

#ALMENDRO&PISTACHO

SÍGUENOS EN TWITTER:
@forumalpi

JUEVES
15 DE NOVIEMBRE DE 2018

**Un tándem
con mucha
proyección**



FÓRUM ALMENDRO

& PISTACHO

LUGAR: SALONES MABEL • CALLE CAMPO, 144 • 13700 TOMELLOSO (CIUDAD REAL)



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Ventajas del Riego Deficitario en Almendro

Pedro A. Nortes

**Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura
(CEBAS-CSIC)**

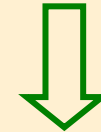
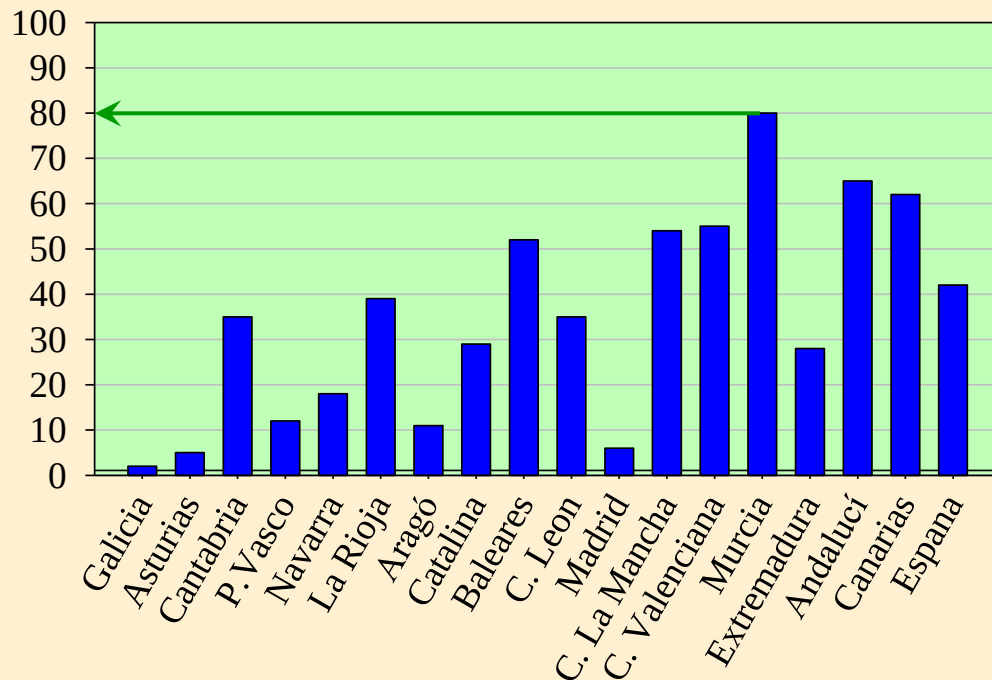
E-mail: panortes@cebas.csic.es

- **Antecedentes**
- **Riego deficitario larga duración**
- **Almendros regados con agua salina vs Riego deficitario**
- **Nuevos escenarios y estrategias a seguir**

La escasez de
agua



% de RL sobre el total de la Superficie Regada



El ahorro de agua derivado
de este avance tecnológico
sigue siendo insuficiente

RETOS DEL AGRICULTOR Y TÉCNICO

i) Cultivar con menos agua de la necesaria

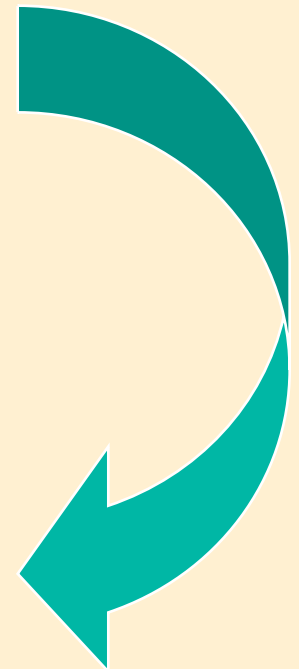
ii) La necesidad de mantener e incluso incrementar la rentabilidad de sus explotaciones

RD

RDC

PRD

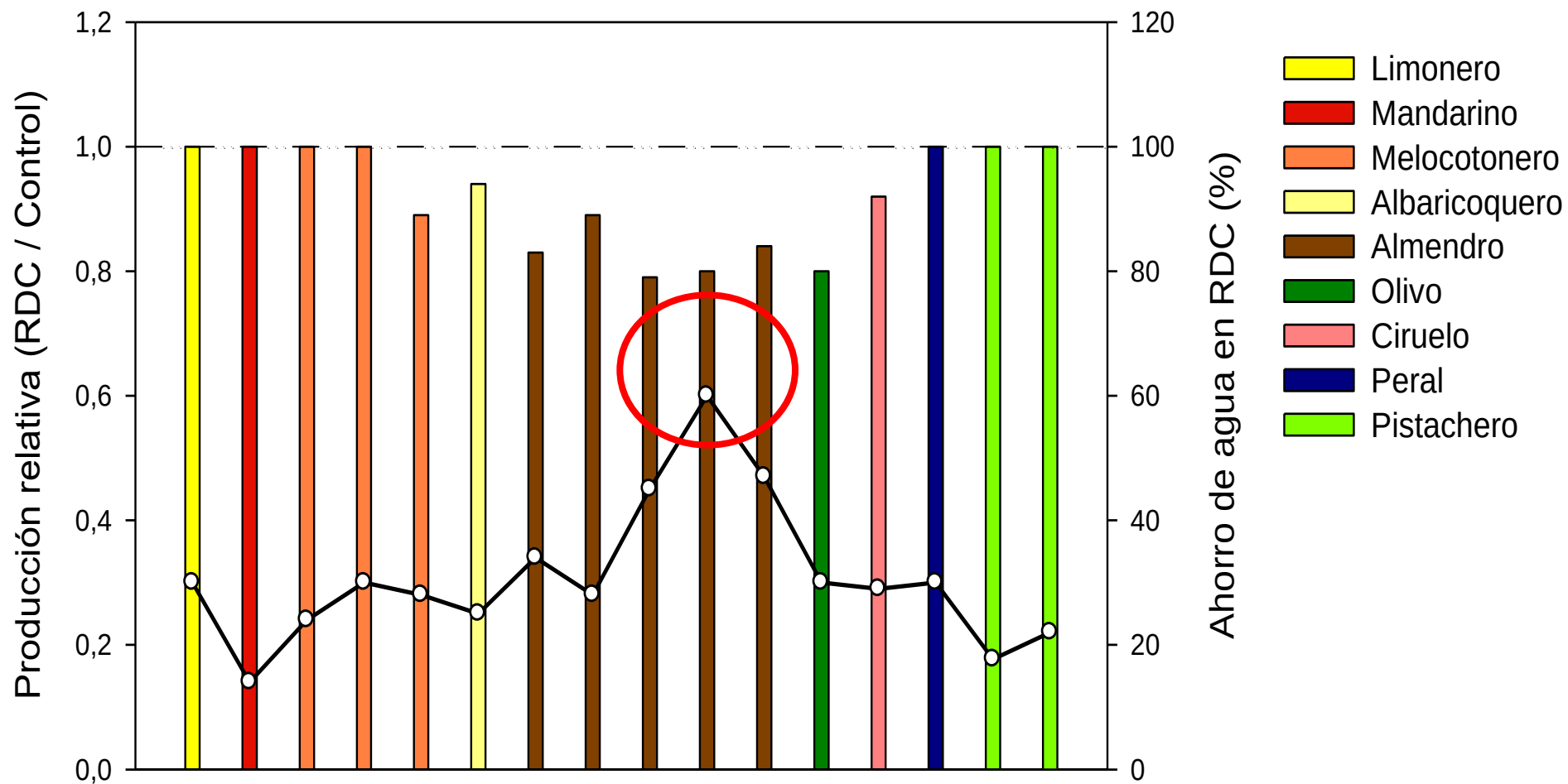
Mejorar el manejo del agua de riego



Años 70 Mitchell y Chalmers introducen el término RDC

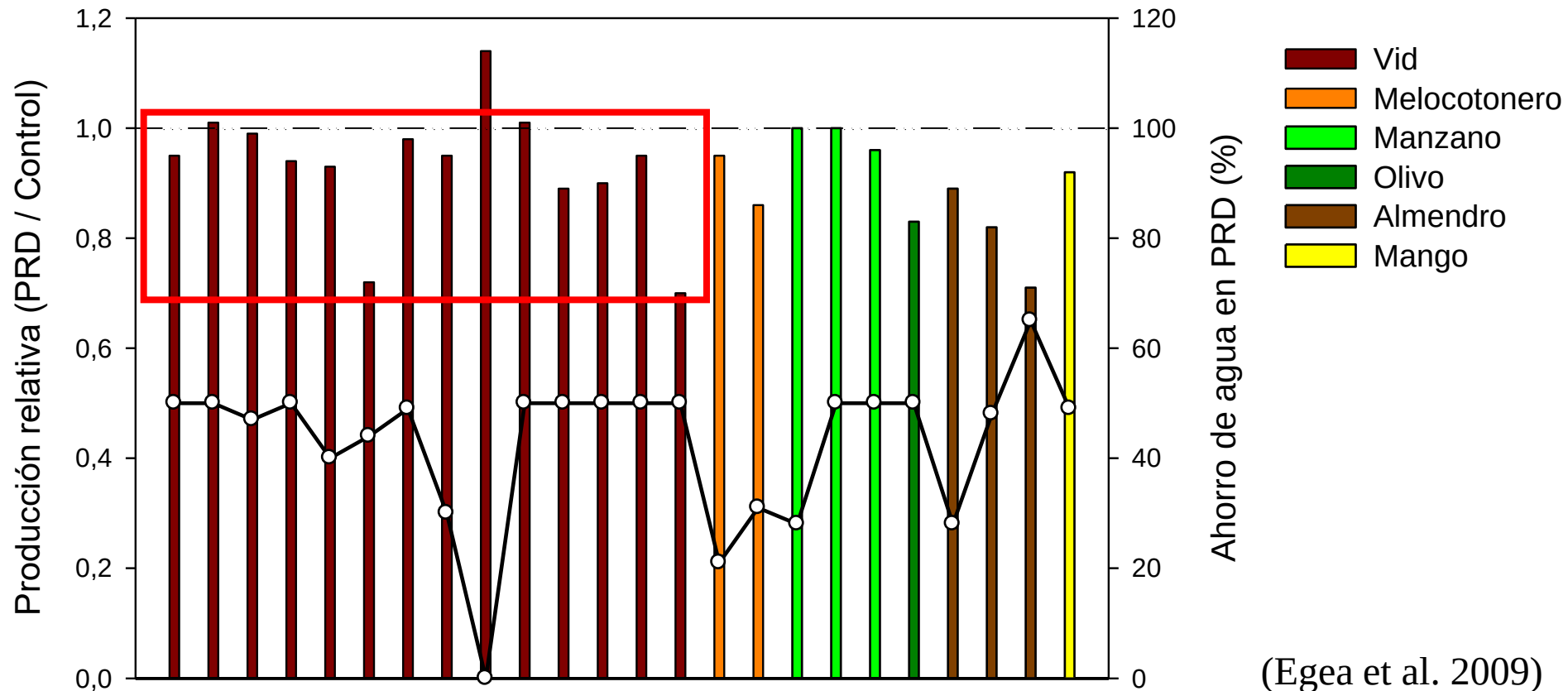
Mejores resultados en cultivos leñosos y hortícolas de gran valor comercial (Jones, 2004)

Más de 30 años de RDC han demostrado que esta estrategia puede maximizar la producción por unidad de agua aplicada



Especie	Período críticos	Fuente
Cítricos	Floración a cuaje; fase de crecimiento rápido del fruto	Domingo et al., 1997
Olivo	Previo a floración y crecimiento final del fruto	Goldhamer (1997)
Manzano y peral	Cuajado y poco antes de la cosecha	Mitchell, et al., 1984
Melocotonero	Crecimiento rápido del fruto	Chalmers <i>et al.</i> , 1981, 1985
Albaricoquero	Crecimiento rápido del fruto	Torrecillas et al., 2000
Almendro	Crecimiento del fruto y desarrollo de la semilla	Girona y Marsal 1995
Vid	Brotación-cuajado del fruto	

Años 90 Dry et al, 1996 introducen el término PRD



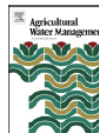
(Egea et al. 2009)

A nivel comercial el RDC y PRD no se ha extendido tanto como hubiese sido deseado. ¿Por qué?

Agricultural Water Management 126 (2013) 33–45

Contents lists available at ScienceDirect

Agricultural Water Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agwat

Irrig Sci

DOI 10.1007/s00271-012-0322-8

ORIGINAL PAPER

Remote management of deficit irrigation in almond trees based on maximum daily trunk shrinkage. V

P. Puerto^a, R. Domingo^{a,*}, R. Torres^b, A. Pérez

Irrig Sci (2009) 27:431–441
DOI 10.1007/s00271-009-0157-0

ORIGINAL PAPER

Seasonal effects of deficit irrigation on leaf photosynthetic traits of fruiting and non-fruiting shoots in almond trees

PEDRO A. NORTES,¹ MARIA M. GONZALEZ-REAL,^{1,2} GREGORIO EGEA¹ and ALAIN BAILLE¹

¹ Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela
Paseo Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, Spain

² Corresponding author (mayla.gonreal@upct.es)



Agricultural Water Management 208 (2018) 176–186

Contents lists available at ScienceDirect

Agricultural Water Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agwat

Usefulness of establishing trunk deficit for irrigation scheduling in almond

Gregorio Egea · Elisa Pagán · Alain Baille ·
Pedro A. Nortes · María M. González-Real

Irrigation Science (2018) 36:271–280
<https://doi.org/10.1007/s00271-018-0582-z>

ORIGINAL PAPER

Water requirements of mature almond trees in response to atmospheric demand

Manuel López-López¹ · Mónica Espadafor² · Luca Testi¹ · Ignacio Jesús Lorite² · Francisco Orgaz¹ · Elías Fereres^{1,3}



at level to assess the crop-water status in almond deficit irrigation strategies

Elías Fereres^a, Viñuela I.^a, Hernández A.^a, Gutiérrez-Gordillo S.^a,
Durán-Zuazo V.H.^c



A nivel comercial el RDC y PRD no se ha extendido tanto como hubiese sido deseado. ¿Por qué?

Para poder reproducir las estrategias de RDC y PRD que han proporcionado resultados satisfactorios

Se precisa de Indicadores de Estrés Hídrico:

Robustos, sencillos, fiables y sensibles, a los cambios del estado hídrico de la planta o/y del suelo

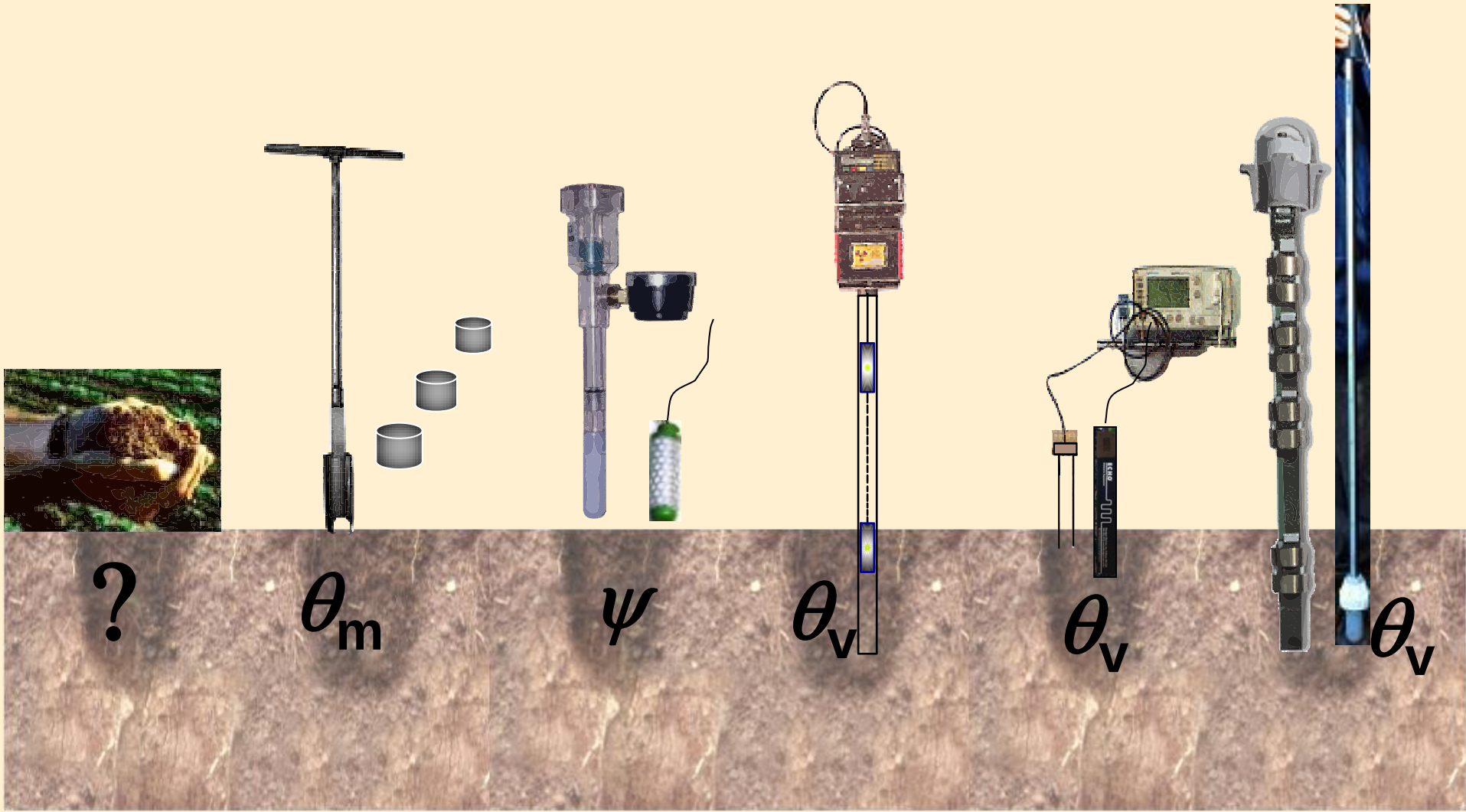
Automatizables



Automatización del manejo del riego

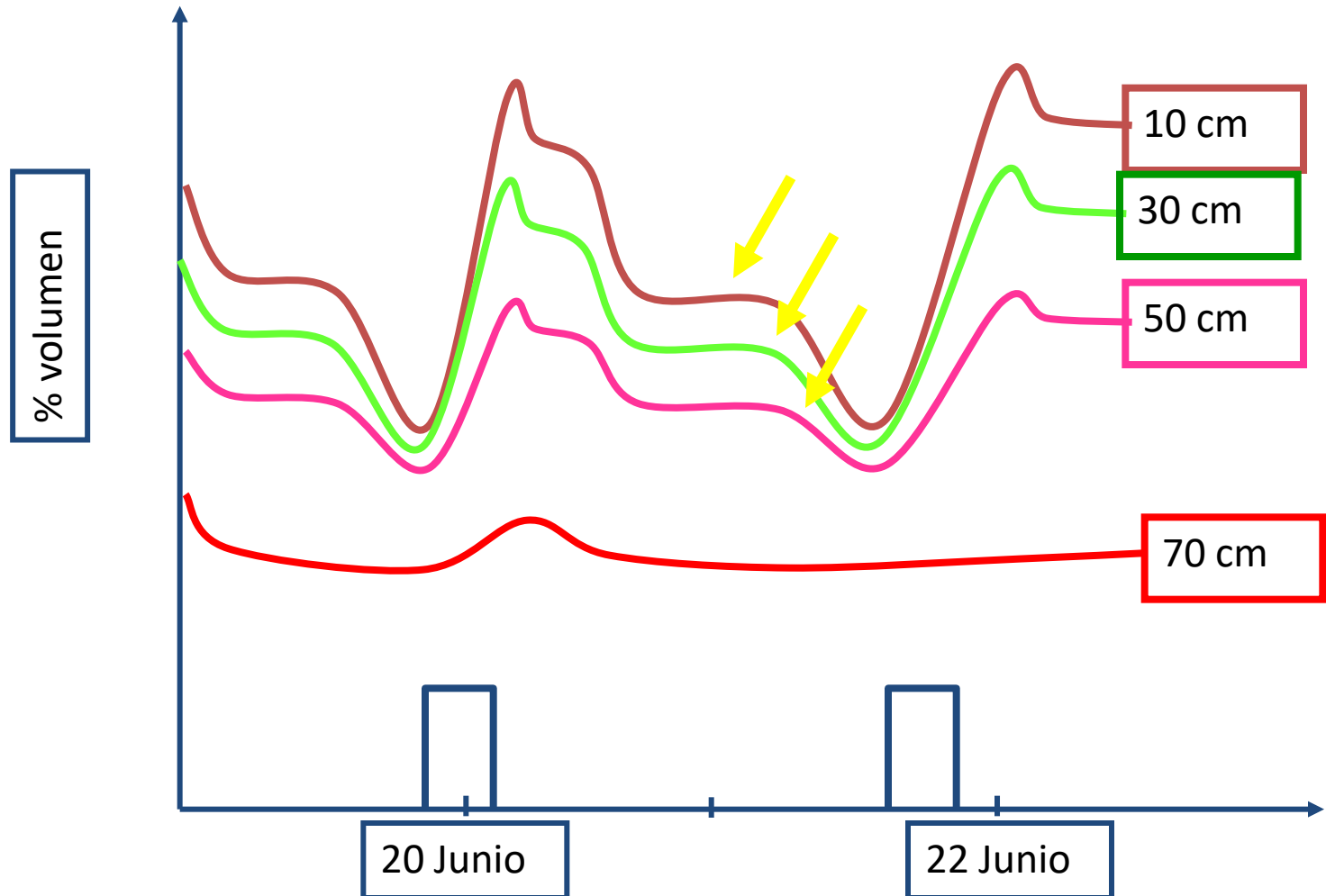
Programación del riego según estado hídrico del suelo

En el mercado hay muchos tipos de sensores. No todos miden lo mismo



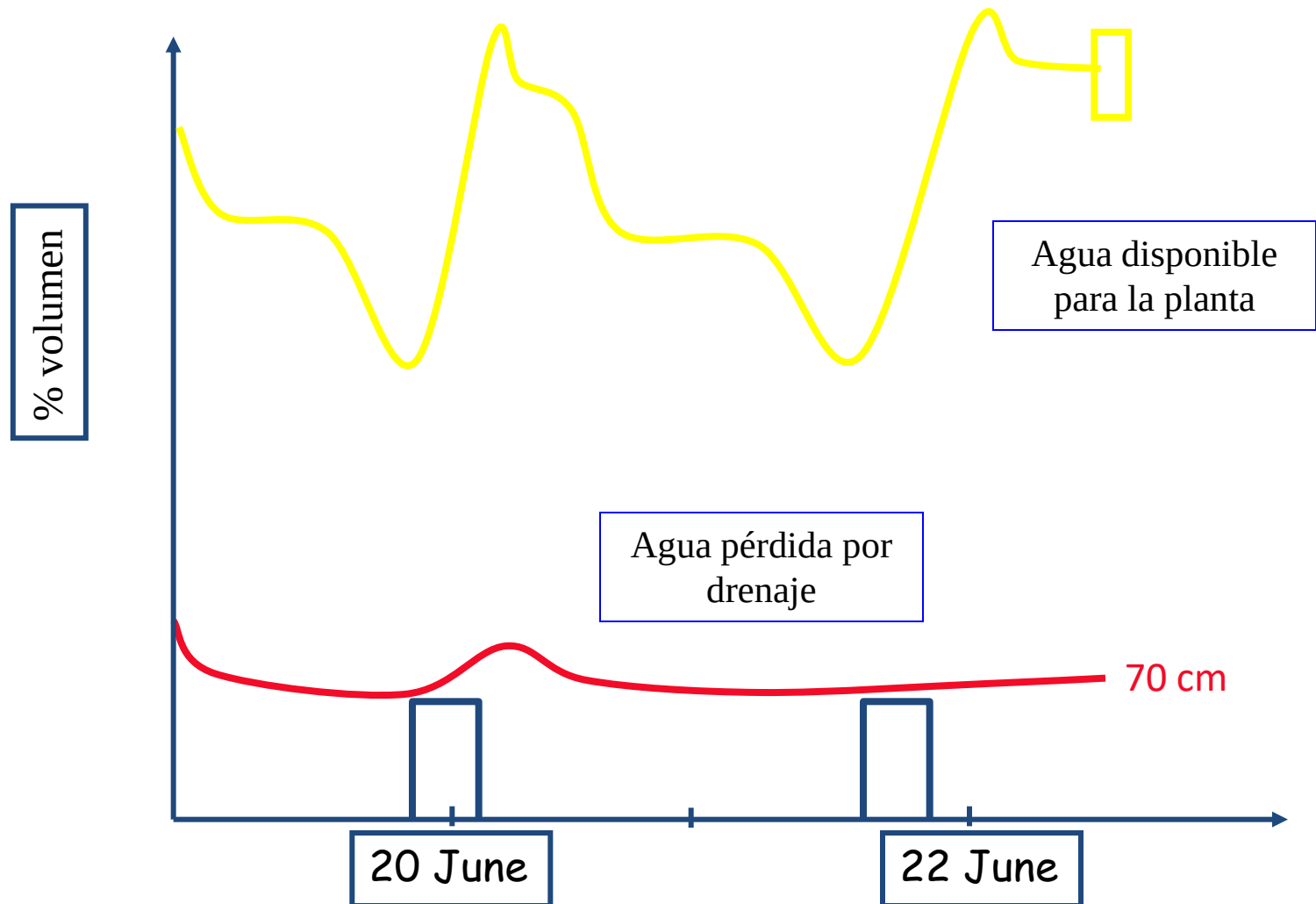
Programación del riego según estado hídrico del suelo

Protocolo sugerido



Programación del riego según estado hídrico del suelo

Protocolo sugerido

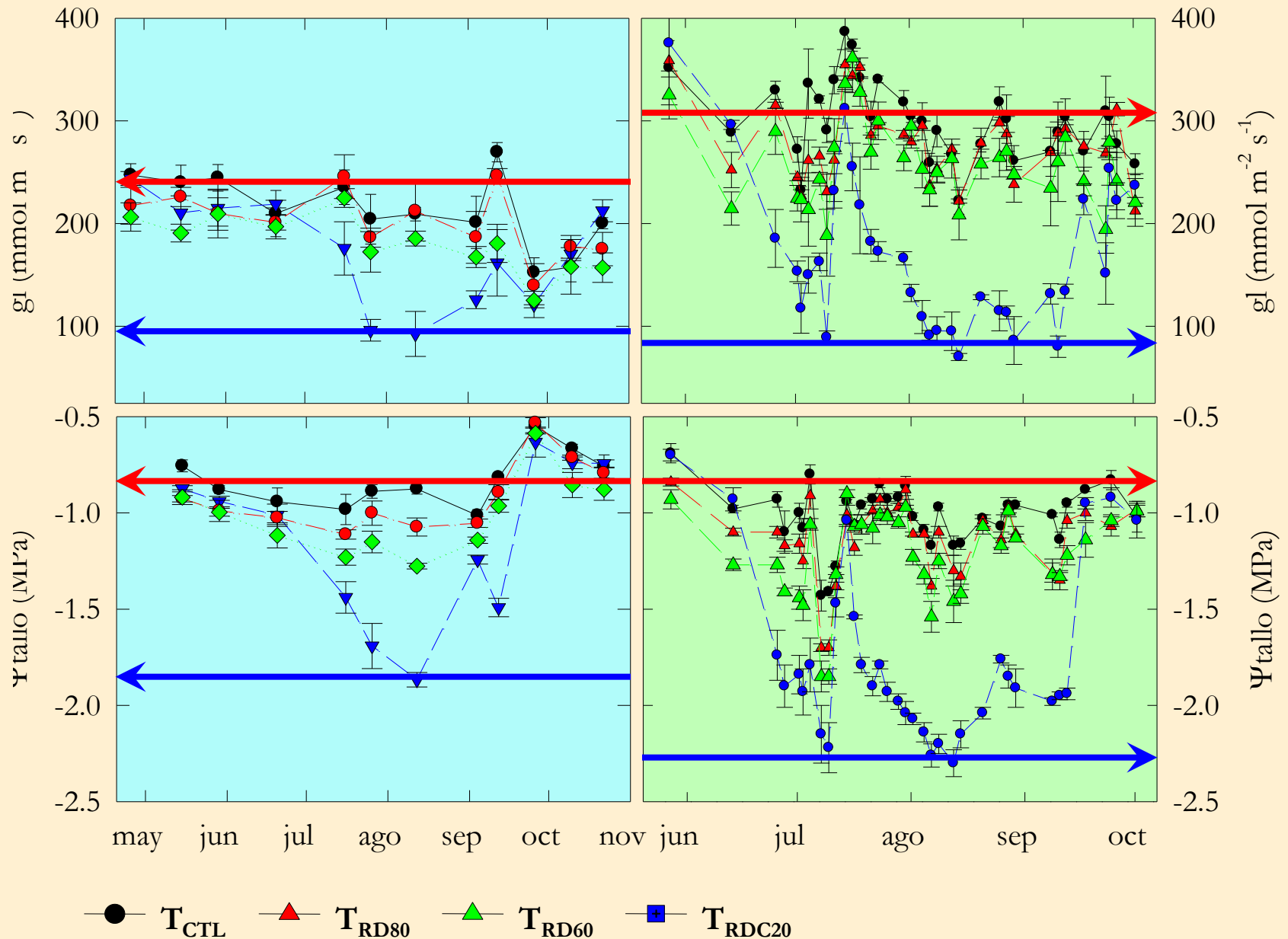


Programación del riego según estado hídrico de la planta

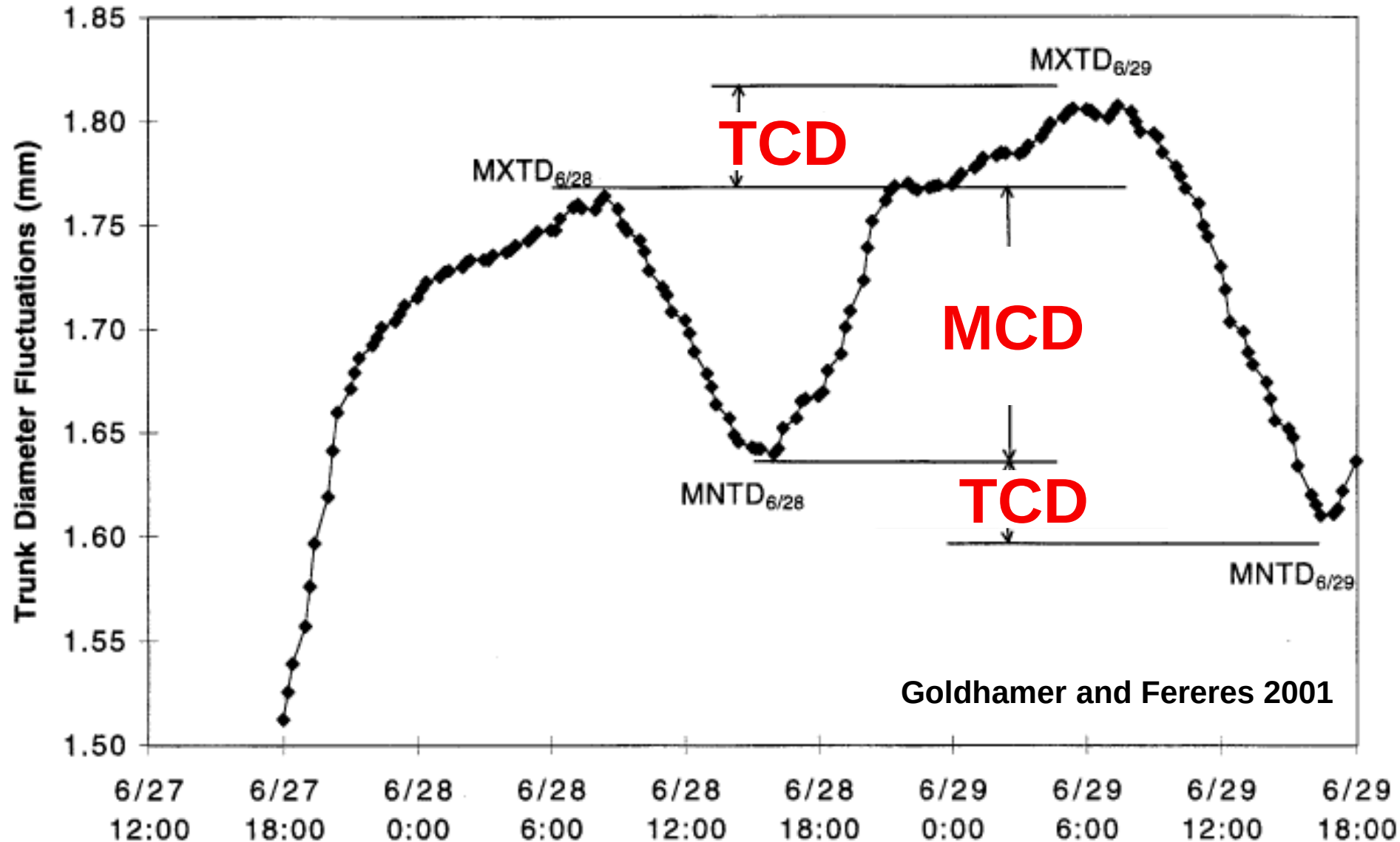
Potencial hídrico de tallo



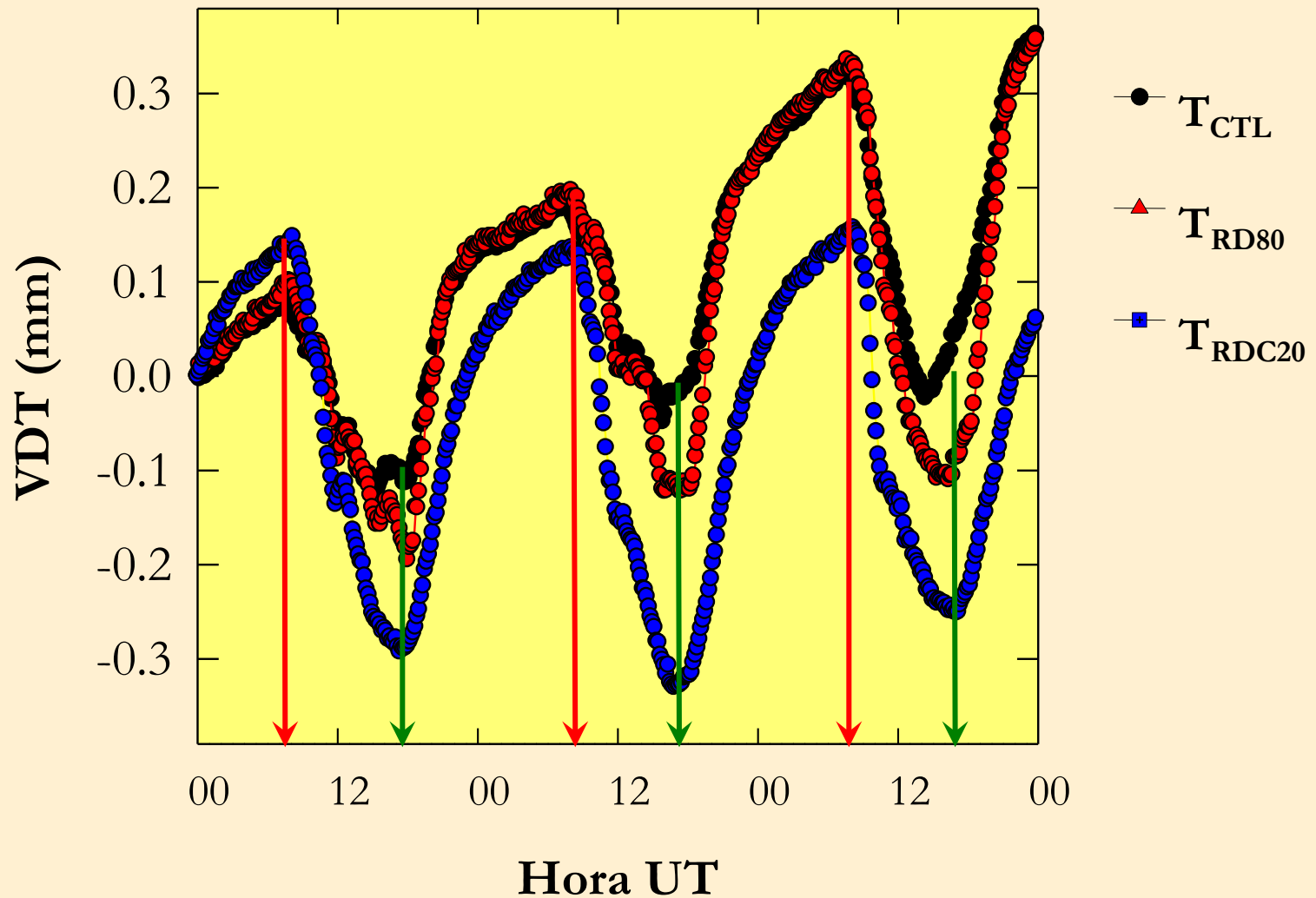
Programación del riego según estado hídrico de la planta

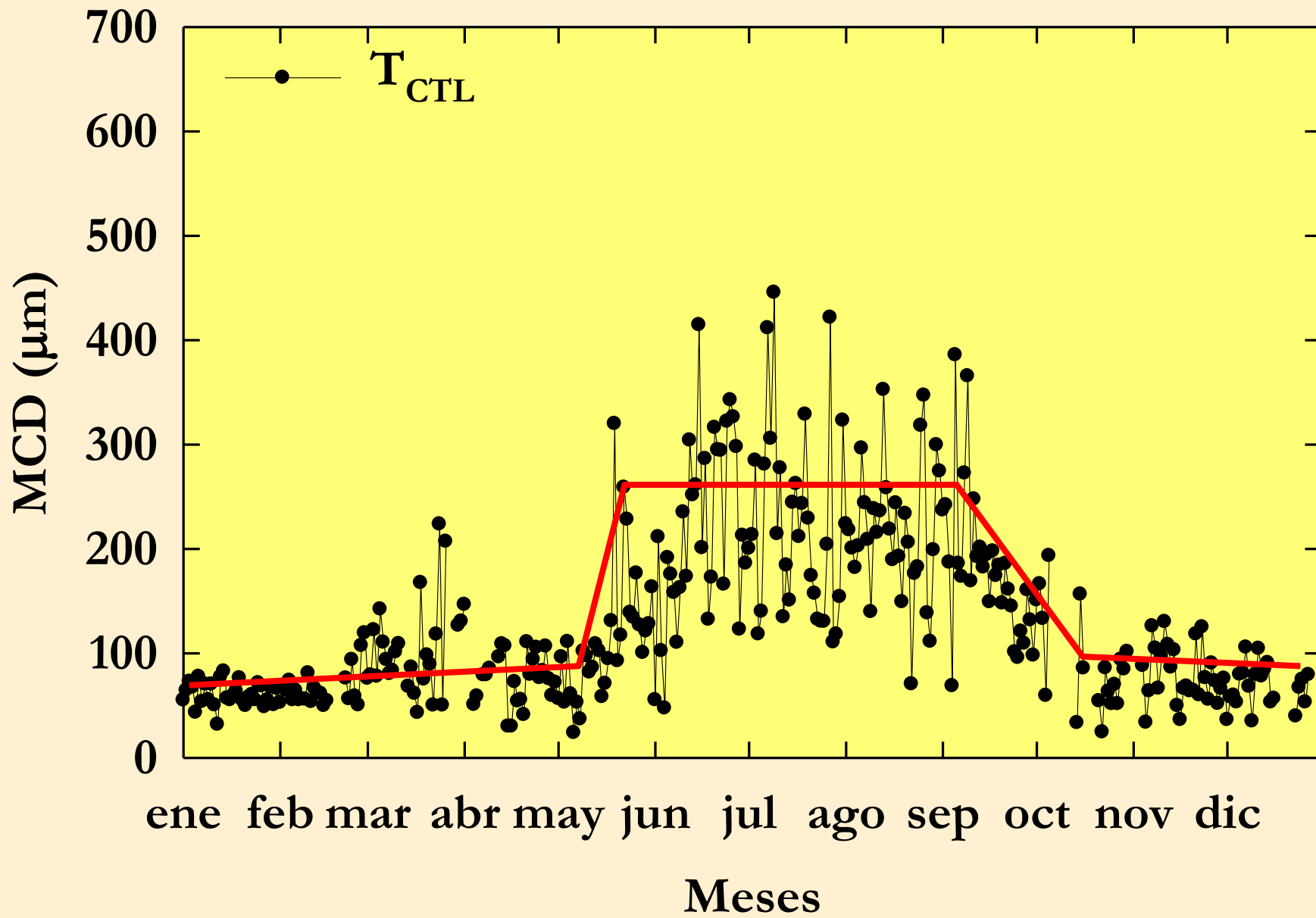


Programación del riego según estado hídrico de la planta

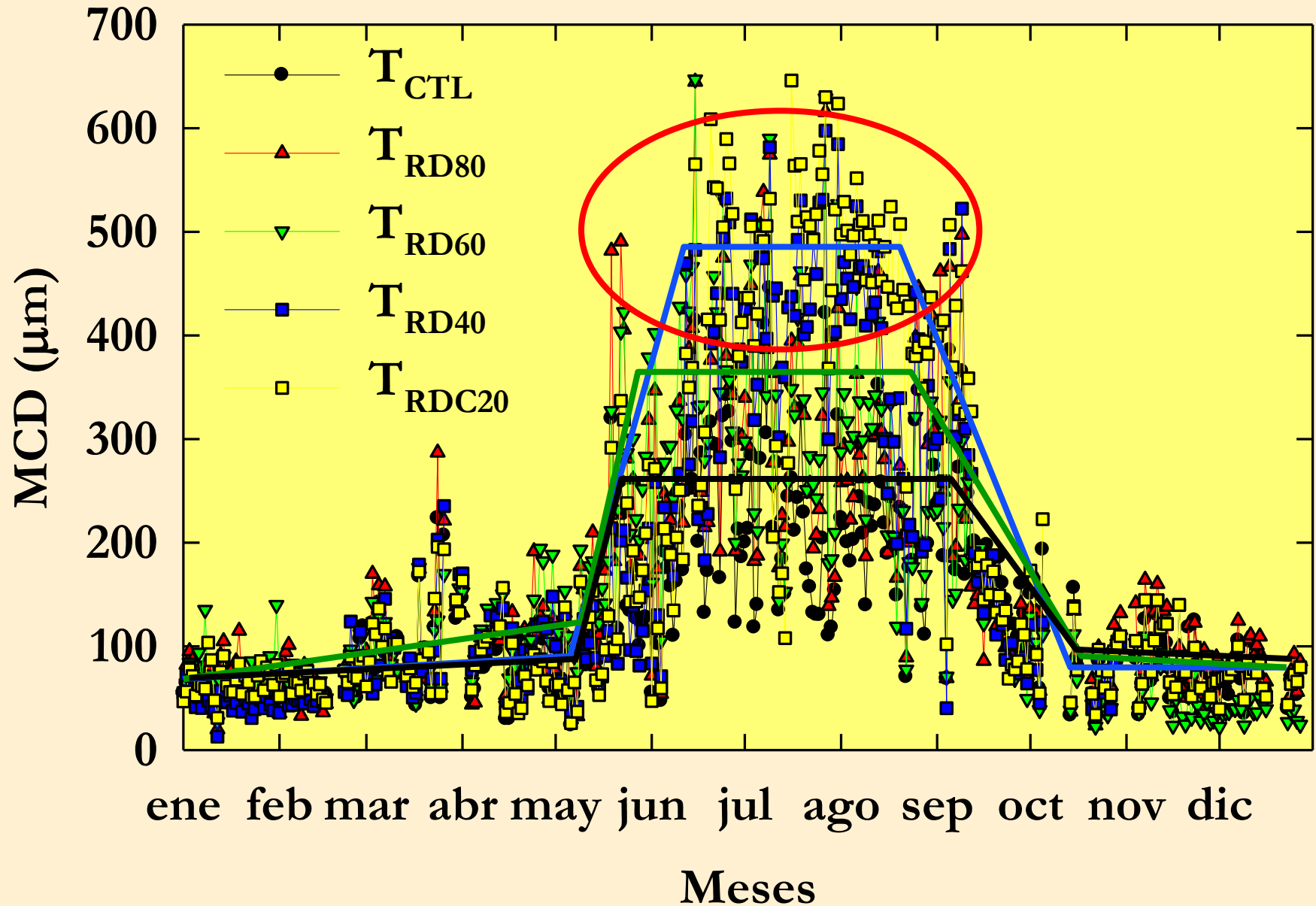


Programación del riego según estado hídrico de la planta

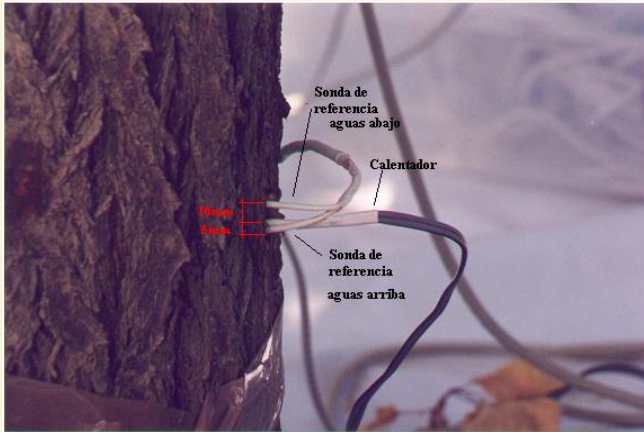




Programación del riego según estado hídrico de la planta



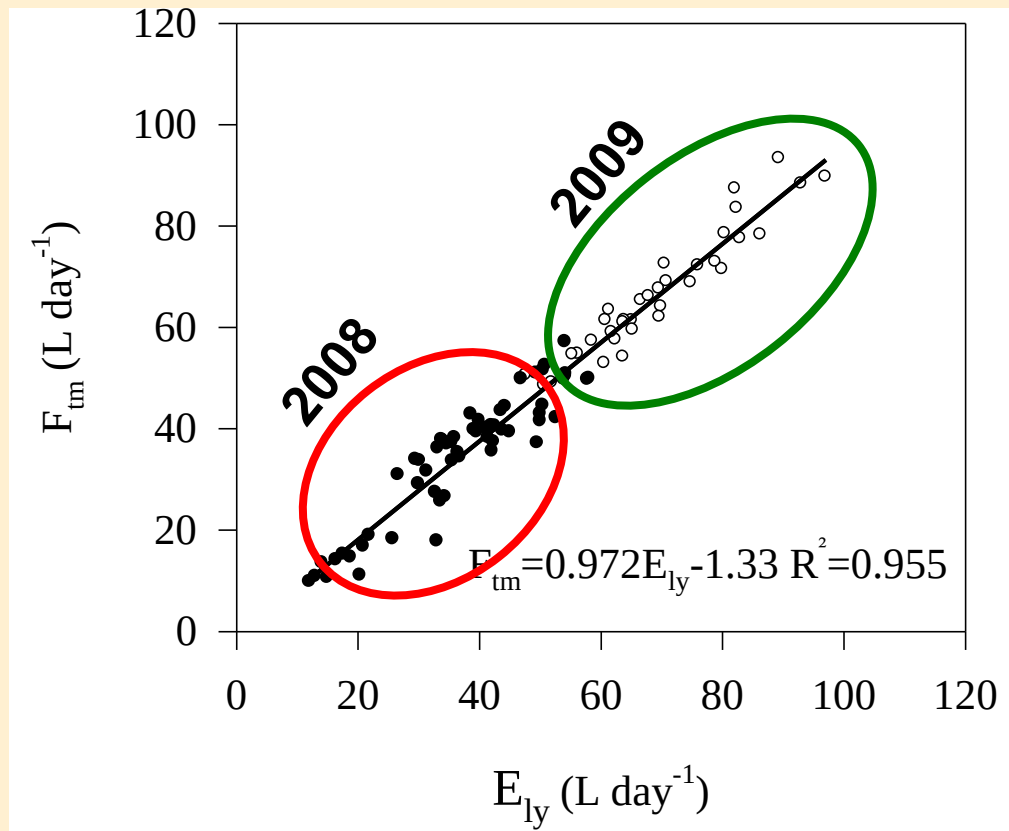
Programación del riego según estado hídrico de la planta



Medida del Flujo de Savia

- Valor de la transpiración
- Dinámica de la transpiración *vs* condiciones ambientales

Programación del riego según estado hídrico de la planta



Programación del riego según estado hídrico de la planta

Temperatura de Superficie

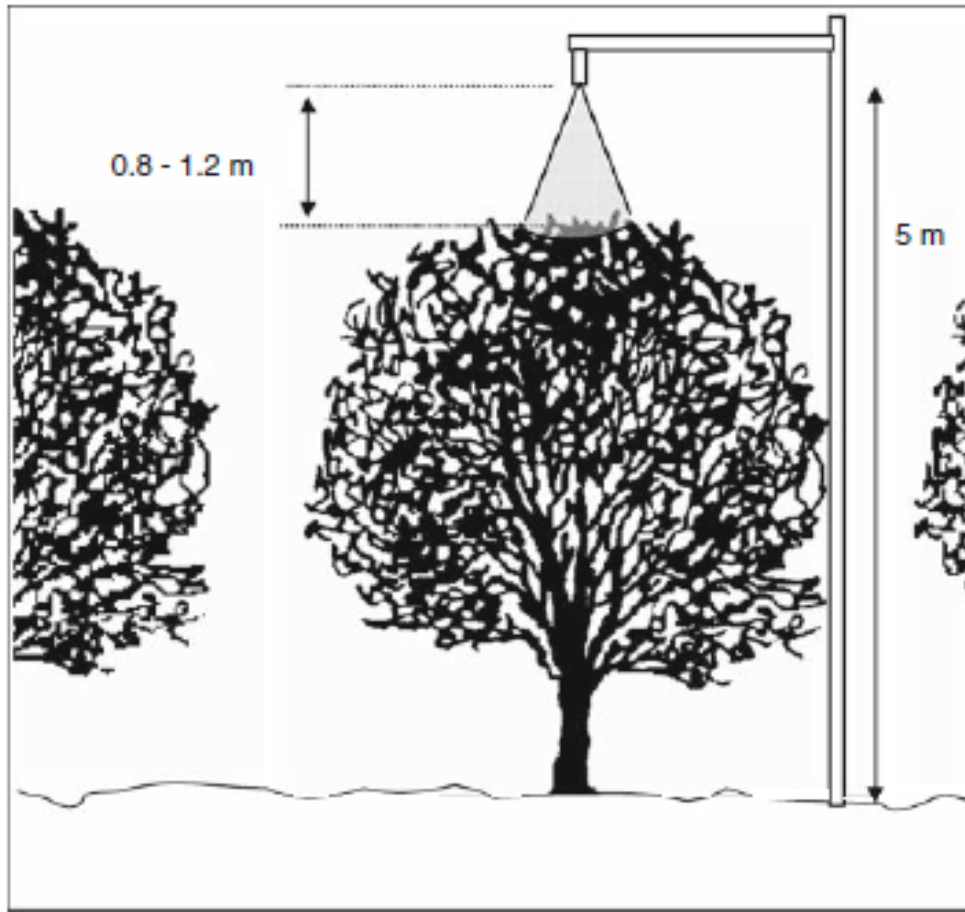


Fig. 1 Mounting position of the infrared thermometers over the trees



Programación del riego según estado hídrico de la planta

Vuelos aerotransportados



Programación del riego según estado hídrico de la planta

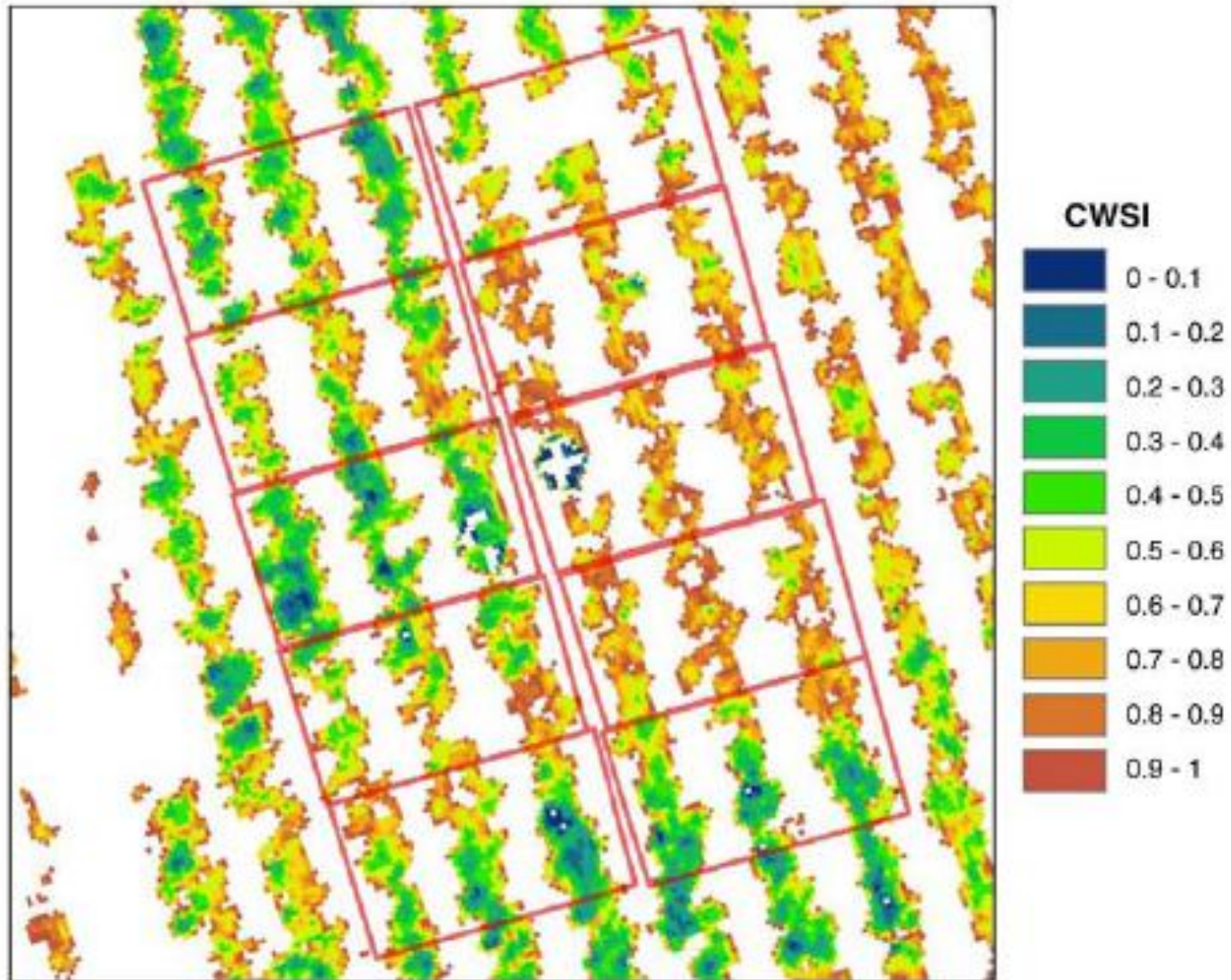


Fig. 9. CWSI map obtained from the UAV high resolution thermal imagery at 13:30 GMT on 23 August 2007.

(From Berni et al., 2009, RSE, in press)

A photograph of an almond orchard with rows of young trees in a dry, arid environment. The trees are green and healthy, contrasting with the dry, brown soil. In the background, there are some buildings and mountains under a clear blue sky. The text is overlaid on the top half of the image.

Respuesta agronómica y fisiológica de almendros jóvenes al riego deficitario.

- **Evaluar la respuesta fisiológica y agronómica
de almendros jóvenes al riego deficitario**

LUGAR:

ETSIA (Finca)

MATERIAL VEGETAL:

Variedad
Patrón
Marco

Marta (*Prunus dulcis* (Mill.) Webb)
Mayor
7 X 6 m

CLIMA:

ETo
Lluvia

1375 mm año⁻¹
320 mm año⁻¹

SUELO:

Textura
da
 θ_v (AU)

Franco-arcillo-limoso
1.40 g cm⁻³
180 mm m⁻¹

AGUA:

CE
Cl⁻
Na⁺

1.2 dS m⁻¹
4.60 meq L⁻¹
4.41 meq L⁻¹

SISTEMA DE RIEGO:

Riego por goteo
4 -6 emisores (4 L h⁻¹) árbol



1^{er} año de ensayo 1 año de injerto



3^{er} año



4° año

Épocas y fases



■ Fase I, II y III

- Se concentran los procesos de brotación, floración, cuajado y crecimiento del fruto además de yemas de año siguiente
- Máxima sensibilidad a la escasez de agua

■ Fase IV

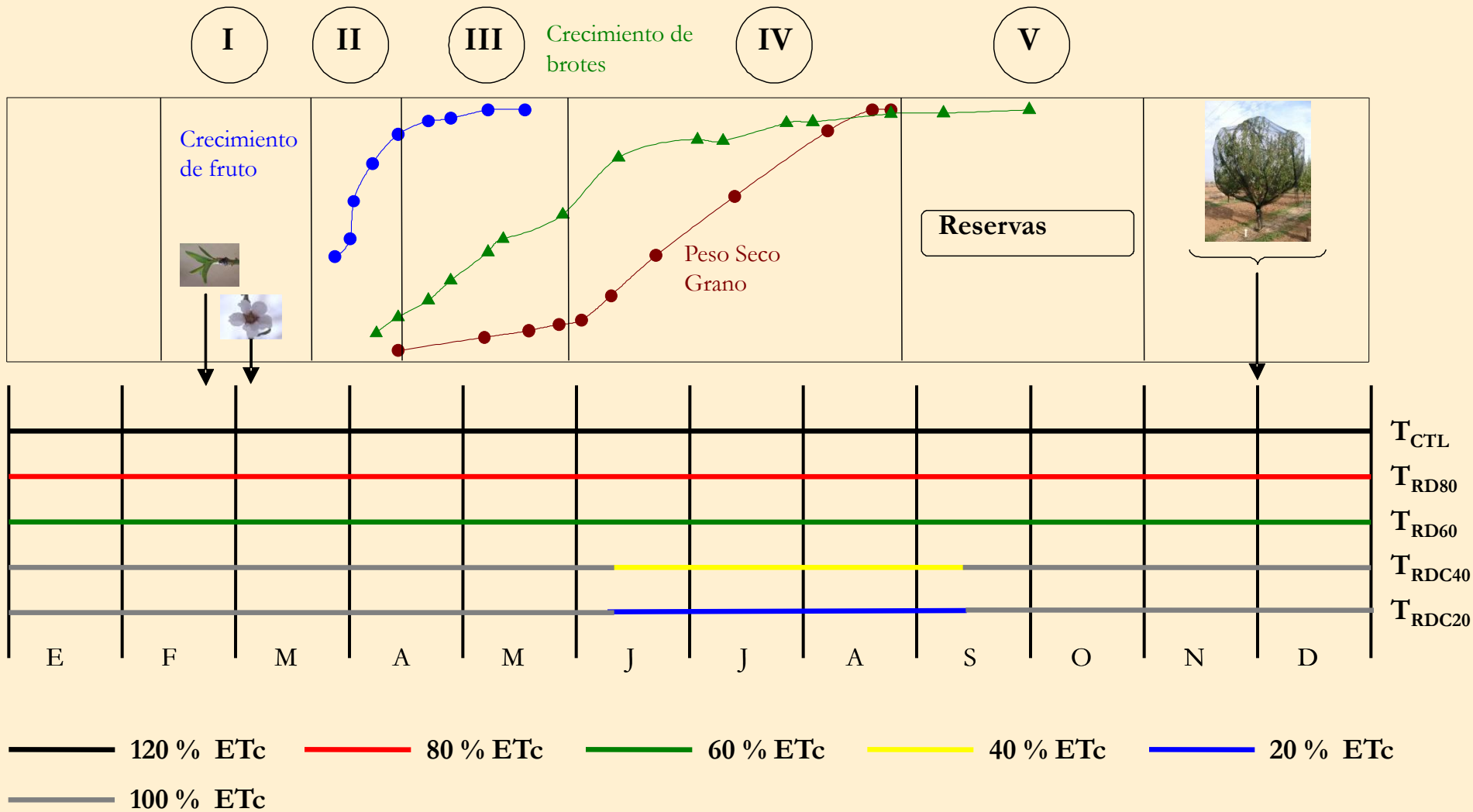
- Transporte de nutrientes desde las hojas y puntos de reserva.
- Máxima resistencia a la escasez de agua (sin pasarse).

Épocas y fases



■ Fase V

- Periodo de acumulación de reservas para el año siguiente.
- Necesidad de agua



AÑO	T_{CTL}	T_{RD80}	T_{RD60}	T_{RDC40}	T_{RDC20}
2001	1045	881	678	548	1049
2002	3167	1936	1524	1437	1403
2003	4610	3405	2662	2413	2079
2004	4638	3053	2729	2708	2196
Medio	3365	2318	1898	1776	1681

Ahorros de agua medios **30%** **43%** **47%** **50%**

Agua-Suelo

θ_v Ψ_m

Agua-Planta

Ψ_a Ψ_{md} Ψ_t Ψ_p Ψ_o g_l

Crecimiento Vegetativo

Raíces $\varnothing_{tronco}$ SS AF Poda



Agua-Suelo

θ_v Ψ_m

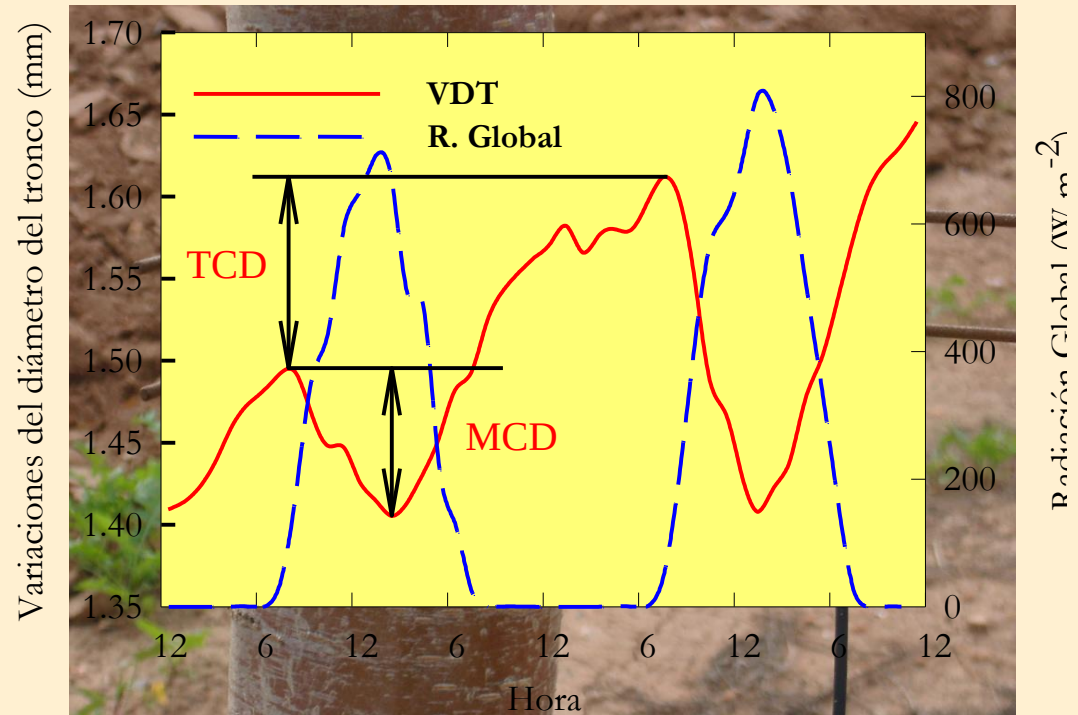
Agua-Planta

Ψ_a Ψ_{md} Ψ_t Ψ_p Ψ_o g_l

Crecimiento Vegetativo

Raíces $\varnothing_{tronco}$ SS AF Poda

VDT



Agua-Suelo

θ_v Ψ_m

Agua-Planta

Ψ_a Ψ_{md} Ψ_t Ψ_p Ψ_o g_l

Crecimiento Vegetativo

Raíces $\varnothing_{tronco}$ SS AF Poda
VDT

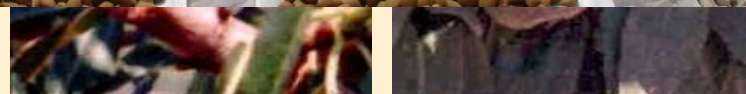
Fenología

Desarrollo del fruto

$\varnothing_{frutos}$ y Ps del fruto

Cosecha

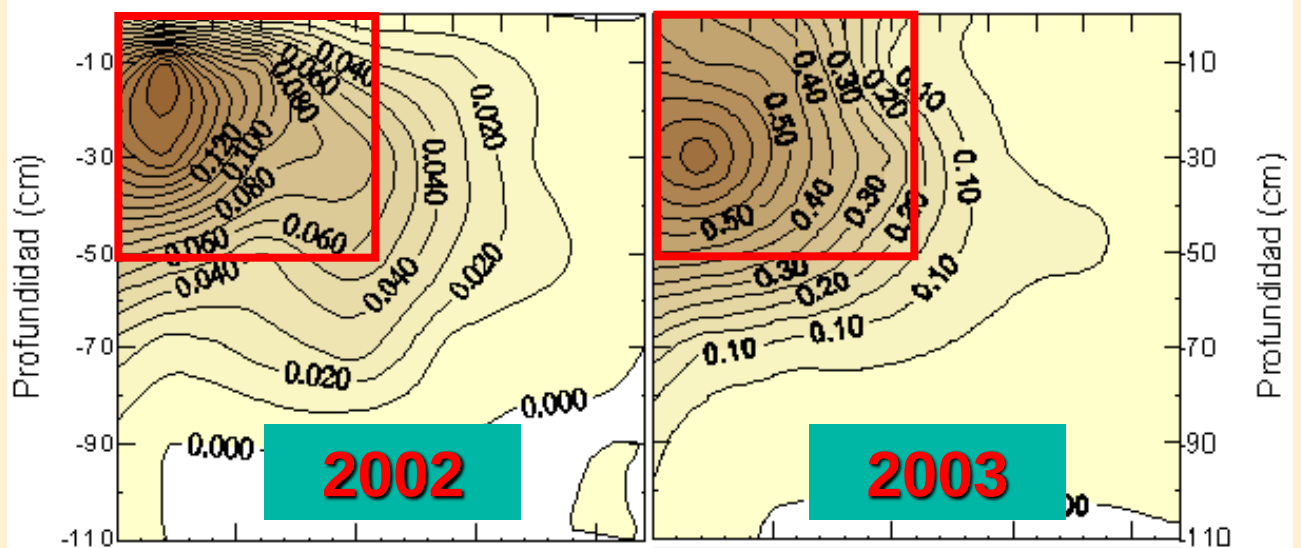
Producción y Calidad de la cosecha



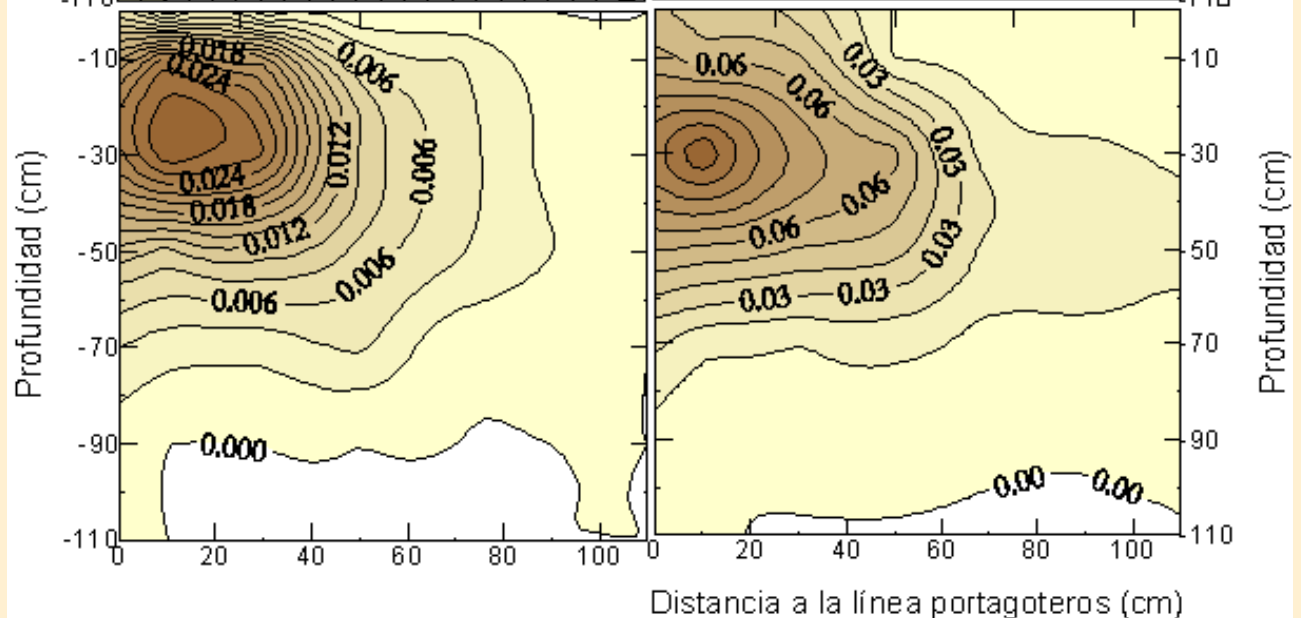


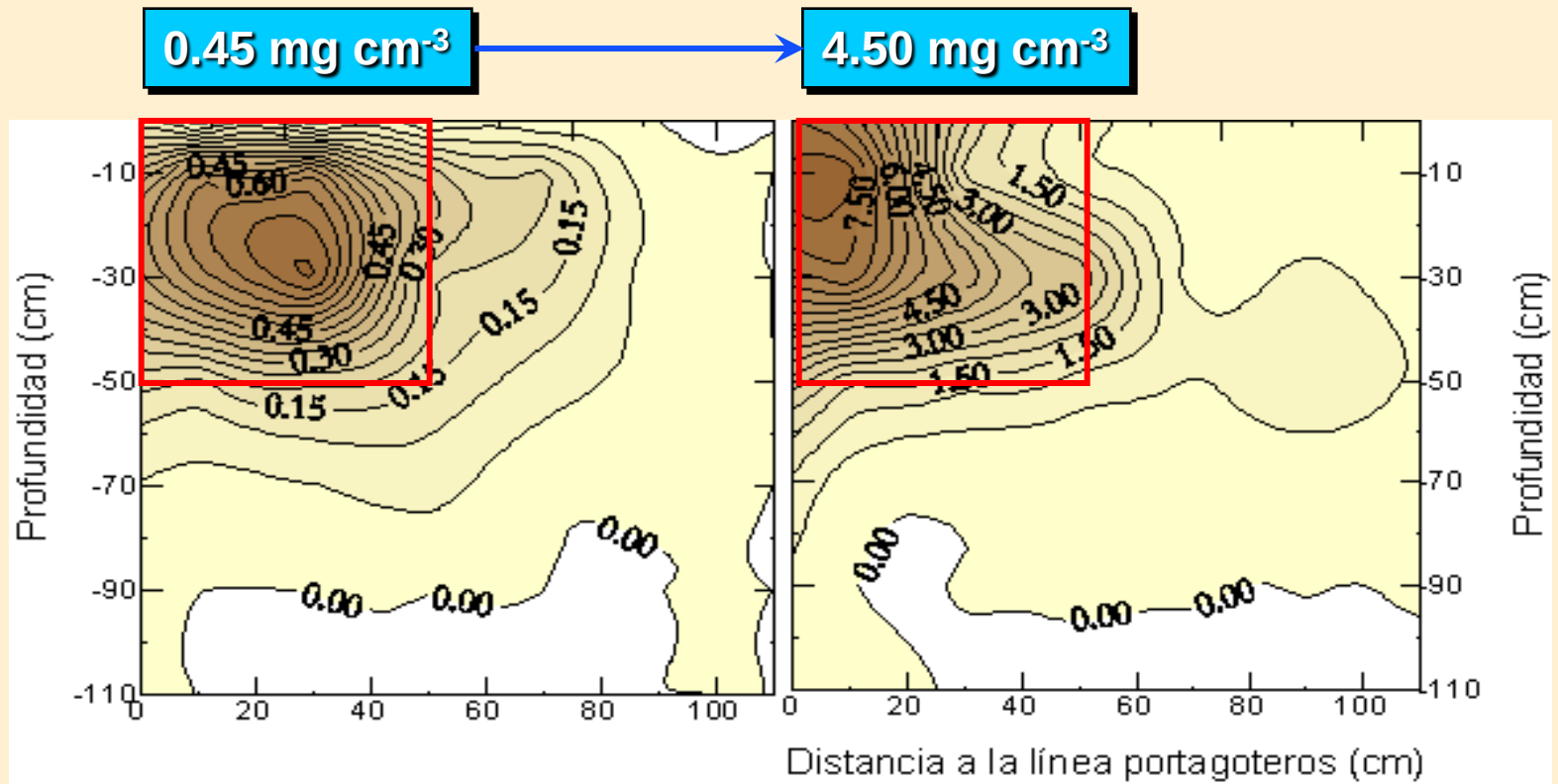
$$\text{Densidad}_{2003} = 9 * d_{2002}$$

Raíces < 1 mm



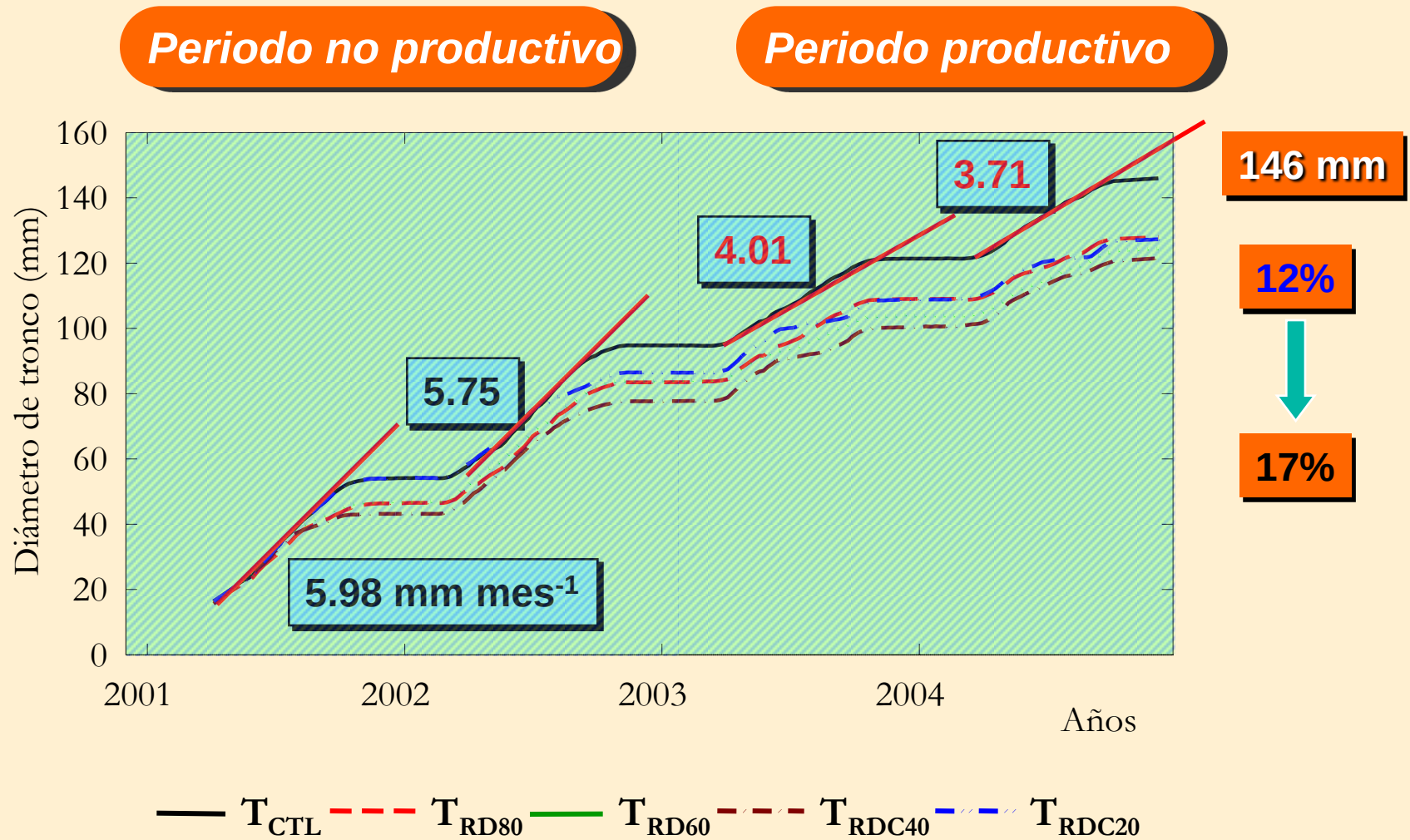
Raíces > 1 mm

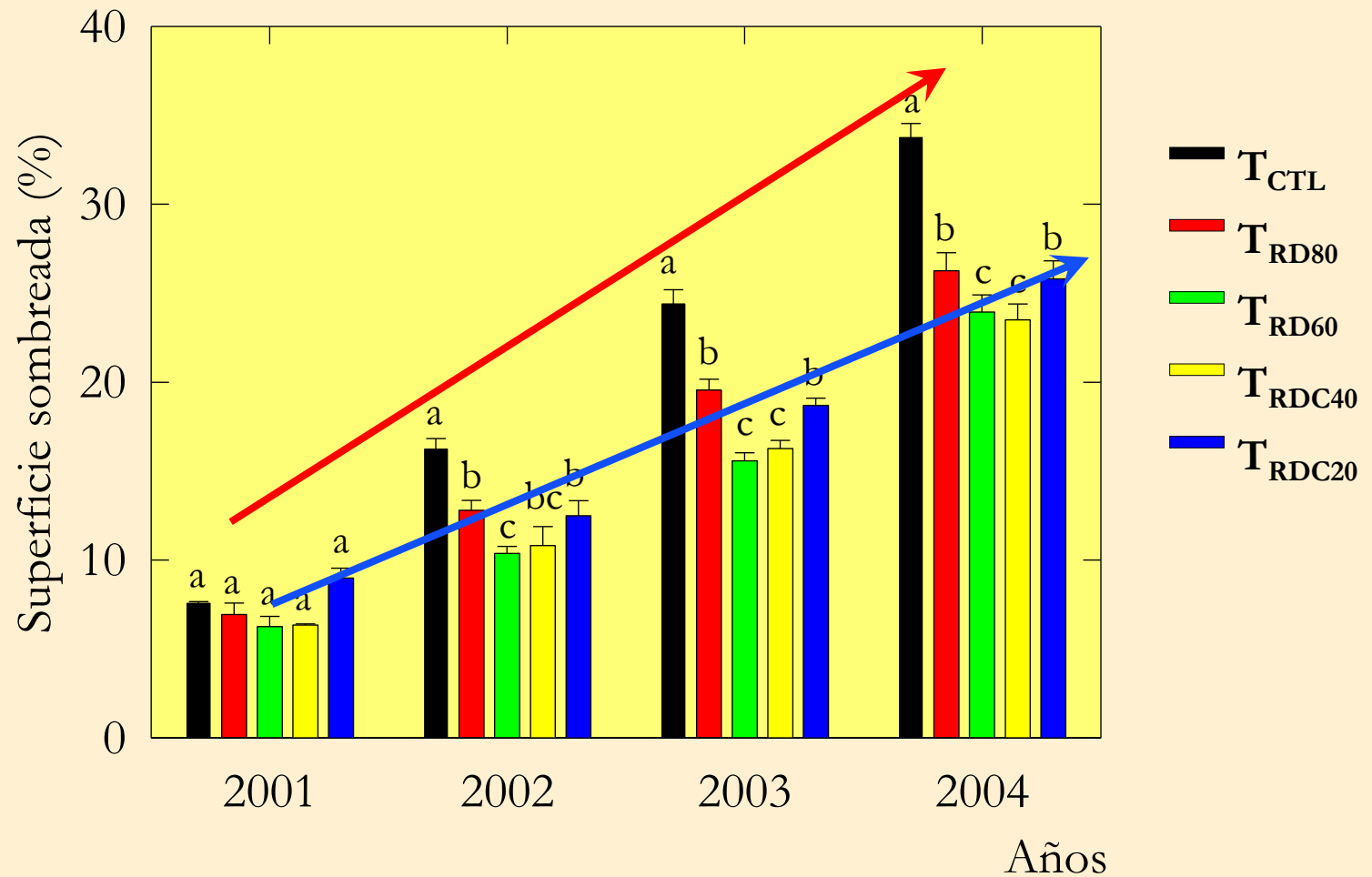




Total de raíces en 2002

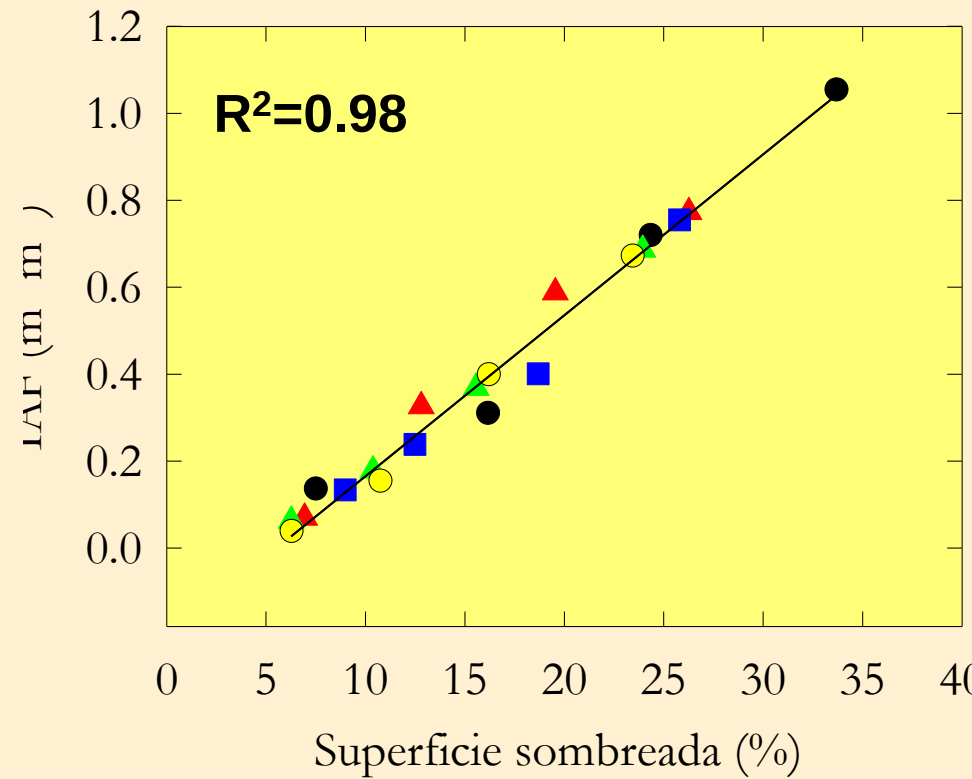
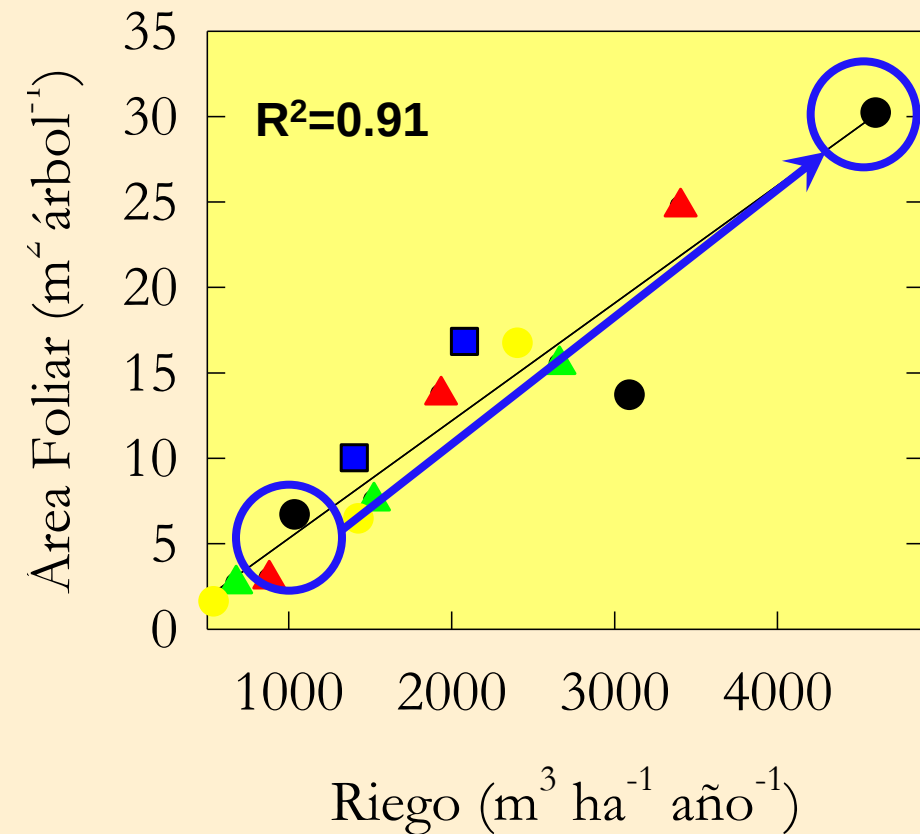
Total de raíces en 2003

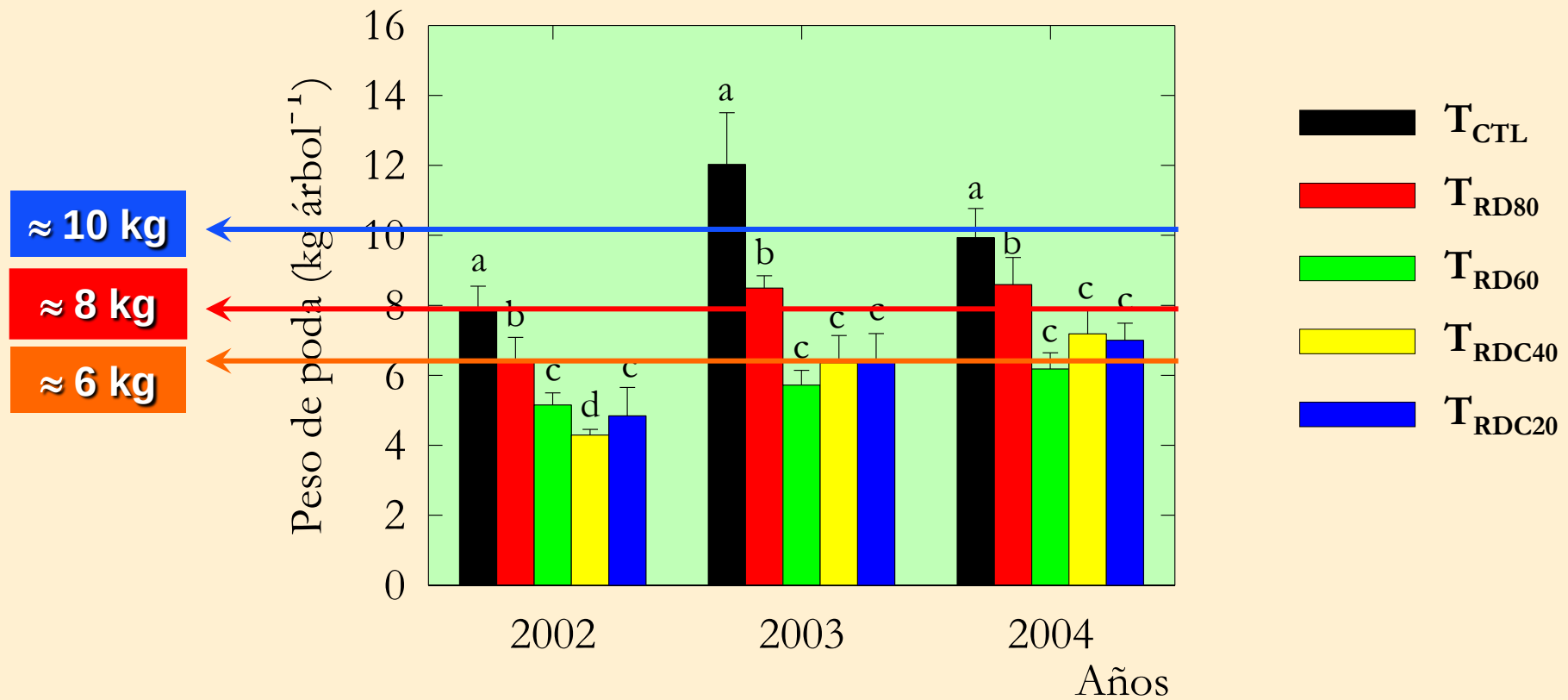


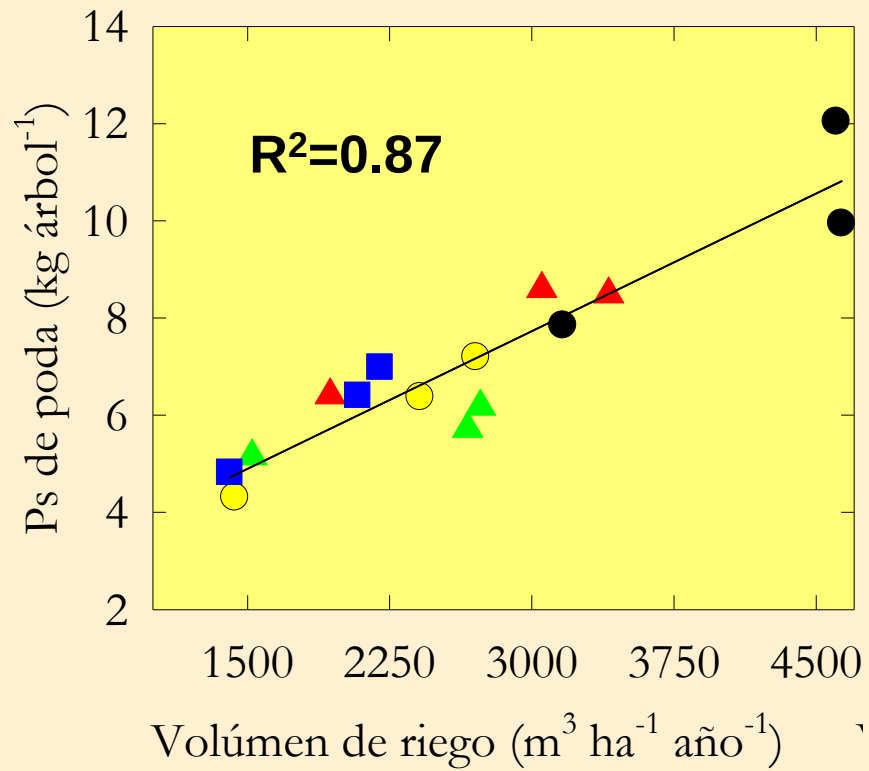


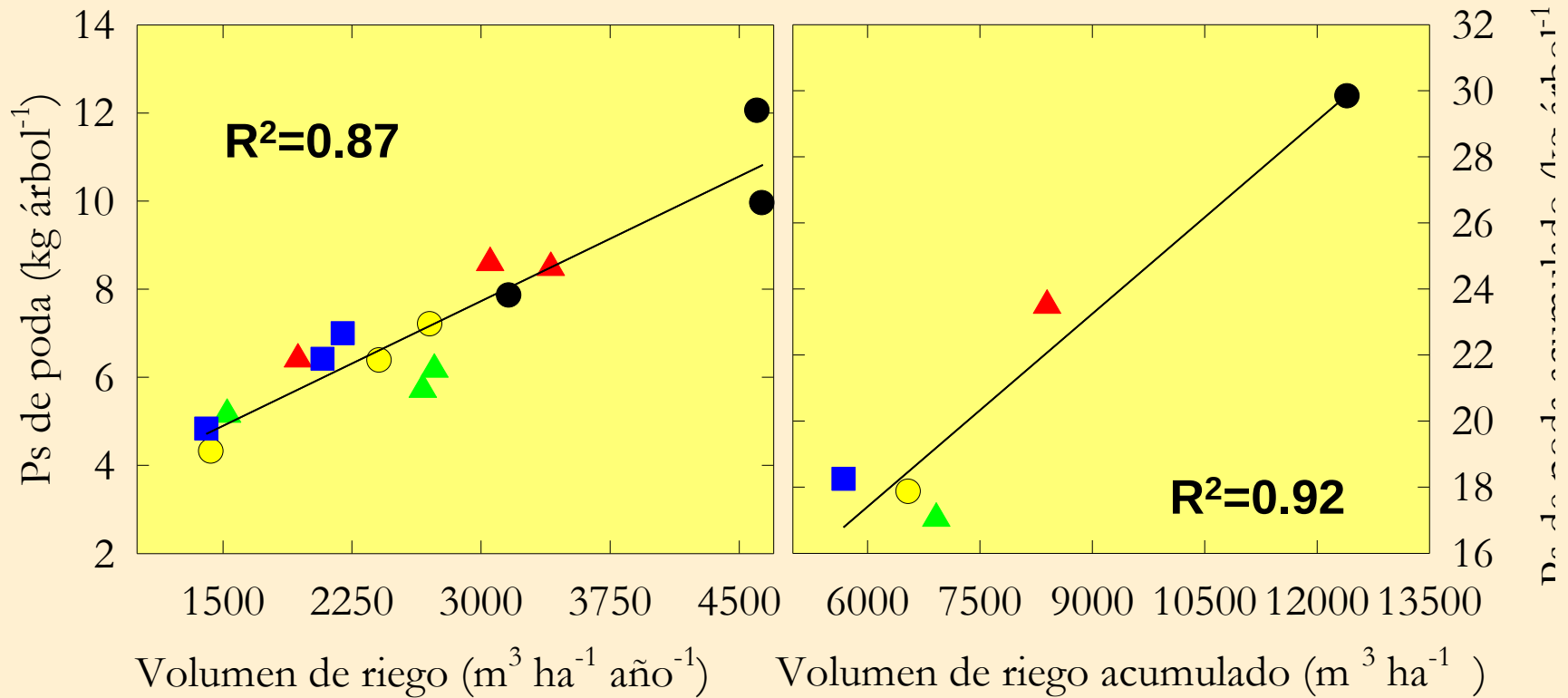
Resultados

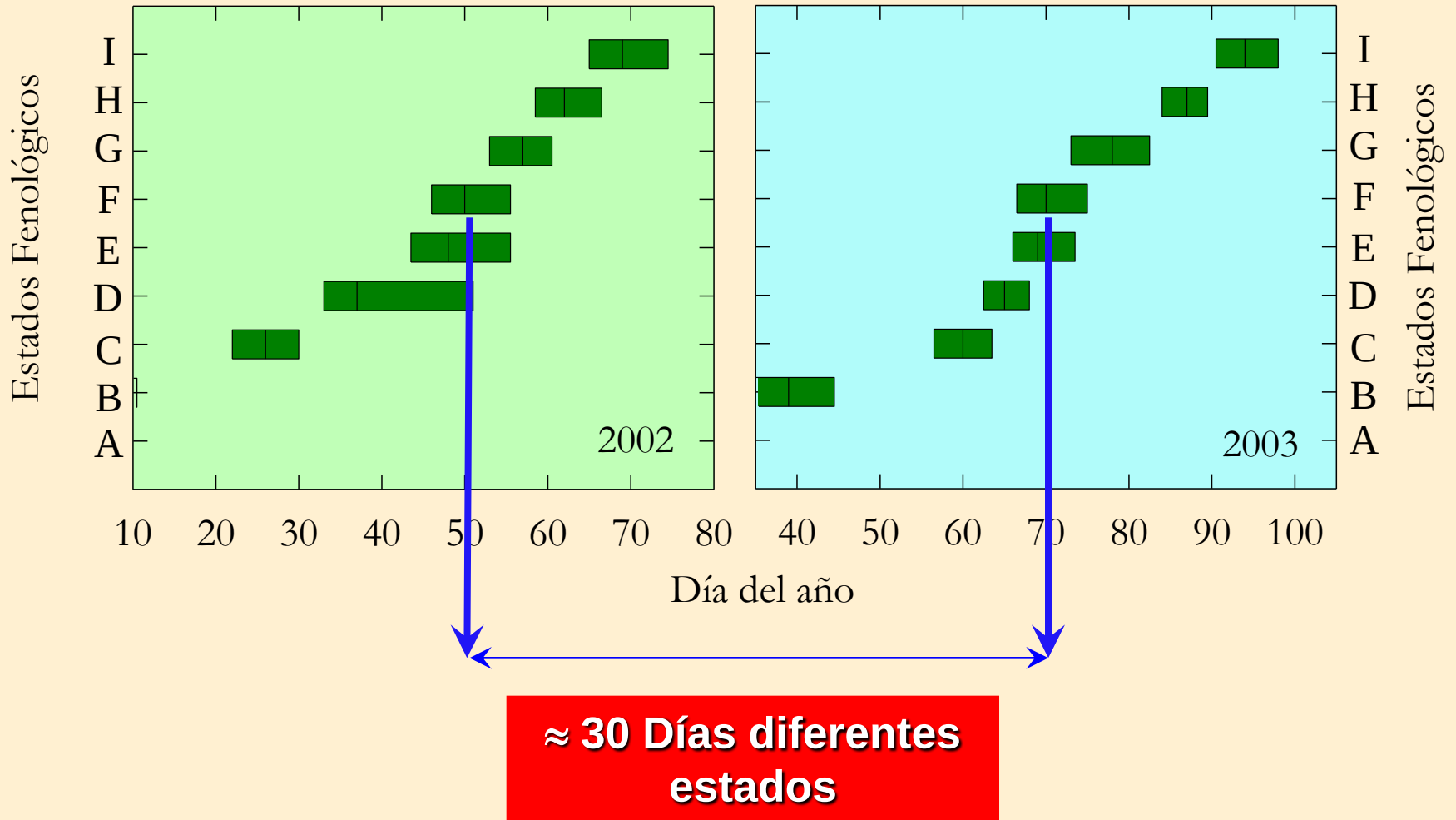
Crecimiento vegetativo











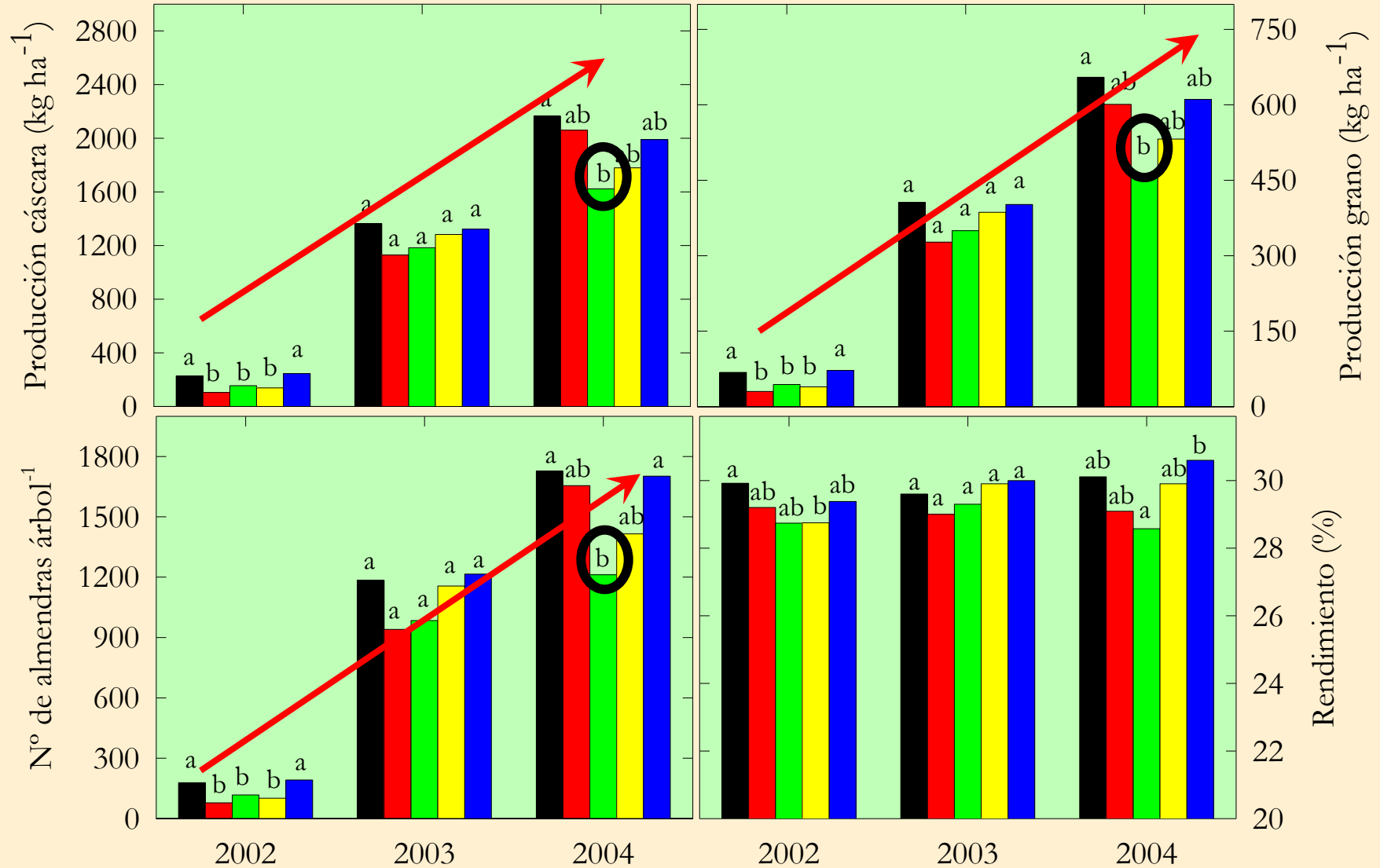
Estado de desarrollo	Período		°C GDH	
	2002	2003	2002	2003
50 % de yemas en Estado “B”	13/Ene.	7/Feb.	508	495
50 % de yemas en Estado “D”	4/Feb.	6/Mar.	3115	4010
50 % Floración “F”	19/Feb.	11/Mar.	4878	4667
50 % de frutos en Estado “I”	10/Mar.	4/Abr.	7957	8850
Inicio Fase IV (acumulación de materia seca en el grano)	4/Jun.	9/Jun.	26705	27129

Richardson *et al.* (1976), (1 °C GDH) como una hora a una temperatura de 1 °C por encima de la temperatura base de 4.5 °C

$$GDH = \sum_{1}^{24} (T_{mh} - T_{base})$$

Resultados

Producción



Volúmenes de riego ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)

Año	Lluvia (mm)	ETo (mm)	Riego (mm)			Ahorro de agua* (%)	
			CT	RD	RDC	RD	RDC
2001	279	1246	105	88	55	16	48
2002	301	1133	317	194	144	39	55
2003	514	1312	453	341	241	25	47
2004	417	1114	403	254	221	37	45
2005	355	1134	674	366	373	46	45
2006	315	1270	723	455	402	37	44
2007	463	1229	619	308	379	50	39
Media	378	1205	471	287	259	39	45

* Con respecto al volumen de riego aportado a CT

Volúmenes de riego ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)

Año	Producción (kg grano ha^{-1})			Peso seco grano (g)		
	CT	RDC	RD	CT	RDC	RD
2001	-	-	-	-	-	-
2002	63a	39b	43b	1,67a	1,69a	1,64a
2003	406a	390a	324a	1,49ab	1,44a	1,52b
2004	590a	478a	521a	1,59a	1,58a	1,59a
2005	1854a	1461b	1623b	1,39a	1,34a	1,33a
2006	1874a	1693a	1685a	1,49a	1,35b	1,42ab
2007	1994a	1617a	1659a	1,31a	1,31a	1,29a
Total	6781a	5678b	5855b			

16 %

14 %

A photograph of an almond orchard in full bloom. The trees are covered in white blossoms, and the ground is a mix of brown soil and fallen petals. The orchard is organized in neat rows, receding into the distance under a pale sky.

**Relaciones Hídricas y Producción
de Almendros Adultos regados con
agua salina**

Caso práctico de RDC en cultivos frutales (almendro)

LUGAR:

La Corverica (Finca)

MATERIAL VEGETAL:

Variedad
Edad
Patrón
Marco

Colorada (*Prunus dulcis* (Mill.) Webb)
15 años
Franco de Garrigues
6 X 6 m

CLIMA:

ET_o
Lluvia

1350 mm año⁻¹
225 mm año⁻¹

SUELO:

Textura
da
 θ_v (AU)

Franco-arcillo-limoso
1.45 g cm⁻³
170 mm m⁻¹

AGUA:

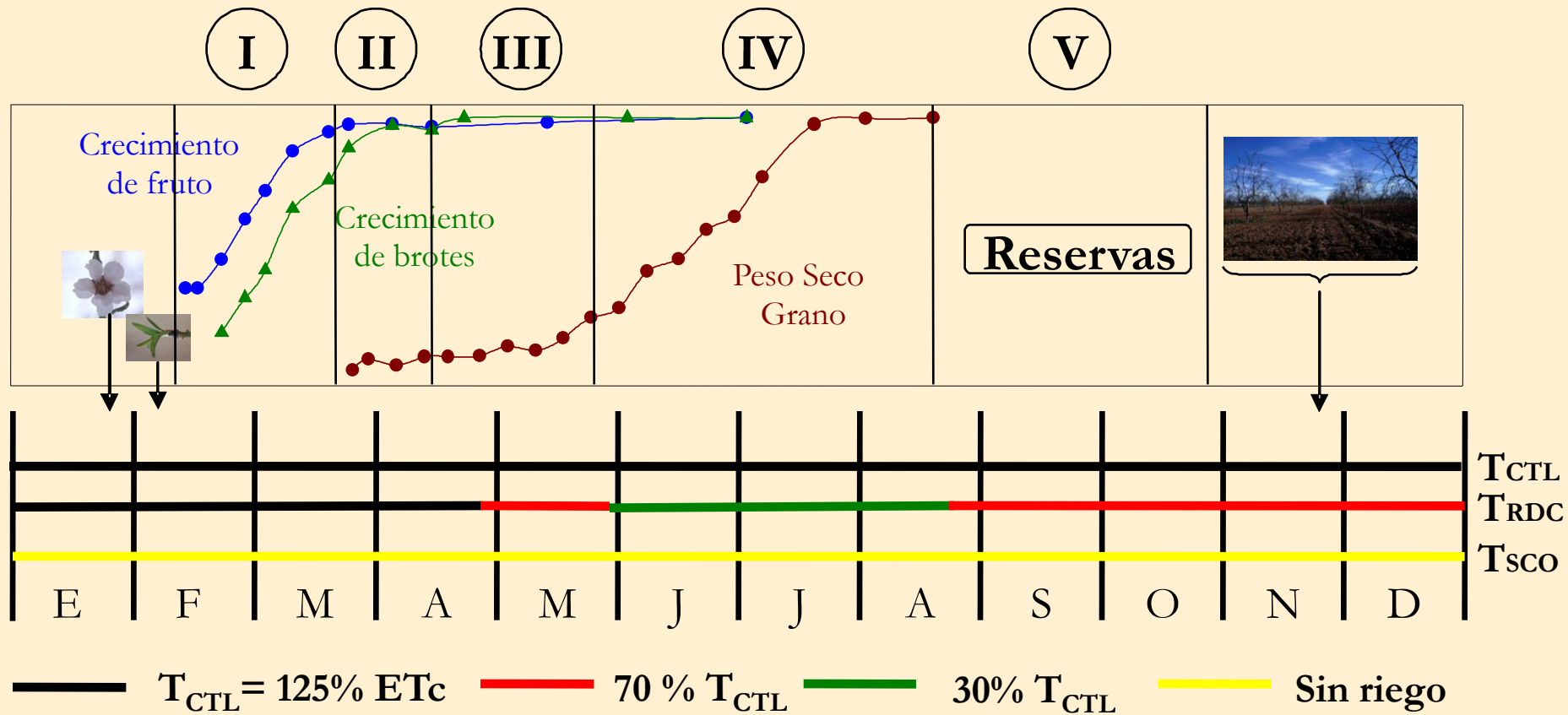
CE
Cl⁻
Na⁺

4.2 dS m⁻¹
16.2 meq L⁻¹
19.0 meq L⁻¹

SISTEMA DE RIEGO:

Microaspersión: 3 emisores árbol (30 L h⁻¹)
Goteo: 12 emisores árbol (8 L h⁻¹)

Tratamientos de riego



Tratamientos de riego

Año	1999	2000	2001	2002
T_{CTL}	424	480	465	205
T_{RDC}	195	280	215	115
T_{SCO}	95	0	0	0
Lluvia	190	385	285	180



Ahorro de agua medio 50%

Medidas

Agua-Suelo

θ_v Ψ_m

Agua-Planta

Ψ_a Ψ_{md} Ψ_t Ψ_p Ψ_o g_l

Salinidad

CE Cl^- Na^+

Crecimiento Vegetativo

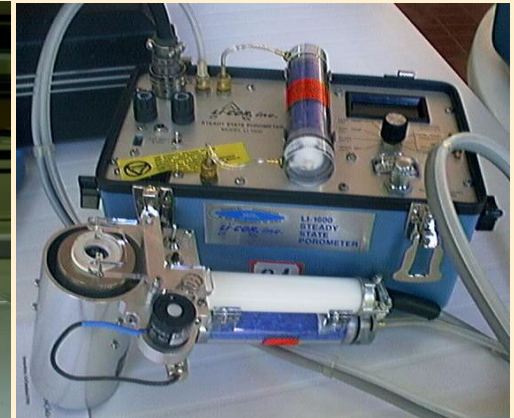
$\varnothing_{\text{tronco}}$ AF

Crecimiento del fruto

$\varnothing_{\text{frutos}}$ y peso

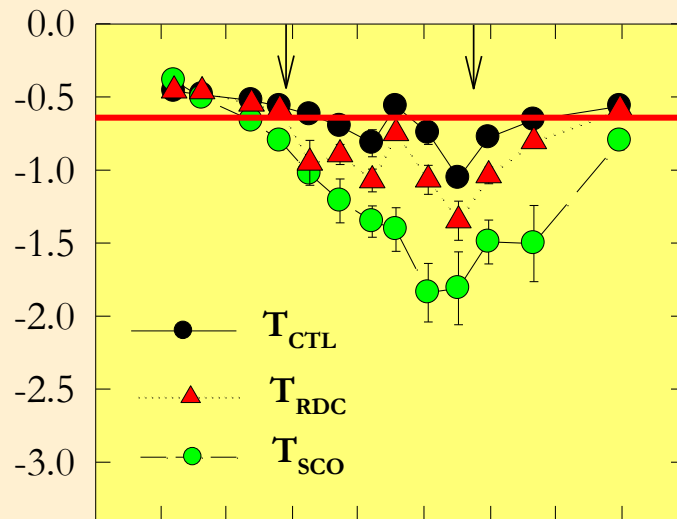
Cosecha

Producción y Calidad de la cosecha



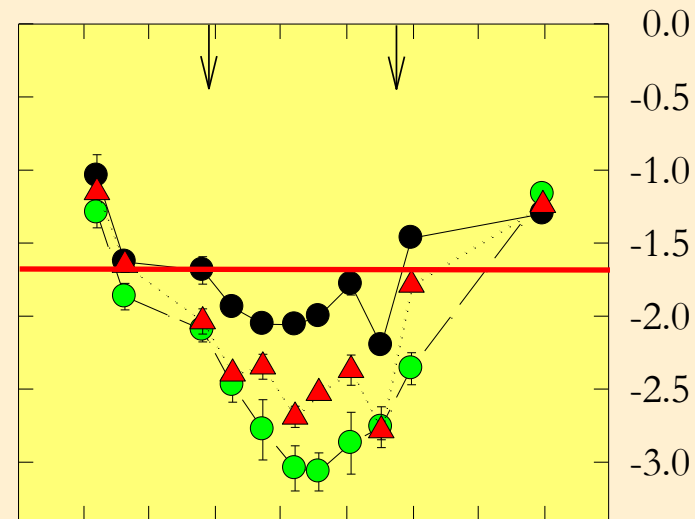
Potencial al alba (MPa)

Potencial a mediodía (MPa)



abr may jun jul ago sep oct nov

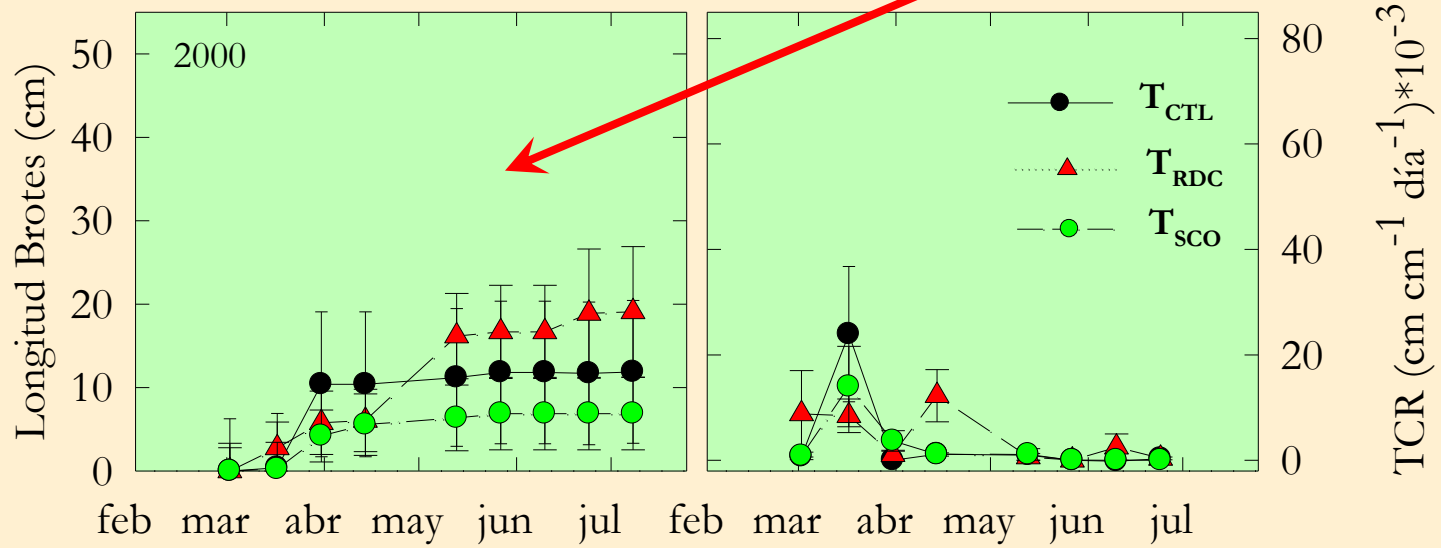
Meses



abr may jun jul ago sep oct nov

-0.62 MPa**0.33 MPa****1.10 MPa****-1.62 MPa****0.60 MPa****1.10 MPa**

Año ↑ productivo

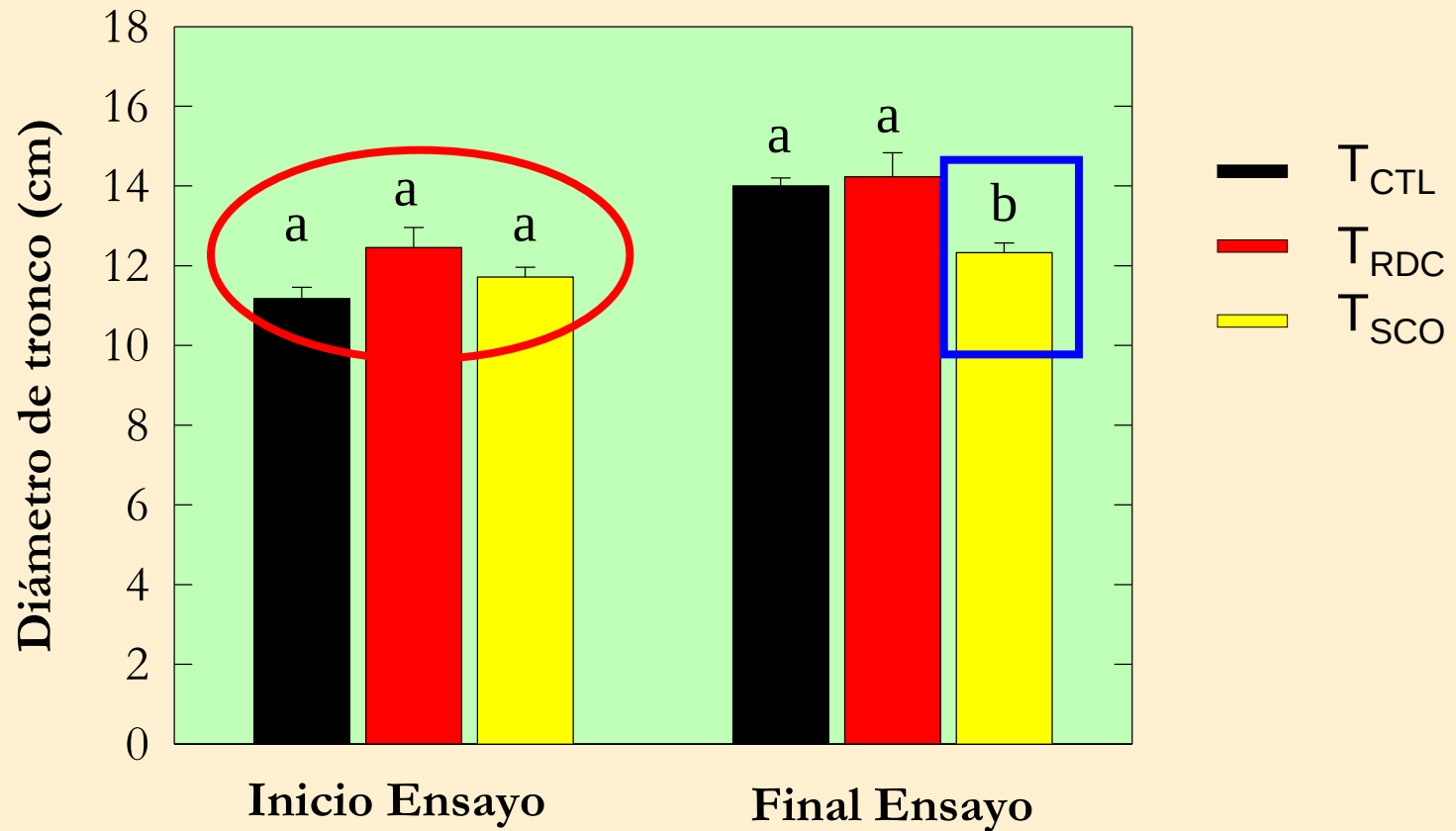


Año ↑ productivo

Escasos crecimientos durante todo el periodo de estudio. Poda nula

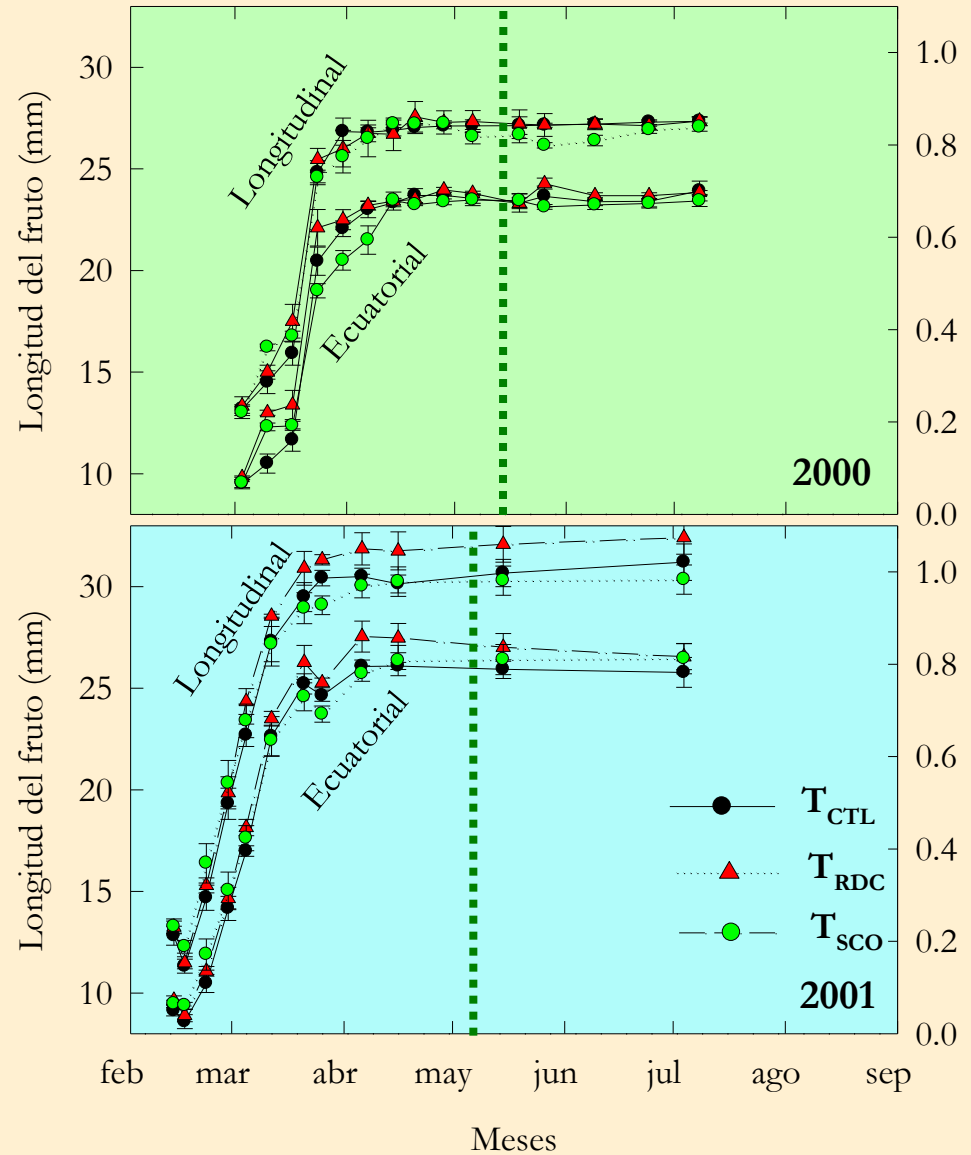
Año ↓ productivo

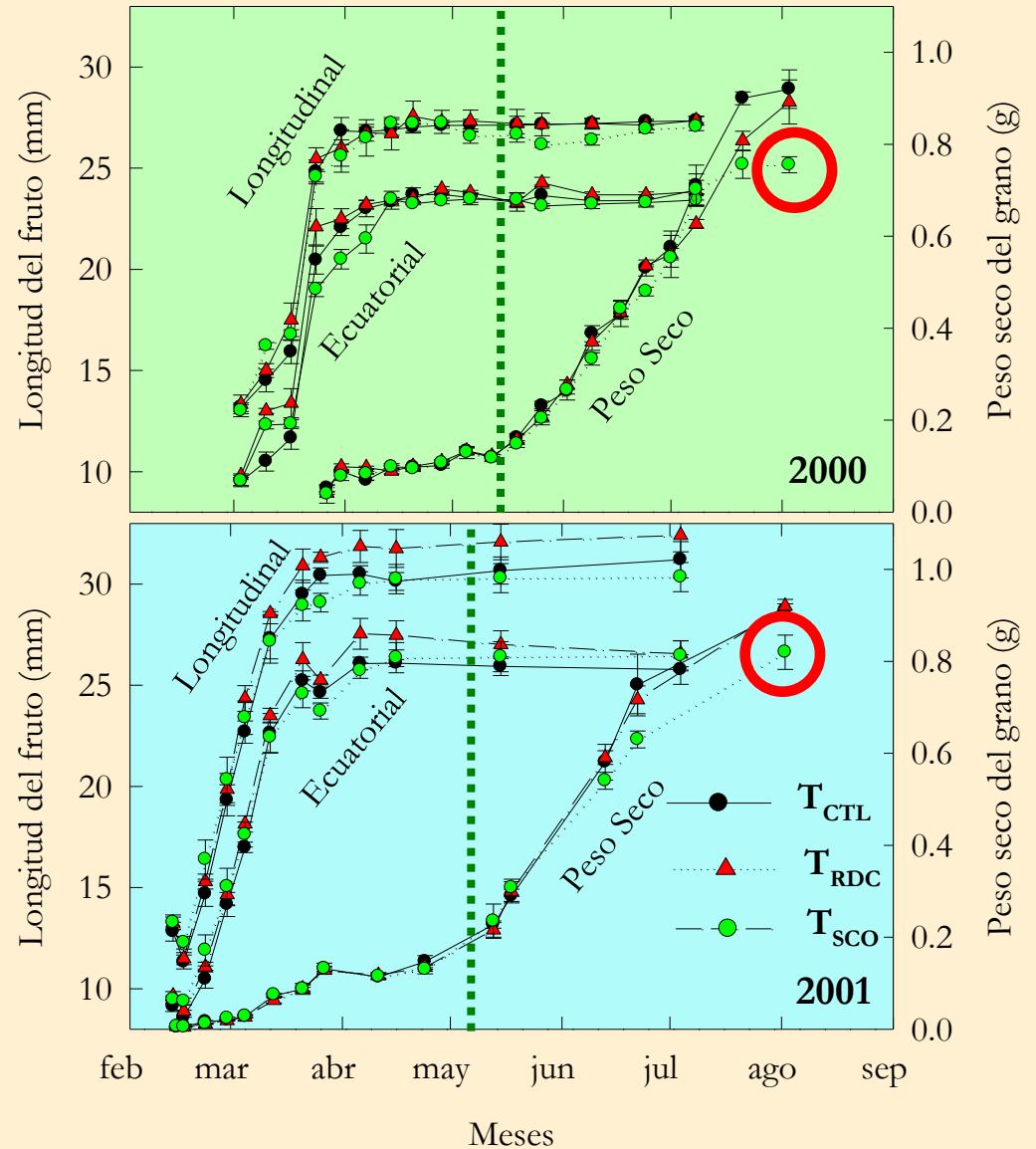




Diferencias finales con respecto al inicio del ensayo

$T_{CTL} = 2.83 \text{ cm}$ $T_{RDC} = 1.78 \text{ cm}$ $T_{SCO} = 0.61 \text{ cm}$





Resultados

Producción

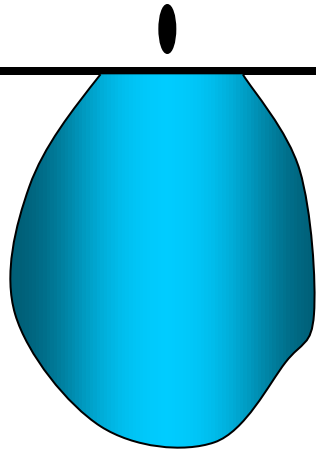


Año	Trat.	Producción en grano (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (%)	EUA (kg m ⁻³)
1999	T _{CTL}	522 a	33.8 a	0.25 b
	T _{RDC}	611 a	33.0 a	0.48 a
	T _{SCO}	482 a	34.4 a	0.49 a
2000	T _{CTL}	898 a	37.8 a	0.33 b
	T _{RDC}	928 a	38.1 a	0.47 a
	T _{SCO}	310 b	33.5 b	0.39 ab
2001	T _{CTL}	516 a	33.1 a	0.22 a
	T _{RDC}	420 a	32.3 ab	0.31 a
	T _{SCO}	171 b	30.5 b	0.24 a
2002	T _{CTL}	1163 a	39.0 a	0.77 b
	T _{RDC}	1215 a	37.3 a	1.10 a
	T _{SCO}	533 b	34.3 a	0.86 b

Nuevos escenarios y líneas de trabajo

- **Aumento de la superficie mojada**
- **Riego subterráneo**

Limitado volumen radicular



Falta de capacidad
de almacén

Obliga a:

**DAR POCO A POCO TANTO
AGUA COMO ABONO**

Según se requiere

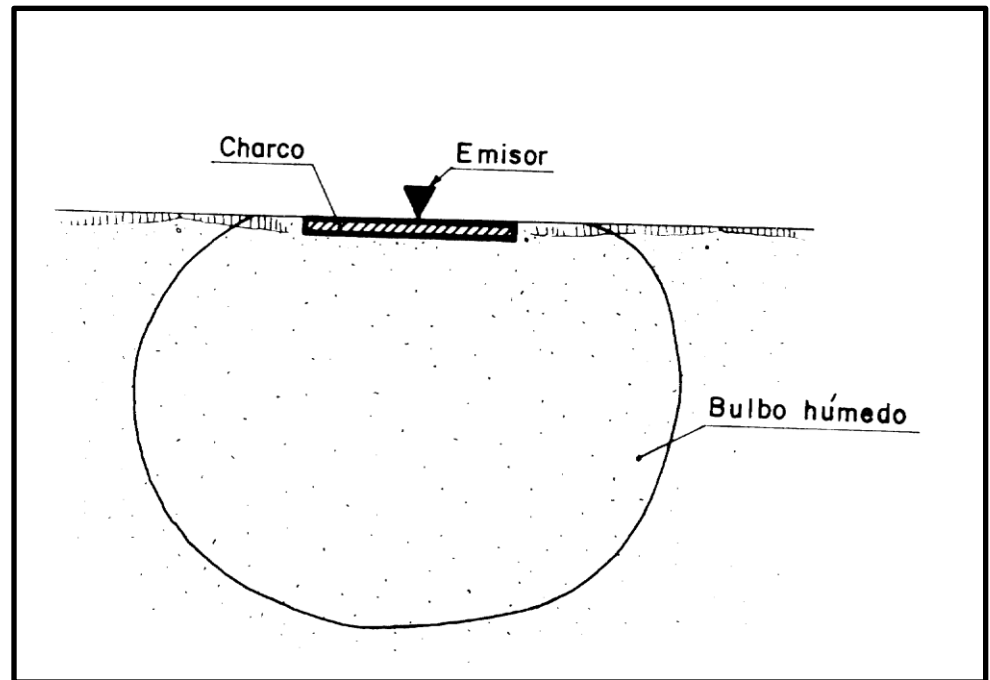
Por tanto es muy necesario:

- Esmerado plan de riego
- Esmerado plan de abonado

El bulbo húmedo

Factores que afectan a la forma del bulbo

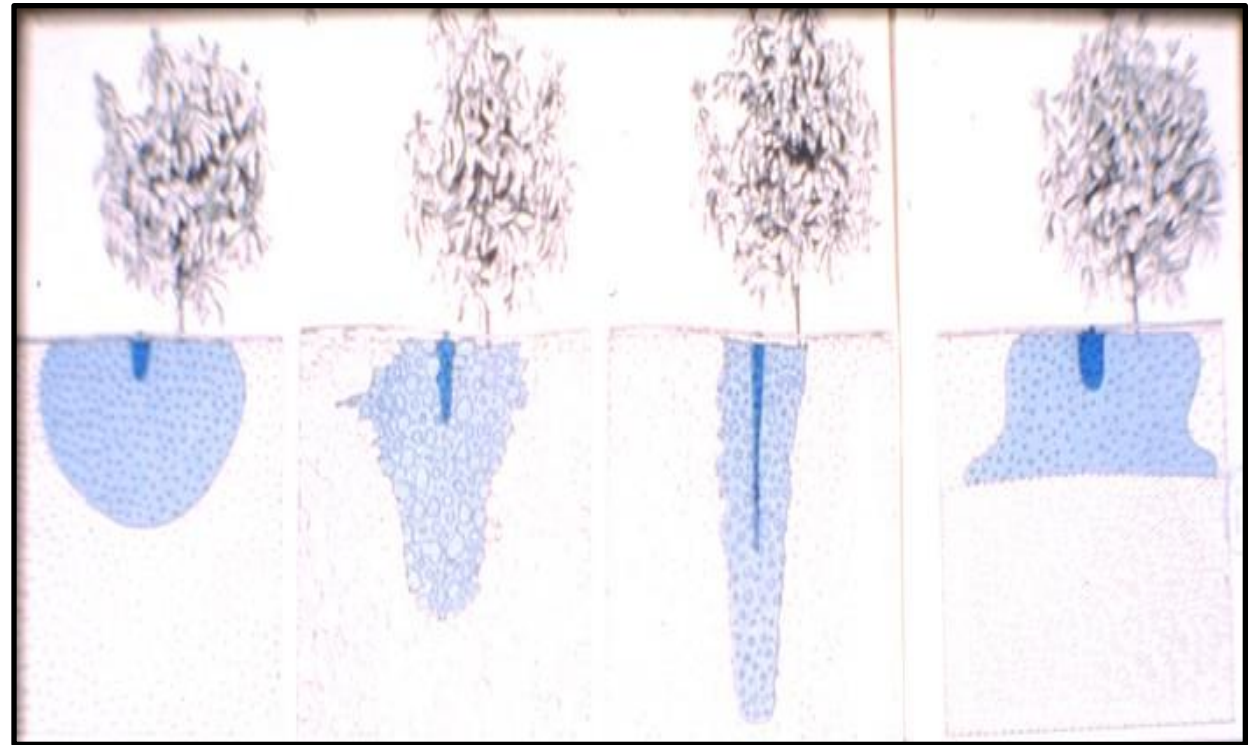
- Tipo de suelo
- Estratificación del suelo
- Caudal del emisor
- Tiempos de riego



El bulbo húmedo

Factores que afectan a la forma del bulbo

- Tipo de suelo



Arcilloso

Franco

Arenoso

Estratificado



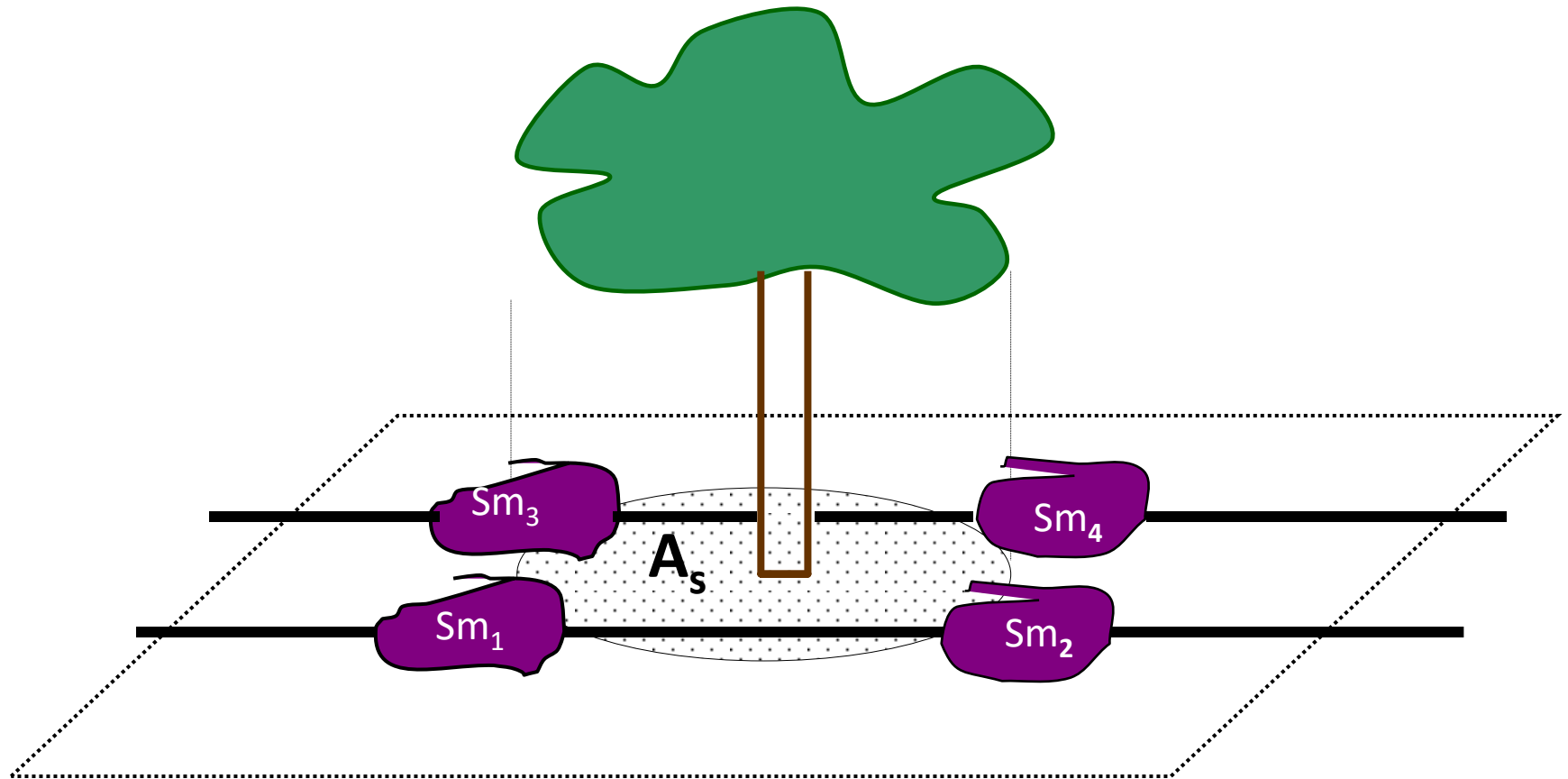
EL DESARROLLO DE LAS PLANTAS



POTENCIA DEL SISTEMA RADICULAR

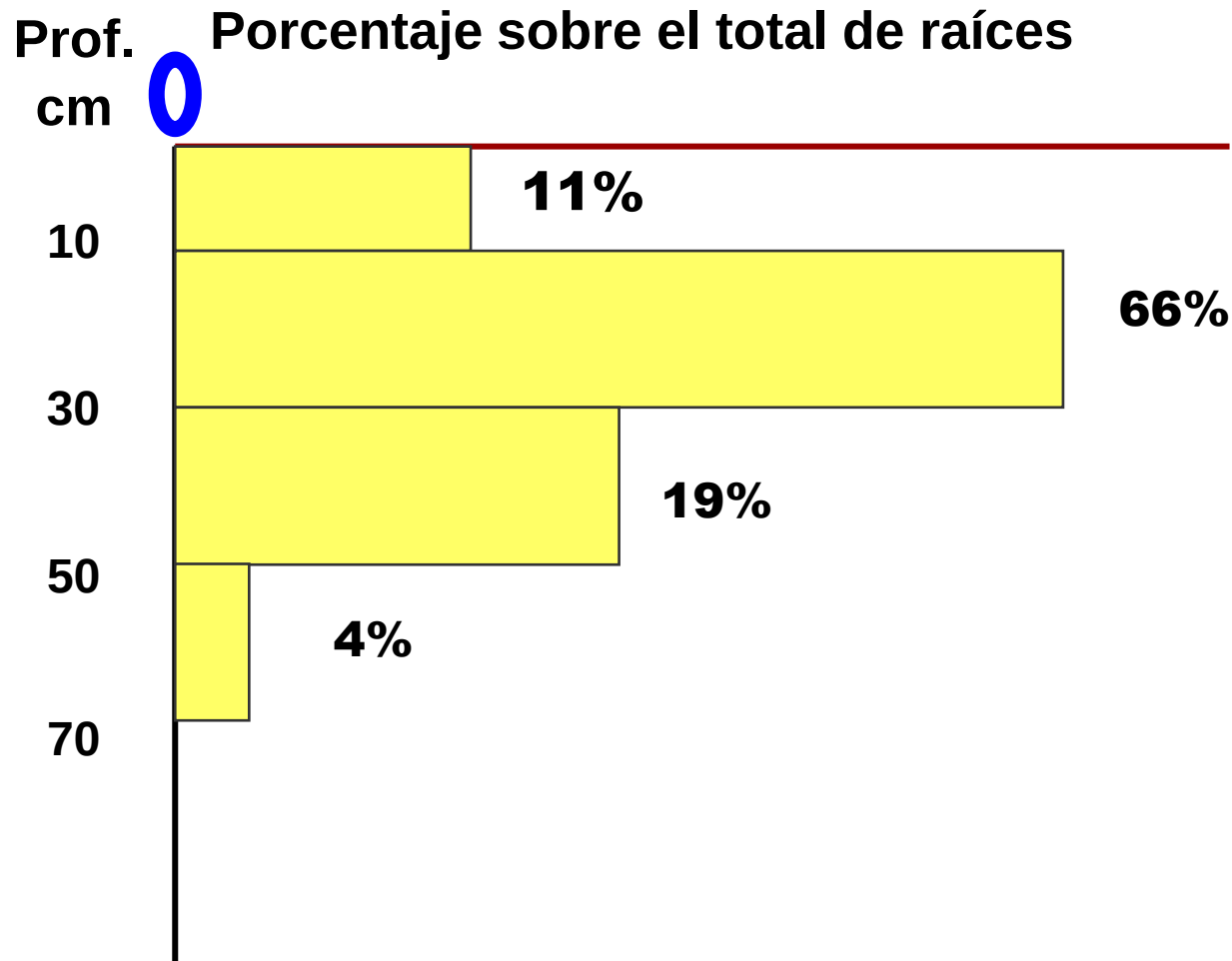


Diseño agronómico del riego



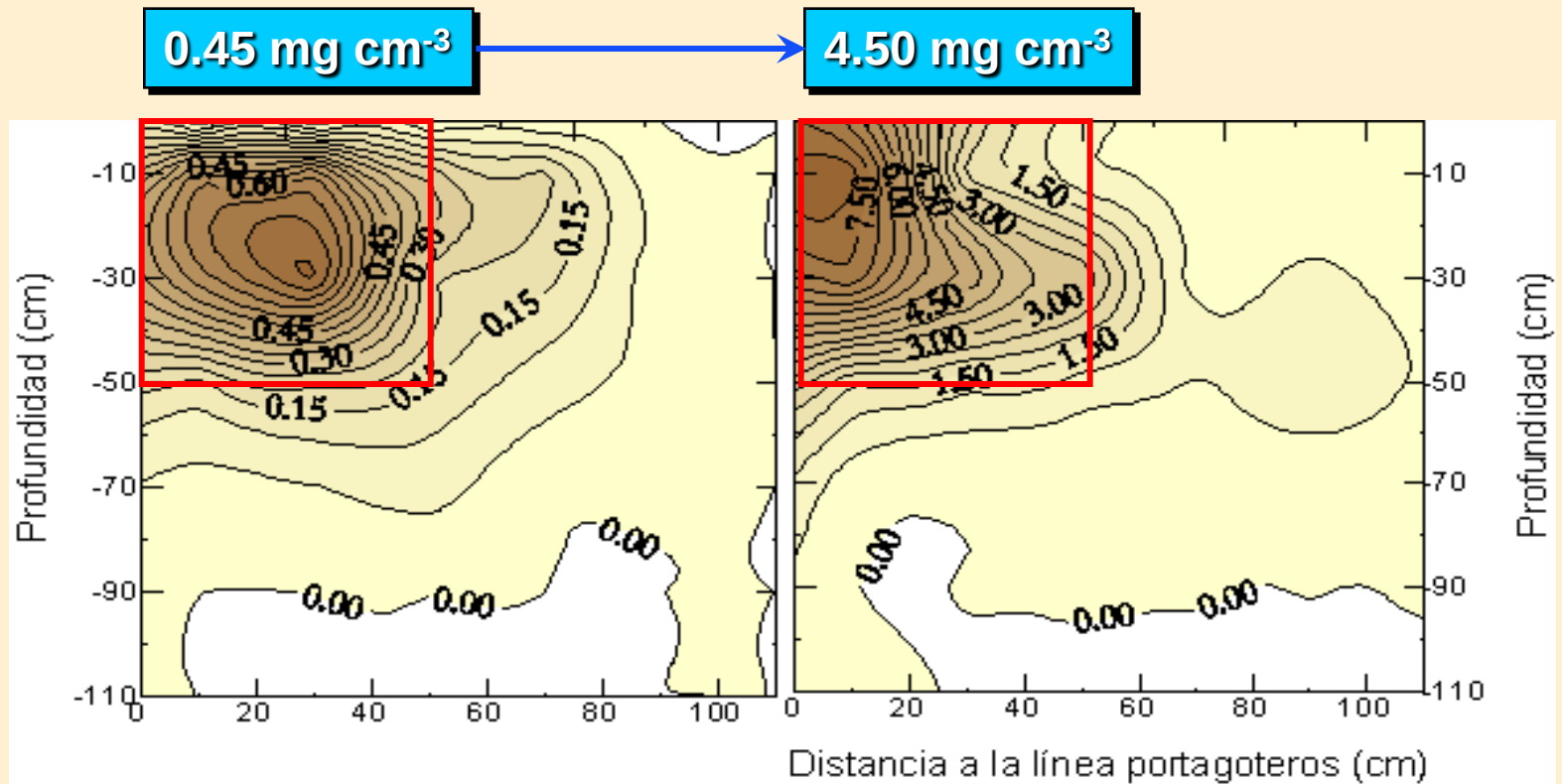
Superficie mojada ($\sum Sm_i$) $\approx 50\%$ A_s

También hay que mirar hacia abajo



(Distribución del sistema radicular de los cítricos en riego localizado)

Diseño agronómico del riego

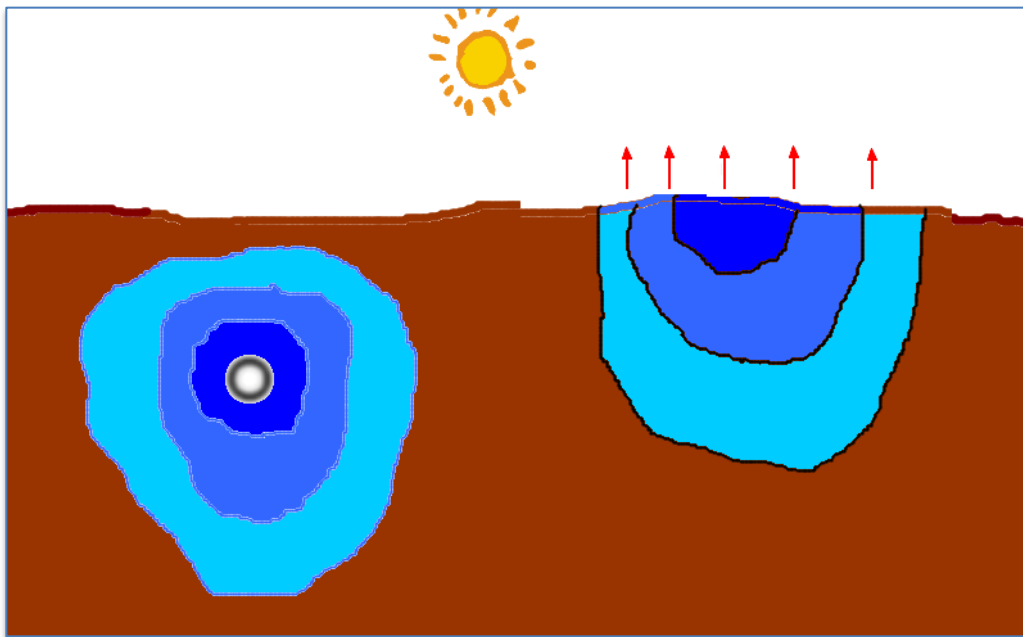


Total de raíces en 2002

Total de raíces en 2003

Riego subterráneo

Menor evaporación
Menor consumo de agua



Riego subterráneo

Ventajas:

Prácticas de cultivo:

No entorpece labores

Malas hierbas, menor uso de herbicidas o mano de obra

Uso de ARD, sin efecto sobre sanidad cosecha

Menor riesgo de enfermedades por hongos

Aplicación de productos fitosanitarios sin posibilidad de ingestión

Infraestructura del sistema:

Ausencia escorrentía superficial.

Ausencia de robo y vandalismo

Menor riesgo de roturas accidentales.

Mayor duración y vida útil.

Sin aditivos para rayos UVA.



Riego subterráneo

Desventajas:

Aplicaciones de agua no visibles

Difícil evaluar el funcionamiento.

Difícil evaluar la uniformidad del riego.

Dificultad detección y reparación de daños y averías

Obturaciones , uniformidad de distribución del agua

Partículas de suelo (succión)

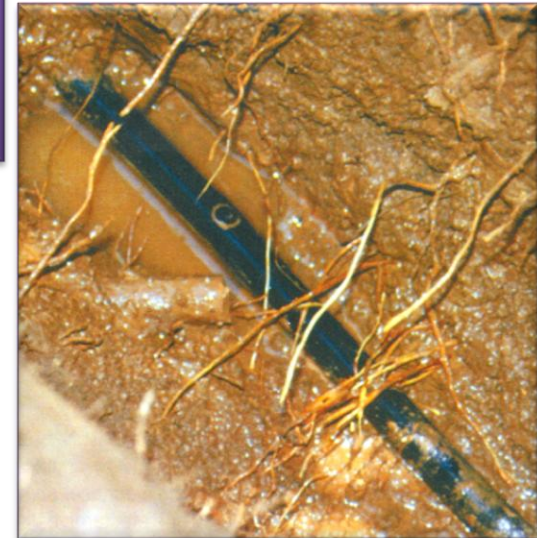
Raíces

Posibles soluciones para la obturación

Emisores antisucción / antidrenantes

Uso de la pendimetalina

Herbicidas a base de extractos naturales



Grupo Riego CEBAS-CSIC



SIRRRIMED

SUSTAINABLE USE OF IRRIGATION WATER IN THE MEDITERRANEAN REGION



IRRIMAN

Implementation of efficient irrigation management for a sustainable agriculture



ONLINE PROFESSIONAL
IRRIGATION SCHEDULING
EXPERT SYSTEM



LIFE
CLIMATREE



RDC vs Superficie mojada vs cubierta vegetal

T0 Control. 100% de la ETc 2 líneas porta-goteros y manejo convencional del suelo.

T1. 60% ETc con 2 líneas porta-goteros, y manejo convencional del suelo.

T2. 60% ETc con 2 líneas porta-goteros, uso de cubiertas vegetales.

T3. 60% ETc con 1 líneas porta-goteros, y manejo convencional del suelo

T4. 30% ETc con 2 líneas porta-goteros, y manejo convencional del suelo.

T5. 30% ETc con 2 líneas porta-goteros, uso de cubiertas vegetales.

T6. 30% ETc con 1 líneas porta-goteros, y manejo convencional del suelo

T7. Riego deficitario controlado. Diseño agronómico del riego con 2 líneas porta-goteros.

T8. Riego deficitario controlado. Diseño agronómico del riego con 1 sola línea porta-goteros

T9. Riego deficitario controlado. Diseño agronómico del riego variable regando con 1 sola línea porta-goteros durante el periodo de riego deficitario, y con dos líneas porta-goteros durante el periodo de mayor aporte de riego.





Pedro A. Nortes

**Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura
(CEBAS-CSIC)**

E-mail: panortes@cebas.csic.es

MUCHAS GRACIAS

#ALMENDRO&PISTACHO

SÍGUENOS EN TWITTER:
@forumalpi

JUEVES
15 DE NOVIEMBRE DE 2018

**Un tándem
con mucha
proyección**



FÓRUM ALMENDRO

& PISTACHO

LUGAR: SALONES MABEL • CALLE CAMPO, 144 • 13700 TOMELLOSO (CIUDAD REAL)