

El riego deficitario como estrategia de sostenibilidad de la agricultura mediterránea



La escasez de agua



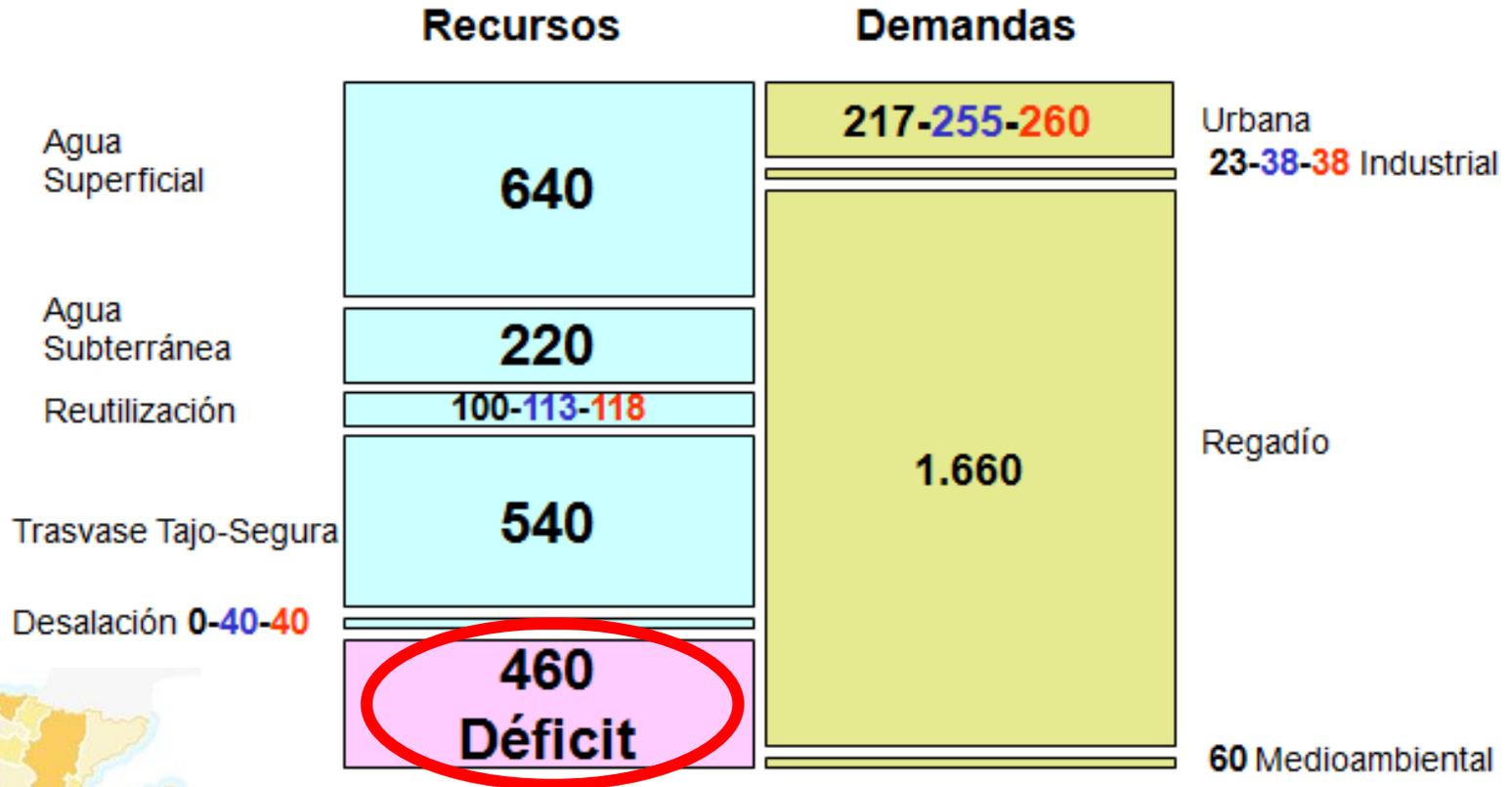
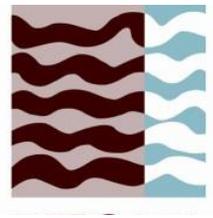
Problema serio en la agricultura de los países del sur de Europa.

En regiones áridas y semiáridas el **principal factor limitante** de la producción es el agua

En los países de clima mediterráneo existe la clara convicción de que el sector agrícola debe afrontar la necesidad de convivir con la escasez de agua.

Los desequilibrios entre recursos y demandas de agua de muchas regiones de España: Andalucía (**235 hm³/año**) o Murcia (Cuenca del Segura > **460 hm³/año**) lo justifican.

Usos del agua. Cuenca del Segura



situación actual horizonte 10 años horizonte 20 años

- Fuente de datos: Plan Hidrológico Cuenca Segura
 - Todos los valores en Hm³



Modernización de los regadíos



El uso de tecnologías de riego **eficientes** ha sido la norma de agricultores y gobernantes de zonas semiáridas con agriculturas modernas y competitivas.

A pesar de la modernización de regadíos los desequilibrios recursos – demandas permanecen en estas regiones.

La búsqueda y uso agrícola de nuevas fuentes de agua es una clara alternativa a la actual escasez de agua. Actualmente en España se reutilizan 408 hm³/año (13% del total de agua depurada) de los cuales se destinan a riego agrícola el 79% (320 hm³/año).

Especial énfasis debe de ser puesto en la realización de un buen uso del agua sea cual sea su procedencia.

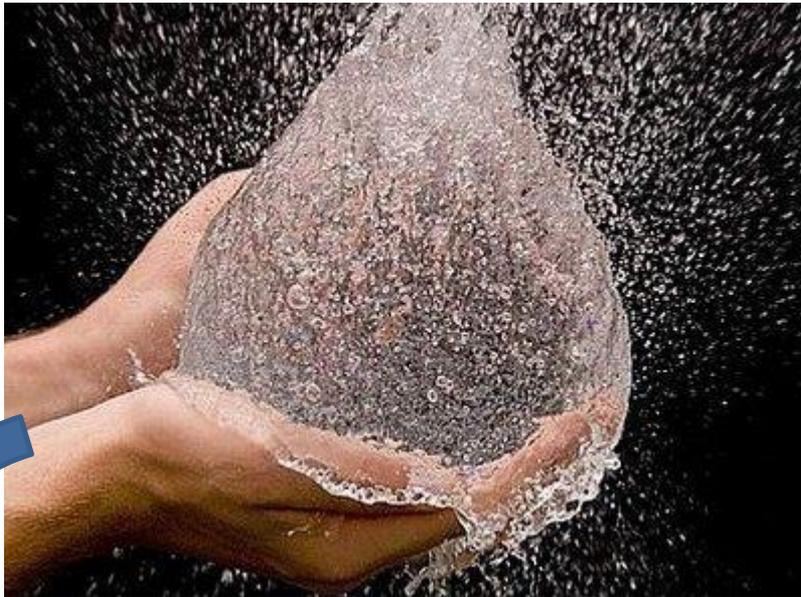
SUPERFICIE REGADA (ha) SEGÚN EL ÍNDICE DE DOTACIÓN POR COMUNIDAD AUTÓNOMA

Comunidad Autónoma	Sobredotada	Dotada	Ligeramente infradotada	Infradotada	Total superficie regada
Andalucía	130.355	68.904	137.846	442.775	779.880
Aragón	82.942	84.379	81.217	145.985	394.522
Asturias	3.097	14	1.232	0	4.342
Baleares	15.097	2.279	0	0	17.376
Canarias	3.947	5.242	9.146	11.045	29.379
Cantabria	1.349	50	0	1.204	2.603
Castilla-La Mancha	160.650	22.852	106.154	64.145	353.801
Castilla y León	140.341	95.096	88.152	163.088	486.676
Cataluña	167.709	38.712	15.502	42.870	264.793
Extremadura	5.656	19.732	143.178	41.921	210.488
Galicia	66.164	11.942	7.383	0	85.490
Madrid	10.049	147	4.211	13.566	27.973
Murcia	22.823	87.877	24.680	57.318	192.698
Navarra	8.315	12.771	24.344	36.242	81.673
País Vasco	1.720	2.665	0	8.741	13.126
Rioja	23.262	9.934	14.191	1.948	49.335
Valenciana	34.897	180.023	37.088	98.473	350.482
Total	878.374	642.620	694.323	1.129.320	3.344.637

NOTA.- Al calcular como índice de dotación el porcentaje de demanda bruta suministrada en relación con la demanda bruta exigida por los cultivos, se da la circunstancia de que superficies abastecidas de acuíferos sobreexplotados pueden estar perfectamente dotadas actualmente, lo cual puede agudizar el proceso de sobreexplotación.

Riegos deficitarios

**¿CÓMO PODEMOS INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUA
MAS ALLÁ DE LA DERIVADA DE LA OFERTA TECNOLÓGICA?**



DESARROLLO DE NUEVAS ESTRATEGIAS DE MANEJO DEL RIEGO



GENERAR CONOCIMIENTO



Riegos deficitarios

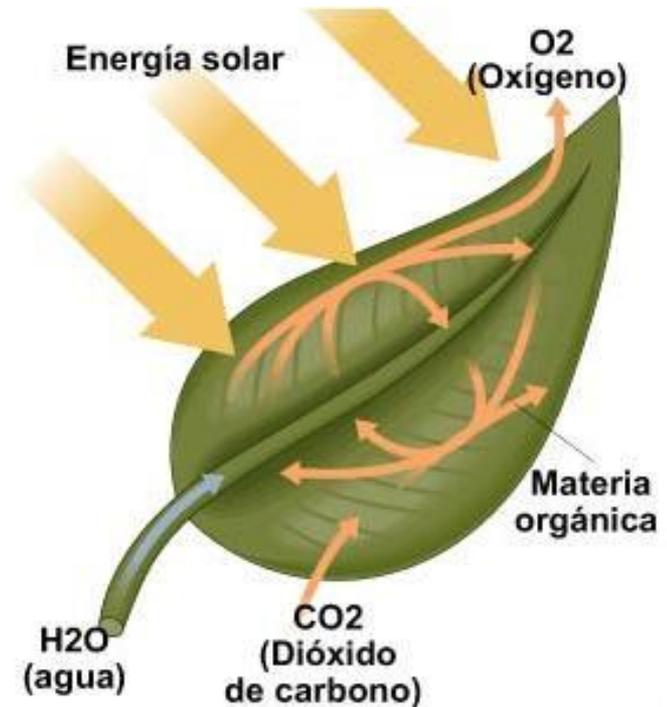
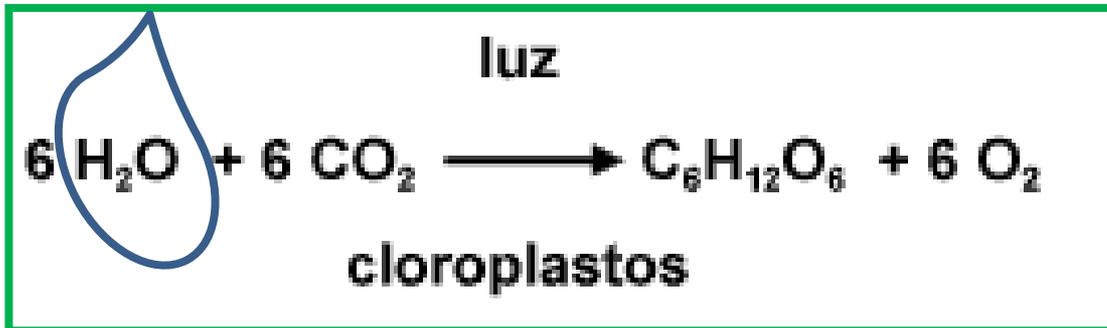
RD - prácticas de riego deliberadas y sistemáticas donde sólo una fracción de las necesidades de agua de los cultivos NO satisfechas por las lluvias es reemplazada por el riego.

AGUA

- Elemento clave para la realización de las funciones vitales de las plantas

-Procesos dependientes de la turgencia celular.

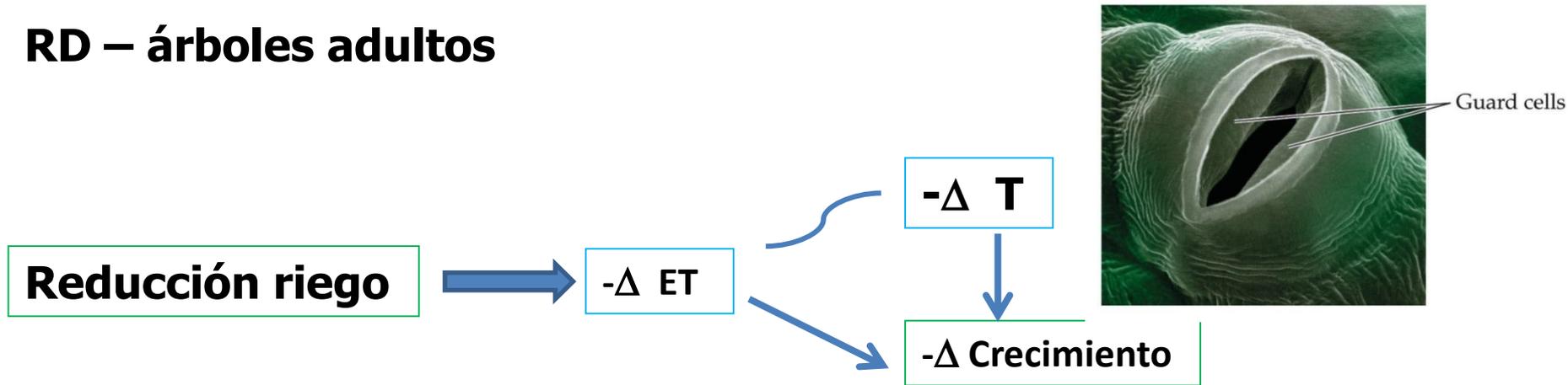
FOTOSÍNTESIS



Agua + Energía solar + Anhídrido carbónico = Materia Orgánica

Riegos deficitarios

RD – árboles adultos



OBJETIVO

Conocer la reducción potencial de ET que permitiría idénticos o superiores beneficios que cuando se satisfacen las necesidades máximas del cultivo ($ET_{\text{máx}} = ET_c$)

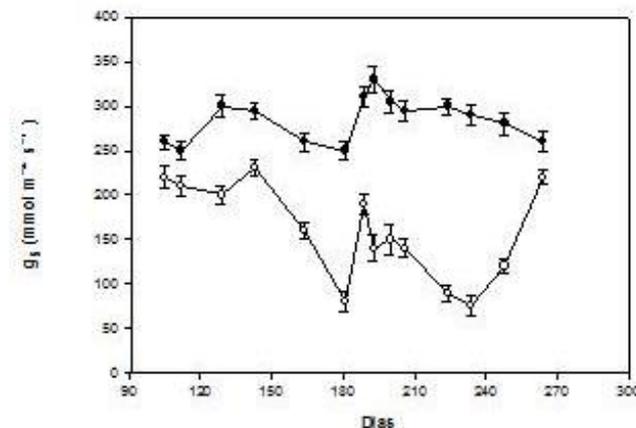
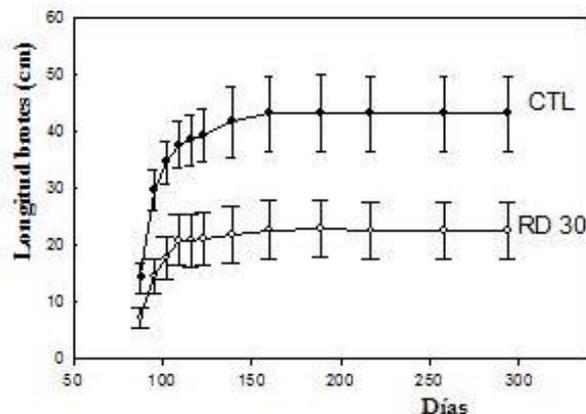
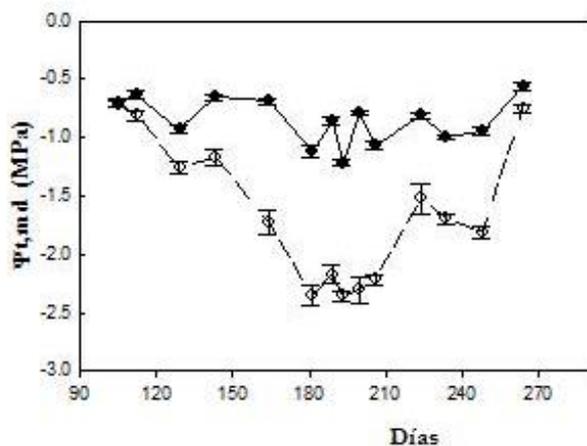
Estrategias de Riego deficitario

Riego Deficitario Incontrolado

El suministro hídrico no está garantizado y su disponibilidad a nivel de explotación depende de asignaciones basadas en factores aleatorios o impredecibles.

Riego Deficitario Constante

Reparte el déficit hídrico uniformemente durante todo el ciclo para evitar la ocurrencia de estrés hídrico severo en algún momento que pudiera dar lugar a efectos trascendentales.



CTL vs RD₃₀ almendro 'Marta'

Estrategias de Riego deficitario

Riego Deficitario Controlado (RDC)

Contempla tanto la fenología del cultivo como su capacidad para resistir situaciones de déficit hídrico

Aplicación de cantidades de agua inferiores a las necesarias durante determinados períodos del ciclo del cultivo en los que la producción y calidad de las cosechas sean poco o nada afectadas y aplicación del total de dichas necesidades durante el resto del ciclo, en especial en aquellos períodos críticos en los que la producción y/o la calidad son más afectados por la falta de agua

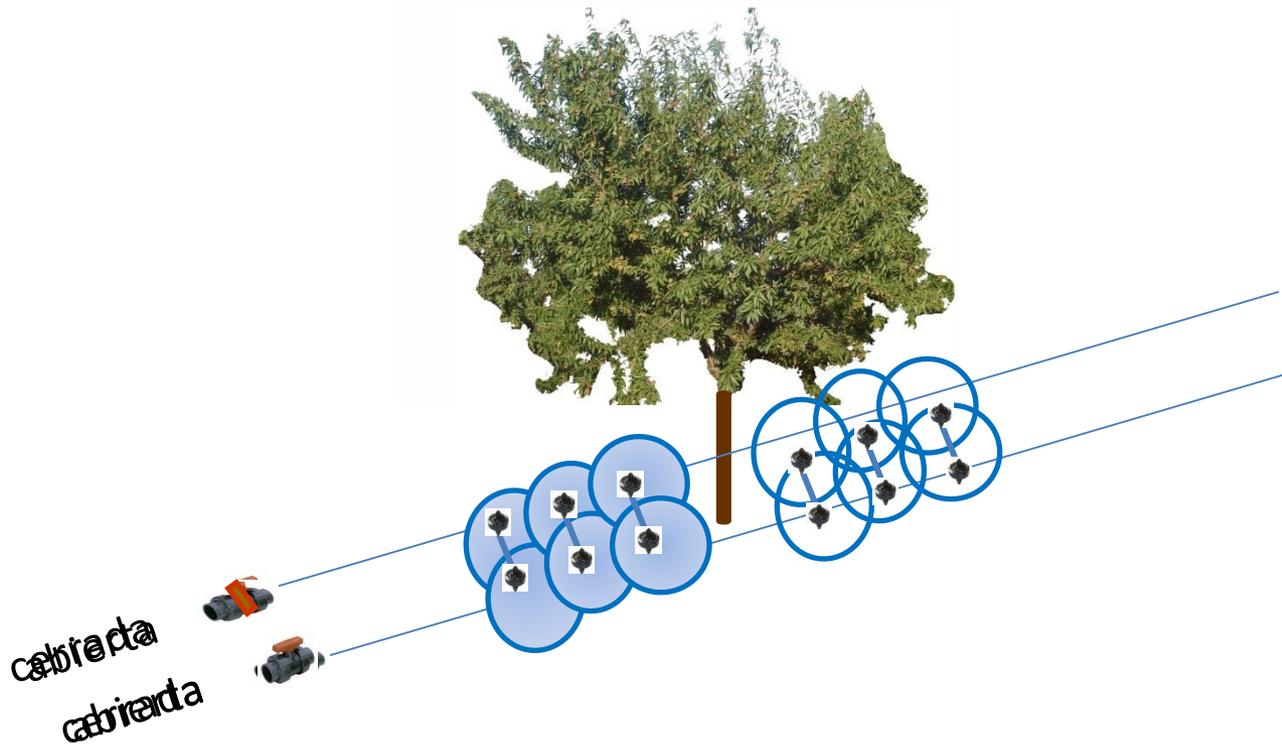
OBJETIVO

Aplicar el DEFICIT HÍDRICO de modo que no afecte al crecimiento reproductivo (fruto) y sí al vegetativo.

Estrategias de Riego deficitario

Riego por Desección Parcial del Sistema Radicular (PRD) - *partial rootzone drying*

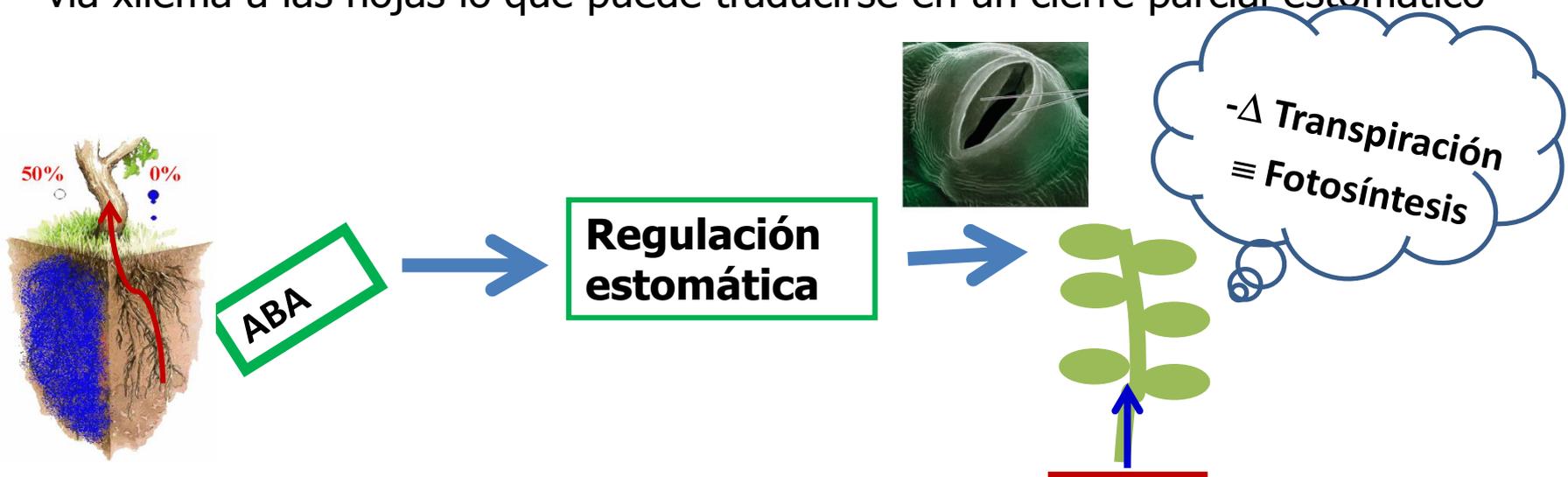
Mantener una parte del sistema radicular adecuadamente regada mientras que la otra mitad se deja en proceso de desecación, alternando el riego entre ambas mitades cada cierto período de tiempo.



Estrategias de Riego deficitario

PRD (*partial rootzone drying*)

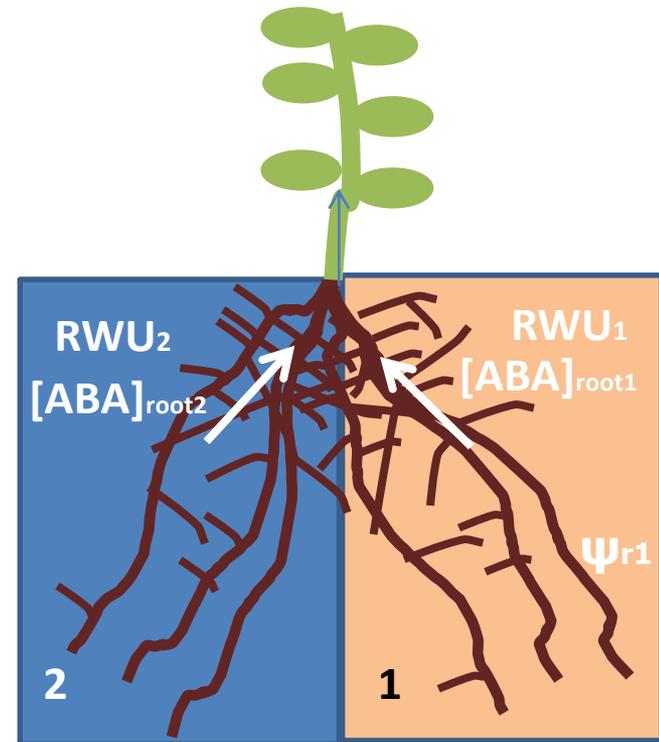
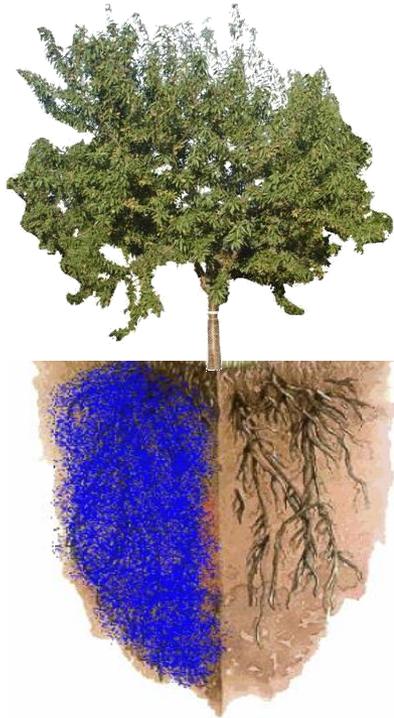
Cuando una parte del sistema radicular se va secando, se activa un mecanismo de señales bioquímicas raíz-brote (*Root-to-shoot signalling*), que son transportadas vía xilema a las hojas lo que puede traducirse en un cierre parcial estomático



Al mismo tiempo, la parte del sistema radicular que recibe la dosis de riego equivalente al 50% de las necesidades del cultivo mantiene un estado hídrico adecuado en la parte aérea de la planta

IMPORTANTE

Establecer el criterio de alternancia del riego entre ambas partes del sistema radicular.

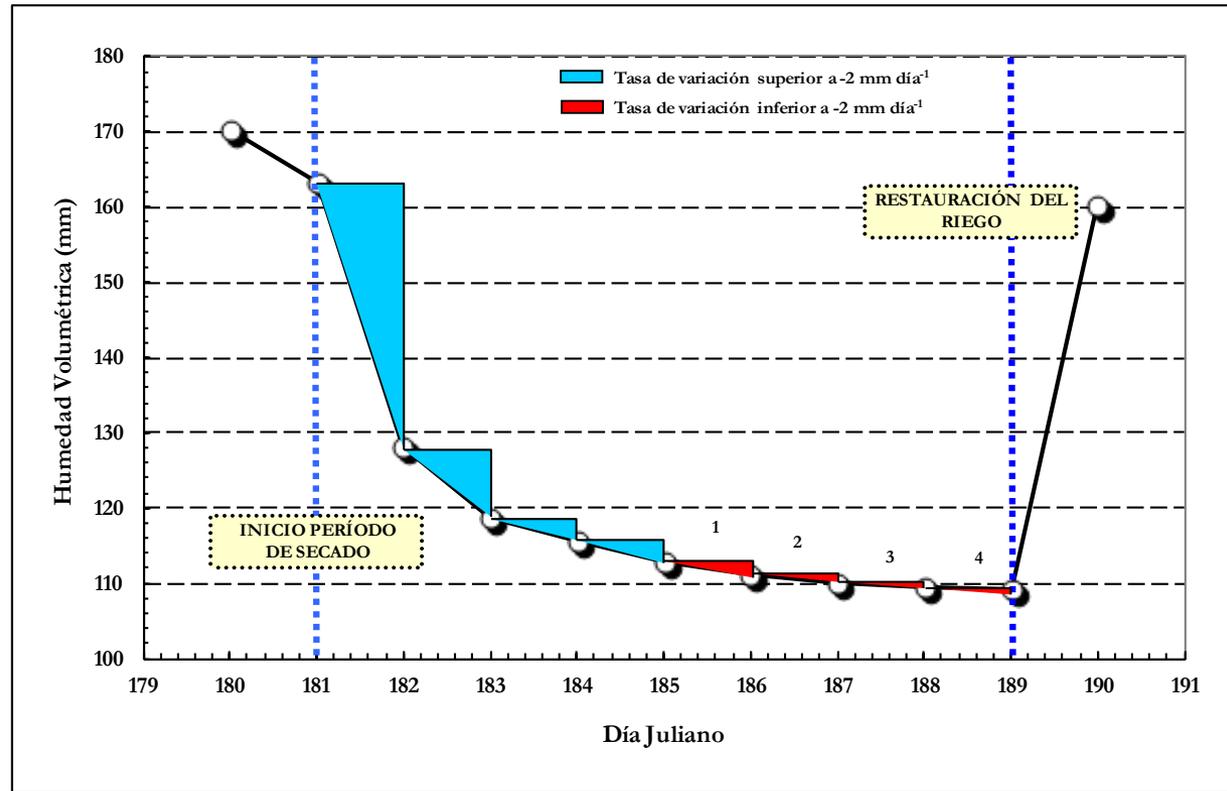


Soil moisture in 1 lower than in 2.

$[ABA]_{root1} > [ABA]_{root2}$

$RWU1 * [ABA]_{root1} + RWU2 * [ABA]_{root2} = [X-ABA]$

IMPORTANTE



Riego deficitario. Una oportunidad para reducir el agua de riego

Las ventajas potenciales de RD

- i. Optimizar la productividad del agua
- ii. Reducción de los costes de riego y de producción
- iii. Oportunidad de los costes del agua

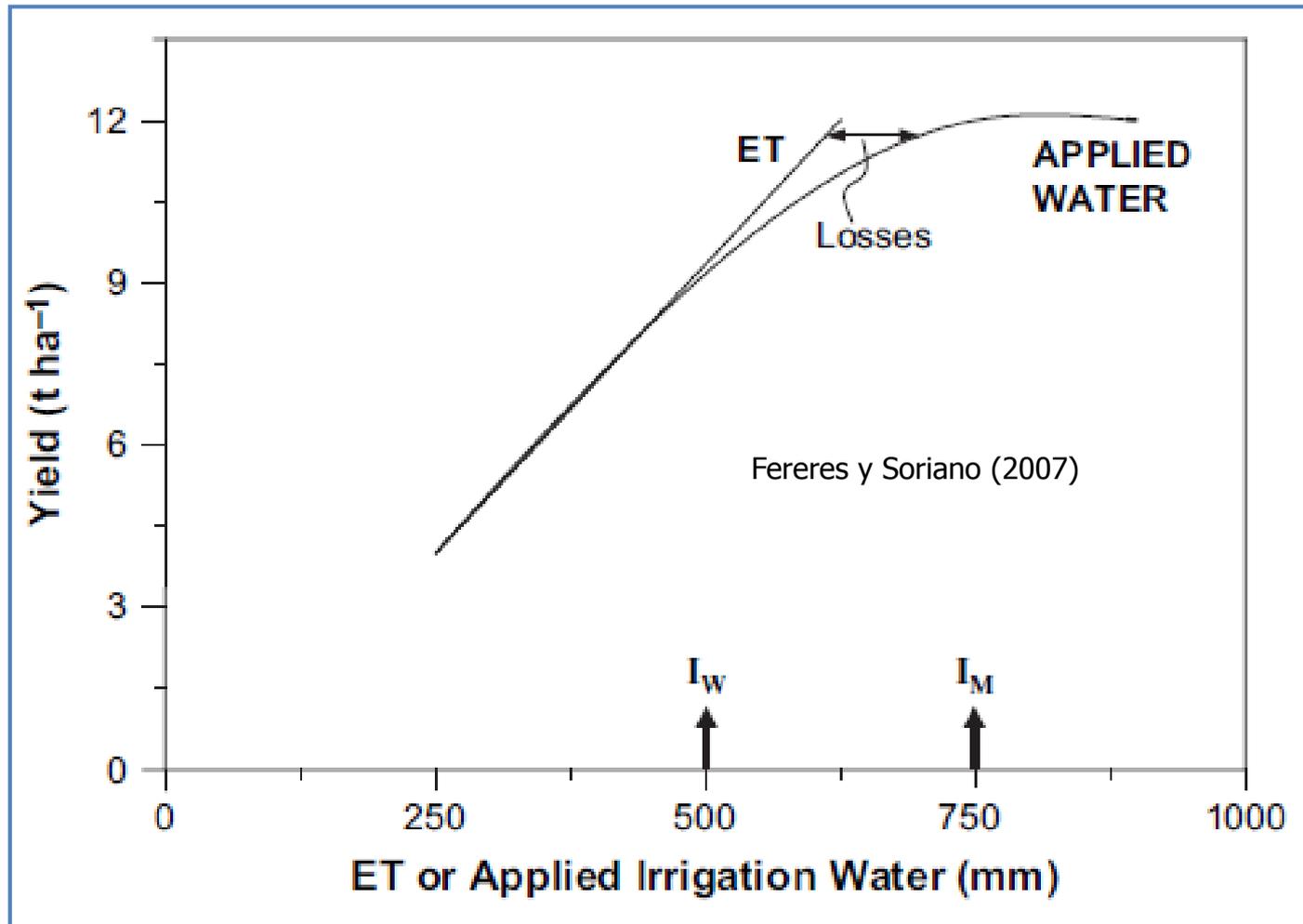
Estas ventajas son mayores en áreas con escasos recursos hídricos

$$PA = \frac{\text{Masa de producto comercializable (kg)}}{\text{Volumen de agua consumida por el cultivo (ET}_a - m^3)}$$

$$PA = \frac{\text{Masa de producto comercializable (kg)}}{\text{Agua aplicada (m}^3)}$$

PRODUCTIVIDAD DEL AGUA = PRODUCCIÓN (kg) o VALOR (€)/AGUA APORTADA

RD y Productividad del agua



Producción vs Agua aplicada o ET. I_W es el punto a partir del cual PA empieza a disminuir y I_M el punto a partir del cual la producción no aumenta con aplicaciones de agua adicionales.

RD en árboles frutales y viñas

Es más interesante aplicar RD en frutales y viñas que en cultivos herbáceos.

- ✓ **El beneficio suele estar asociado a factores de calidad y no de biomasa producida.**
- ✓ **Los procesos que determinan la producción , en muchas especies frutales, no son sensibles a la reducción de agua en determinados estados de desarrollo.**
- ✓ **Debido a su alta PA puede permitirse riegos de alta frecuencia que son más adecuados para controlar la aplicación del agua y por lo tanto para el manejo del déficit hídrico.**
- ✓ **Desde la perspectiva de la conservación de agua, una determinada reducción en los aportes hídricos se traduce en una reducción mayor de la transpiración que en c. herbáceos y en consecuencia en un ahorro de agua mayor.**
- ✓ **El desarrollo de un cierto nivel de estrés puede mejorar la calidad y conservación de los frutos.**

Manejo del riego en Riego Deficitario

Tiempo de aplicación del riego (t_a) - dato imprescindible junto a los días de riego para ser introducido en programadores de riego.

$$Dr (\text{L planta}^{-1} \text{ riego}^{-1}) = \frac{ET_{cg} (\text{mm} \cdot \text{día}^{-1}) \times \% \text{ Aplicación} \times I (\text{días}) \times Mp (\text{m}^2 \cdot \text{planta}^{-1})}{Ea \times CU}$$

ETcg = Evapotranspiración del cultivo bajo riego por goteo

I = Intervalo entre riegos

Mp = Marco de plantación

Ea = Eficiencia de aplicación (%)

CU = Coeficiente de uniformidad de distribución del agua (%)

$$t_a (\text{h}) = \frac{Dr (\text{L} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{riego}^{-1})}{e (\text{emisores} \cdot \text{planta}^{-1}) \times q_e (\text{L} \cdot \text{h}^{-1})}$$

Programación Científica del Riego

El seguimiento del estado hídrico del agua en el suelo y la planta

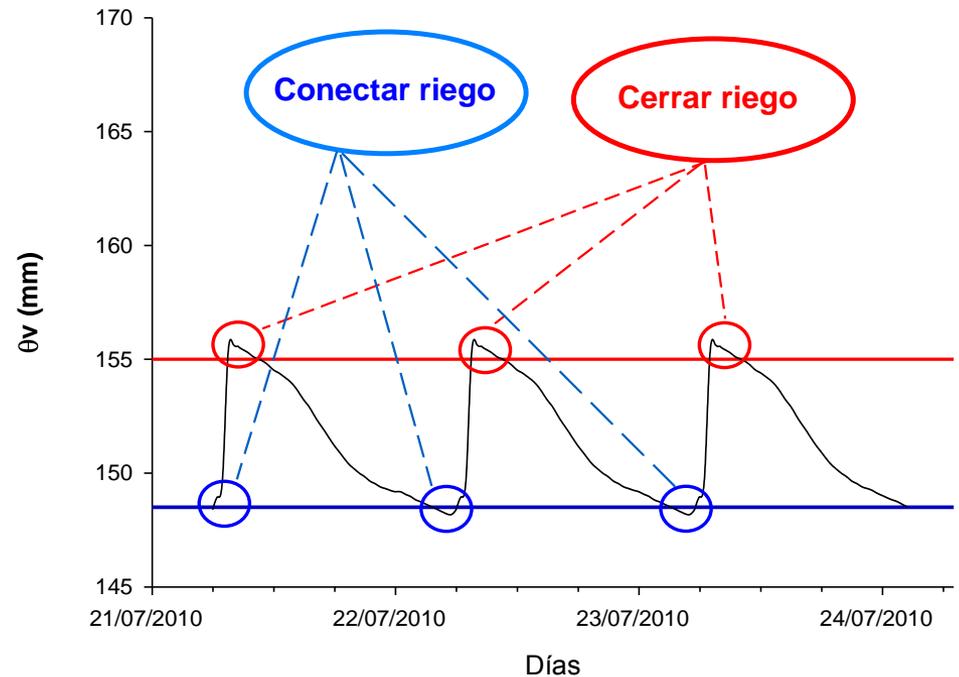
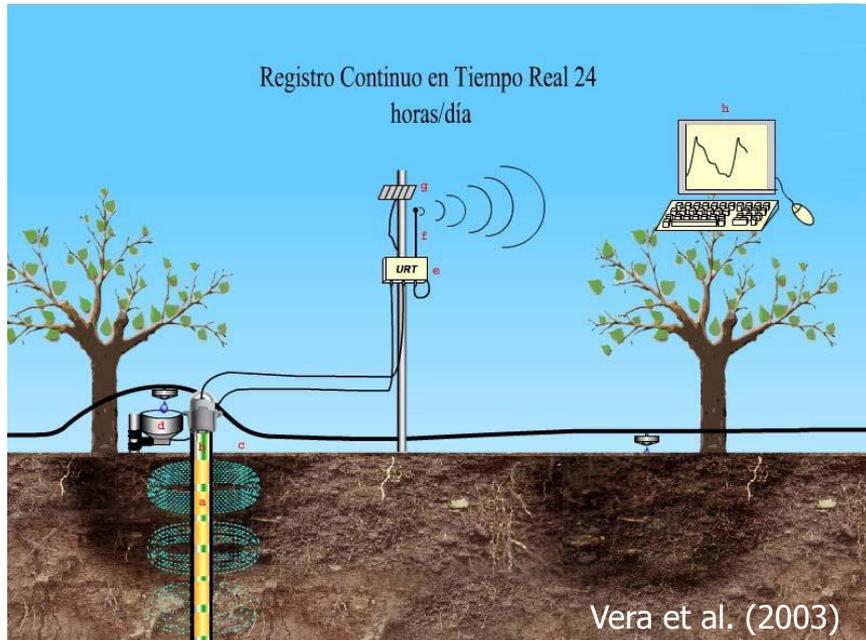
Es fundamental de cara a disminuir las incertidumbres asociadas a la determinación de las necesidades de riego por la metodología FAO



$$ET_{cg} = ET_0 \times K_c \times K_r$$

Automatización de la programación del riego

Sondas de capacitancia (FDR)



Usuario: define una estrategia de control (FDR) - delimitación de niveles de θ_v

Sistema: elabora y ejecuta las decisiones (momento y cantidad)

Comunicación permanente entre: sensores – controlador -actuadores

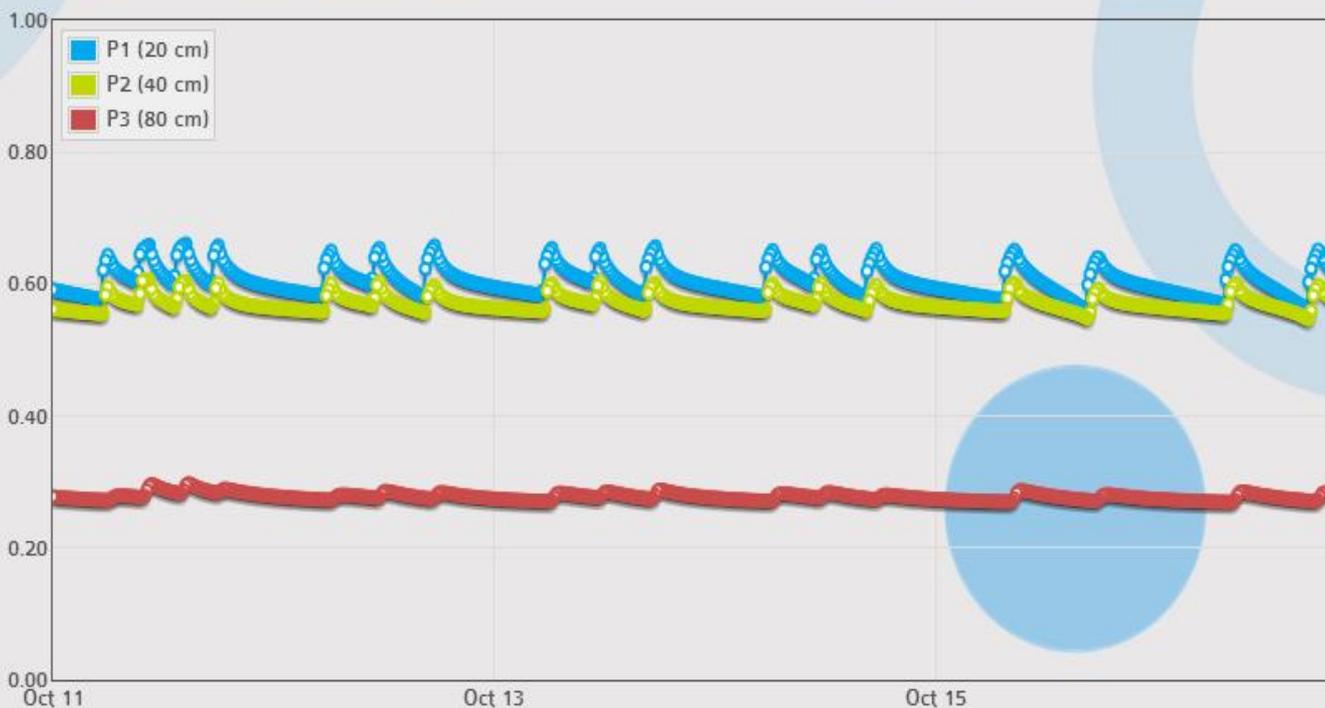
Programación Científica del Riego

Registro del contenido volumétrico de agua en el suelo (θ_v) - Fortuna Finca Comercial

Seleccione la Instalación

Finca La Granja - Fortuna

[Estación SIAM](#)



Nodo 2

Seleccione la medida

Perfil Envirosan 3P(20,40,80)

Rango de medidas

Min: Max:

Rango de fechas

Inicio: 2013-10-11

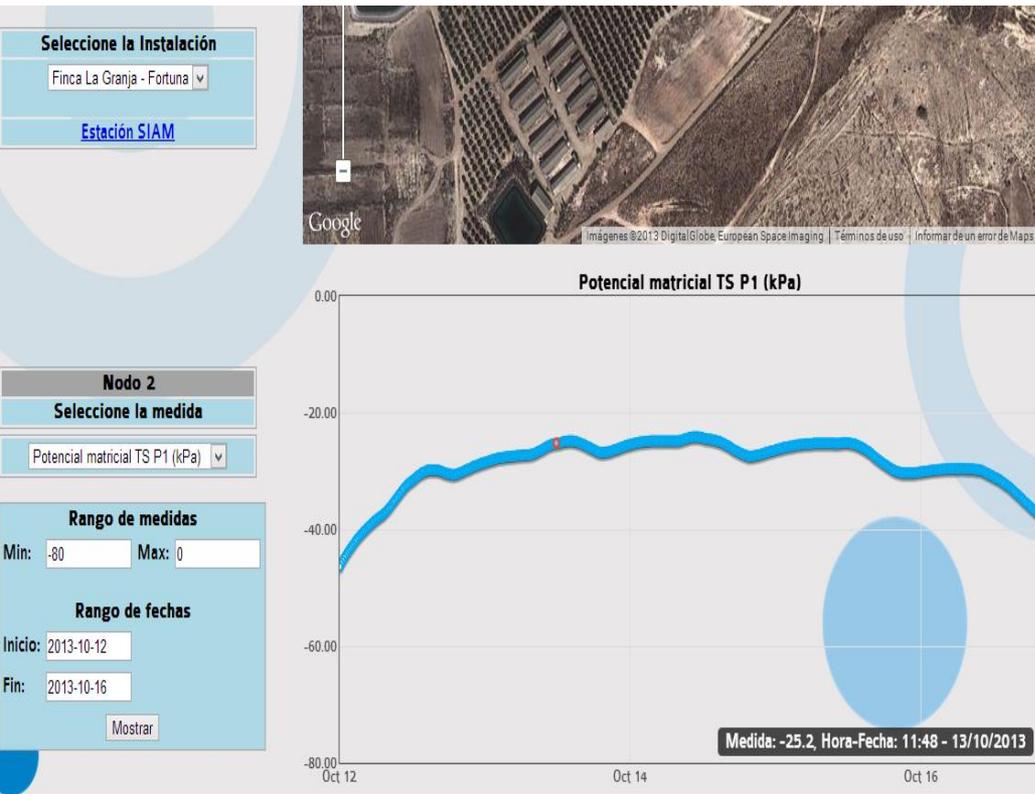
Fin: 2013-10-16

[Mostrar](#)

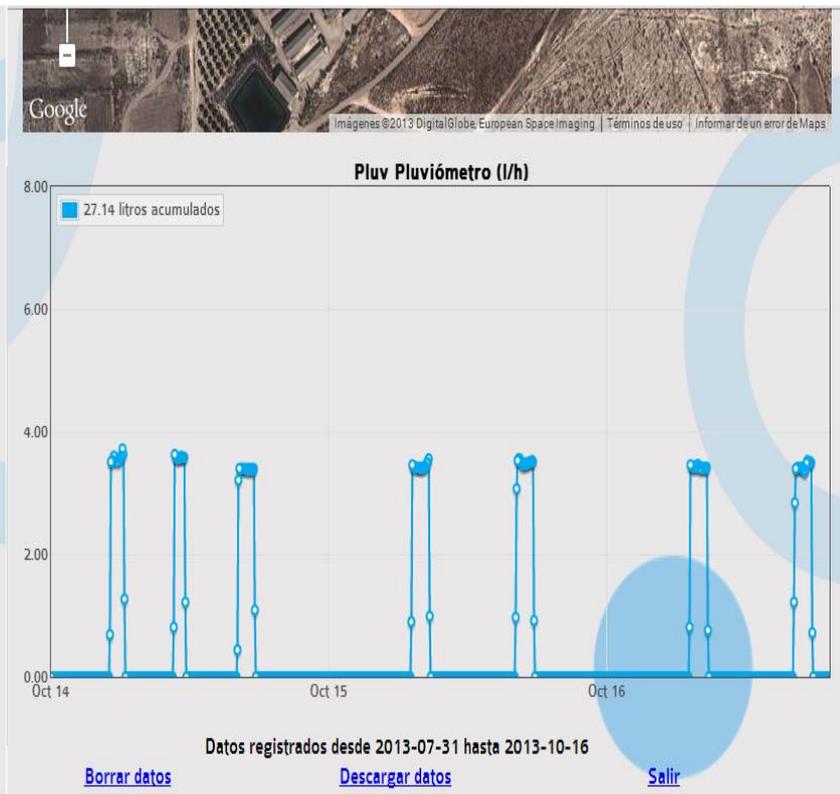
Programación Científica del Riego

FORTUNA - Limón Fino

Potencial matricial del agua en el suelo (kPa)



Registro de riegos realizados

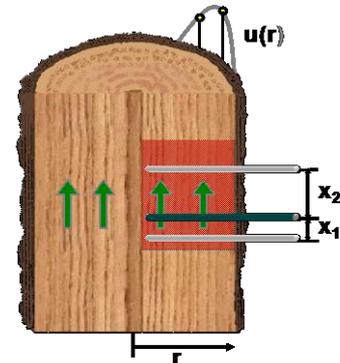
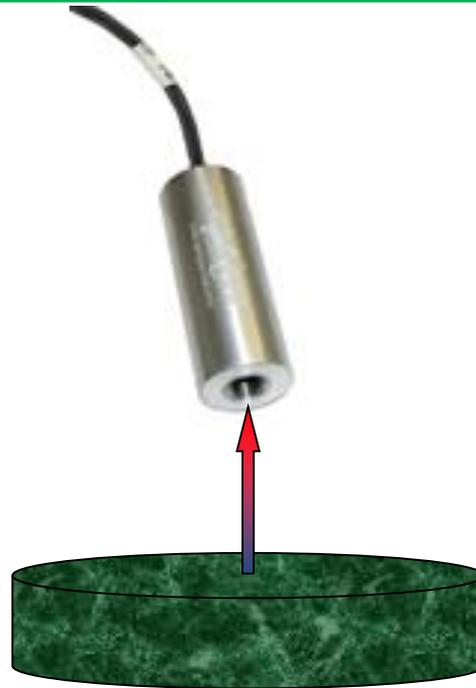


Automatización del riego. Monitorización con sensores

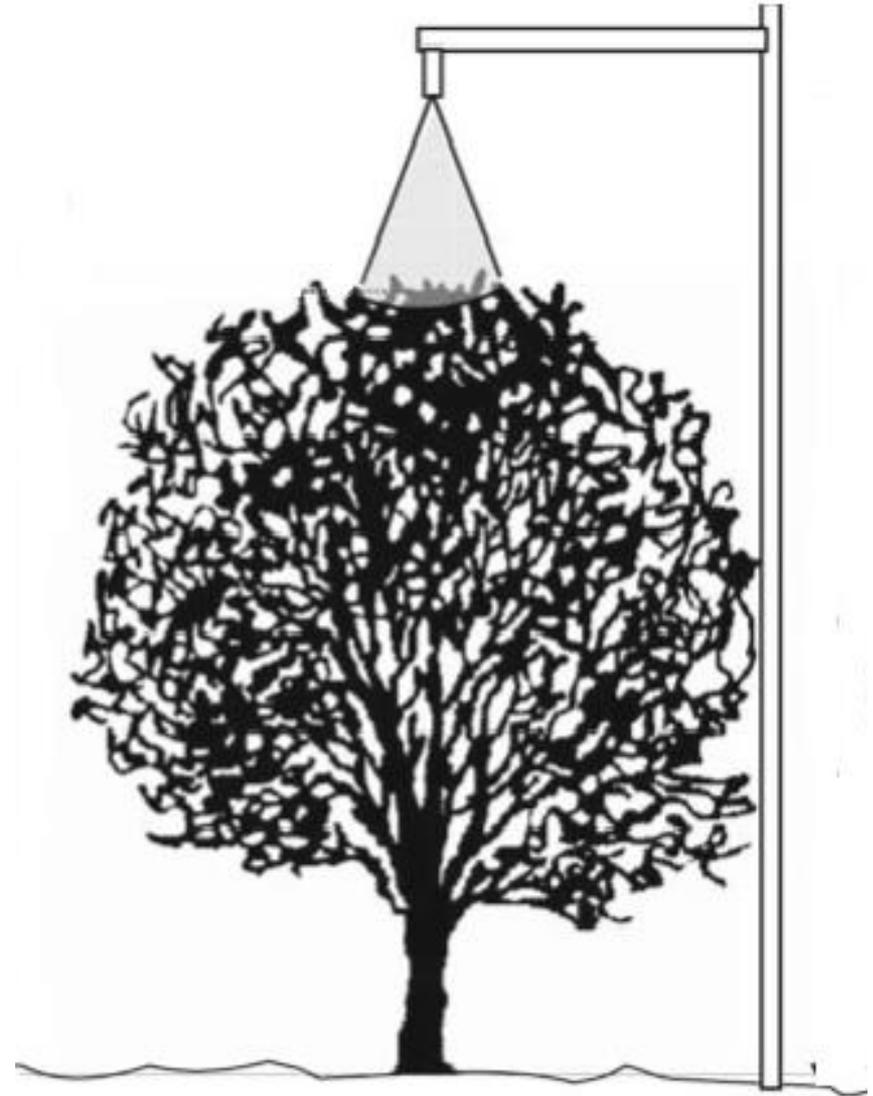
Suelo



Planta

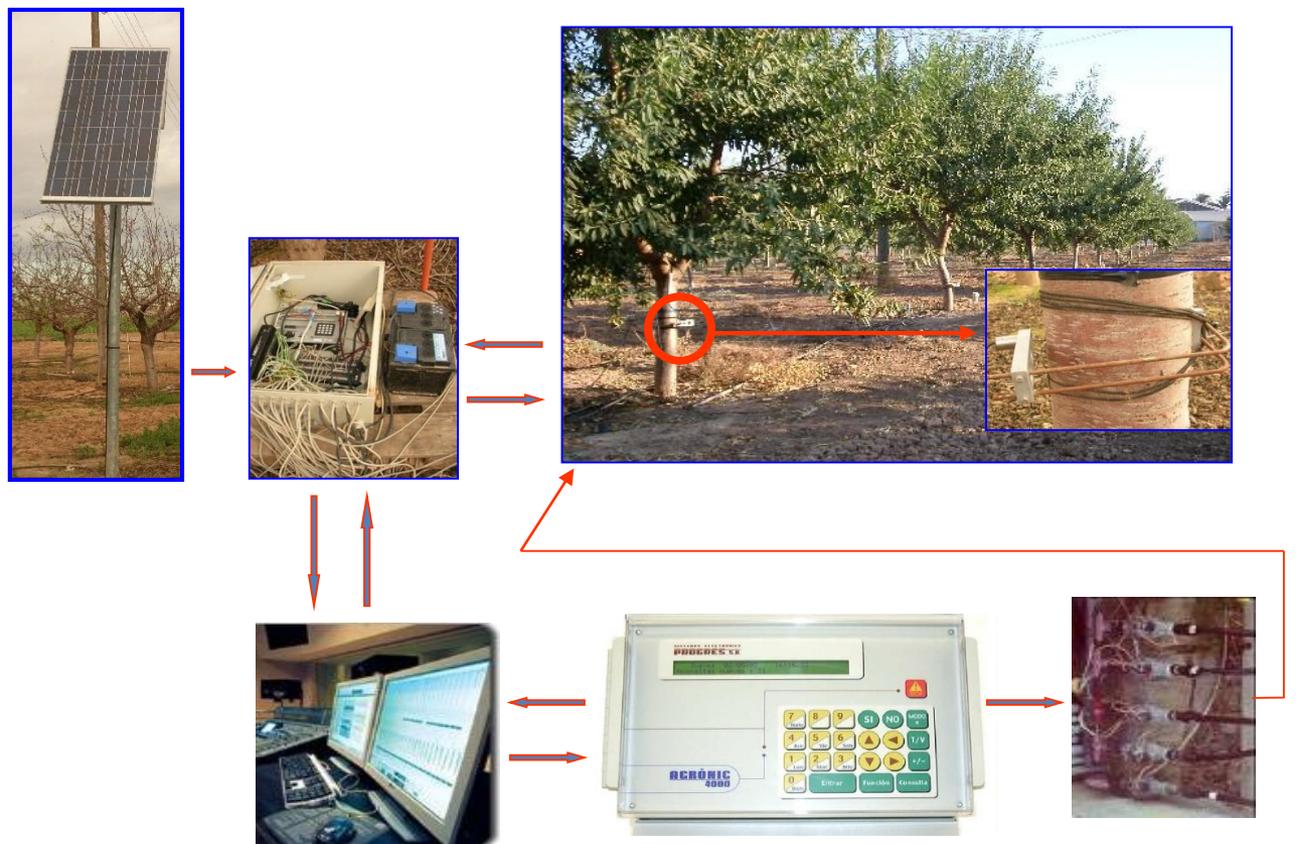


Automatización del riego. Monitorización



Métodos basados en planta. Dendrometros (La Palma – Cartagena)

Las medidas se tomaron cada 30 s, si bien el datalogger proporcionaba valores medios cada 10 minutos. Los datos se transmitían a través de un Puerto RS-485 a un ordenador, donde eran tratados y analizados para su uso en la programación del riego.



Sensibilidad del cultivo al déficit hídrico. Almendro

Fases I,II,III,(**floración, cuajado, crecimiento vegetativo y del fruto**) sensibles al déficit hídrico



Fase IV, llenado del grano, poco sensible al déficit hídrico. Momento de máxima demanda evaporativa.

Fase V, período poscosecha, muy sensible al déficit hídrico

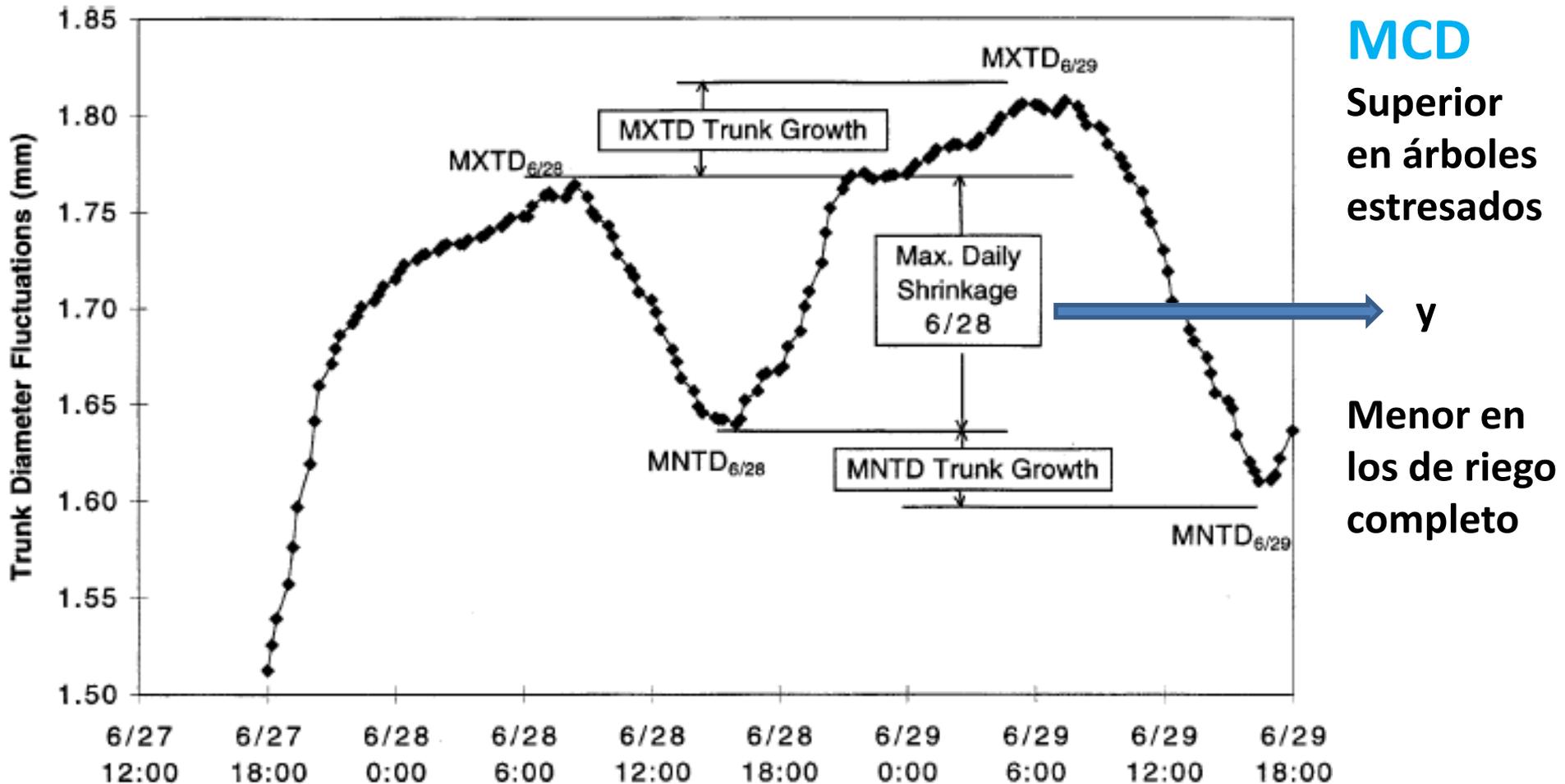
Indicadores de estrés o déficit hídrico robustos



Potencial de tallo a mediodía (Ψ_{stem})

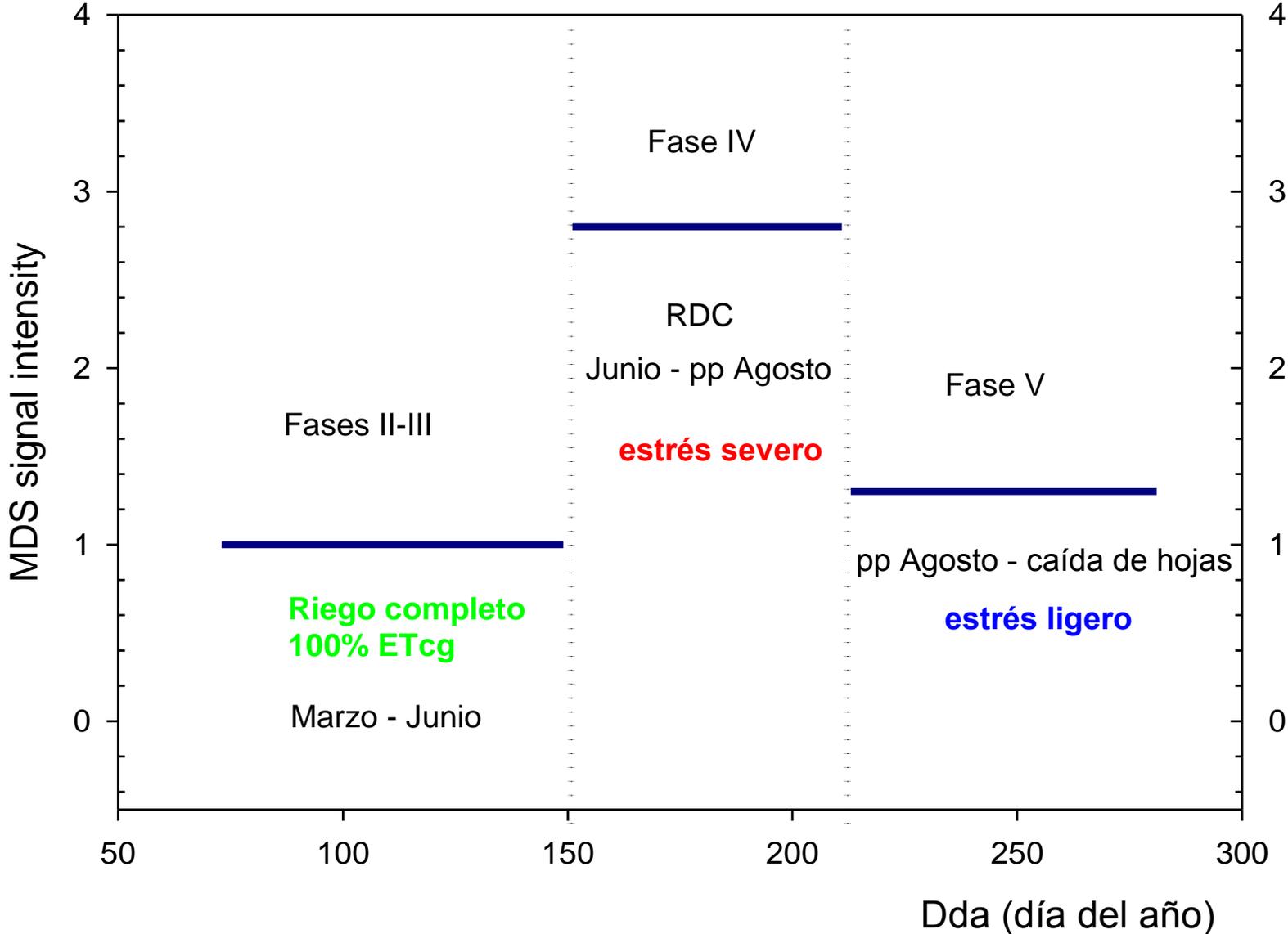
Necesidad de contar con indicadores de estrés robustos

Medida de las variaciones diarias de diámetro tronco

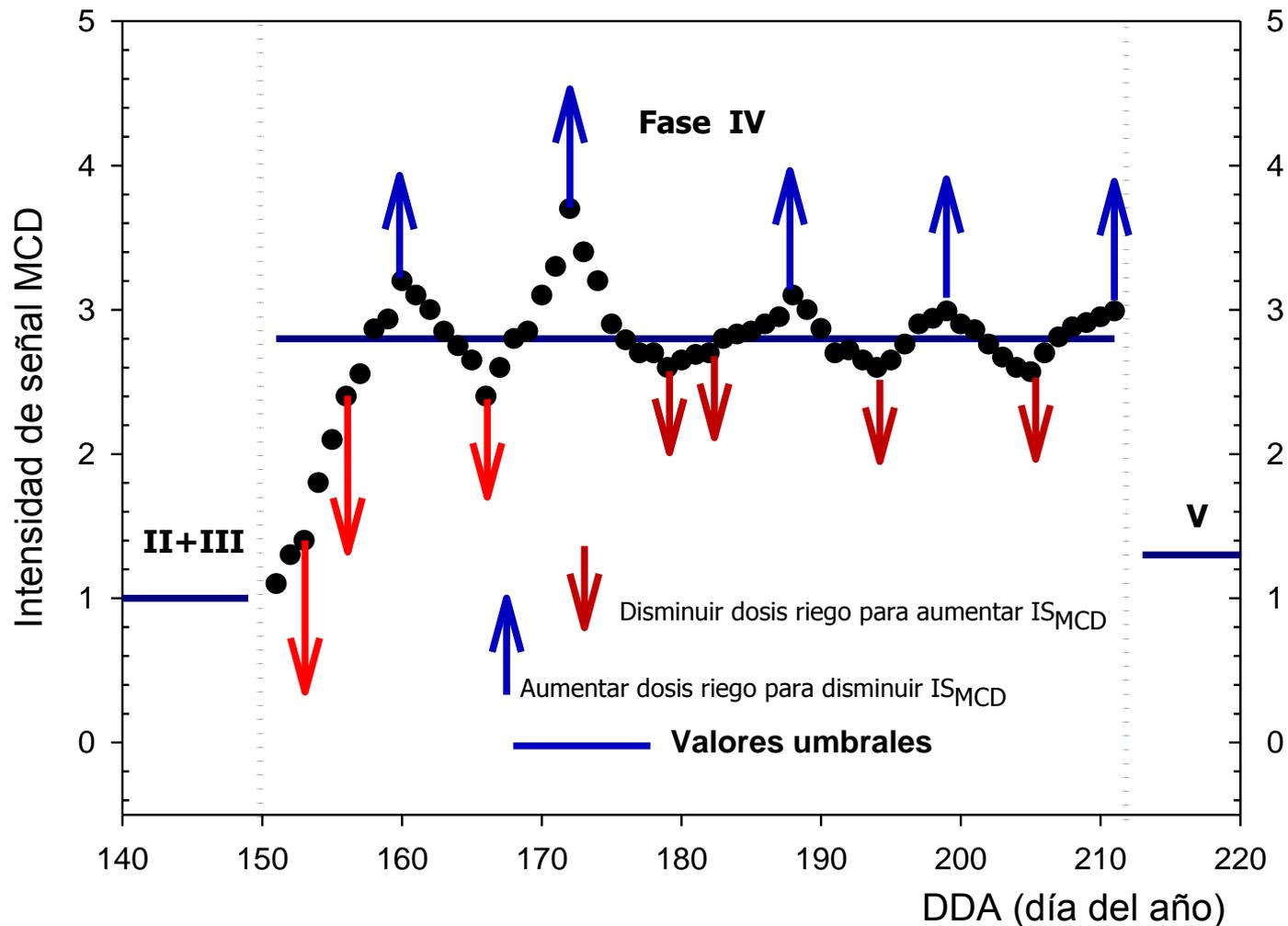


Definición de la estrategia RDC basada en IS_{MCD} - Almendro

Definir una estrategia RDC basada en IS_{MCD} 1.0 - 2.8 - 1.3



Protocolos de riego basados en la intensidad de señal MCD



Protocolo. Si IS_{MCD} no alcanza en 3 días consecutivos el valor umbral IS_{MCD} , las dosis de riego disminuirán en un 10%. De igual modo, si IS_{MCD} supera el valor umbral en 3 días consecutivos se incrementarán las dosis de riego en un 10%.

Principales resultados. Ensayo almendro "Guara"

$IS_{MCD} 1.4 -2.8 - 1.6$ RDC² (2009)

$IS_{MCD} 1.0 -3.2 - 1.0$ RDC² (2010)

Influence of irrigation treatment on yield components in years 2008, 2009 and 2010.

Producción Almendro	AÑO	CTL	RDI1	RDI2	FRM	ANOVA
(Kg ha ⁻¹)	2008	1361	1281	1425	1454	n.s
	2009	1745a	1624a	1696a	1219b	**
	2010	1512a	1260b	1267b	860c	***

n.s. indica no significativo y (*), (**) y (***) diferencias significativas $p < 0.05$, $p < 0.01$ y $p < 0.001$, respectivamente. Valores medios seguidos de letras diferentes dentro de la misma línea indican diferencias significativas de acuerdo con el test de rango múltiple de Duncan ($p < 0.05$).

Ahorros de agua entre un 30 -45 % para RDI1 y RDI2 respecto CTL

Ensayo almendro “Marta”

VOLÚMENES DE RIEGO

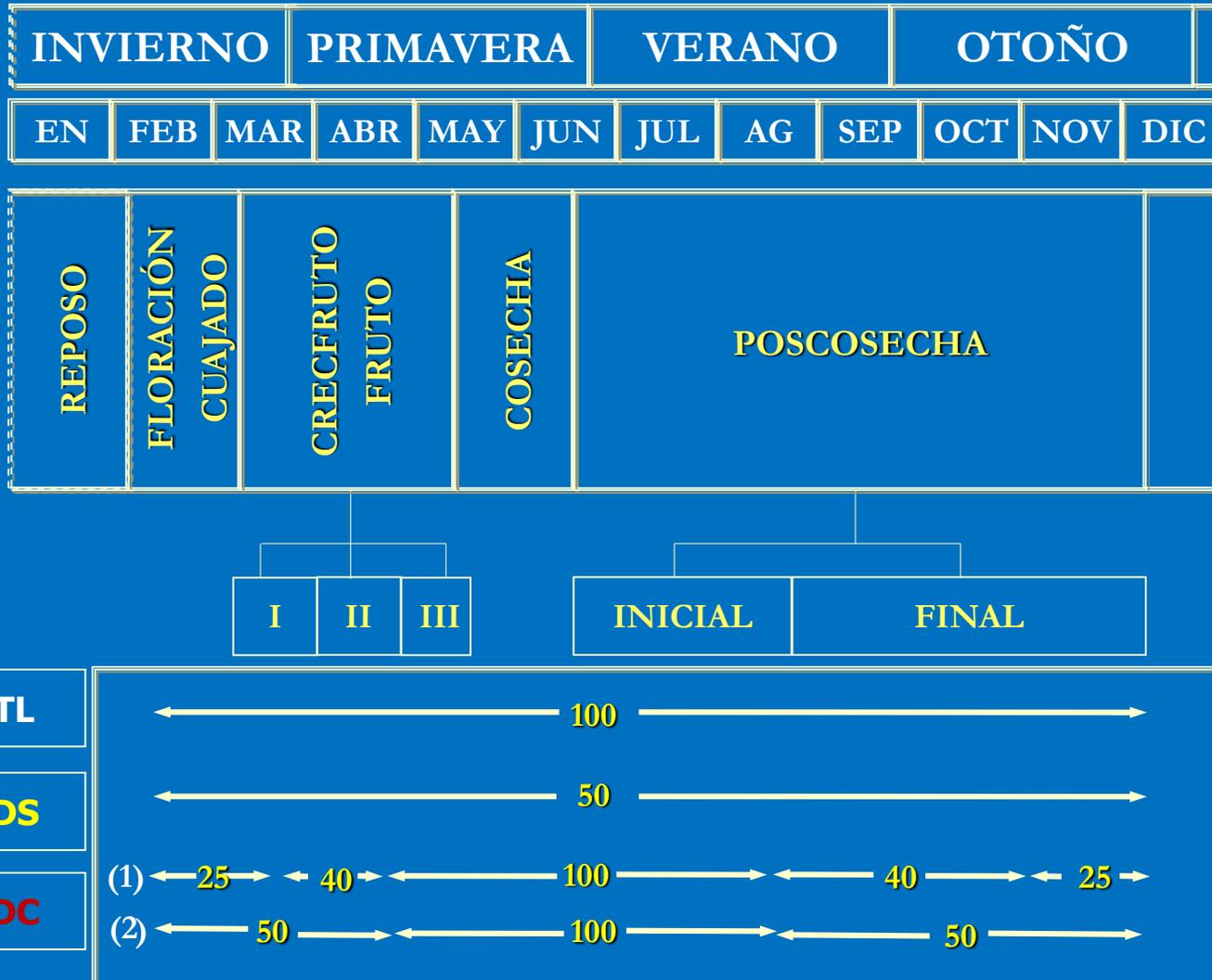
	2004	2005	2006	MEDIA	AHORRO
CTL (mm)	403	674	723	600	
RDC (mm)	221	372	402	332	45% CTL
PRD₇₀ (mm)	254	366	455	358	40% CTL
PRD₅₀ (mm)	203	269	295	256	56% CTL
PRD₃₀ (mm)	138	166	201	168	71% CTL
ET₀ (mm)	1114	1134	1270	1173	
LLUVIA (mm)	417	355	320	364	

Respuesta agronómica y productividad del agua de riego

PRODUCCIÓN Y EFICIENCIA PRODUCTIVA

	Producción (almendra) kg ha ⁻¹				Carga productiva Frutos árbol ⁻¹			Fracción (A/A-C) %			Almendra (p.s.a) g grano ⁻¹		
	04	05	06	Total	04	05	06	04	05	06	04	05	06
CTL	590	1854 a	1874 a	4318 a	1559	5614 a	5283 a	30,3	30,8	29,5	1,59	1,39 a	1,49 a
RDC	478	1461 bc	1693 a	3632 bc	1274	4577 b	5263 a	29,9	32,0	29,6	1,58	1,34 a	1,35 b
PRD₇₀	521	1623 b	1685 a	3829 b	1382	5136 ab	4996 a	29,7	31,1	29,4	1,59	1,33 a	1,42 ab
PRD₅₀	491	1357 c	1691 a	3538 c	1297	4353 b	5186 a	30,1	31,1	29,4	1,61	1,32 a	1,37 b
PRD₃₀	428	1395 bc	1222 b	3044 d	1148	4933 ab	4064 b	28,5	30,7	29,1	1,57	1,19 b	1,27 c
ANOVA	n.s.	**	***	***	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	**

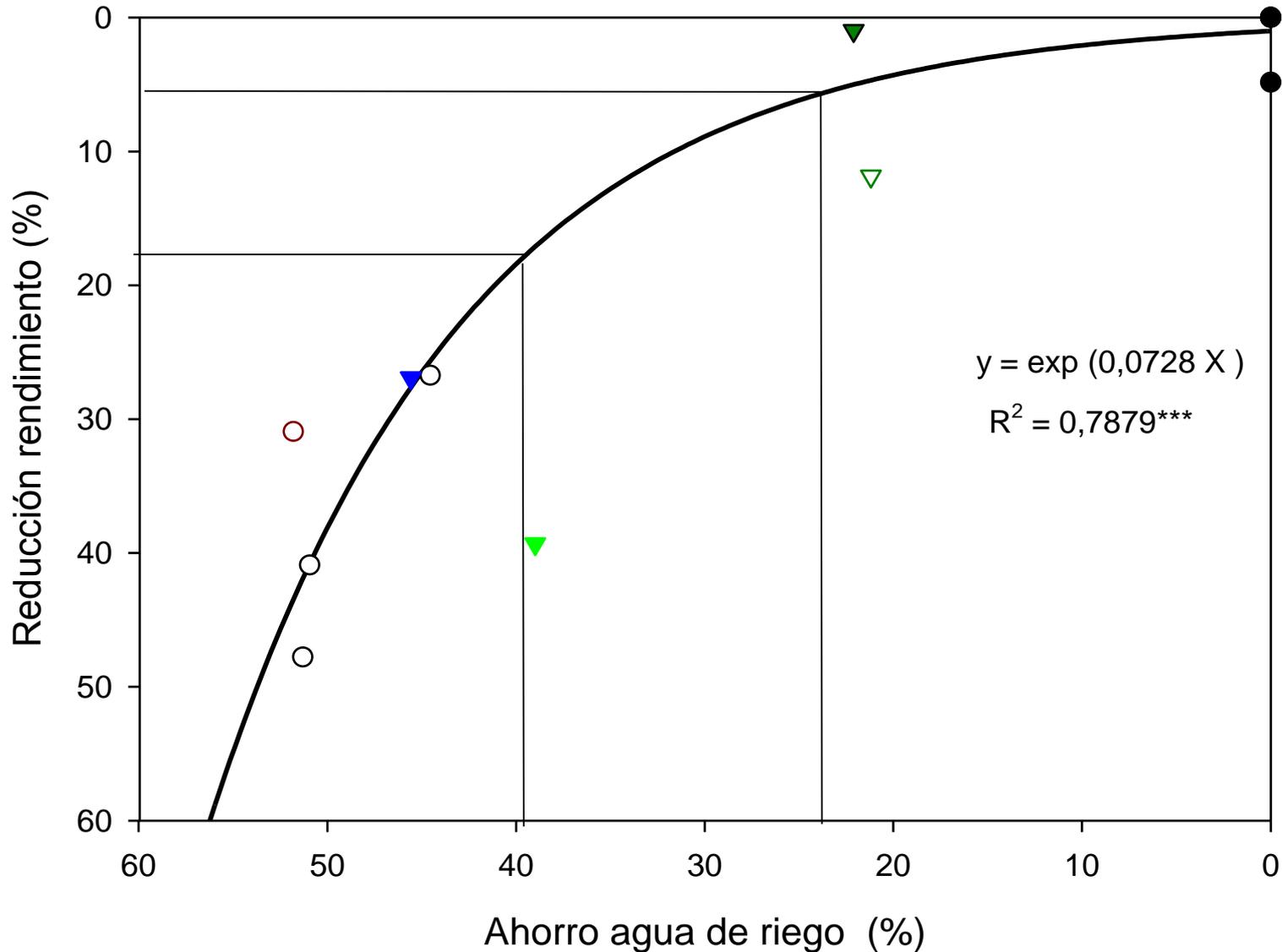
Tratamientos. Albaricoquero “Búlida”



Porcentajes de ETcg

Albaricoqueros Búlida

Merma de la cosecha vs ahorro de agua. **RDC** en fases I + II y poscosecha tardía



Resultados de ensayos de RDC. Almendro

Variedad	Investigadores y Estrategias	Aportes y Ahorro Agua	Producción y calidad
Ferragnes (Tarragona)	Girona y Marsal 100 –20 –100 (ETc)	$T_{CTL} = 608$ mm/año $T_{RDC} = 236$ mm/año 61%	1982 kg pepita ha⁻¹ 1531 kg pepita ha⁻¹ (3 años) 77%
Nonpareil (Valle de San Joaquín)	Goldhamer y col. 80 – 60 – 40 – 60	$T_{CTL} = 965$ mm/año $T_{RDC} = 406$ mm/año 58%	1296 kg pepita ha⁻¹ 1015 kg pepita ha⁻¹ (2 años) 78%
Guara (Mazarrón)	Puerto y col. 90-30-60	$T_{CTL} = 463$ mm/año $T_{RDC} = 250$ mm/año 46%	1630 kg pepita ha⁻¹ 1461 kg pepita ha⁻¹ (2 años) 90%

Resultados de ensayos de RDC. Almendro

Variedad	Investigadores y Estrategias	Aportes y Ahorro Agua	Producción y calidad
Marta (Cartagena)	Equipo SAP 100-50-100 ETC 70% ETC - alterno	$T_{CTL} = 600$ mm/año $T_{RDC} = 332$ mm/año $T_{PRD} = 350$ mm/año 45%	1440 kg pepita ha ⁻¹ 1215 kg pepita ha ⁻¹ 1270 kg pepita ha ⁻¹ (3 años) 85%
Colorada (Fuente Álamo)	↑ CE= 4.0 dS m ⁻¹ 125-70-30-70 ETC	$T_{CTL} = 450$ mm/año $T_{RDC} = 230$ mm/año 50%	650 kg pepita ha ⁻¹ 645 kg pepita ha ⁻¹ (3 años) 100%

Resultados de ensayos de RDC

Cultivo	Investigadores	Ahorro Agua (%)	Producción y calidad
Peral 'Bartlett'	Mitchell et al.	27-33%	= Rto ↑ calidad
Melocotonero 'Golden Queen'	Chalmers et al	34%	↑ Rto ↑ calidad
Limonero 'Fino'	Domingo et al.	29%	= Rto = calidad y ↓ precocidad
Albaricoquero 'Búlida'	Pérez-Pastor et al.	20%	= Rto = calidad
Mandarino 'Clemenules'	Castel et al.	7-15%	= Rto = calidad
Cerezo 'Summit'	Marsal et al. Déficit en poscosecha	40%	= Rto = calidad

Resultados de ensayos de RDC

Cultivo	Investigadores	Ahorro Agua (%)	Producción y calidad
Uva 'Crimson Seedless'	Conesa et al.	30-35% Pos-envero	= Rto ↑ calidad
Nectarina 'Flanova'	De la Rosa et al	25% Poscosecha	= Rto = calidad
Ciruelo 'Black Gold'	Intringliolo y Castel	34% Poscosecha	≤ Rto (↓4º año-jóvenes)
Caqui-Persimmon 'Rojo Brillante'	Buesa et al.	20%	= Rto ↓ calidad
Otros.....			
Otros.....			

Conclusión. RDC

Aunque el RDC o RD no son la panacea para resolver el problema de la falta de agua en la fruticultura de las zonas áridas y semiáridas, sí puede contribuir al necesario ahorro de agua con nulas o mínimas pérdidas en la producción y calidad de las cosechas.



**En busca de una
Programación más
científica del Riego**