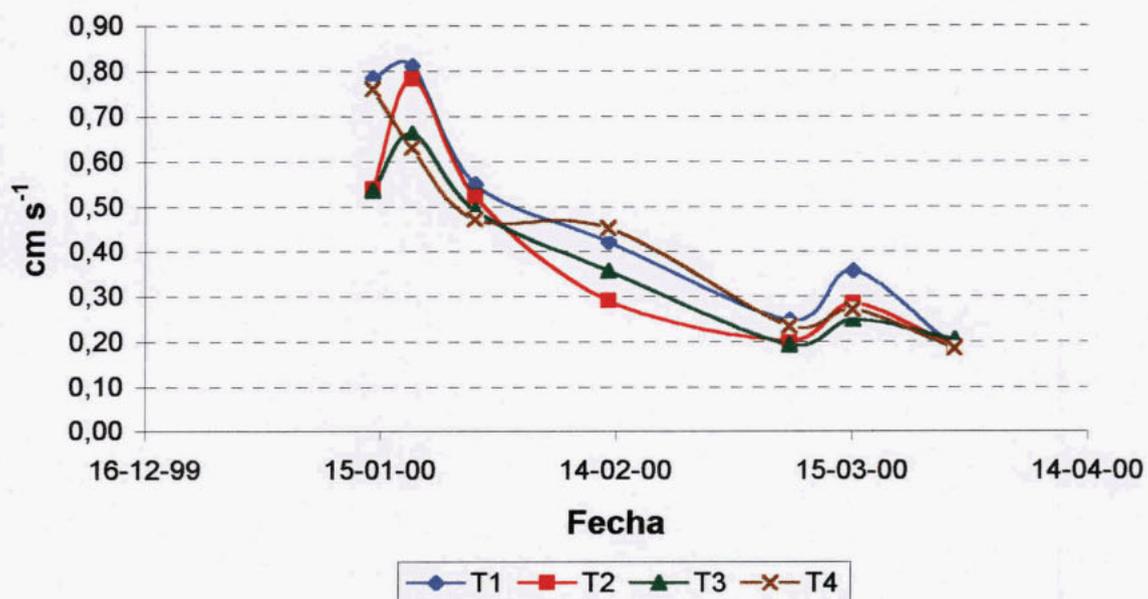


Figura 3b. Conductancia estomática en la temporada 1999/2000

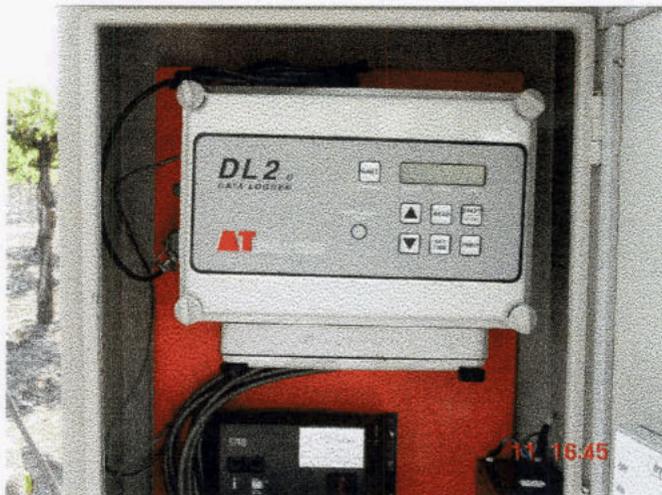


## Crecimiento vegetativo

### Crecimiento diario del tronco

En las temporadas 1999/2000 y 2000/2001 se usaron captadores de desplazamiento lineal y se registraron en un módulo de adquisición de datos DINAMAX. Los captadores de desplazamiento fueron ubicados en el tronco de las plantas, a 1,5 m del suelo aproximadamente.





La contracción máxima diaria que presentó el tronco (CMD) estuvo muy relacionada con la demanda evaporativa de la atmósfera, representada por la evaporación de bandeja, con variaciones que fluctuaron entre 1,5 y 2,5 mm (Figura 4). Sin embargo no se presento diferencias significativas en la variación de los diámetros de los distintos tratamientos (Figura 5). Estos antecedentes son concordantes con la información obtenida a partir de los potenciales hídricos xilemáticos y la conductancia estomática que señalan que la disminución del agua aplicada no produjo estrés en las plantas.

Selles y Berger (1990) determinaron en durazneros que existe una alta correlación entre la magnitud de la CMD y el potencial hídrico xilemático. A medida que disminuye el potencial hídrico, aumenta la CMD dentro de ciertos límites. Según estos autores, en durazneros al menos estos cambios en la CMD se comenzarían a producir con potenciales xilemáticos a medio día inferiores a  $-0,8$  Mpa. No existen antecedentes en uva de mesa, sin embargo, dada la magnitud de los potenciales hídricos medidos en la temporada 2000/01 (figura 2c), la magnitud de las contracciones de tronco observadas estarían más relacionadas con condiciones de demanda evaporativa de la atmósfera y las propiedades elásticas de los tejidos mismos que constituyen el floema y cambium vascular. El efecto de un estrés hídrico sobre la magnitud del CMD se manifestaría bajo los  $-0,8$  Mpa, lo que concuerda con lo encontrado con Selles y Berger (1990) en durazneros.

Figura 4. Relación entre CMD y Eb en la temporada 1999/2000

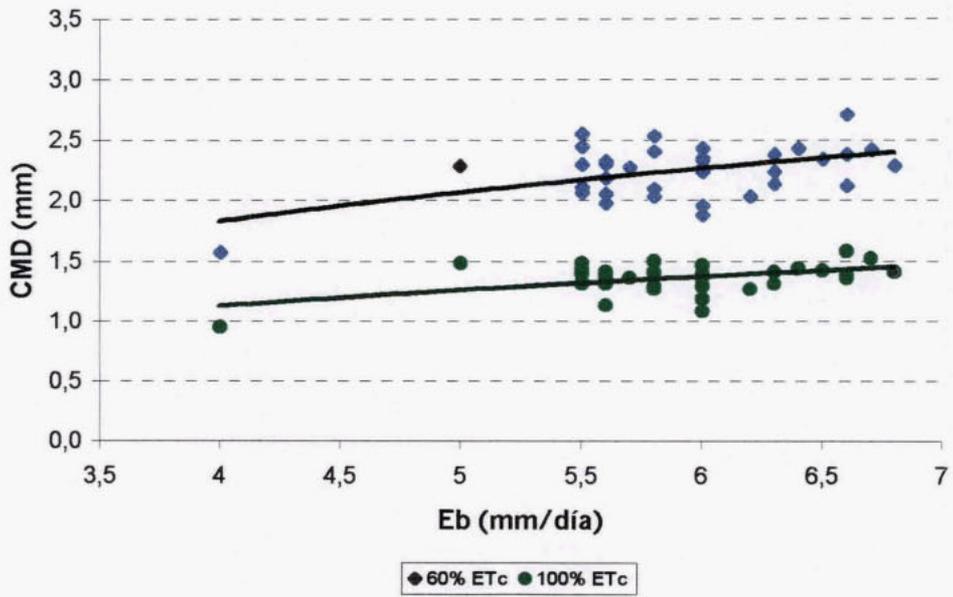


Figura 5a Variación del diámetro de tronco a inicios de temporada (T4 con 60% de ETC, todos los demás tratamientos 100% de la ETC)

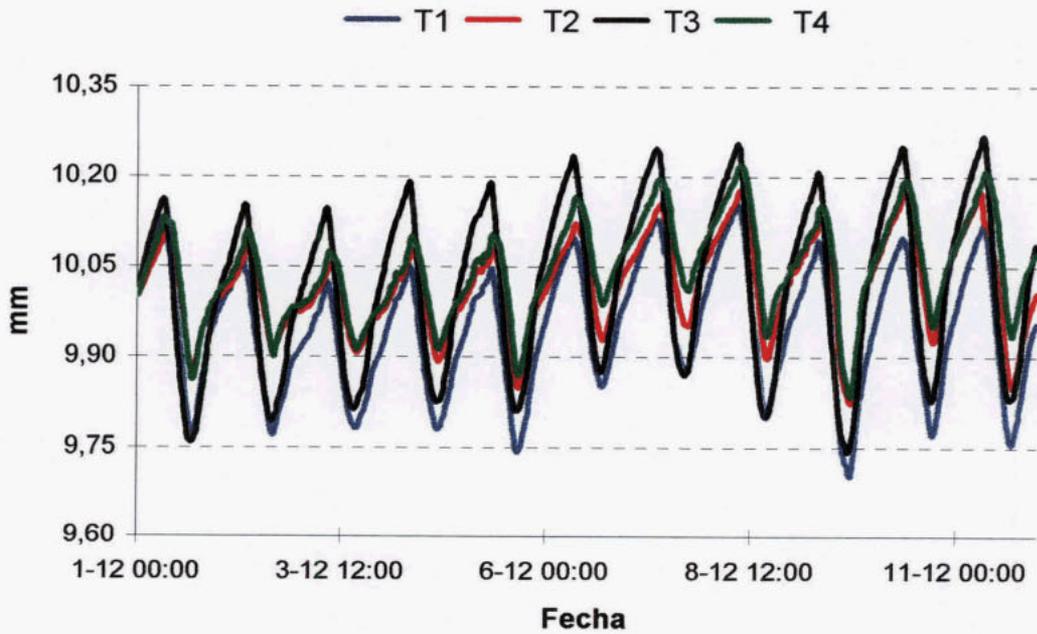


Figura 5b Variación del diámetro de tronco a mediados de temporada (T3 con 60% de ETC, todos los demás tratamientos 100% de la ETC)

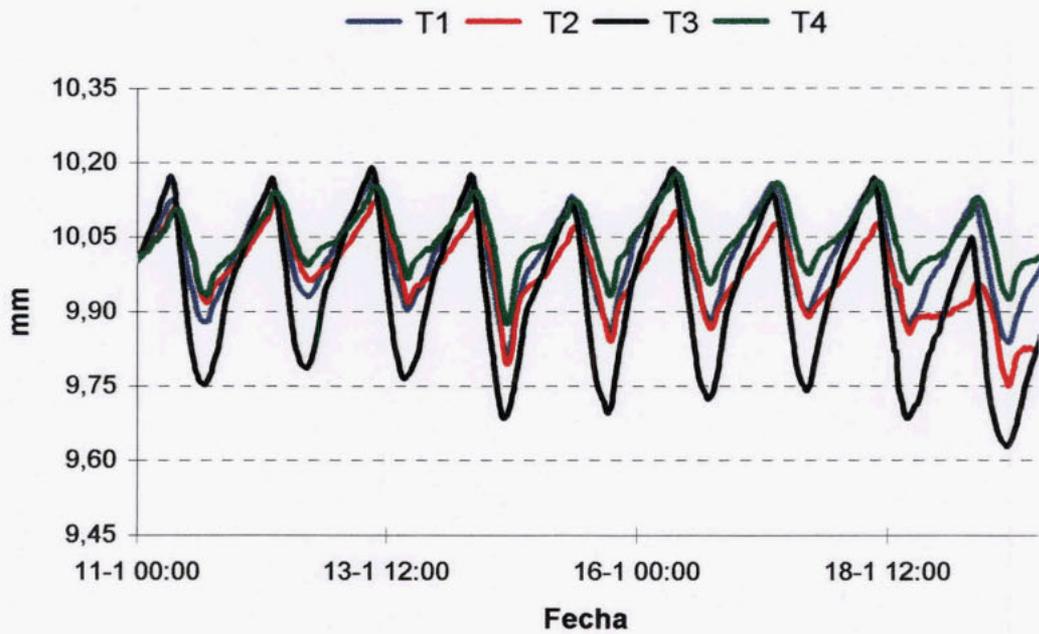
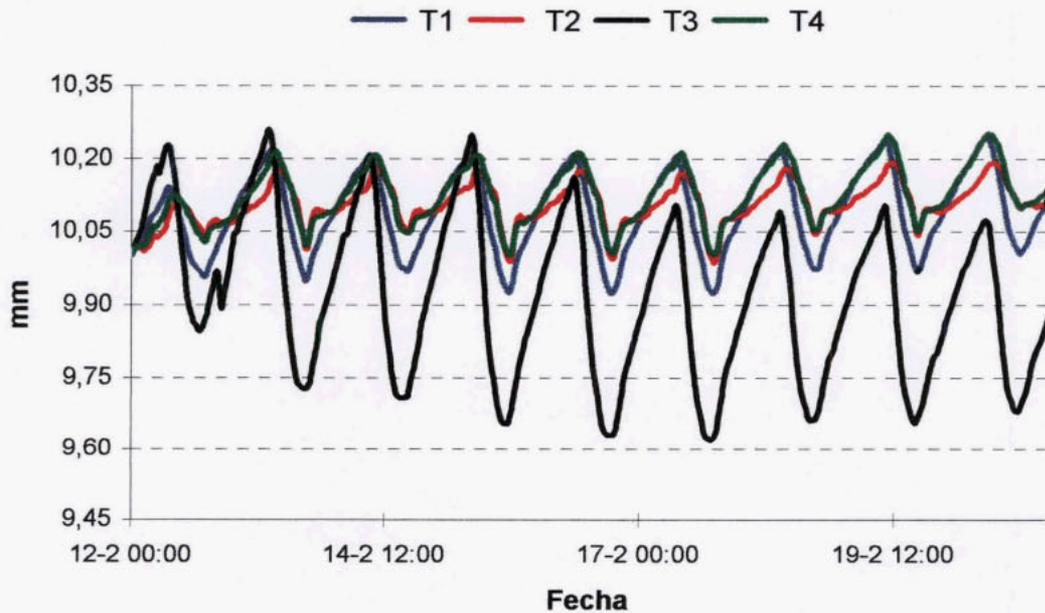
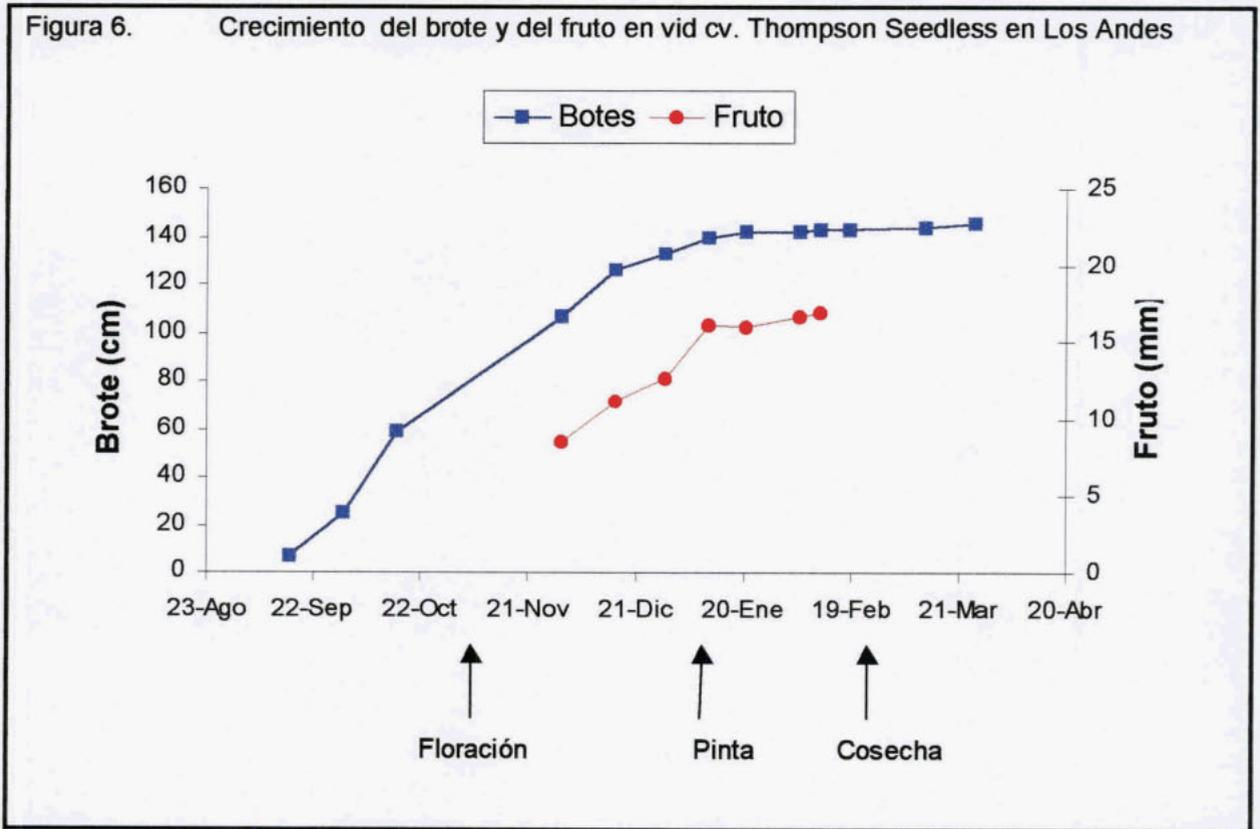


Figura 5c Variación del diámetro de tronco a finales de temporada (T2 con 25% de ETC, todos los demás tratamientos 100% de la ETC)



## Crecimiento de brotes

El mayor crecimiento de los brotes se produce entre brotación y pinta, ya que posteriormente ocurre la muerte de la yema terminal (figura 6). De la figura N° 6 se puede desprender que los déficit hídricos con anterioridad a pinta podrían afectar el crecimiento vegetativo de las plantas.



En el cuadro 6 se observa el peso de poda, en las temporadas 1999/2000 y 2000/2001, donde no se registraron diferencias significativas en este parámetro, lo que concuerda con al análisis del estado hídrico de las plantas. Sin embargo en el Cuadro 6 se observa una tendencia a menor crecimiento en el tratamiento T4, donde la disminución de agua ocurrió ente brotación y pinta, periodo donde los brotes se desarrollan con mayor velocidad (Figura 6). También observa una tendencia a un mayor crecimiento vegetativo en el tratamiento T2, probablemente por una mejor aireación del suelo durante el crecimiento de raíces que ocurre una vez terminada la cosecha (mediados de febrero)

En el Cuadro 6 se presenta, además, el peso de poda obtenido en los sectores regados por el agricultor en la temporada 2000/2001. En los sectores de suelo franco (suelos del ensayo) las plantas presentan un menor crecimiento vegetativo respecto de los tratamientos del ensayo, lo que se puede deber a la menor aireación del suelo a causa de la mayor cantidad de agua aplicada por el agricultor (un 29% más que el tratamiento T1). En el sector de suelo arenoso regado por el agricultor con el mismo programa que el sector franco, se evidenció un desarrollo vegetativo mucho mayor que en el resto de los tratamientos (cuadro 6).

Cuadro 6. Peso de poda (Kg/planta) temporadas 99/00 y 00/01

Tratamiento	Peso de poda (Kg/planta)	
	99/00	00/01
T1	3,72 a	3,49 a
T2	4,48 a	3,67 a
T3	4,62 a	3,01 a
T4	3,58 a	2,98 a
Agricultor (suelo franco)	-----	2,53 a
Agricultor (suelo arenoso)	-----	4,20 b

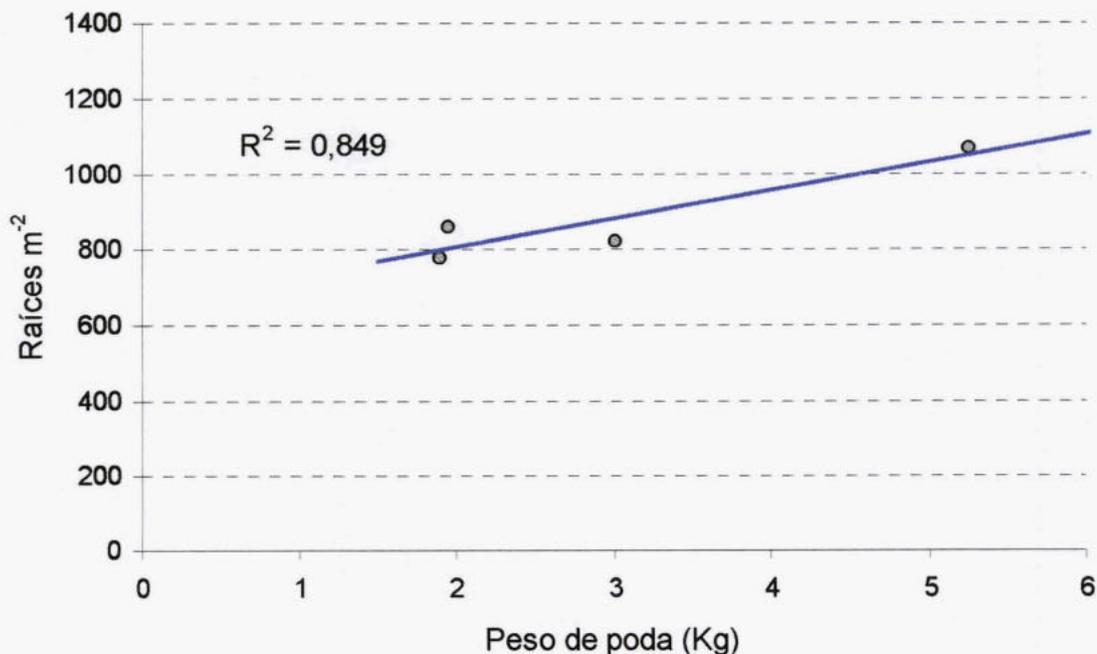
Letras distintas en cada columna indican diferencia significativa (LSD 95%)

Al término de la temporada 2000/2001 se realizaron calicatas para determinar el desarrollo de las raíces. En el cuadro 7 se puede observar que el menor desarrollo radicular se presentó en el suelo franco, regado con 129% de la ETc (Agricultor), lo que podría ser atribuido a mayores problemas de aireación en este tipo de suelo.

Cuadro 7 Densidad de raíces (Nº de raíces por m2)

Tratamiento	Raíces por m2
T1	820
T3	858
Agricultor. suelo franco	780
Agricultor. suelo arenoso	1070

Figura 8. Correlación entre densidad radical (Nº de raíces/m<sup>2</sup>) y el peso de poda (Kg)



En los tratamientos T1 y T3 la distribución de raíces (figura 7) es más uniforme que en el suelo franco (suelo del ensayo) regado por el agricultor, cubriendo prácticamente todo el perfil. El programa de riego utilizado por el agricultor consistió en altas cargas de agua (cuadro 3) aplicadas con alta frecuencia (cada dos días en la época de mayor evaporación y diariamente en poscosecha), formando un bulbo amplio pero con aireación deficiente. Esto redundó en una concentración de raíces en el borde del bulbo de humedad, quedando sin explorar la zona interior del mismo.

Aplicando el mismo programa de riego en un suelo más arenoso y con buen drenaje, la exploración de suelo por las raíces fue mucho mayor y más uniforme. Se atribuye este comportamiento a la mejor aireación del suelo posterior al riego, drenando los excesos de agua en forma rápida.

Por otra parte, el desarrollo del sistema radicular de las vides está estrechamente relacionado con el desarrollo de la parte aérea, como se puede observar en la figura 8.

Figura 7a) Distribución de raíces en el tratamiento T1

Tratamiento T1

		Distancia desde la planta (cm)																											
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
Pr of un da d (c m)	5	1	2	3	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	2	3	6	5	4	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	3	4	5	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	25	4	5	3	3	1	4	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1
	30	6	2	6	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1
	35	6	6	6	4	5	2	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2
	40	6	6	6	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1
	45	3	5	4	1	1	1	1	1	3	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	1
	50	3	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1
	55	1	2	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1
	60	1	1	1	1	2	1	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1
	65	1	1	2	1	2	1	1	2	3	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	1	2
	70	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1
	75	4	5	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	3	1	2	1	1	1	2	1	3	4	4	2	2	1	2
	80	3	6	4	1	2	1	2	2	4	4	3	1	3	2	1	2	1	1	2	3	2	1	4	1	2	2	1	1
85	2	4	2	2	1	1	2	3	3	3	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	3	3	1	1	2	
90	3	3	2	2	2	2	3	5	3	2	1	2	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	
95	2	3	3	2	3	4	2	4	3	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	
100	2	2	2	2	2	1	1	2	4	3	4	1	2	2	1	1	2	3	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	
105	2	2	2	1	2	2	2	2	3	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	
110	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	
115	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	
120	2	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	2	1

Leyenda (Numero de raíces en 25<sup>2</sup>)



Figura 7b) Distribución de raíces en el tratamiento T3

Tratamiento T3

Distancia desde la planta (cm)

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	
5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	2	1	4	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
20	2	4	1	2	4	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	2	5	6	6	6	6	1	2	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	6	2	3	3	5	6	4	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	
35	3	2	6	6	6	4	2	2	3	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
40	2	2	4	3	4	1	1	2	2	2	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1
45	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	3
50	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	2	1	2	1
55	2	1	1	2	1	3	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1
60	1	3	1	2	1	1	5	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	4	3	1	1	1	2	2	1	1
65	3	1	1	1	1	1	2	1	2	4	1	2	2	1	1	1	2	1	2	2	3	2	1	2	1	2	2	1	1
70	5	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	1	1	3	3	1
75	5	2	1	1	1	1	2	3	4	2	1	2	1	1	1	2	2	3	2	3	1	3	2	1	1	2	3	3	1
80	4	5	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	4	1	1	2	1	2	1
85	2	2	2	2	1	1	1	2	2	5	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	3	2	1	2	1	2	2	1
90	1	1	2	1	2	1	2	1	2	3	6	2	1	1	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
95	1	1	2	1	2	3	2	2	4	6	2	1	2	1	2	1	2	2	3	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1
100	1	1	1	2	3	2	1	1	3	4	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1
105	1	1	2	2	1	2	4	3	2	3	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
110	1	2	1	1	1	2	3	3	1	2	3	2	2	2	2	2	1	2	3	1	2	3	2	1	2	1	1	1	1
115	2	1	2	1	2	1	3	2	1	3	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
120	2	1	1	2	2	1	1	2	3	4	3	2	1	2	3	2	1	1	1	2	2	3	2	2	2	2	2	2	1

Profundidad (cm)

Legenda (Numero de raíces en 25<sup>2</sup>)



Figura 7c) Distribución de raíces en el Sector regado por el agricultor (suelo franco)

Trat. Agricultor  
(suelo franco)

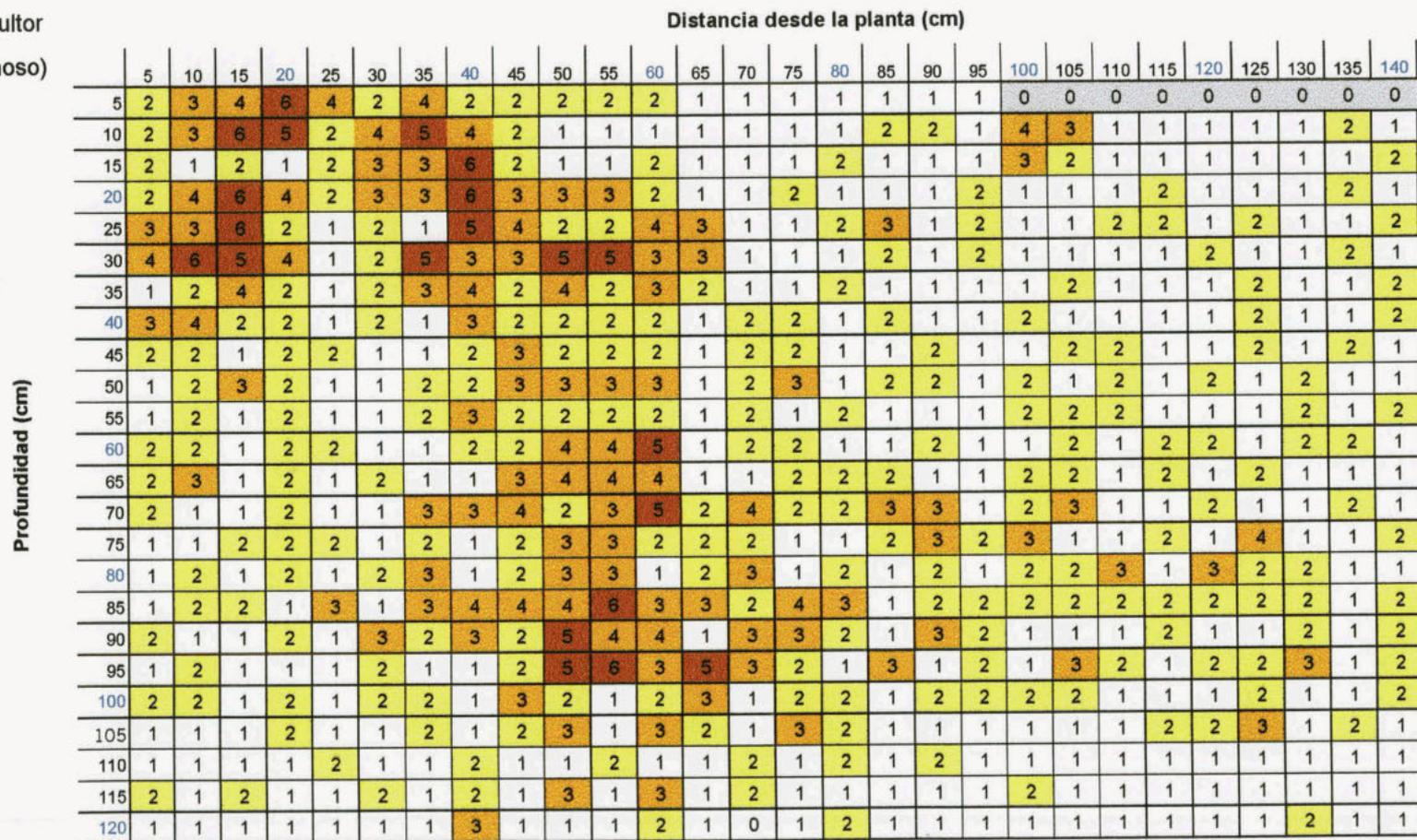
		Distancia desde la planta (cm)																											
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
Pr ofu ndi da d (c m)	5	4	5	6	2	4	3	2	6	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	2	1	2	1	1	2	4	6	6	4	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	3	1	1	2	1	2	1	1	3	6	6	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	20	3	2	1	1	1	2	1	2	2	3	3	1	2	3	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	25	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	3	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
	30	2	2	1	2	2	1	3	2	2	3	2	3	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
	35	2	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	5	3	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2
	40	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2
	45	1	2	1	1	2	3	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1
	50	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	5	4	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
	55	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	3	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1
	60	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	3	3	4	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1
	65	1	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	1	2	3	1	2	3	2	1	2	4	2	1	2	1	2
	70	1	2	2	1	2	2	1	1	2	1	2	3	1	2	1	2	2	2	1	3	3	2	1	1	2	2	1	1
	75	2	2	1	1	2	1	1	2	1	2	2	2	3	2	1	2	1	1	2	3	3	2	1	2	1	1	1	1
	80	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	6	6	4	6	3	2	3	2	1	1	1	2	1	1	2
85	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	3	4	4	2	3	4	3	1	2	1	1	1	1	2	
90	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	3	2	1	1	2	1	1	2	2	
95	1	2	1	2	1	3	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	3	3	3	2	1	1	1	1	2	1	1	
100	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	4	2	3	2	2	2	1	1	2	2	1	
105	1	2	1	2	1	2	1	1	2	2	3	2	2	1	3	2	3	1	1	2	1	3	1	2	1	2	1	2	
110	1	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	1	2	
115	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	2	3	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2	
120	1	2	2	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2

Legenda (Numero de raíces en 25<sup>2</sup>)



Figura 7d) Distribución de raíces en el Sector regado por el agricultor (suelo arenoso)

Trat. Agricultor  
(suelo arenoso)



Legenda (raíces contadas en 25 cm<sup>2</sup>)



## Crecimiento de frutos

El mayor crecimiento de los frutos se produce entre floración y pinta (figura 6). De la figura 6 se puede desprender que los déficit hídricos con anterioridad a pinta podrían afectar significativamente el calibre de la fruta. Esto concuerda con lo observado en el cuadro 8, donde se muestra que al momento de pinta el fruto ha acumulado solamente un 25% de la materia seca final (a la cosecha), aunque el calibre del fruto ya es el 85% del total, por lo que el mayor incremento de agua en el tejido ya ha ocurrido. En otras palabras, el crecimiento más importante en volumen se produce antes de pinta, por lo que un déficit hídrico antes de pinta afectaría el tamaño final del fruto.

Cuadro 8. Peso y diámetro de frutos a pinta y cosecha (2000/2001)

Tratamiento	Peso seco (g/fruto)		Diámetro (mm)	
	Pinta	Cosecha	Pinta	Cosecha
T1	0,193	0,730	12,85	15,50
T2	0,181	0,745	13,44	15,53
T3	0,185	0,760	12,92	15,87
T4	0,186	0,754	13,28	15,70

En el cuadro 9 se observa el diámetro de bayas promedio, donde no se registraron diferencias significativas en este parámetro. Este comportamiento puede deberse a la humedad de reserva que queda en el suelo, la que alcanza para suplir las necesidades de la planta dada la magnitud de la disminución del agua aplicada, que vario entre 680 (T3) a 1.060 (T4)  $m^3 ha^{-1}$ ., cantidades inferiores a las aportadas por la precipitaciones invernales en las dos ultimas temporadas (Cuadro 2). Esto es concordante con el estado hídrico que presentaron las plantas durante este período (figura 2).

Cuadro 9. Diámetro medio de bayas (mm) a cosecha.

<b>Diam. bayas</b>	<b>98/99</b>	<b>99/00</b>	<b>00-01</b>
T1	16,9	16,8	15,5
T2	16,7	17,1	15,5
T3	16,2	17,3	15,9
T4	16,5	16,6	15,7

## Producción

En el cuadro 11 se presenta la producción total exportable en cada uno de los tratamientos. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. La producción en uva de mesa es sumamente variable entre plantas, dado que las condiciones de manejo que se realizan en la regulación de carga y en el arreglo de racimos pueden enmascarar el posible efecto de los tratamientos de riego, en particular cuando se trata de déficits moderados. Estos datos concuerdan con los de Williams *et al*, 1995 que indican que cuando se disminuye el agua aplicada en un 20% no se afecta el rendimiento de la fruta embalada y solo disminuye el peso de los granos en un 5%..

Cuadro 11. Producción (Cajas de 8,2 Kg/ha) en los tratamientos

<b>Tratamiento</b>	<b>98/99</b>	<b>99/00</b>	<b>00/01</b>
T1	2.172	2.311	1.502
T2	1.987	2.648	2.014
T3	1.896	2.681	1.682
T4	2.317	2.321	1.049

En el cuadro 12 se muestra el contenido de sólidos solubles (° Brix) y la acidez total (expresada como mg/L de ácido ascórbico) de los frutos cosechados en las temporadas 1998/99 y 1999/00, donde se observa que los tratamientos de riego no afectaron la madurez de los frutos.

Cuadro 12. Sólidos solubles y acidez total en la cosecha

Tratamiento	Sólidos solubles ° Brix		Acidez total (g ac. ascórbico/L)	
	98/99	99/00	98/99	99/00
T1	21,4	17,5	8,40	9,73
T2	20,9	16,5	8,00	9,60
T3	21,5	16,5	7,47	10,13
T4	21,2	16,4	8,13	10,13

## CONCLUSIÓN

- Durante años lluviosos o con riego invernal y en suelos con alta retención de humedad se puede disminuir el agua aplicada entre brotación a pinta o pinta – cosecha en un 40% no produciendo déficit hídrico y por lo tanto no afectando los rendimientos
- Reducciones del agua aplicada de un 40% entre brotación y pinta permiten una economía del 20% del agua total aplicada. Reducciones de un 40% del agua aplicada entre pinta y cosecha permiten una economía del 13% del agua aplicada total.
- Reducción de un 75% del agua aplicada posterior a cosecha, no afecta los rendimientos de la temporada siguiente, permitiendo disminuir el agua aplicada en un 15%
- Aplicaciones excesivas de aguas en 29% afectan el desarrollo de las plantas en suelos francos del valle de Aconcagua, probablemente debido a problemas de aireación del suelo.

## BIBLIOGRAFIA

**ALLEN, R. G.; PEREIRA, D.; RAES, D. y SMITH, M. 1988.** Crop evaporation: Guidelines for computing water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper 56, Roma.

**AMENÁBAR, P. 1983.** Efecto de la época de suspensión del riego sobre el desarrollo de la vid (*Vitis vinifera*) cv. Sultanina, conducida en parronal. Universidad de Chile

**BECKER, N. Y ZIMMERMANN, H. 1984.** Influence de divers apports d'eau sur des vignes en pots, sur la maturation des sarments, le développement des baies et la qualité du vin. Bulletin de L'O.I.V. 57: 584-596

**CNR - INIA. 2000.** Informe final de actividades proyecto Validación y Transferencia de Tecnologías de Riego y Sistemas Productivos en Areas Regadas Provincia de San Felipe y Los Andes, V Región. Gobierno de Chile. pp: 3-1 a 4-93

**CNR - INIA - Gobierno Regional VI Región. 2000.** Primer Informe de actividades proyecto Validación y Transferencia de Tecnologías de Riego y Sistemas Productivos en Areas Regadas Provincia de Colchagua. Gobierno de Chile. 33 pp

**CORTÉS, C. 1995.** Caracterización de las curvas de crecimiento fenológico en vid (*Vitis vinifera*), cultivar Red Globe y aplicaciones de CPPU con diferentes densidades de bayas y volúmenes de mojamiento. Universidad Católica de Valparaíso.

**FELMER, S. Y ORTIZ, A. 1997.** Respuesta de la vid (*Vitis vinifera L*) cv. Sultanina a diferentes regímenes de agua y fertilización. Universidad Mayor.

**FIA - INIA. 2000.** Informe Técnico N° 5 proyecto "Riego deficitario controlado como estrategia para enfrentar las situaciones de escasez de agua" Cod. V977 - A - 0 - A- 005. Gobierno de Chile. 37 pp.

**GUROVICH, L. 1983.** Modernos enfoques en el riego superficial de huertos y parronales. ACONEX 5: 37-43

- GUROVICH, L. 1989.** Sequía: Nos preparamos para enfrentarla. Norte Agrofrutícola. 17-22
- GUROVICH, L. Y STEINER, V. 1987.** Riego y fertilización programados en uva de mesa regada por goteo en Chile. Simiente 57 (4): 221 – 235
- HONORATO, R.; SILVA, H. Y BONOMELLI, C. 1990.** Productividad de parronales de la región metropolitana y sus relaciones edáficas. Ciencia e Investigación Agraria. 17 (3): 133-143
- HARDIE, W. Y CONSIDINE, A. 1976.** Response of grapes to water-deficit stress in particular stages of development. American Journal of Enology and Viticulture. 27 (2): 55-61
- IBACACHE, A. Y LOBATO, A. 1995.** Periodos de crecimiento de raíces en vid. Revista Frutícola 16 (1): 23-26
- INE CHILE. 1997.** VI Censo Nacional Agropecuario (Resultados Preliminares). Edit. Universitaria, Chile (impresores).
- JARVIS, P.G. 1976.** The interpretation of variation in leaf water potential and stomatal conductance found in canopy in the field. Phil. Trans. R. London 273: 593-610,
- JONES, M. G.; LAKSO, A. N. y SYVERSTER, J. P. 1985.** Physiological control of water status in temperate and subtropical fruit trees. Hort. Rev. 7: 301-344
- LAVÍN, A. 1985.** Riego por goteo sobre dos tipos de viñedos cv. país, en el secano interior de Cauquenes. IV. Efectos sobre el contenido de arginina en diferentes órganos de las plantas. Agricultura Técnica (Chile) 45 (3): 211-216
- LETEY, J. 1985.** Relationship between soil physical properties and crop production. Advances in Soil Sciences. 1: 227-294

- MUÑOZ, I. Y MIRANDA, O. 1985.** Manejo de suelo y velocidad de infiltración del agua de riego en un parronal cv. Sultanina. IPA La Platina 29: 23-25
- PEACOCK, B. Y DOKOOZLIAN, N. 1997.** Irrigation strategies for Crimson Seedless. Kearney Agricultural Center, Internal Report
- NOVOA, R. Y VILLASECA, C. 1989.** Mapa Agroclimático de Chile. Santiago, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 221 pp. (1 vol con 14 mapas)
- PSZCZOLCOWSKI, P. 1995.** Efectos y sintomatología visual asociada a asfixia radical en vides cv. Sauvignon. Revista Frutícola 16 (1): 11-15
- ROMÁN, S. 2000.** Fertilizantes solubles y fertirriego en los frutales estratégicos en Chile. 1<sup>er</sup> Seminario Internacional de Fertirriego. Santiago, Chile.
- RICHRDS, D. 1983.** The grape root system (Anatomy and morphology, interactions of soil physical properties). Hortic. Rev. Westport, Conn. 5: 127-168.
- SANDOVAL, V. 1987.** Estudio histológico del meristema apical de yemas de *Vitis vinifera* cv. Sultanina durante la transición a floración en dos localidades de la IV Región. Universidad de Chile.
- SCHOLANDER, P. F.; HAMEL, H. T. HEMMINGSEN, E.A. y BRADSTREET, E.D. 1964.** Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of Mangrove and some others plants. Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A. 51: 119-225.
- SELLES, G y BERGER, A. 1990.** Physiological indicators of plant water status as criteria for irrigation scheduling. Acta Horticultrae 278: 87-100
- SOFFIA, P. 1995.** Caracterización del ciclo fenológico en vid (*Vitis vinifera* L.) y efecto de la aplicación de CPPU en tres épocas y una dosis sobre las características morfológicas del racimo y bayas en los cultivares Ribier y Sugraone en la comuna de Rinconada de los Andes, V Región, durante la temporada 1993-1994. Universidad Católica de Valparaíso.

**STEVEN, R. Y DOUGLAS, T. 1994.** Distribution of grapevines roots and salt under drip and full-ground cover microjet irrigation systems. *Irrigation Science* 15: 147-152

**TOSSO, J Y TORRES, J. 1986.** Relaciones hídricas de la vid, bajo diferentes niveles de riego, usando goteo, aspersion y surcos. I. Efecto sobre el crecimiento vegetativo y la producción. *Agricultura Técnica (Chile)* 46 (3): 283-289

**WAMPLE, R. 1997.** Grapevine irrigation: Some things to be considered. Washington State University, Irrigated Agriculture Research and Extension Center, Internal Report.

**WILLIAMS, L.; DOKOOZLIAN, N. Y NEJA, R. 1995.** Response of Flame Seedless and Perlette grapevines grown in the Coachella Valley to soil water deficits at various stages of berry growth. Kearney Agricultural Center, Internal Report.

**YAKASOVIC, M. 1995.** Caracterización del ciclo fenológico en vid (*Vitis vinifera L.*) y efecto de la aplicación de CPPU en tres épocas y una dosis sobre las características morfológicas del racimo y bayas en el cultivar Thompson Seedless en la comuna de Rinconada de los Andes, V Región, durante la temporada 1993-1994. Universidad Católica de Valparaíso.

## **12.- Bibliografía Consultada**

La bibliografía consultada se presenta en los anexos