



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE AGRICULTURA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS - INIA  
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA - FIA

BOLETÍN INIA N° 58

ISSN 0717-4829

ESTRATEGIAS DE RIEGO PARA ENFRENTAR SITUACIONES  
DE ESCASEZ DE AGUA EN FRUTALES

# “RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN NOGALES”

RAÚL FERREYRA E.  
GABRIEL SELLÉS VAN S.  
IVÁN SELLÉS M.



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE AGRICULTURA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS - INIA  
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA - FIA

# **“RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN NOGALES”.**

## **ESTRATEGIAS DE RIEGO PARA ENFRENTAR SITUACIONES DE ESCASEZ DE AGUA EN FRUTALES.**

**RAÚL FERREYRA E.**  
Centro Regional de Investigación V Región  
**GABRIEL SELLÉS VAN S.**  
**IVÁN SELLÉS M.**  
Centro Regional de Investigación La Platina

Santiago, Chile, 2001

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Autores:

**Raúl Ferreyra E.** (M.Sc.)

Centro Regional de Investigación V Región

**Gabriel Sellés Van S.** (Ph.D.)

**Iván Sellés M.**

Centro Regional de Investigación La Platina

Especialistas en Riego y Drenaje

Boletín INIA N° 58

Este boletín fue editado por el Centro Regional de Investigación La Platina,  
Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura.

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y el autor.

Cita bibliográfica correcta:

Ferreyra E., Raúl; Sellés V., Gabriel y Sellés M., Iván. 2001. "Riego Deficitario Controlado en Nogales". Estrategias de Riego para Enfrentar Situaciones de Escasez de Agua en Frutales. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 58. 36 p.

Diseño: Jorge Berríos V.

Diagramación: Luis Puebla L.

Impresión: Impresos CGS Ltda. - Telefonofax: 5432212

Cantidad de ejemplares: 500.-

Santiago, 2001

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
INTRODUCCIÓN .....	5
PERÍODOS FENOLÓGICOS EN EL NOGAL .....	6
REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL NOGAL .....	10
EFFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO SOBRE EL CULTIVO DEL NOGAL .....	13
EXPERIENCIA CON RDC EN CHILE .....	20
Estado hídrico de la planta .....	24
Potencial hídrico xilemático .....	24
Conductancia estomática .....	26
Índice de Estrés Diario (IED) .....	26
Crecimiento vegetativo .....	29
Crecimiento de frutos .....	29
Producción .....	31
Calidad del fruto .....	32
CONCLUSIONES .....	33
BIBLIOGRAFÍA .....	34

## INTRODUCCIÓN

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.

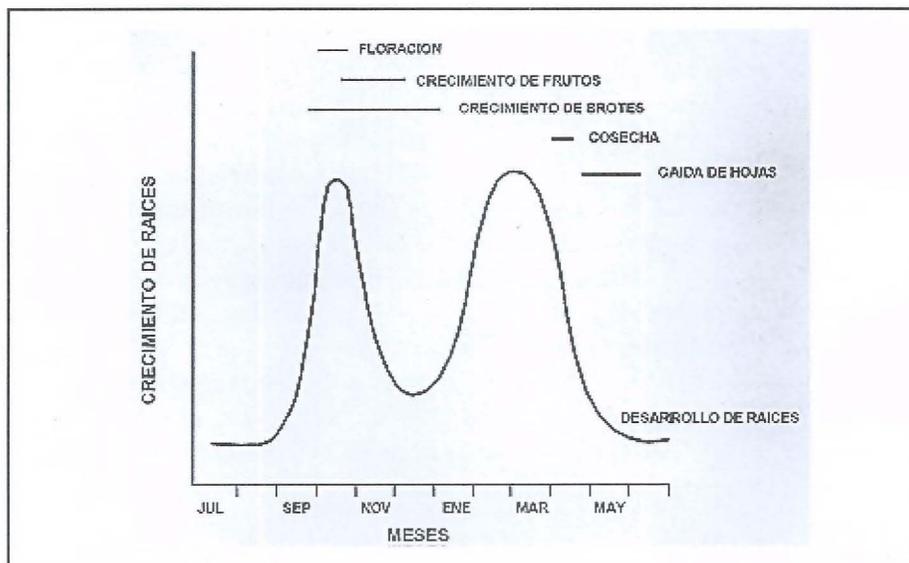
Desde fines de la década de los 80, la escasez generalizada de agua para la agricultura generó una fuerte necesidad de crear estrategias orientadas a mejorar la eficiencia de su uso. Un primer paso fue el desarrollo del riego localizado, que permitió aumentar la eficiencia de aplicación del agua de riego 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 períodos fenológicos poco sensibles a la falta de humedad—es decir, períodos en que el déficit hídrico no afecta significativamente el rendimiento ni la calidad de los frutos— y en mantener los riegos en un cien por cien de las necesidades de los árboles durante los períodos 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 períodos 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.

## PERÍODOS FENOLÓGICOS EN EL NOGAL

El nogal es una planta de hoja caduca, que para dar inicio a su período de crecimiento requiere de la acumulación de 650 horas frío aproximadamente.

El ciclo de anual de crecimiento se inicia con el desarrollo del sistema radicular, hacia mediados de agosto y principios de septiembre, aumentando rápidamente a inicios de primavera, cuando las temperaturas del suelo comienzan a aumentar y el suelo dispone de un adecuado contenido de humedad proveniente de las lluvias invernales. El crecimiento radicular presenta su mayor crecimiento entre dos y tres semanas previas a la brotación, para disminuir cuando los brotes y los frutos comienzan a crecer en forma acelerada (Catlin, 1998). Existe un segundo período de crecimiento de raíces hacia fines de temporada, una vez que los brotes y los frutos han detenido su crecimiento, y que finaliza cuando se inicia la caída de hojas (Figura 1).



**Figura 1.** Representación esquemática del crecimiento de raíces del nogal. Conjuntamente se presenta el desarrollo de otros órganos y la ocurrencia de períodos fenológicos (Adaptada de Catlin, 1998).

La brotación se inicia a mediados de septiembre, junto con la floración, coincidiendo con el período en que las raíces dejan de crecer (Figura 1). En árboles adultos, el período de máximo crecimiento de los brotes se extiende hasta mediados o fines de diciembre, donde el brote adquiere cerca del 90% de su longitud final, aunque en árboles jóvenes el crecimiento de los brotes se puede extender hasta fines de verano. La temperatura óptima para el desarrollo de los brotes esta entre los 25 y 30 °C.

El desarrollo del fruto se inicia con la polinización y la fertilización de las inflorescencias femeninas. En las primeras 2 a 3 semanas después de floración se inicia el desarrollo de los frutos, incluso de aquellos que no han sido fecundados. Alrededor de la tercera semana las flores que no han sido fecundadas caen y continúan su desarrollo sólo los frutos fecundados, donde inician un período de rápido crecimiento que se extiende hasta aproximadamente la octava semana después de floración (Figura 2). En torno a esta fecha el fruto alcanza sus máximas dimensiones, tanto en longitud como en diámetro. En este período queda definido el tamaño final del fruto.

A partir de la novena semana, aproximadamente, la semilla comienza a aumentar de tamaño y de peso por la incorporación de asimilados provenientes de la fotosíntesis. El máximo desarrollo del embrión se obtiene cerca de 18 a 20 semanas después de floración. Durante este período el fruto no aumenta de tamaño, pero sí de peso, como consecuencia del desarrollo de la nuez.

En el Cuadro 1 se presentan los diferentes estados de desarrollo del fruto y su época normal de ocurrencia.

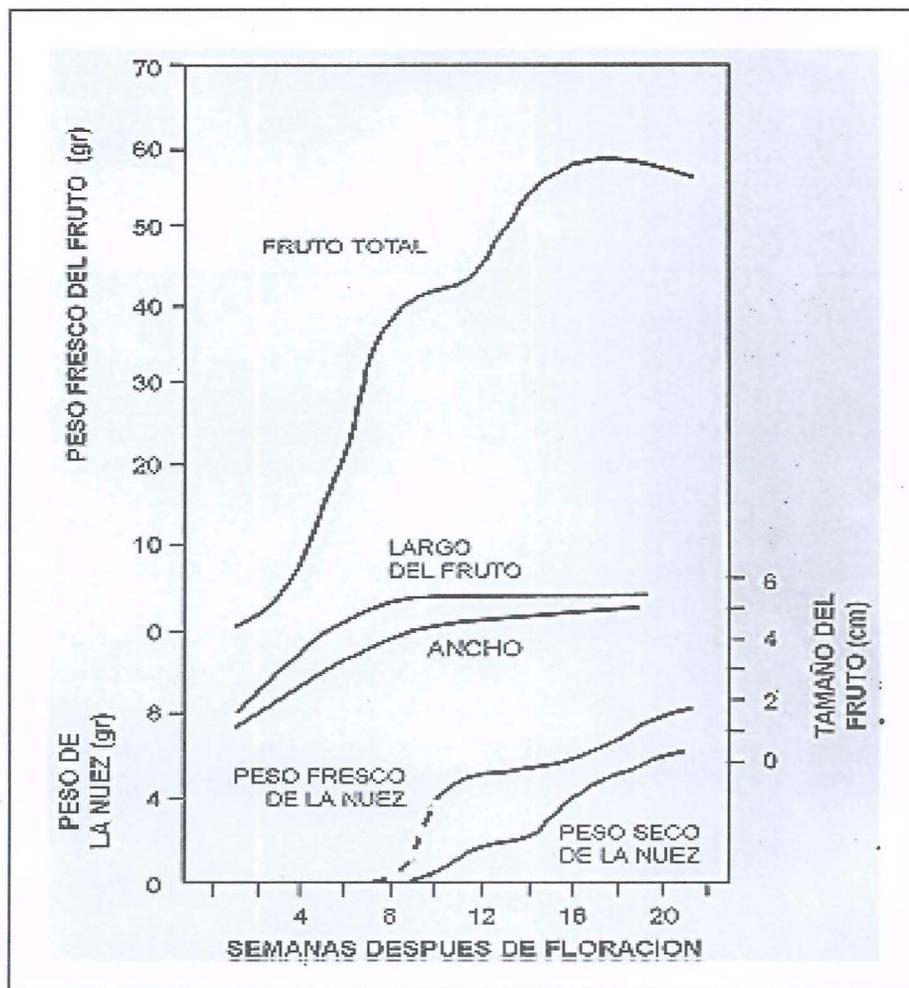


Figura 2. Curva de crecimiento del fruto y de la nuez de nogal en función del tiempo; expresado como semanas después de floración (adaptado de Pinney *et al.*, 1998).

**Cuadro 1.** Estados de desarrollo del fruto y su época normal de ocurrencia

<b>Semanas después de floración</b>	<b>Estado de desarrollo del fruto</b>
1	Fertilización de la célula huevo.
2	Embrión con 2 a 8 células. Abundante endosperma presente.
3	Embrión con 8 a 32 células.
5	Embrión globular constituido por más de un centenar de células.
6	Los cotiledones se comienzan a desarrollar. Se inicia el endurecimiento de la cáscara.
8	El crecimiento del fruto comienza a disminuir, con relación al rápido crecimiento anterior.
9	La nuez (embrión) comienza un rápido crecimiento a medida que los cotiledones comienzan a llenar el lóculo.
10	Se alcanza el tamaño final del fruto.
12-15	Se completa el endurecimiento de la nuez.
15	Se inicia un rápido aumento de peso seco de la nuez.
18	Máximo peso del fruto.
19-22	Fecha aproximada de cosecha.

Fuente: Pinney *et al.* (1998).

## REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL NOGAL

Los requerimientos netos de agua (requerimientos hídricos) de un huerto adulto de nogales, descontando el aporte de las precipitaciones, pueden alcanzar anualmente entre los 6.652 y los 11.406 m<sup>3</sup>/ha, dependiendo de la localidad considerada (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Requerimientos netos de agua (m<sup>3</sup>/ha/año) para el cultivo del nogal, en diferentes localidades de la zona central de Chile

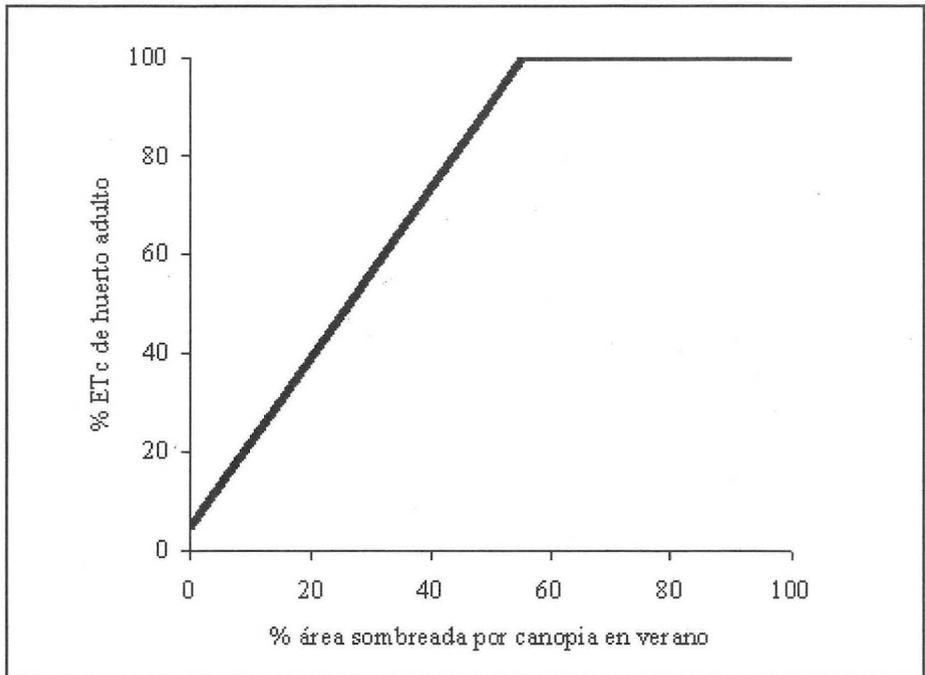
Localidad	ETR m <sup>3</sup> /ha/año	ETR mes de máxima demanda	
		m <sup>3</sup> /ha/mes	L/s/ha
Buin	7.903	1.450	0,56
La Platina	8.967	1.644	0,63
Melipilla	8.578	1.573	0,61
Santiago	8.297	1.522	0,59
La Cruz	6.904	1.266	0,49
Quillota	8.647	1.586	0,61
La Ligua	6.562	1.203	0,46
Llay-Llay	11.406	2.092	0,81
Los Andes	10.184	1.868	0,72
San Felipe	10.602	1.944	0,75
San Fernando	7.832	1.436	0,55
Rengo	8.282	1.519	0,59
Rancagua	9.762	1.790	0,69

ETR: Evapotranspiración real del cultivo.

Fuente: Elaboración propia.

Los requerimientos de riego del nogal dependen de la demanda evaporativa de la localidad donde se encuentra el cultivo; de su estado de desarrollo y del porcentaje de cobertura del suelo, el que varía con la edad de las plantas y el marco de plantación. La demanda evaporativa o evapotranspiración potencial (ET<sub>0</sub>) varía en el curso de la temporada, siendo baja al comienzo de la estación de crecimiento, para aumentar a mediados del verano. La

mayor demanda del nogal se produce cuando tiene el máximo follaje (canopia), lo que ocurre a mediados de verano. El porcentaje de suelo que cubre un huerto de nogales depende de la densidad de plantación, de la edad de las plantas y del desarrollo del área foliar en el curso de la temporada. La demanda llega a su máximo cuando el porcentaje de cubrimiento de los árboles adultos llega a valores entre el 55 y 60% en pleno verano (Goldhamer, 1998). Para ejemplificar lo anterior, en la Figura 3 se presenta una relación entre el porcentaje de cobertura de suelo a mediados de verano y la evapotranspiración del cultivo, en almendros, la cual puede ser aplicado al caso del nogal (Goldhamer, 1998). En ella se puede observar que la relación no es 1:1, es decir, el consumo de agua es mayor que el porcentaje de suelo cubierto. Esto se puede atribuir a una transferencia de energía desde el suelo desnudo hacia las hojas de las plantas, aumentando la evapotranspiración.



**Figura 3.** Relación entre el porcentaje de cubrimiento del suelo a mediados de verano y la evapotranspiración relativa, respecto de árboles adultos (Goldhamer, 1998).

La información necesaria para determinar los requerimientos hídricos del nogal o evapotranspiración máxima del cultivo (ETc), con fines de programación de riego o diseño de equipos, son la evapotranspiración potencial (ET<sub>0</sub>) y los coeficientes de cultivos (Kc), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$ETc = ET_0 \times Kc$$

La ET<sub>0</sub> se conoce como la evapotranspiración de referencia y corresponde al agua usada por un cultivo pasto corto y uniforme, que cubre completamente el suelo y con un suministro de agua adecuado. La ET<sub>0</sub> es una medida de la demanda evaporativa atmosférica de una región en particular a través del año. Ella puede ser determinada a través del método de Penman-Monteith o utilizando el método de la bandeja de evaporación clase A. La ET<sub>0</sub> corresponde a un 70 a 80% de la bandeja de evaporación clase A.

El coeficiente de cultivo (Kc) es la fracción de agua que un cultivo bien regado usa en relación a la ET<sub>0</sub> ( $Kc = ET_0/ETc$ ). El coeficiente de cultivo depende del estado de desarrollo de la planta y el estado fenológico en que se encuentra. Experiencias desarrolladas en California (Goldhamer, 1998) han permitido determinar el Kc en árboles adultos, el cual se inicia con valores del orden de 0,12 ( $Kc = 0,12$ ) a inicios de la temporada, para llegar a un valor máximo de 1,14 ( $Kc = 1,14$ ) a mediados de verano. Este valor permanece más o menos constante hasta que se inicia la caída de hojas a principios de otoño.

En el Cuadro 3 se presentan valores de Kc utilizados en California de acuerdo a la información de Goldhamer (1998).

**Cuadro 3.** Coeficientes de cultivo (Kc) para nogal (adaptado de Goldhamer, 1998)

Período	Kc
15 – 30 septiembre	0,12
1 – 15 octubre	0,53
16 – 31 octubre	0,68
1 – 15 noviembre	0,79
16 – 30 noviembre	0,86
1 – 15 diciembre	0,93
15 – 31 diciembre	1,00
1 – 15 enero	1,14
16 – 31 enero	1,14
1 – 15 febrero	1,14
16 – 28 febrero	1,14
1 – 15 marzo	1,08
16 – 31 marzo	0,97
1 – 15 abril	0,88
15 – 30 abril	0,51
1 – 15 mayo	0,28

Algún ajuste del valor de Kc se requiere para variedades tempranas o tardías, en los períodos extremos, de acuerdo a la fecha real de la brotación.

### **EFFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO SOBRE EL CULTIVO DEL NOGAL**

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. 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).

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 períodos no necesariamente perjudican el crecimiento de las plantas y sus rendimientos, aunque sí pueden afectar la calidad de la fruta. En relación con esto último, contar con humedad adecuada en el suelo (cerca a la capacidad de campo) durante la primavera es importante para la obtención de frutos de tamaño comercial.

Durante el período inicial de crecimiento del fruto, entre floración y 5 a 6 semanas después (Figura 2), la escasez de humedad podría producir un gran porcentaje de frutos muy pequeños. Una vez que la cubierta de la nuez comienza a endurecerse —mediados de diciembre— el crecimiento es casi nulo. Por este 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). Para evitar la pérdida de calibre del fruto, en zonas con baja precipitación es recomendable proporcionar riegos durante el invierno, de modo de tener humedad durante la primavera e inicios del verano. Otra ventaja de los riegos invernales dice relación con la incidencia del cáncer bacteriano. Teviotdale y Siebbett (1982) encontraron que la aplicación de riegos invernales reduce la incidencia y gravedad de ataques de cáncer bacteriano.

A pesar de que la falta de agua 5 ó 6 semanas después de las de floración no tiene mayor efecto sobre el tamaño final del fruto, en esta etapa 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 calidad del fruto (nueces más livianas, más oscuras, con cáscara más delgada y con problemas de sellados entre valvas), en especial en las partes del árbol donde la fruta se encuentra más expuesta al sol.

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

En California, en una zona de suelos arcillosos, se comparó durante dos años (1977 y 1978) un riego mínimo con uno normal en un huerto de nogal de 8 años de edad de la variedad Ashley (Martín *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.

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, aunque en la segunda temporada cuando el riego se repuso en ambos tratamientos no hubo diferencias (Cuadro 4). 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 4). La causa de este aumento de peso de las nueces no está clara, y podría deberse a que los árboles que no fueron regados en el año 1977 conservaron una ventaja marginal en hidratos de carbono para las primeras etapas de crecimiento del fruto en el segundo año.

**Cuadro 4.** Crecimiento del tronco, peso, valor y calidad del grano en nueces regadas y no regadas, variedad Ashley. 1977 y 1978 (Martin *et al.*, 1980)

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

rante 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 producían 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.

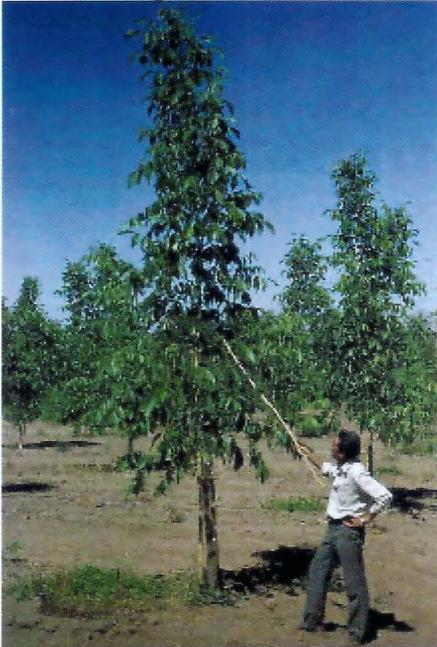
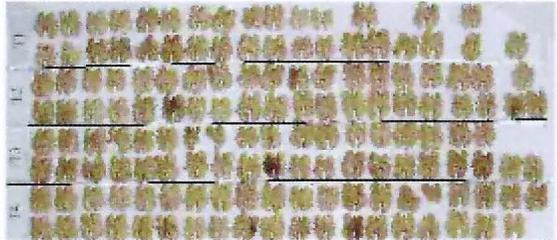
No solamente el déficit hídrico afecta el desarrollo del nogal, el exceso de agua también tiene efectos negativos sobre los árboles. En ciertas circunstancias, el exceso de agua en el suelo puede producir más daño que su déficit.

En los suelos saturados, los poros se encuentran llenos de agua, desplazando el aire. De esta forma se reduce la tasa de difusión de oxígeno hacia las raíces, alterando su respiración y funcionamiento metabólico. Esta situación ocurre por mal drenaje, por nivel freático alto, e incluso por suelos que se riegan demasiado, en particular si estos son de textura pesada. Las raíces nuevas de los nogales pueden morir con períodos de saturación de entre 1 a 4 días, siendo más graves los efectos de la saturación cuando las temperaturas del suelo aumentan y la planta se encuentra en pleno período de crecimiento. Los efectos de la saturación de suelo son mucho menores en el invierno, cuando las raíces se encuentran menos activas. Si los períodos de saturación son prolongados, las plantas comienzan a manifestar clorosis y caída de hojas. Los efectos de la saturación prolongada del suelo son mayores en suelos pesados (arcillosos) o suelos muy compactados, con baja cantidad de macroporos, dada la menor difusión del oxígeno que se produce en estas condiciones. Una aireación deficiente muchas veces es responsable del desarrollo superficial que presentan las raíces en suelos de texturas finas (arcillosas) incluso cuando no existen excesos de agua. Por otra parte, los excesos de agua favorecen el desarrollo de enfermedades que afectan el cuello y el sistema radical de las plantas (Catlin, 1998). Por lo indicado anteriormente, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), ejecutó en el valle de Aconcagua un proyecto financiado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) denominado “Riego Deficita-



Huerto de nogales.

Nueces cosechadas en la  
temporada 2000/01.  
San Esteban, V Región.



Ensayo de nogales variedad Serr en el  
tercer año después de plantación. Comu-  
na de San Esteban, V Región.



Daño por golpe de sol en nueces variedad Serr.



Porómetro de flujo estable para medir conductancia estomática.



Cámara de presión o Bomba Scholander, con hoja cubierta. Se utiliza para medir potencial hídrico xilemático.



Pecíolo de una hoja en la tapa de una Bomba de Scholander. Cuando la presión en la cámara es equivalente a la tensión de la savia, la savia aparece por el pecíolo.

rio 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 en la disponibilidad de 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 períodos 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 hídrica.

## **EXPERIENCIA CON RDC EN CHILE**

La ocurrencia de períodos de sequía ha llevado a pensar en los sistemas de Riego Deficitario Controlado (RDC) como estrategia para minimizar los impactos que en la agricultura tiene la restricción de agua. En este sentido, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), con el apoyo de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) realizó entre los años 1998 a 2001 un proyecto destinado a obtener programas de riego que contemplen RDC para el cultivo de los nogales.

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.

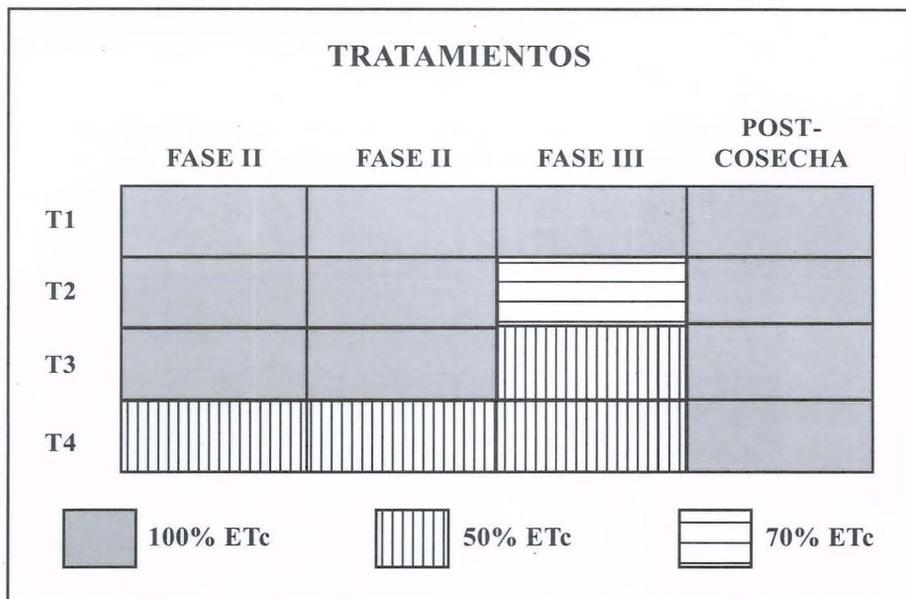
Comprende una superficie aproximada de 1,4 ha de nogales ‘Serr’, de 3 años, plantados a 7 \* 7 m.

El clima de la zona es de tipo mediterráneo, con marcada concentración invernal de las precipitaciones y un verano prolongado y seco. El período de lluvias está concentrado entre los meses de mayo y agosto, con magnitudes entre los 250 y 450 mm anuales. El período 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.

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.



### Tratamientos 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 del Aconcagua (Cuadro 5).

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 5.** Coeficiente de cultivo (Kc) del nogal

Mes	Kc
Sep.	0,20
Oct.	0,45
Nov.	0,60
Dic.	0,95
Ene.	1,10
Feb.	0,77
Mar.	0,50
Abr.	0,20

En el Cuadro 6 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% en los tratamientos de riego deficitario en comparación con el tratamiento T1.

**Cuadro 6.** 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>er</sup> año	1999/00 4 <sup>o</sup> año	2000/01 5 <sup>o</sup> año	Disminución agua aplicada promedio (%)
T1	2.970,0	7.612,0	6.766,0	00,00
T2	2.401,0	6.542,0	5.762,0	16,00
T3	1.975,0	5.828,0	5.094,0	27,00
T4	1.781,0	3.806,0	3.383,0	47,00

## Estado hídrico de la planta

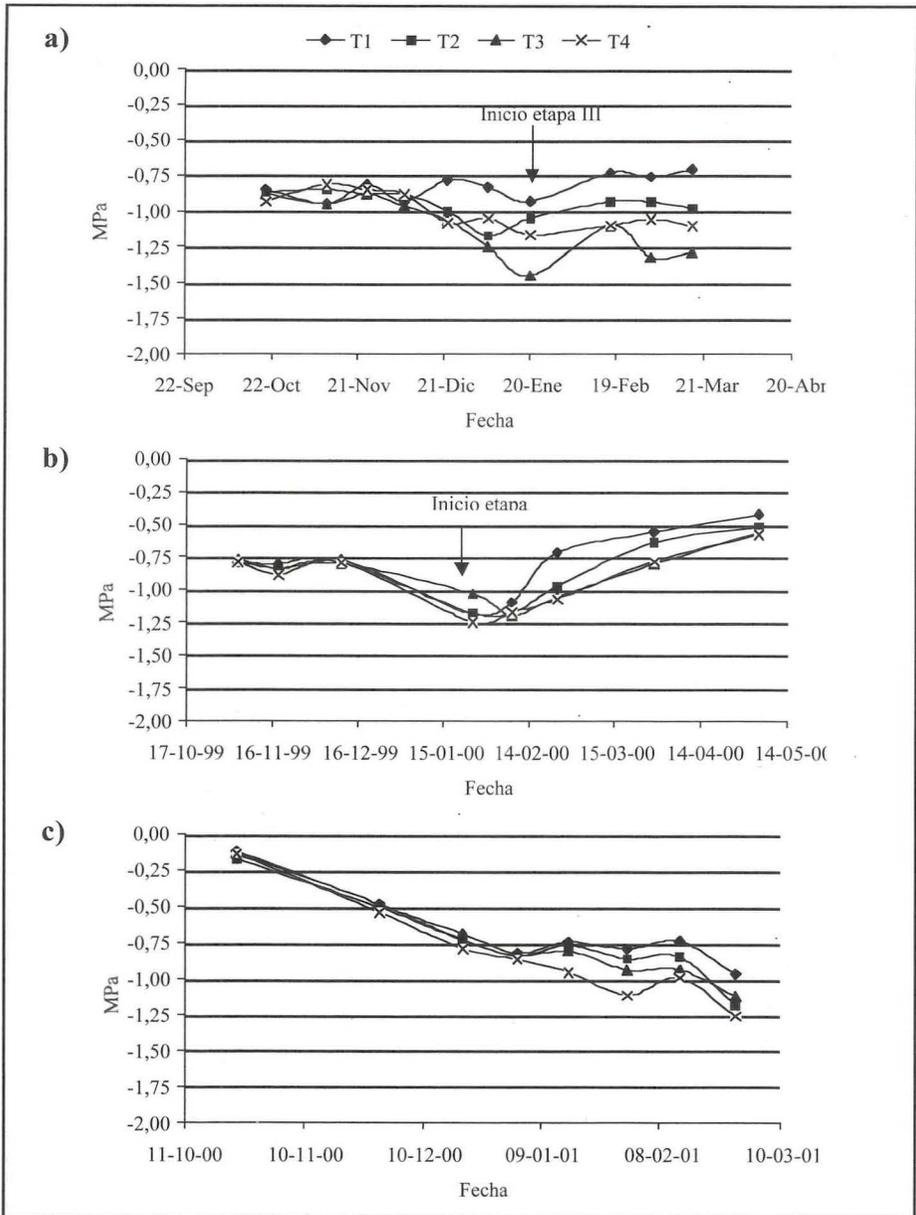
### *Potencial hídrico xilemático*

El Potencial hídrico xilemático se midió al mediodía solar, momento en el que se considera 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 Bárbara, California, E.U.A). 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 hídrico con el de las estructuras que la sostienen, siguiendo la metodología propuesta por Meyer y Reicosky (1985). Se realizaron mediciones periódicas a lo largo de la temporada.

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 ésta. Los valores medidos 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 (Figura 4).

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 períodos en que el déficit fue más intenso (T3 y T4) (a partir del 30 de enero aproximadamente, inicio de la etapa III).

Las mediciones de potencial hídrico xilemático realizadas a mediodía, indican que cuando no existe déficit de riego, los valores disminuyen hasta  $-0,8$  MPa a mediados y fines de verano (Figura 4). 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).



**Figura 4.** Efecto del RDC en nogal (Serr) sobre el potencial xilemático en las temporadas 1998/99 (a), 1999/2000 (b) y 2000/01 (c).

### *Conductancia estomática*

La conductancia estomática (gs) se estimó a partir de la resistencia estomática (rs,  $gs = 1/rs$ ) en la mañana (10:00 h), momento en que los estomas se encuentran completamente abiertos (Fernández *et al.*, 1997) por medio de un porómetro de flujo estable Li 1600 (Li-COR inc. Lincoln, Nebraska, E.U.A.). 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.

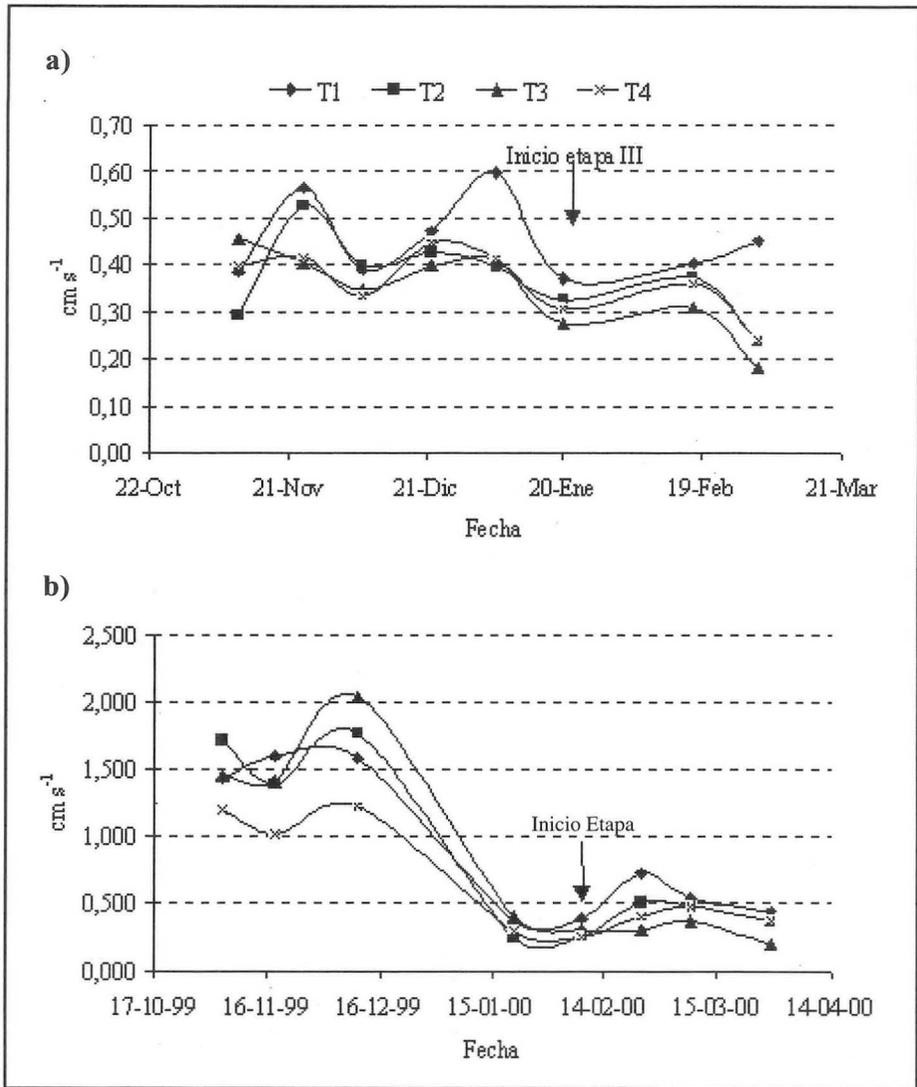
En la Figura 5 se muestra la evolución de la conductancia estomática observada en los distintos tratamientos del ensayo, siendo concordante con los potenciales xilemáticos. Tal como se muestra en esta figura, la mayor conductancia estomática se produce en la época en que los potenciales xilemáticos alcanzan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

La conductancia estomática fluctuó entre 1,25 y 0,25 cm/s, con valores entre 1,66 a 0,4 en plantas con un suministro hídrico normal y valores entre 0,4 a 0,25 en nogales con déficit hídrico (Figura 5).

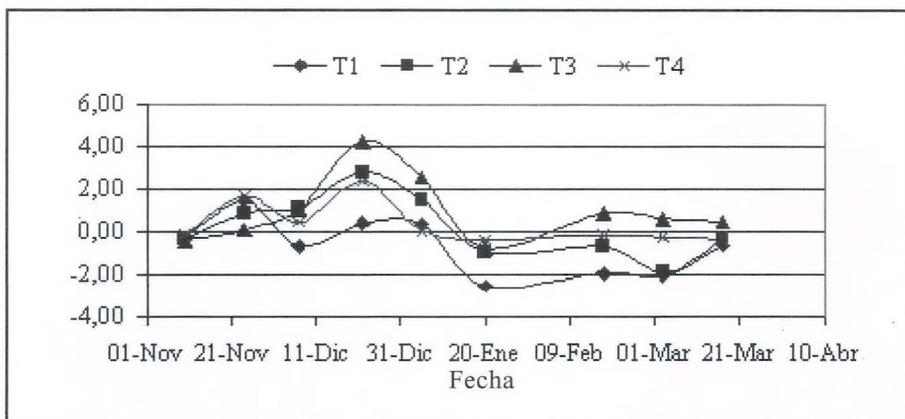
### *Índice de Estrés Diario (IED)*

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).

En la Figura 6 se observan los valores del Índice de Estrés Diario (IED) 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 tratamientos en los que se repuso la totalidad de las necesidades de riego (T1) o con estrés mínimo (T2, con 70% de T1). En la medida en que disminuyó la disponibilidad de agua para la planta el índice aumentó a valores cada vez más positivos (T4 y T3 durante la etapa III de crecimiento del fruto).



**Figura 5.** Efecto del RDC en nogal (Serr) sobre la resistencia estomática en las temporadas 1998/99 (a) y 1999/2000 (b).



**Figura 6.** Efecto de RDC en nogal (Serr) sobre el Índice de Estrés Diario (IED).

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 7. El potencial hídrico xilemático es un indicador adecuado del estado hídrico de las plantas y puede ser útil para controlar estrés hídrico en nogales.

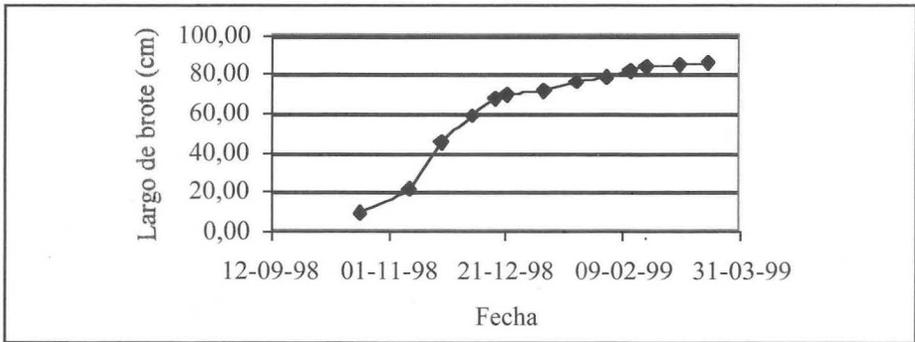
**Cuadro 7.** Valores medios del estado hídrico de las plantas encontrados durante los períodos de déficit hídricos

Grado de estrés	Potencial xilemático a mediodía (MPa)	T° hoja - T° aire (° C)	Resistencia estomática (cm s <sup>-1</sup> )
Sin estrés	-0,8	-1,5	0,8 - 2,5
Estrés 30% Fase III	-1,0	-1,0	2,5 - 3,0
Estrés 50% Fase III	-1,2	-0,9	3,0 - 4,0
Estrés 50% Fase I, II y III	-1,2	0,0	2,5 - 3,0

### 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.

La Figura 7 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.



**Figura 7.** Crecimiento de brotes 1998/99 (promedio tratamiento).

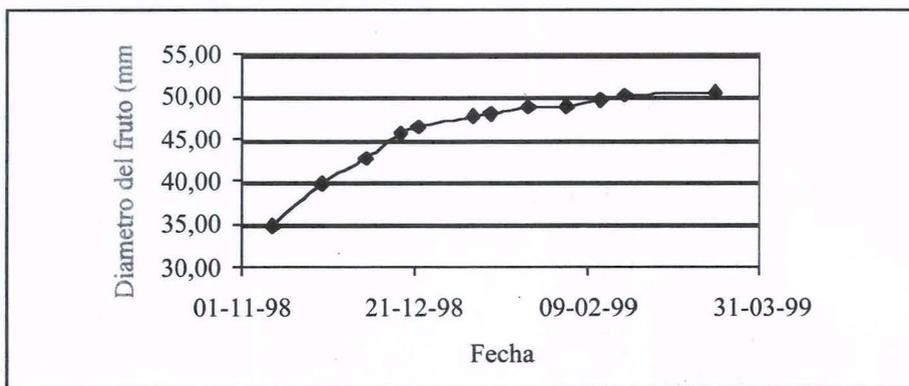
El largo de brotes es un parámetro de crecimiento del árbol con gran variabilidad, por lo cual sólo se obtuvieron tendencias que indican que el menor crecimiento lo presentó el tratamiento con riego deficitario durante toda la temporada (T4), seguido de los tratamientos T2 y T3 (70 y 50 por ciento de 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 8).

### 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.

La evolución del diámetro de nuez se presenta en la Figura 8, 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 final.

En el Cuadro 8 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 cuando el tamaño del fruto está definido casi en su totalidad (Figura 8) 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, sólo en la temporada 98/99 el fruto tendió a ser menor 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 xilemáticos (Figura 4), 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 1.800 m<sup>3</sup>/ha, lo que puede ser suplido por 180 mm de precipitación efectiva. Las precipitaciones



**Figura 8.** Crecimiento del fruto en nogal (Serr) 1998/99. Promedio tratamiento T1.

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 períodos previos. Por otra parte, estos autores indican que un déficit hídrico afecta el tamaño cuando este ocurre en el período de rápido crecimiento de la nuez.

**Cuadro 8.** Efecto del déficit hídrico en el crecimiento del nogal

	Tratamiento			
	T1	T2	T3	T4
<b>Diámetro de la fruta (mm) (cm) por árbol</b>				
1998/99	51,7 a	51,0 a	50,4 a	48,8 a
1999/00	33,3 a	34,6 a	39,4 a	36,1 a
2000/01	41,1 a	41,2 a	41,5 a	41,8 a
<b>Largo de brote</b>				
1998/99	92,1 a	83,9 a	84,8 a	79,7 a
1999/00	99,6 a	79,7 a	86,3 a	81,6 a
2000/01	96,2 a	82,4 a	85,4 a	80,5 a
<b>N° de frutos</b>				
2000/01	836 a	860 a	876 a	748 a

### 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.

En el Cuadro 9 se muestran los rendimientos obtenidos en los distintos tratamientos de riego. Los tratamientos deficitarios no afectaron significativamente los rendimientos (Cuadro 9), 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 la señalada para el crecimiento del fruto. Respecto a la disminución de rendimiento en el tratamiento T4, ésta se explica por el menor número de frutos observados en este tratamiento la temporada 2000/01, ya que no existió diferencia en el peso promedio de los frutos (Cuadro 8). Este menor número de frutos se podría deber a que este tratamiento afectó la inducción floral el año anterior. La diferenciación floral comienza a fines de primavera y principios de verano, período en que éste tratamiento está más estresado que los otros evaluados.

**Cuadro 9.** Efecto del déficit hídrico en el rendimiento y crecimiento del nogal

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)		
	98/99	99/00	00/01
T1	106 a	624 a	2.377 a
T2	94 a	759 a	2.345 a
T3	91 a	694 a	2.476 a
T4	73 a	811 a	2.039 a

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

### Calidad del fruto

En el Cuadro 10 se observan diversos parámetros de calidad medidos en muestras de nueces provenientes de los distintos tratamientos de riego deficitario. En él se observa un mayor porcentaje de nueces de mejor cali-

dad en los tratamientos sin déficit hídrico. Tratamientos con déficit hídrico durante la fase III producen un número mayor de nueces oscuras. En el Cuadro 7 también se puede observar que la magnitud de los déficits hídricos aplicados no afectó el porcentaje de frutos con golpe de sol, sobre todo en los árboles más adultos (temporada 2000/01).

**Cuadro 10.** 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	46,67 a	80,6 a	1,84 a	1,91 a	6,7 a	4,6 a
T2	35,56 a	71,5 a	2,22 a	2,13 a	13,3 a	6,8 a
T3	24,44 a	72,6 a	2,67 a	2,24 a	10,0 a	8,2 a
T4	13,33 a	73,6 a	2,38 a	2,04 a	22,2 a	5,9 a

Color: 1 (extra claro); 2 (claro); 3 (ámbar claro); 4 (ámbar).

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

## 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 porcentaje 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 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, sólo en la fase III, se observa una tendencia a disminuir la calidad de los frutos producidos (disminución del porcentaje 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 hídricos 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.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, D.; RAES, D. and 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.
- CATLIN, P. 1998.** Root Physiology and Rootstock Characteristics. *En:* Ramos, D. (ed) Walnut Production Manual p 119-126. California University. Division of Agriculture and Natural Resources (USA). 319 p.
- CHARLOT, G. 1999.** L' irrigation du Noyer. *Infos-Ctifl* (62): 6-10.
- COHEN, M.; AMEGLIO, T.; VALANCOGNE, P. and 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. and ARCHER, P. 1993.** Water consumption and optimization of the irrigation in orchards. *Acta Horticulture* 335: 349-357.
- FERNÁNDEZ, J.; MORENO, F.; GIRÓN, I. and BLÁZQUEZ, O. 1997.** Stomatal control of water use in olives trees leaves. *Plant and Soil* 190: 179-192.
- GERMAN, E.; PRUNET, J. et GARCIN, A. 1999.** Le Noyer. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Legumes, París, Francia. 279 p.
- GIRONA, J.; MATA, M.; GOLDHAMER, D.; JOHNSON, R. and 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. 1998.** Irrigation Scheduling for Walnut Orchards. en: Ramos, D. (ed) *Walnut Production Manual* p 159-166. California University. Division of Agriculture and Natural Resources (USA). 319 p.
- GOLDHAMER, D.; PHENE, R.; BEEDE, R.; RAMOS, D.; SIBETT, G. and KJELGREN, R. 1995.** 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. and LABAVITCH, J. 1992.** Variation in Polyunsaturated Fatty acids composition of persian walnut. *J. Amer. Soc. Hort* 117(3): 518-522.
- MARTIN, G.; URIU, K. and NISHIJIMA, C. 1980.** The effect of drastic reduction of water input on mature walnut trees. *HortScience* 15(2): 157-158.

- MEYER, W.S. and REICOSKY, D.C. 1985.** Enclosing leaves for water potential measurement and its effect on interpreting soil-induced water stress. *Agric. Forest. Meteorol.* 35: 187-192.
- PINNEY, K.; LABATICH, J. and POLITO, V. 1998.** Fruit Growth and Development. *En: Ramos, D. (ed) Walnut Production Manual* p. 139-146. California University. Division of Agriculture and Natural Resources (USA). 319 p.
- 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*, october: 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.
- SÁNCHEZ-BLANCO, M.; TORRECILLAS, A.; GIRONA, J.; MARSAL, J. and DOMINGO, R. 1995.** Riego deficitario controlado. *Mundi prensa*. 188 p.
- 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-SÁNCHEZ, M.; LEÓN, A. and 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.
- VIEHMEYER, F. 1972.** The Availability of soil moisture to plants: results of empirical experiments with fruit trees. *Northern Nut Growers Association* 114(4): 269-294.

