

## Resultados de riego deficitario controlado en leñosos



**Organizan:**



**Ramón López Urrea**

Sección Investigación Manejo del Agua  
Instituto Técnico Agronómico Provincial

Albacete, 29 de marzo de 2019

## -Definición de Riego Deficitario: Sostenido vs. Controlado

- \* Necesidades hídricas
- \* Fenología del cultivo
- \* Disponibilidad de agua
- \* Programación de riegos



-Los **riegos deficitarios sostenidos de alta frecuencia** consisten en regar todo el ciclo por debajo de la demanda del cultivo pero utilizando una frecuencia de aportes suficientemente alta como para evitar la aparición de situaciones de estrés trascendentes. Fereres et al. (1978) indicaron que estas estrategias deben *restringirse a cultivos que sombreen completamente el suelo*, y se deben utilizar sistemas de riego de alta eficiencia, como el riego localizado.

-En los últimos años ha adquirido especial relevancia el enfoque biológico, prestando mayor importancia tanto a la fenología del cultivo como a su capacidad para resistir situaciones de déficit hídrico. De esta manera, surge lo que ha venido en llamarse **riego deficitario controlado (RDC)** (Mitchell et al., 1984), basado en la idea de reducir los aportes de agua en aquellos periodos fenológicos en los que un déficit hídrico controlado no afecta sensiblemente a la producción y calidad de la cosecha y, cubrir plenamente la demanda durante el resto del ciclo del cultivo.



## -Almendra

- \*Introducción y Antecedentes
- \*Respuesta del cultivo a la escasez de agua
- \*Indicadores del estado hídrico del cultivo
- \*Necesidades Hídricas del Almendra
- \*Estrategias de Riego Deficitario Controlado (RDC)
- \*Ejemplo de trabajo de RDC llevado a cabo en el ITAP



# Almendro

## Introducción y Antecedentes

- 1-Puede cultivarse en secano o regadío bajo condiciones climáticas semiáridas. Ejs.: España, California.**
- 2-En muchas zonas de la Cuenca Mediterránea se cultiva en zonas marginales, con precipitaciones que no exceden de 300 mm/año.**
- 3-En las últimas décadas, se han llevado a cabo plantaciones de almendros en regadío altamente productivas.**
- 4-Las plantaciones modernas tienen un único reto: el riego en general y llevar a cabo estrategias de RDC en particular.**
- 5-El hecho de que en una plantación existan diferentes cultivares puede dificultar el manejo del riego.**



## Respuesta del cultivo a la escasez de agua

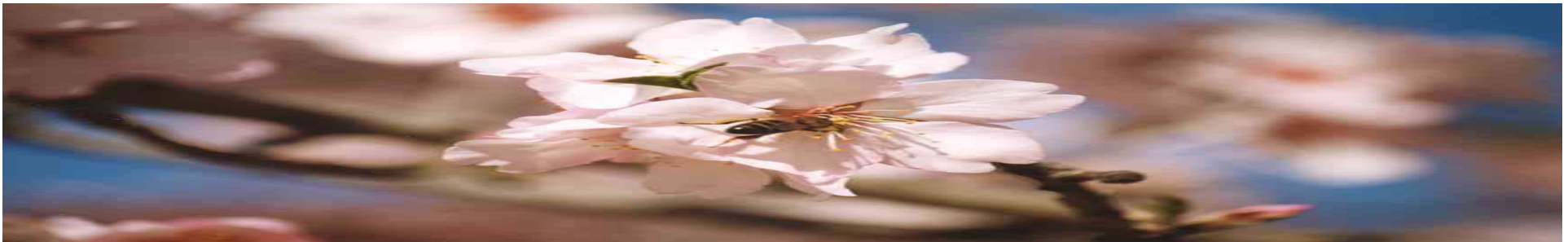
- 1-La fase de desarrollo vegetativo es muy sensible al déficit hídrico.**
- 2-Evitar la falta de agua en árboles jóvenes es básico para alcanzar máximas producciones en el mínimo periodo de tiempo.**
- 3-En plantaciones adultas, la respuesta al déficit hídrico dependerá del momento en que se produzca y de la variedad.**
- 4-La falta de agua en poscosecha puede llegar a producir una reducción del 40% en la carga de fruto al año siguiente.**
- 5-El gran impacto que tiene la falta de agua en poscosecha sobre la carga de fruto ha sido atribuida al efecto del estrés hídrico en el desarrollo de las yemas reproductivas.**



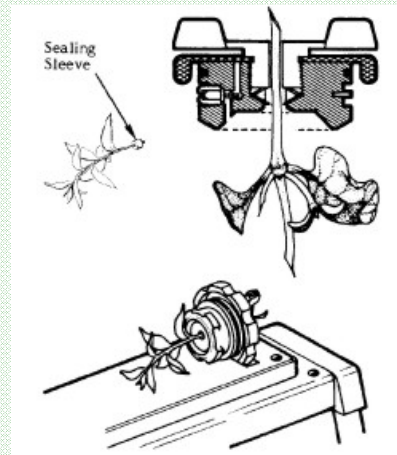
## Indicadores del estado hídrico del cultivo

**1-Para realizar una programación de riegos precisa puede ser necesario monitorizar el contenido de agua en el suelo y/o conocer el estado hídrico del árbol a través de indicadores fisiológicos. Entre éstos se encuentran: potencial hídrico foliar, potencial hídrico xilemático, conductancia estomática, flujo de savia y diámetro del tronco. Éstos permitirían describir cambios en el estado hídrico de la planta integrando condiciones climáticas y del suelo.**

**2-De todos los parámetros fisiológicos, antes mencionados, el de mayor sensibilidad al estrés hídrico es el potencial xilemático; por esto su estimación es recomendada para ser utilizada como una herramienta en el control del riego.**



## Cámara de presión tipo Scholander





## Funcionamiento de la cámara



Introducir el  
peciolo hoja

Dar presión



Observar la  
burbuja

Expulsar  
nitrógeno  
comprimido



## Necesidades Hídricas del Almendro

$$N_n = ET_c - P_e \pm \Delta w$$

$$ET_c = ET_o * K_c * K_r$$

	Fereres y Puech (1981)	Girona (2006)
	$K_c$	$K_c$
Marzo	0.60	0.40
Abril	0.71	0.65
Mayo	0.84	0.80
Junio	0.92	0.92
Julio	0.96	0.96
Agosto	0.96	1.05
Septiembre	0.91	0.85
Octubre	0.79	0.60
Noviembre		0.40

# Estrategias de Riego Deficitario Controlado (RDC)

**1-Los agricultores con una disponibilidad de agua limitada, puede decidir cuando provocar estrés en el cultivo.**

**2-Dos periodos muy sensibles al estrés hídrico: a) la primavera, momento en el que los frutos crecen rápidamente; b) final del verano/otoño, cuando se va determinar la diferenciación floral, es decir, la carga de frutos de la siguiente campaña.**

**Fuente: Goldhamer et al., 2006**



## Estrategias de Riego Deficitario Controlado (RDC)

**3-Trabajos previos indican que cuanto mayor es la falta de agua antes de la cosecha mayor es la pérdida del peso seco de pepita en la recolección. Sin embargo, si minimizas el estrés previo a la cosecha a cambio de reducir el riego en poscosecha se producirá una significativa pérdida de carga de frutos en las campañas siguientes.**

**4-Además el rendimiento = peso fruto + carga de frutos, se ve menos afectado reduciendo el estrés después de la cosecha. Estas estrategias de riego son las que tienen una mayor eficiencia en el uso del agua.**



Fuente: Goldhamer et al., 2006

## Estrategias de Riego Deficitario Controlado (RDC)

**5-Puesto que el RDC va a reducir el crecimiento vegetativo, no se debe utilizar en árboles jóvenes, cuando se pretende que el árbol llegue a su tamaño ideal y alcance máximas producciones tan pronto como sea posible.**

**6-Trabajos previos indican que estrategias de RDC realizadas en plantaciones jóvenes pueden reducir los rendimientos potenciales.**



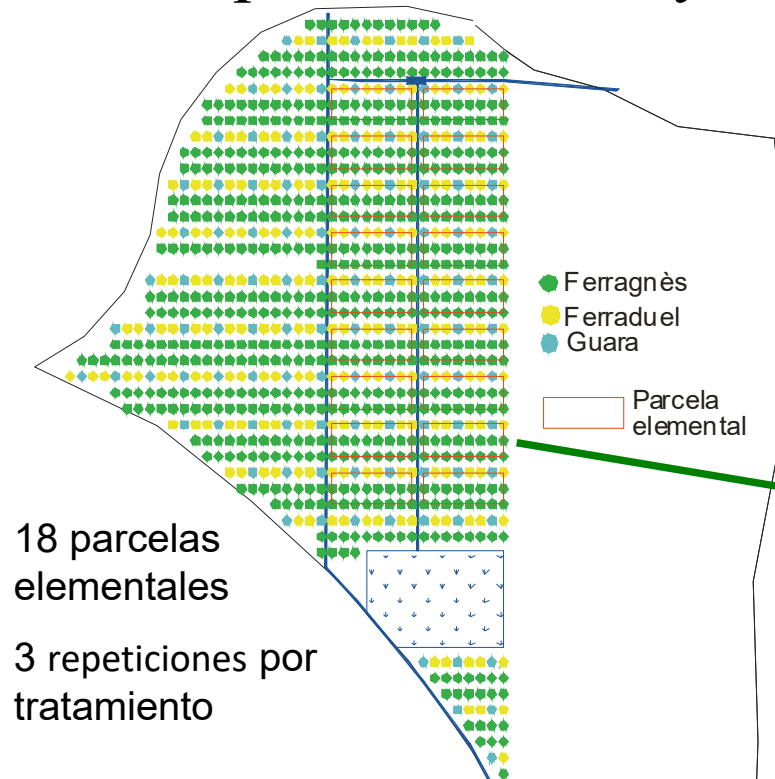
**Fuente: Girona et al., 2005**



## **RESPUESTA DEL ALMENDRO A DIFERENTES PROGRAMAS DE RIEGO DEFICITARIO**

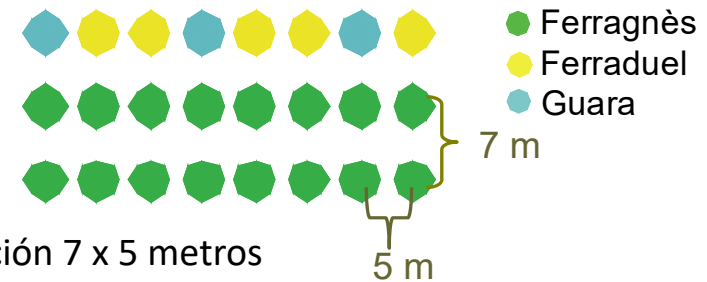
*Mañas Jiménez, F., López Urrea R., López Fuster, P.*

• Esquema del ensayo:



Finca Casa del Pozo Valdeganga (Albacete)

- El clima destaca por su continentalidad
- Precipitación media histórica: 320 mm
- Precipitación 2009: 340 mm
- Precipitación 2010: 431 mm
- Riesgo de heladas primaverales



Marco de plantación 7 x 5 metros

- 286 almendros por ha



- **Sistema de riego:**

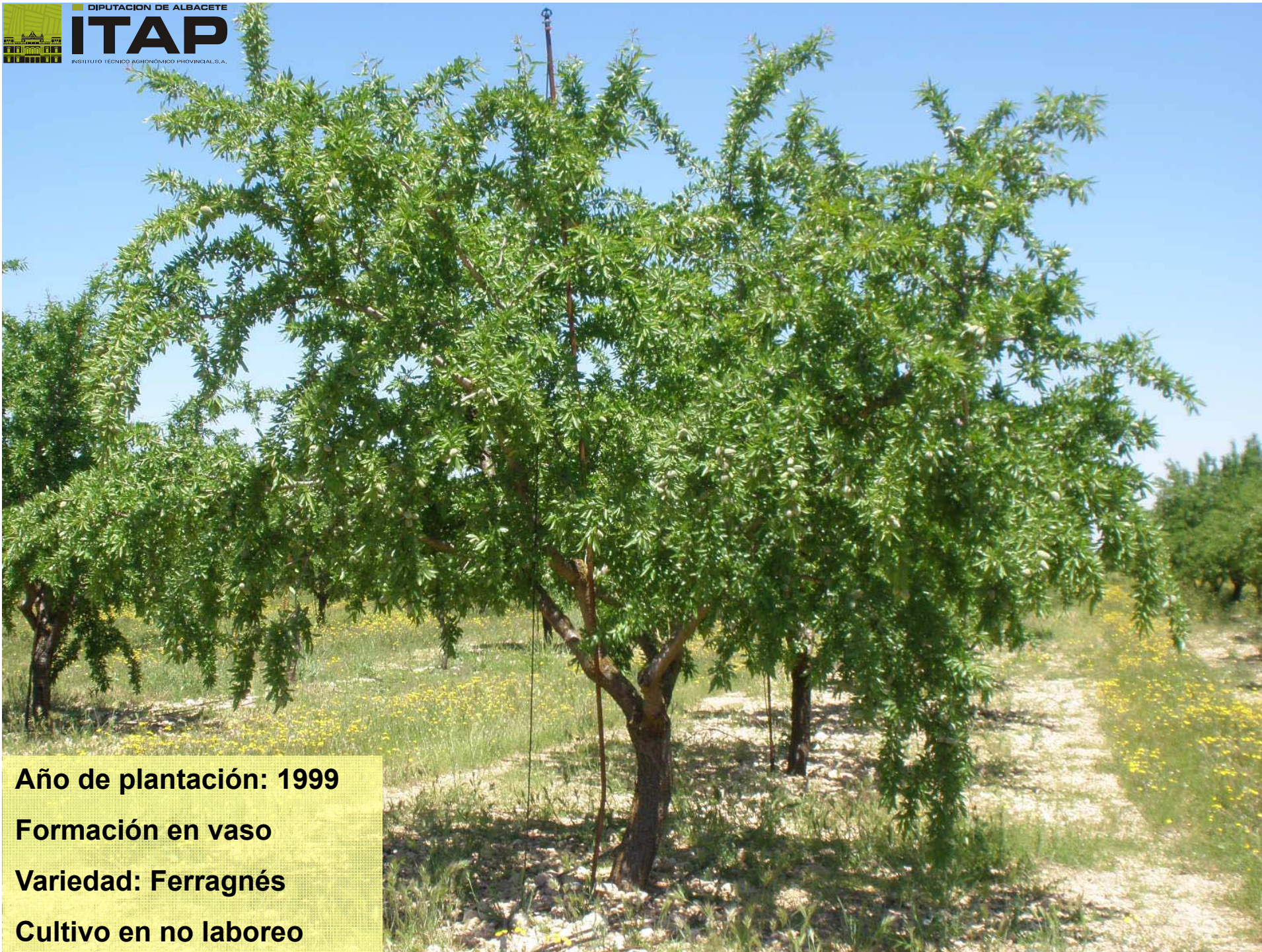
**Emisor: 2,3 litros/hora Separación entre goteros: 0,6 metros**

**2 ramales por fila de almendros**

**1 hora de riego: 1 mm**







**Año de plantación: 1999**

**Formación en vaso**

**Variedad: Ferragnés**

**Cultivo en no laboreo**

- **Cálculo de las necesidades hídricas:**

- $N_n = ET_c - P_e \pm \Delta w$
- $ET_c = ET_o * K_c * K_r$
- $K_r = -0,0194 SS^2 + 2,8119 SS - 1,0080$
- $SS = \pi \cdot D^2 \cdot N/400$
- $K_c$

mes	quincena	Kc	mes	quincena	Kc	mes	quincena	Kc	mes	quincena	Kc
marzo	1ª	0,35	abril	1ª	0,65	mayo	1ª	0,75	junio	1ª	0,91
	2ª	0,45		2ª	0,65		2ª	0,85		2ª	0,93
julio	1ª	0,94	agosto	1ª	1,05	septie.	1ª	0,84	octubre	1ª	0,60
	2ª	0,97		2ª	1,05		2ª	0,80		2ª	0,55

- **Tratamientos de riego:**

**Lineales:**

- **T1 seco con riego de apoyo**
- **T2 25% ETc**
- **T4 50% ETc**
- **T6 100% ETc**



## • Tratamientos de riego

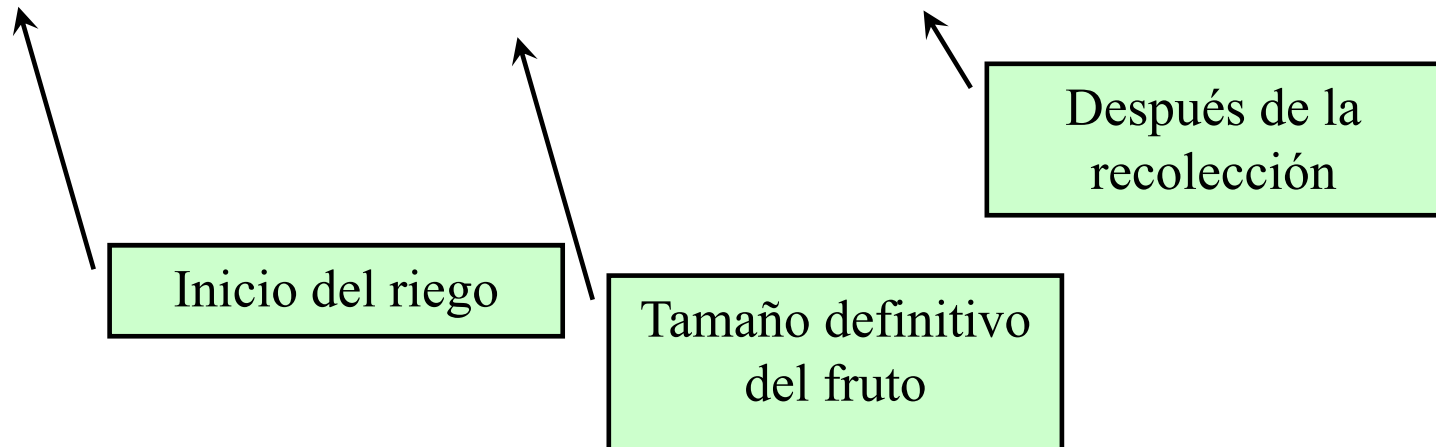
### RDC

Primavera

Verano

• T3 50% ET<sub>c</sub> ► 15% ET<sub>c</sub> ► 50% ET<sub>c</sub>

• T5 100% ET<sub>c</sub> ► 20% ET<sub>c</sub> ► 100% ET<sub>c</sub>

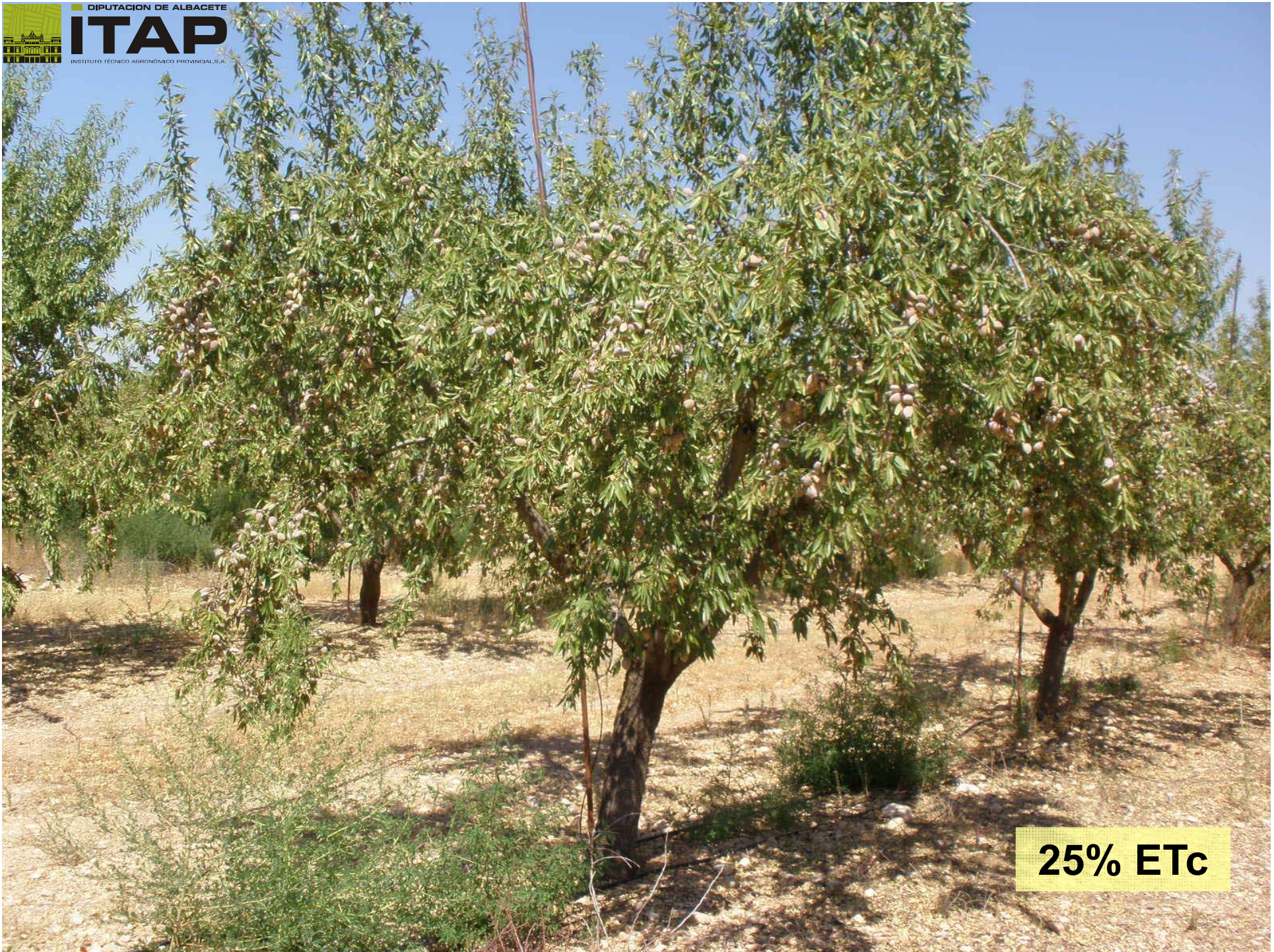


## • Tratamientos de riego:

- T1 seco con riego de apoyo
  - T2 25% ET<sub>c</sub> (lineal)
  - T3 50% ET<sub>c</sub> ▶ 15% ET<sub>c</sub> ▶ 50% ET<sub>c</sub>
  - T4 50% ET<sub>c</sub> (lineal)
  - T5 100% ET<sub>c</sub> ▶ 20% ET<sub>c</sub> ▶ 100% ET<sub>c</sub>
  - T6 100% ET<sub>c</sub> (lineal)
- } 25% de riego
- } 50% de riego



**100% ETC**



**25% ETC**



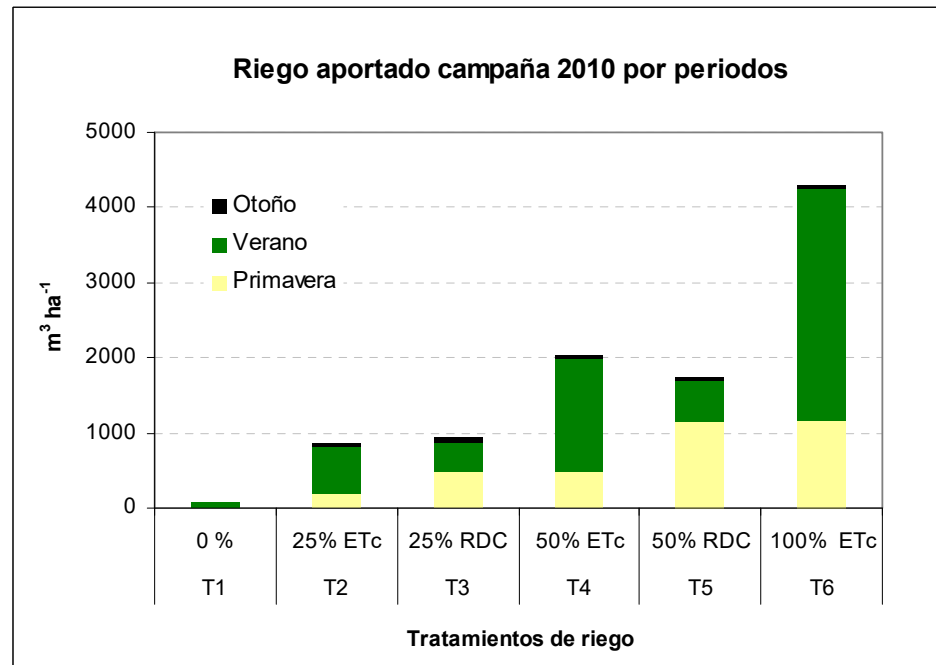
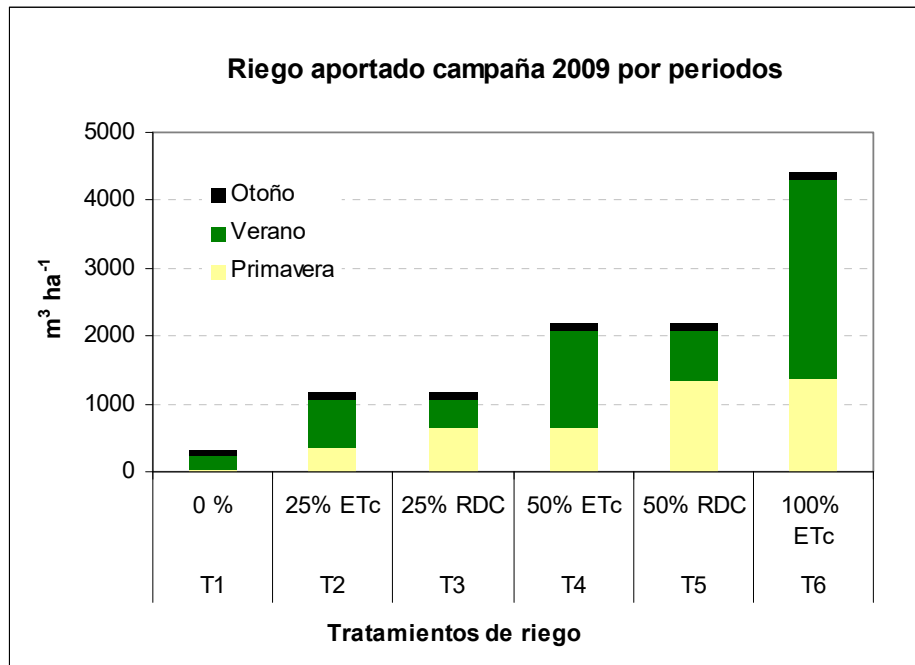
**Secano**



## Riego aportado:

Campaña	Tratamiento de riego	Inicio riego (20-abr) ◀▶	Inicio restricción RDC (23-jun) ◀▶	Fin restricción RDC (28-sep) ▶◀	Fin riego (15-oct)	<b>Total riego</b> <i>m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup></i>
2009	T1 0 %	15	220	90		<b>325</b>
	T2 25% ET <sub>c</sub>	345	730	90		<b>1165</b>
	T3 25% RDC	645	435	90		<b>1170</b>
	T4 50% ET <sub>c</sub>	645	1.450	90		<b>2185</b>
	T5 50% RDC	1.335	760	90		<b>2185</b>
	T6 100% ET <sub>c</sub>	1.365	2.950	90		<b>4405</b>
Campaña	Tratamiento de riego	Inicio riego (10-may) ◀▶	Inicio restricción RDC (28-jun) ◀▶	Fin restricción RDC (27-sep) ▶◀	Fin riego (5-oct)	<b>Total riego</b> <i>m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup></i>
2010	T1 0 %	10	58	-		<b>68</b>
	T2 25% ET <sub>c</sub>	184	638	58		<b>880</b>
	T3 25% RDC	474	406	58		<b>938</b>
	T4 50% ET <sub>c</sub>	474	1.508	58		<b>2040</b>
	T5 50% RDC	1.170	522	58		<b>1750</b>
	T6 100% ET <sub>c</sub>	1.170	3.074	58		<b>4302</b>

# Riego:



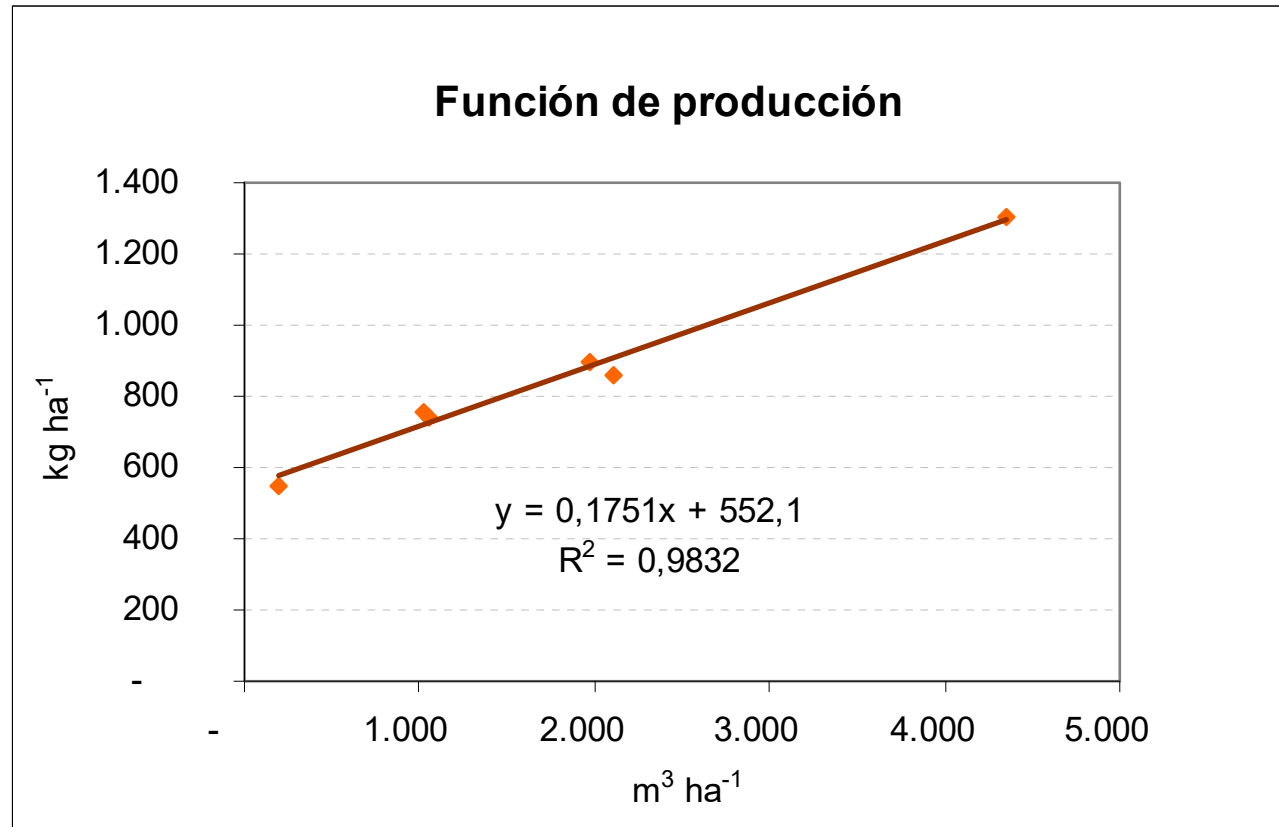
## • Resultados:

Variedad <b>Ferragnés</b>	Riego aportado ( $m^3 ha^{-1}$ )				Rendimiento de almendra grano ( $kg ha^{-1}$ )						EUA <sub>R</sub>	
	Año 2009	Año 2010	Media 2009-2010	Índice s/T6	Año 2009 *	Año 2010 *	Media 2009-2010	Índice s/T6 *	(almendra-grano $kg m^{-3}$ ) *			
T1 seco	325	68	196	5	744 c	352 b	548	42 c	2,77	a		
T2 25%ETc	1.165	880	1.022	23	976 bc	541 b	758	58 bc	0,74	b		
T3 25%RDC	1.170	938	1.054	24	1.131 b	355 b	743	57 bc	0,70	bc		
T4 50%ETc	2.185	2.040	2.112	49	1.172 b	539 b	856	66 bc	0,41	bc		
T5 50% RDC	2.185	1.750	1.967	45	1.248 ab	541 b	894	69 b	0,45	bc		
T6 100% ETc	4.405	4.302	4.354	100	1.593 a	1.011 a	1.302	100 a	0,30	c		
Media	1.906	1.663	1.784	41	1.144	556	850	65				

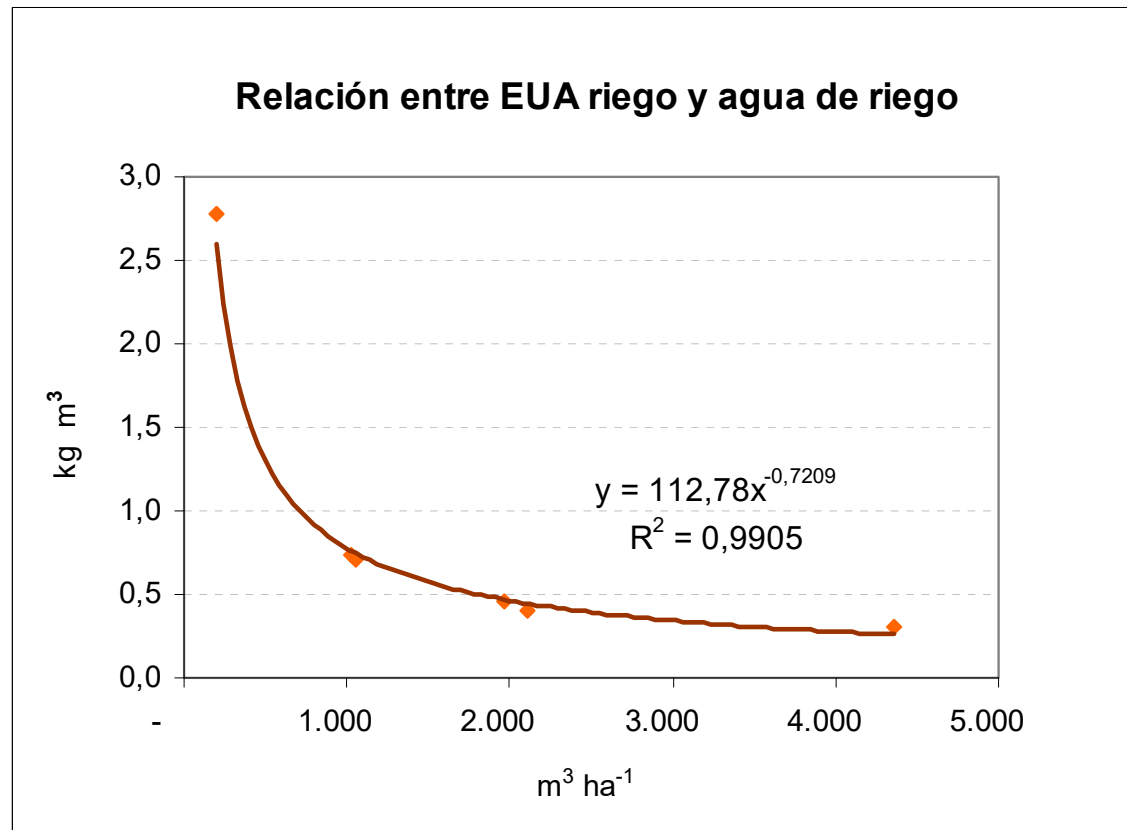
(\*) Diferentes letras dentro de la misma columna indica diferencias significativas (Test Duncan  $p < 0,05$ )

EUA<sub>R</sub> Eficiencia en el uso del agua de riego

- **Función de producción que relaciona el rendimiento de pepitas de almendra ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) y el agua de riego recibida por el cultivo**



- **Relación entre la eficiencia en el uso del agua y el agua de riego**



- **Muestras de pepitas de almendra:**



← **Secano**



**50% ETC**



**100% ETC**

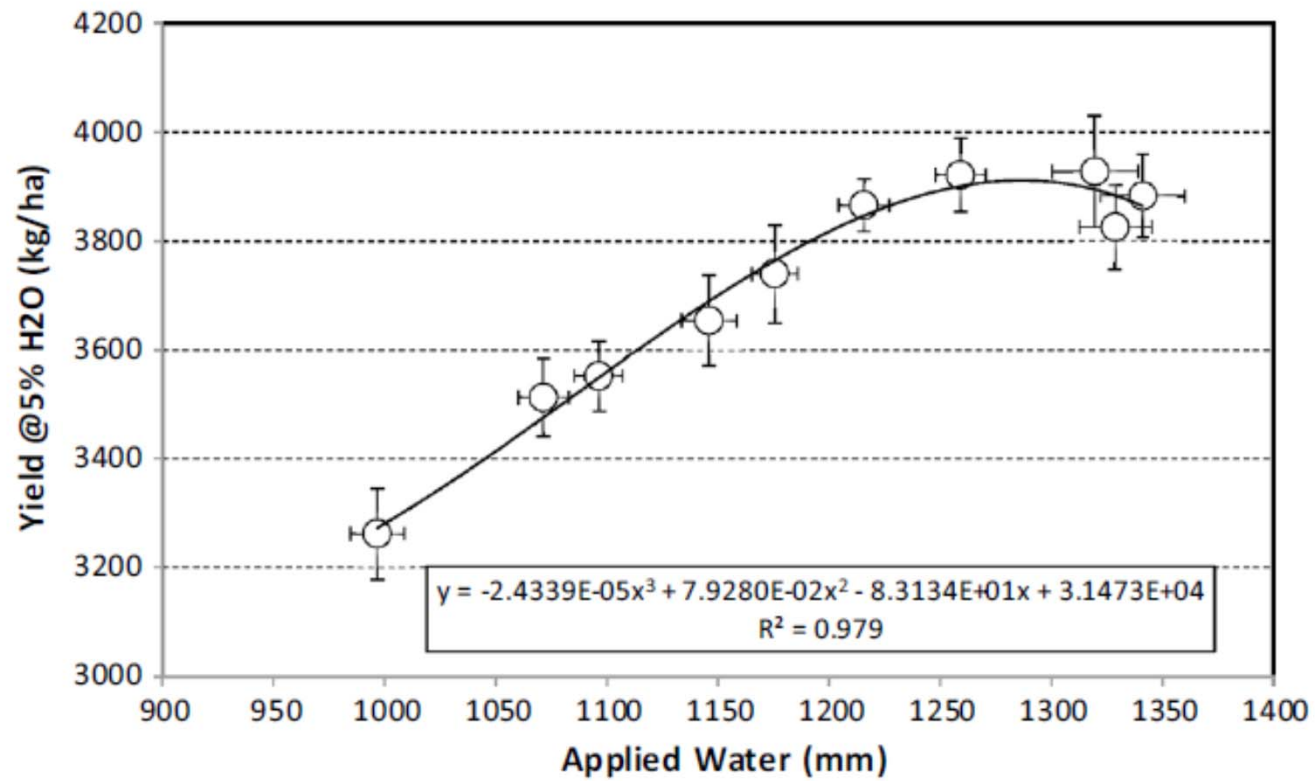
- **Conclusiones:**

**1-El almendro responde positivamente al riego.**

**2-La mayor Eficiencia en el Uso del Agua de riego correspondió al tratamiento de menos agua.**

**3-Los tratamientos RDC, pese a distribuir el agua en periodos distintos respecto a los tratamientos lineales que aportan la misma cantidad de agua, consiguen rendimientos similares.**





Fuente: Goldhamer y Fereres, 2016



## Pistacho

- \*Introducción y Antecedentes
- \*Respuesta del cultivo a la escasez de agua
- \*Indicadores del estado hídrico del cultivo
- \*Necesidades Hídricas del Pistacho
- \*Función de producción en el uso del agua
- \*Estrategias de Riego Deficitario Controlado (RDC)
- \*Resultados de un trabajo de RDC realizado en El Chaparrillo



# Pistacho

## Introducción y Antecedentes

- 1-El pistacho es nativo de Oriente Próximo, Siria e Irán.  
En los últimos 20 años se han plantado grandes superficies en Estados Unidos.
- 2-La mayor parte de la producción de pistacho en Oriente Próximo es en seco, ya que el pistacho es tolerante a la sequía y a suelos salinos.
- 3-La mayor parte de la producción en EEUU es en California en regadío.



**4-Existe una gran diferencia de productividad entre árboles en secano y en regadío. Ej: el rendimiento medio en secano en Turquía es de sólo 1,4 kg/árbol; mientras que en California en regadío es de 16-18 kg/árbol.**

**5-La producción en Oriente Próximo se lleva a cabo en suelos marginales, mientras que en California las plantaciones se han realizado en suelos productivos.**

**6-En California los agricultores fueron muy rápidos en adoptar la útil información generada en los trabajos de investigación sobre necesidades hídricas y efecto del estrés hídrico sobre el rendimiento y la calidad del pistacho.**



## Respuesta del cultivo a la escasez de agua

**Fase 1: inicio del crecimiento vegetativo y reproductivo (desde brotación hasta fin rápido crecimiento del fruto):**

- a) Agua de riego y poda suponen el 30% del total de los costes de producción para los productores de pistacho en CA, por lo tanto reducir el agua y la poda al provocar un estrés al inicio del ciclo del cultivo probablemente incremente los beneficios del agricultor.**
- b) La falta de agua en la fase 1 aumenta el porcentaje de frutos abiertos (14%) a expensas de reducir el tamaño del fruto.**
- c) El uso de esta estrategia dependerá del problema que tiene el agricultor con el porcentaje de frutos cerrados.**



**Fase 2: de mediados de mayo a principios de julio (desde máximo crecimiento del fruto hasta inicio crecimiento de la pepita):**

- a) Es un periodo tolerante a la falta de agua.**
- b) Se puede aplicar un 50% del agua que necesita.**
- c) Un inconveniente de producir un estrés hídrico a finales de mayo es que puede aumentar el % de frutos abiertos de forma temprana siendo frutos con problemas de aflatoxinas.**



### **Fase 3: desarrollo rápido de la pepita (inicio crecimiento pepita hasta recolección):**

**a) El estrés hídrico en esta fase tiene un efecto negativo sobre cualquier componente del rendimiento: reduce el peso individual de la pepita, incrementa el porcentaje de aborto de pepitas en el árbol e incrementa el porcentaje de frutos cerrados.**

**b) Diferentes trabajos concluyen que la Fase 3 es la más sensible al estrés hídrico para el pistacho.**



## Efectos sobre la alternancia en las producciones (vejería):

a) Diferentes investigadores han observado que un periodo prolongado de estrés puede agravar el fenómeno de la vejería.

b) Una posible estrategia de riego, cuando se dispone de recursos hídricos muy limitados, puede ser cortar el riego a los árboles con poca carga de frutos (año de baja producción), permitiendo que los árboles con más carga de frutos tengan más agua disponible.



## Necesidades Hídricas del Pistacho

a) Existen muy pocos trabajos que cuantifiquen el consumo de agua de los pistachos: según un trabajo realizado en Irán (Ohadin sobre Zarand), puede variar entre 600 y 1200 mm (Kermani y Salehi, 2006).





$$N_n = ET_c - P_e \pm \Delta w$$

$$ET_c = ET_o * K_c * K_r$$

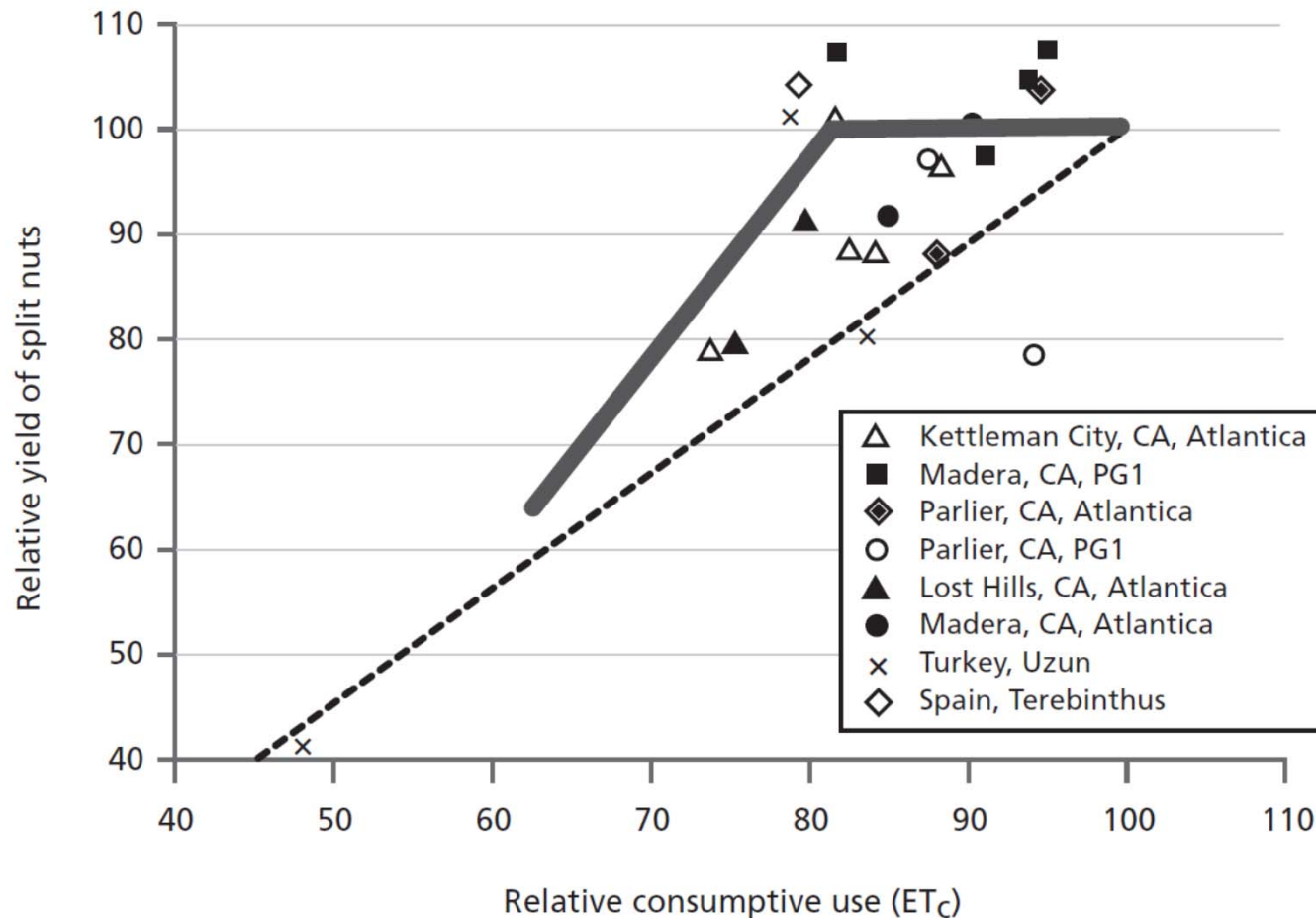
Fecha	$K_c$
1-15 Abril	0,07
16-30 Abril	0,43
1-15 Mayo	0,68
16-31 Mayo	0,93
1-15 Junio	1,09
16-30 Junio	1,17
1-15 Julio	1,19
16-31 Julio	1,19
1-15 Agosto	1,19
16-31 Agosto	1,12
1-15 Sept.	0,99
16-30 Sept.	0,87
1-15 Octubre	0,67
16-31 Octubre	0,50
1-15 Nov.	0,35
16-30 Nov.	0,28

**Kerman sobre patrón P. atlantica**

Fuente: Goldhamer et al., 1985

# Función de producción en el uso del agua

b) Resultados de varios trabajos indican que se llega a una meseta de rendimiento con entre un 10-20 % menos de agua consumida.



# Estrategias de Riego Deficitario Controlado (RDC)

1-Las estrategias de RDC se basan en los siguientes principios: a) la Fase 2 y poscosecha son los periodos más tolerantes al estrés; b) la Fase 1 tiene una tolerancia intermedia; c) y la Fase 3 es la menos tolerante.

2-En California han observado que no es necesario regar los árboles masculinos al 100%  $ET_c$  ya que su única misión es producir polen al inicio de la campaña. Sugieren suprimir el riego o reducirlo de forma importante después de la Fase 1, sin que esto tenga efectos negativos sobre la formación de polen en campañas sucesivas.



## Estrategias de Riego Deficitario Controlado (RDC)

**TABLE 2** Suggested RDI strategies for different available water supply scenarios from 900 to 300 mm when  $ET_c$  is 1 100 mm.

Date	Growth Stage		Potential	900 mm available case		750 mm available case		600 mm available case		450 mm available case		300 mm available case	
			$ET_c$ in Period (mm)	Irrigation Rate (% $ET_c$ )	Applied Amount (mm)	Irrigation Rate (% $ET_c$ )	Applied Amount (mm)	Irrigation Rate (% $ET_c$ )	Applied Amount (mm)	Irrigation Rate (% $ET_c$ )	Applied Amount (mm)	Irrigation Rate (% $ET_c$ )	Applied Amount (mm)
Apr. 16-30	1	Leafout, flowering; shoot elongation	33	100	33	50	16	50	16	25	8	10	3
May 1-15	1	Fruit set; hull, shell expansion	59	100	59	50	30	50	30	25	15	10	6
May 16-31	2	Shell hardening	91	50	45	25	23	25	23	25	23	10	9
June 1-15	2	Shell hardening	122	50	61	25	31	25	31	10	12	10	12
June 16-30	2	Shell hardening	137	50	68	25	34	25	34	10	14	10	14
July 1-15	3	Rapid kernel growth	128	100	128	100	128	75	96	10	13	10	13
July 16-31	3	Rapid kernel growth	123	100	123	100	123	75	93	75	93	50	62
Aug. 1-15	3	Shell splitting	124	100	124	100	124	75	93	75	93	50	62
Aug. 16-31	3	Hull breakdown	100	100	100	100	100	75	75	75	75	50	50
Sept. 1-15	Harvest		83	100	83	100	83	75	62	75	62	50	42
Sept. 16-30	Postharvest	Bud differentiation	56	100	56	25	14	25	14	25	14	10	6
Oct. 1-15	Postharvest	Bud differentiation	35	100	35	25	9	25	9	25	9	10	4
Oct. 16-31	Postharvest	Bud differentiation	19	100	19	25	5	25	5	25	5	10	2
Nov. 1-15	Postharvest	Defoliation	10	100	10	25	2	25	2	25	2	10	1
<b>Total</b>			<b>1 121</b>		<b>946</b>		<b>722</b>		<b>583</b>		<b>438</b>		<b>284</b>
Irrigations per season <sup>1</sup>			30		25		19		16		12		8

# RESULTADOS DE UN TRABAJO DE RIEGO DEFICITARIO EN PISTACHO REALIZADO EN EL CHAPARRILLO (CIUDAD REAL)

## Datos del ensayo:

1-Variedad Kerman sobre patrón *P. terebinthus*.

## 2-Periodos fenológicos estudiados:

Fase 1: desde brotación hasta final de rápido crecimiento del fruto.

Fase 2: desde máximo tamaño de fruto hasta inicio de crecimiento de la pepita.

Fase 3: desde inicio del crecimiento de la pepita hasta recolección.

### 3-Cinco estrategias de riego:

1-Control: 100% necesidades

2-50%  $ET_c$  durante el ciclo del cultivo

3- 65%  $ET_c$  durante el ciclo del cultivo

4-RDC, 50%  $ET_c$  durante las Fases 1 y 2;  
y Fase 3 100%.

5-Secano



**1-El riego produjo un incremento tanto en le rendimiento total como en el de frutos abiertos.**

**2-El patrón *terebinthus* puede incrementar la tolerancia a la sequía de la variedad Kerman, y por lo tanto reducir el efecto del estrés hídrico en la Fase 1.**

**3-La estrategia de RDC permitió ahorros de agua de un 20% respecto al control, sin variaciones en el rendimiento y una apreciable amortiguación del efecto vecero.**



# Recomendaciones del Servicio de Asesoramiento de Riegos de Albacete (SAR)

<http://www.itap.es/ITAP-SARA/Consumos/Consumo.asp>

Consumo del 01/11/2018 al 07/11/2018. Previsión del 08/11/2018 al 14/11/2018

Cultivo	Estado	Necesidades hídricas		Previsión		Total Campaña (mm acumulados)	
		mm	m3/ha	mm	m3/ha	mm	m3/ha
Almendro >65% ocupación 7 x 7	Finalizado	0	0	0	0	594	5943
Almendro <30% ocupación 7 x 7	Finalizado	0	0	0	0	362	3621
Almendro =50% ocupación 7 x 7	Finalizado	0	0	0	0	488	4879
Almendro en formación 7 x 7	Finalizado	0	0	0	0	145	1452
Almendro en producción restricción 7 x 7	Finalizado	0	0	0	0	104	1043
Almendro formación restricción 7 x 7	Finalizado	0	0	0	0	99	988



# Resumen

## ALMENDRO

-Dos periodos muy sensibles al estrés hídrico: a) la primavera, momento en el que los frutos crecen rápidamente; b) final del verano/otoño, cuando se va a determinar la diferenciación floral, es decir, la carga de frutos de la siguiente campaña.



## PISTACHO

-Las estrategias de RDC se basan en los siguientes principios: a) la Fase 2 y poscosecha son los periodos más tolerantes al estrés; b) la Fase 1 tiene una tolerancia intermedia; c) y la Fase 3 es la menos tolerante.



# Agradecimientos

## Grupo ITAP:

A. Montoro, SAR

F. Mañas, SIAL

## Futuras líneas de investigación

Proyecto ANIATEL financiado por la Consejería de Educación, Cultura y Deportes, cofinanciado con fondos FEDER

*Una manera  
de hacer Europa*

Fondo Europeo de  
Desarrollo Regional



Unión Europea

# MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN ¿PREGUNTAS?

**Ramón López Urrea**  
Investigador del ITAP  
Email: [rlu.itap@dipualba.es](mailto:rlu.itap@dipualba.es)  
Tel.: 967190090

