



Riego deficitario para la producción sustentable de zonas semiáridas



Nicolás Franck

Seminario:

“Innovaciones sustentables para la agricultura de secano Chileno”

Academia Chilena de Ciencias Agronómicas, Santiago, 28 de octubre de 2015



Laboratorio de Adaptación de las Plantas a la Aridez (APA) - Centro de Estudios de Zonas Áridas (CEZA)

UNIVERSIDAD DE CHILE

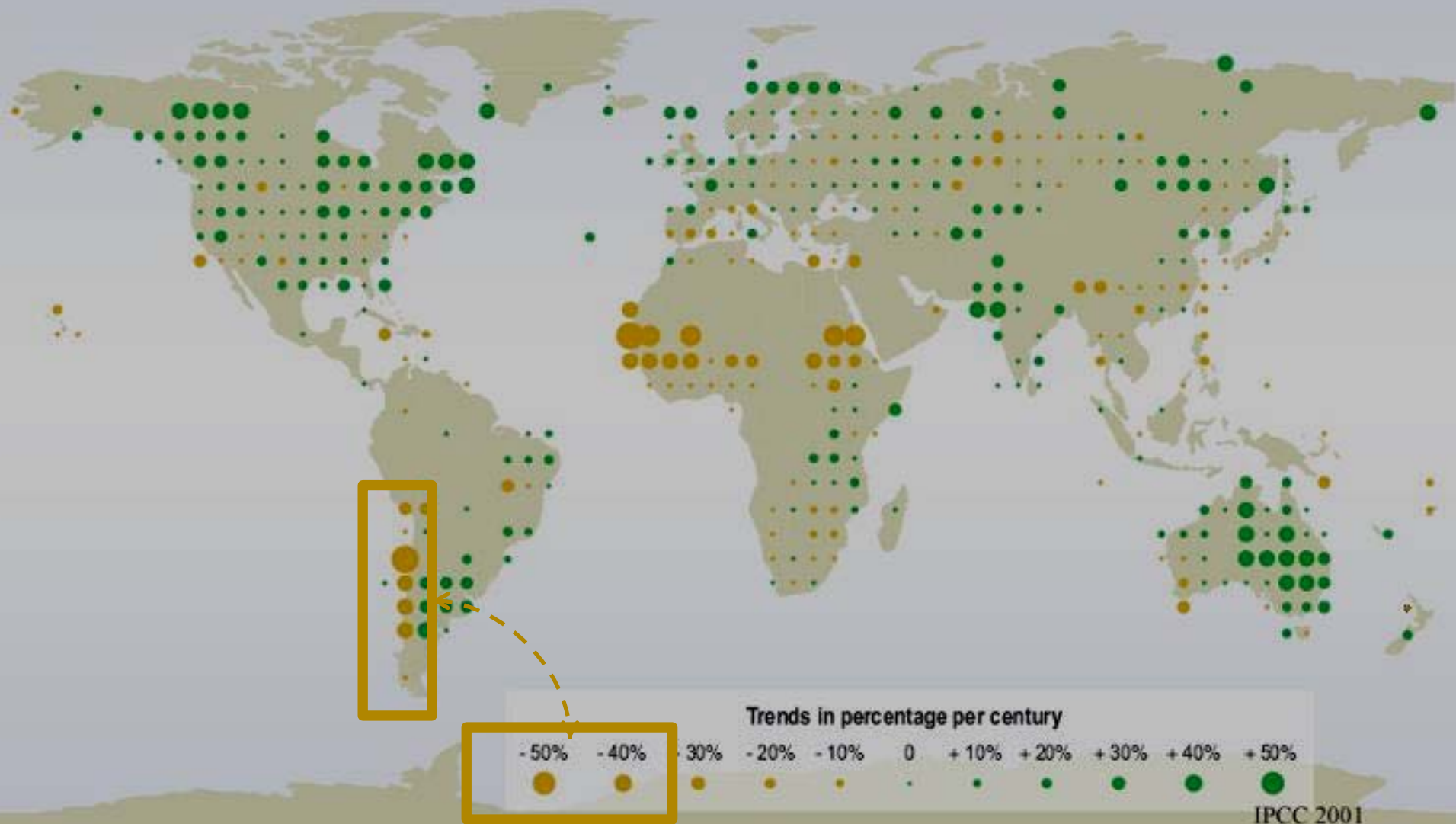
nfranck@uchile.cl – www.ceza.uchile.cl

Estructura:

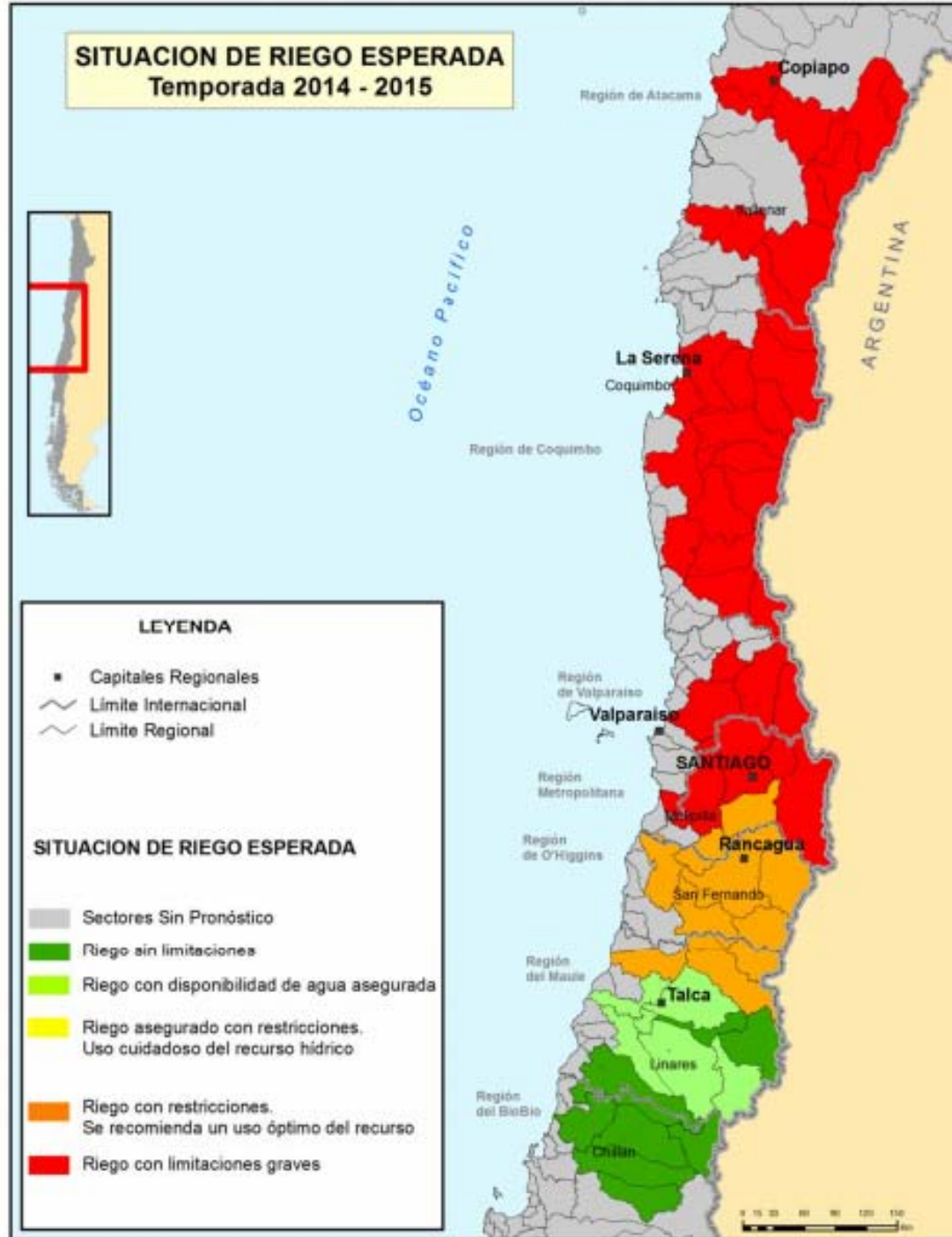
- Contexto
- Bases teóricas RDC
- Experiencias en frutales
- Reflexiones finales

Contexto

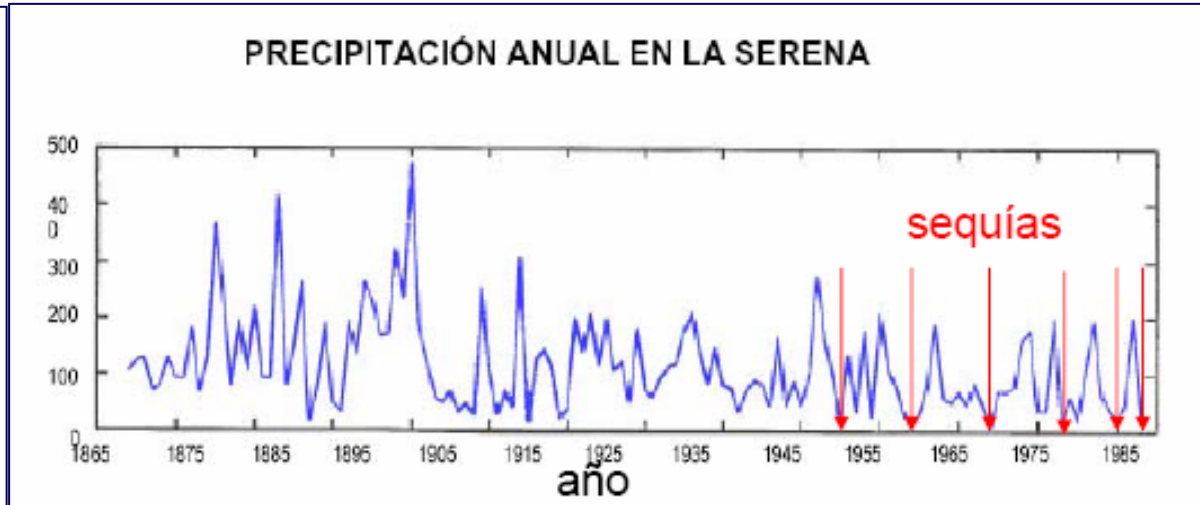
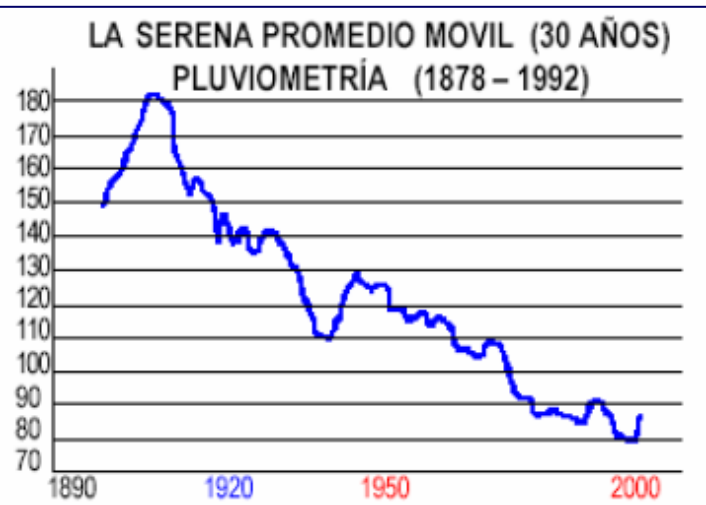
Annual precipitation trends: 1900 to 2000



Problema



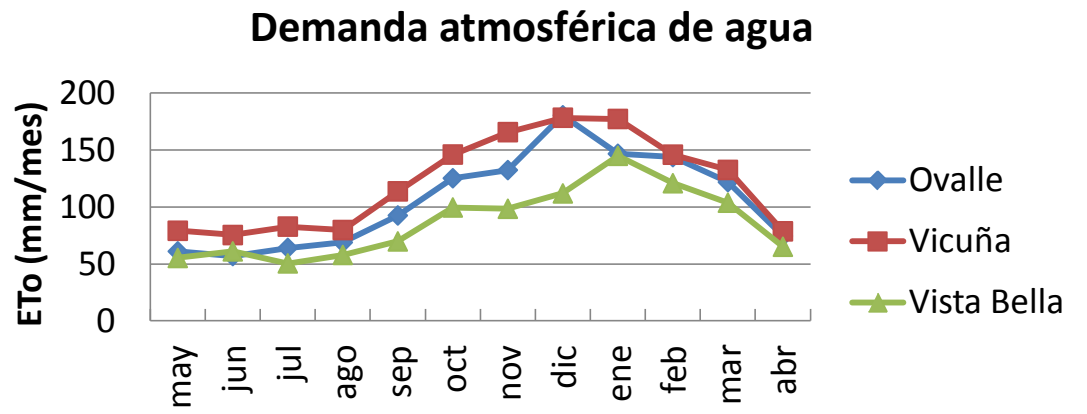
Contexto



Contexto

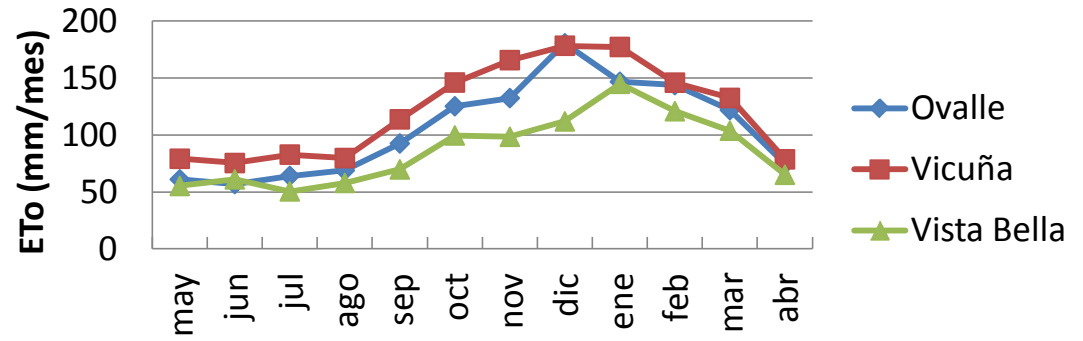


Un poco de teoría

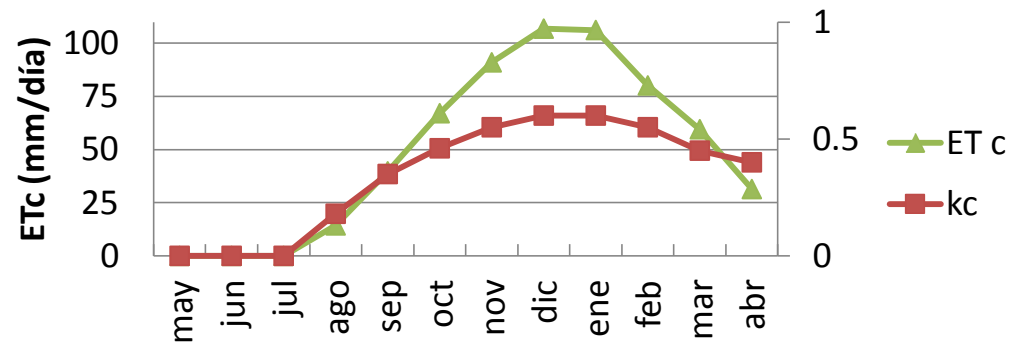


Un poco de teoría

Demanda atmosférica de agua

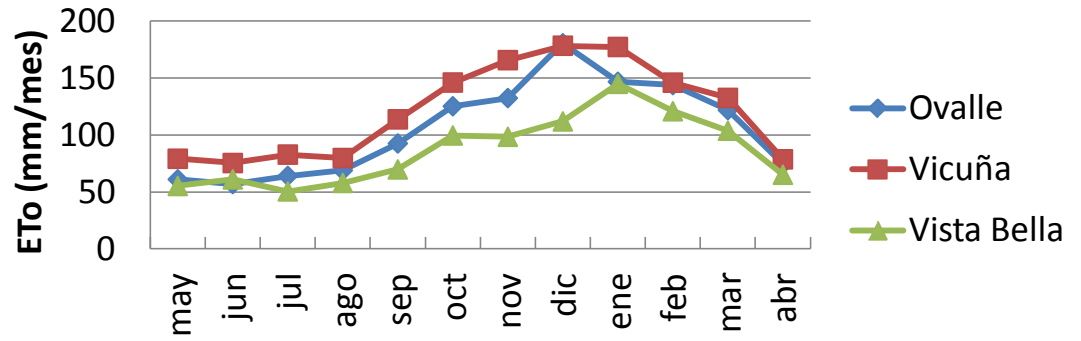


Demanda del cultivo (vid)

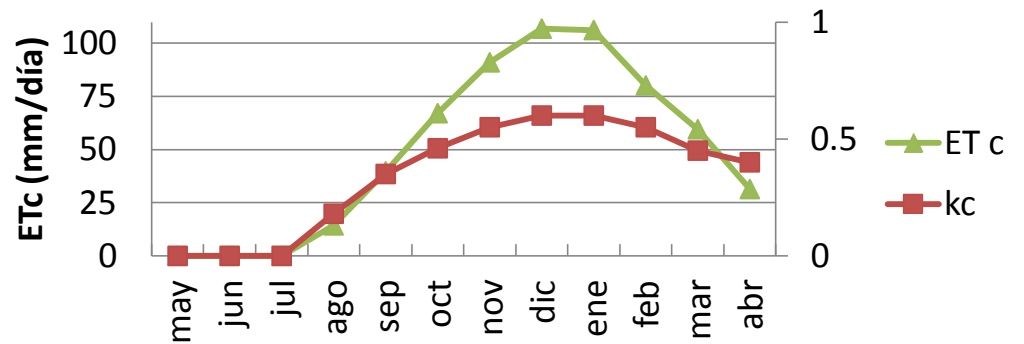


Un poco de teoría

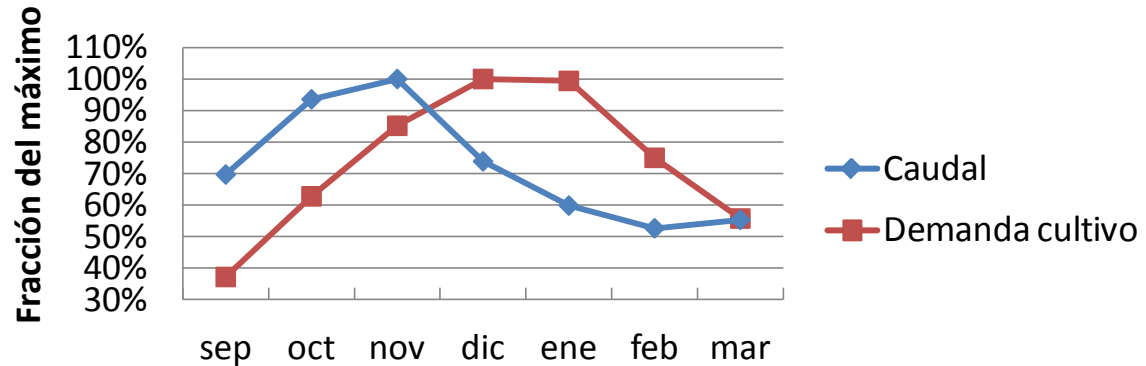
Demanda atmosférica de agua



Demanda del cultivo (vid)

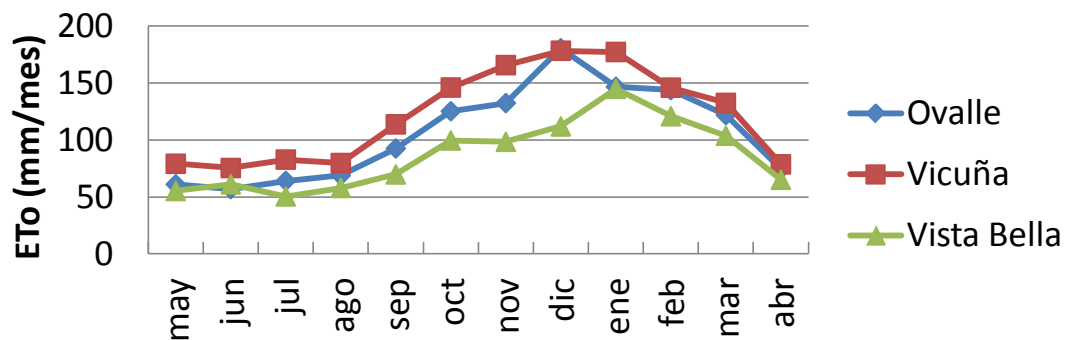


Oferta vs. demanda

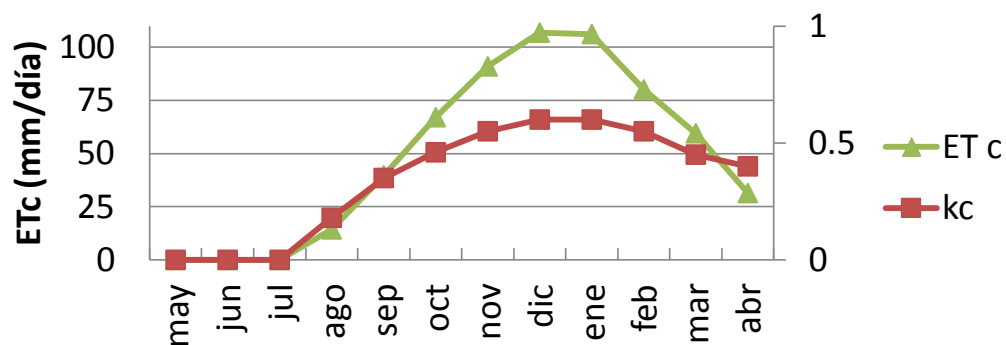


Un poco de teoría

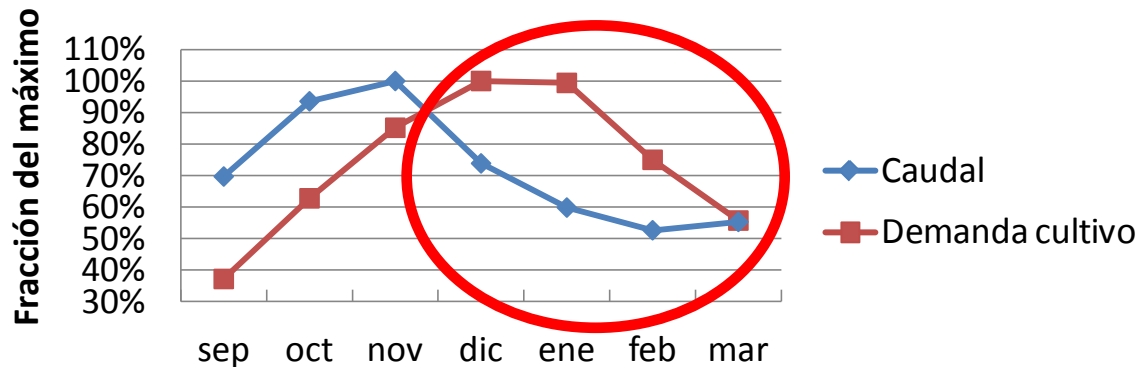
Demanda atmosférica de agua



Demanda del cultivo (vid)



Oferta vs. demanda

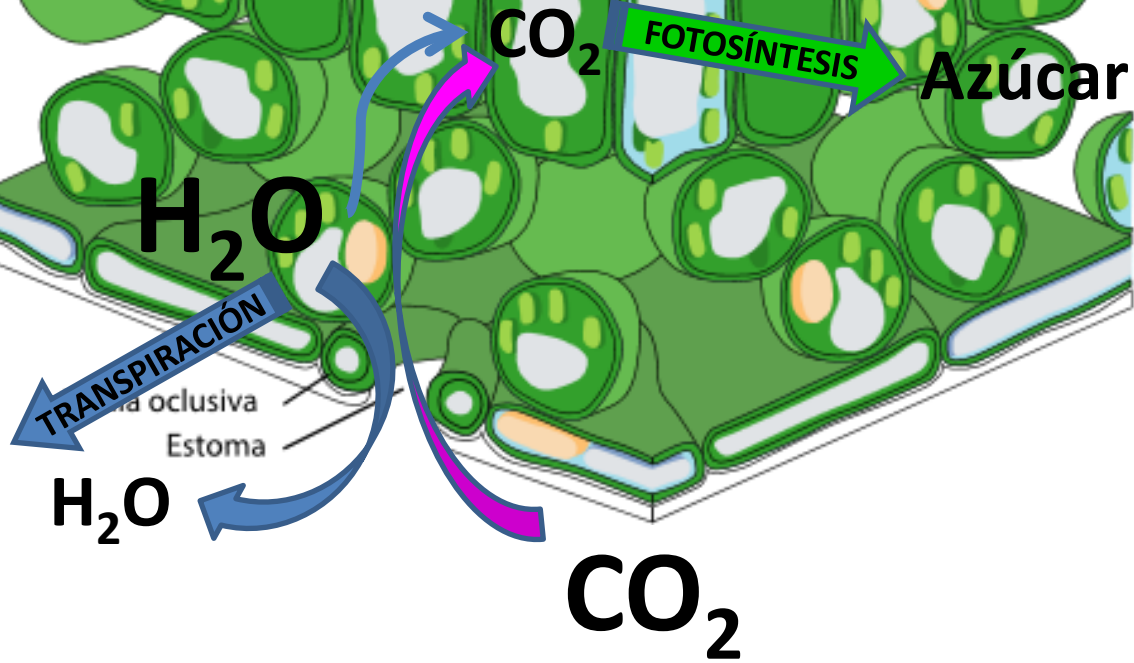


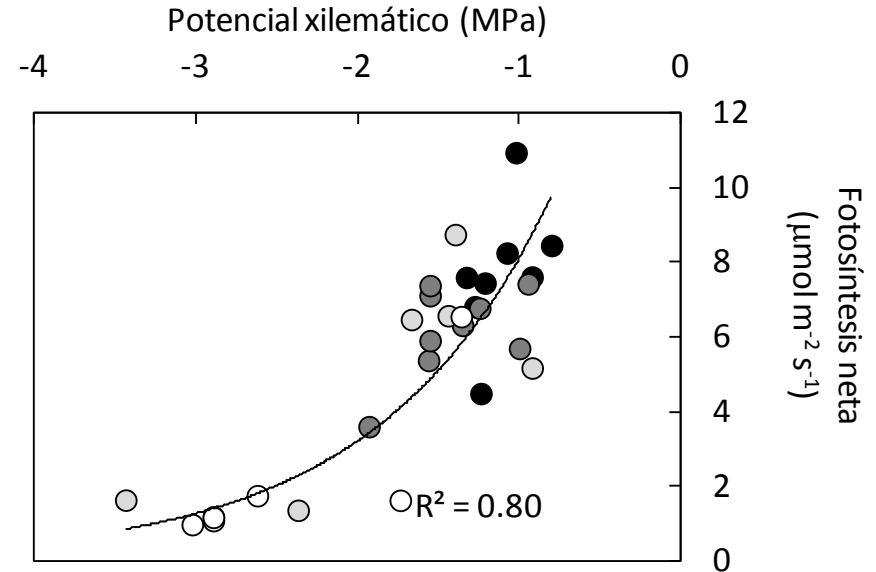
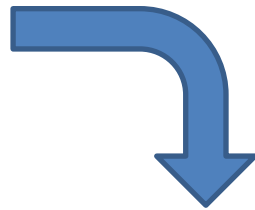
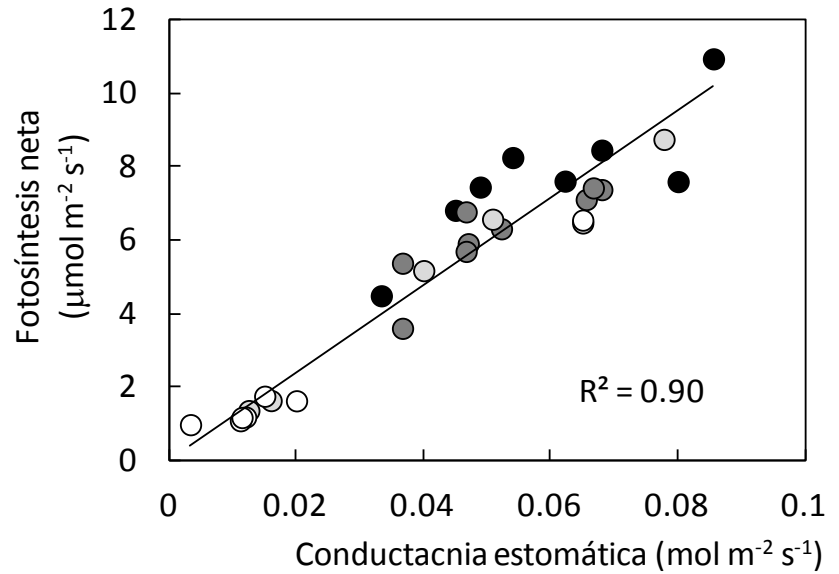
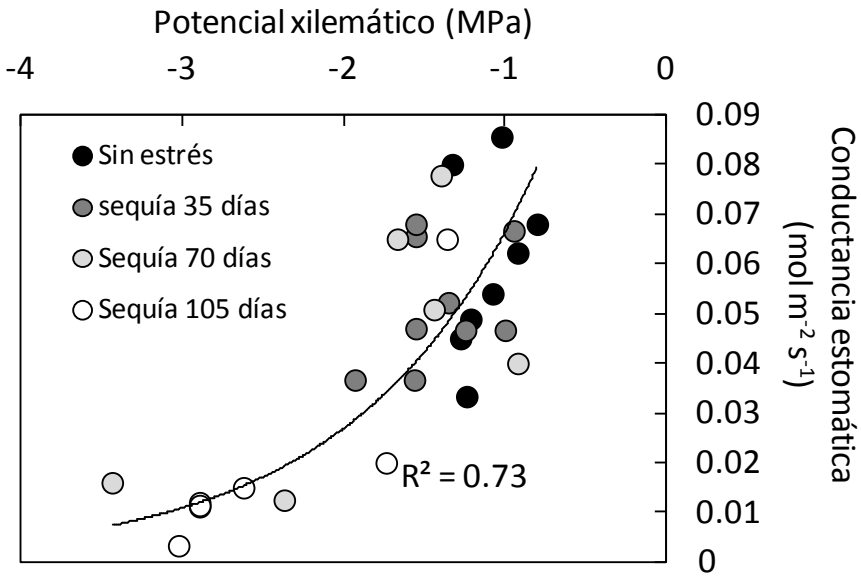
LUZ

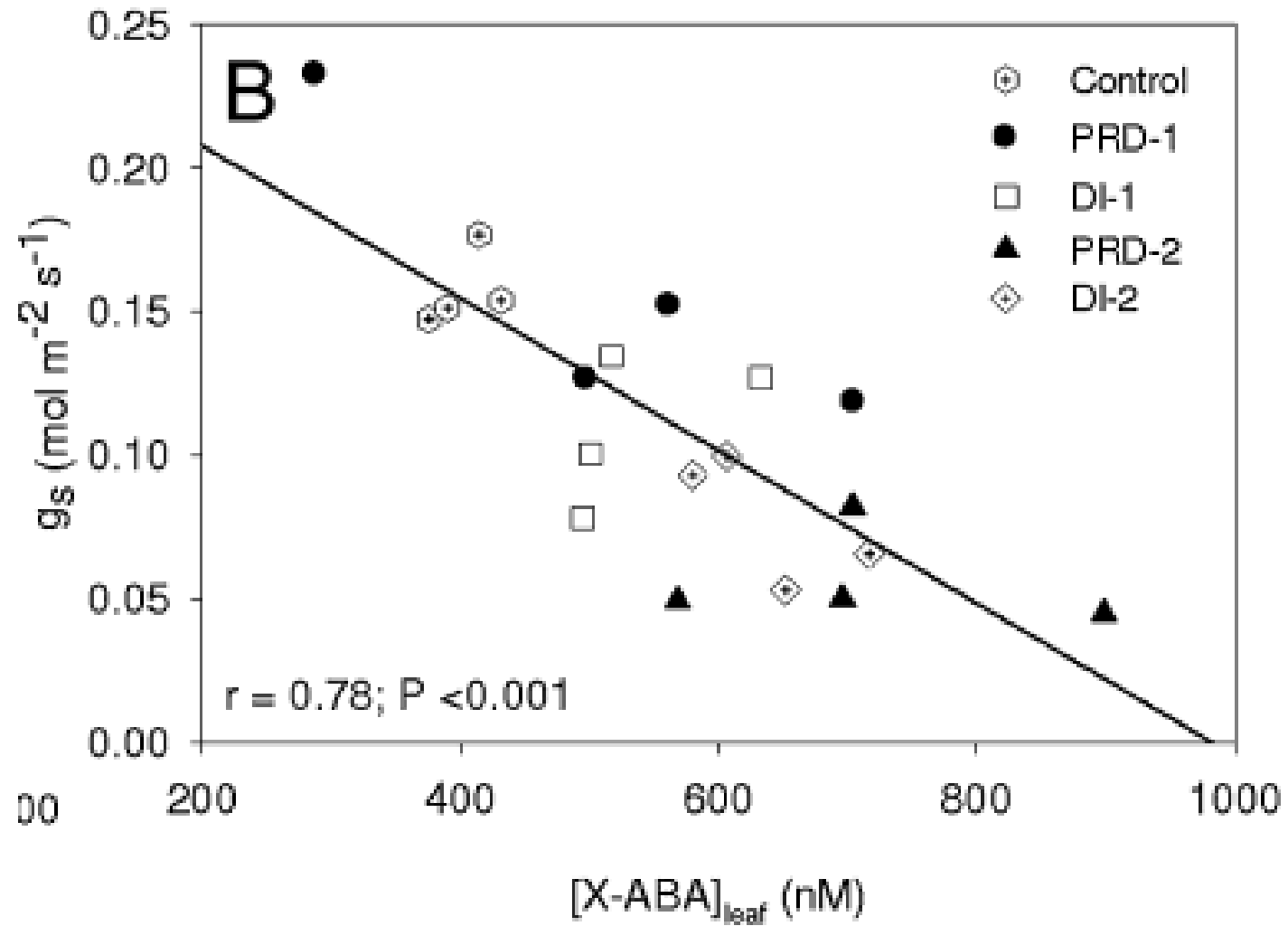


Cutícula
Epidermis superior
En empalizada
Mesófilo
Esponjoso
Epidermis inferior
Cutícula

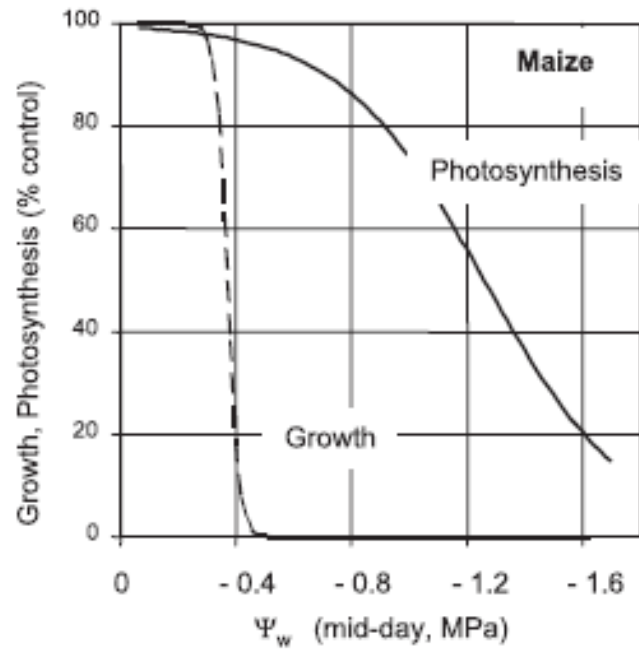
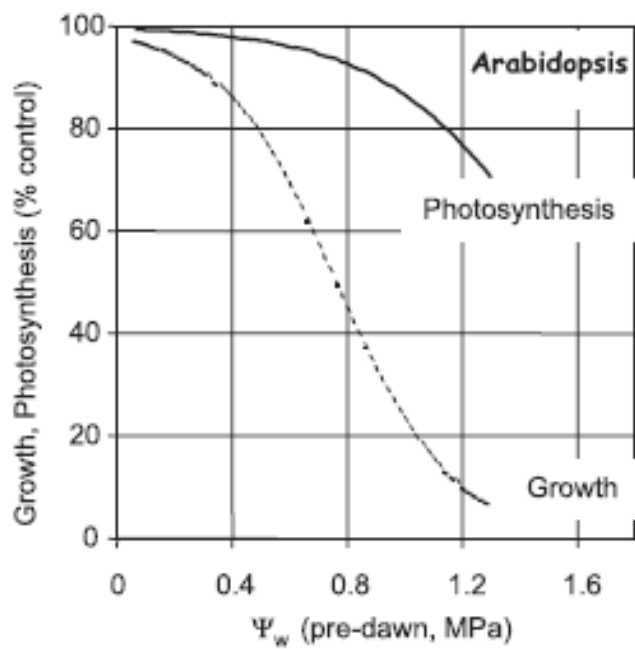
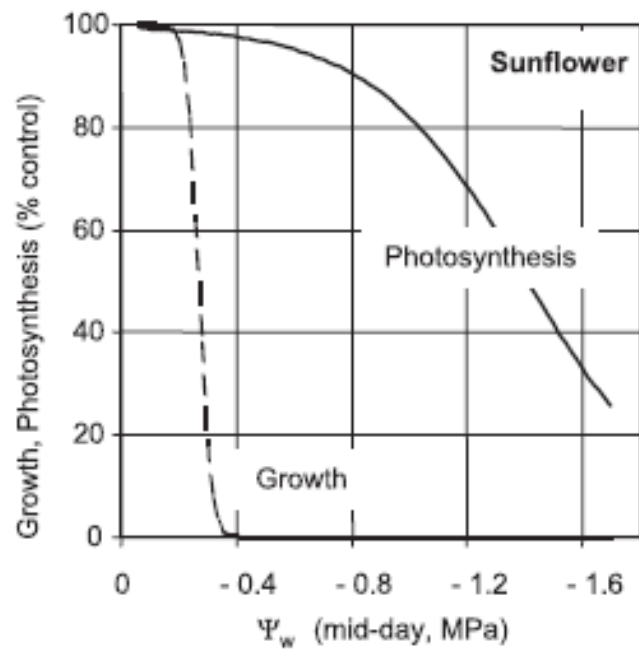
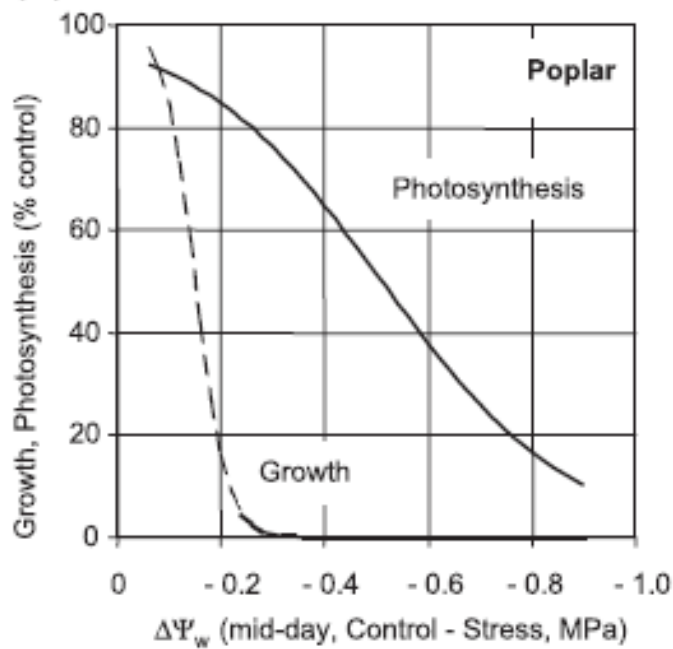
Cloroplasto
Vacuola
Núcleo
Pared celular
Citoplasma

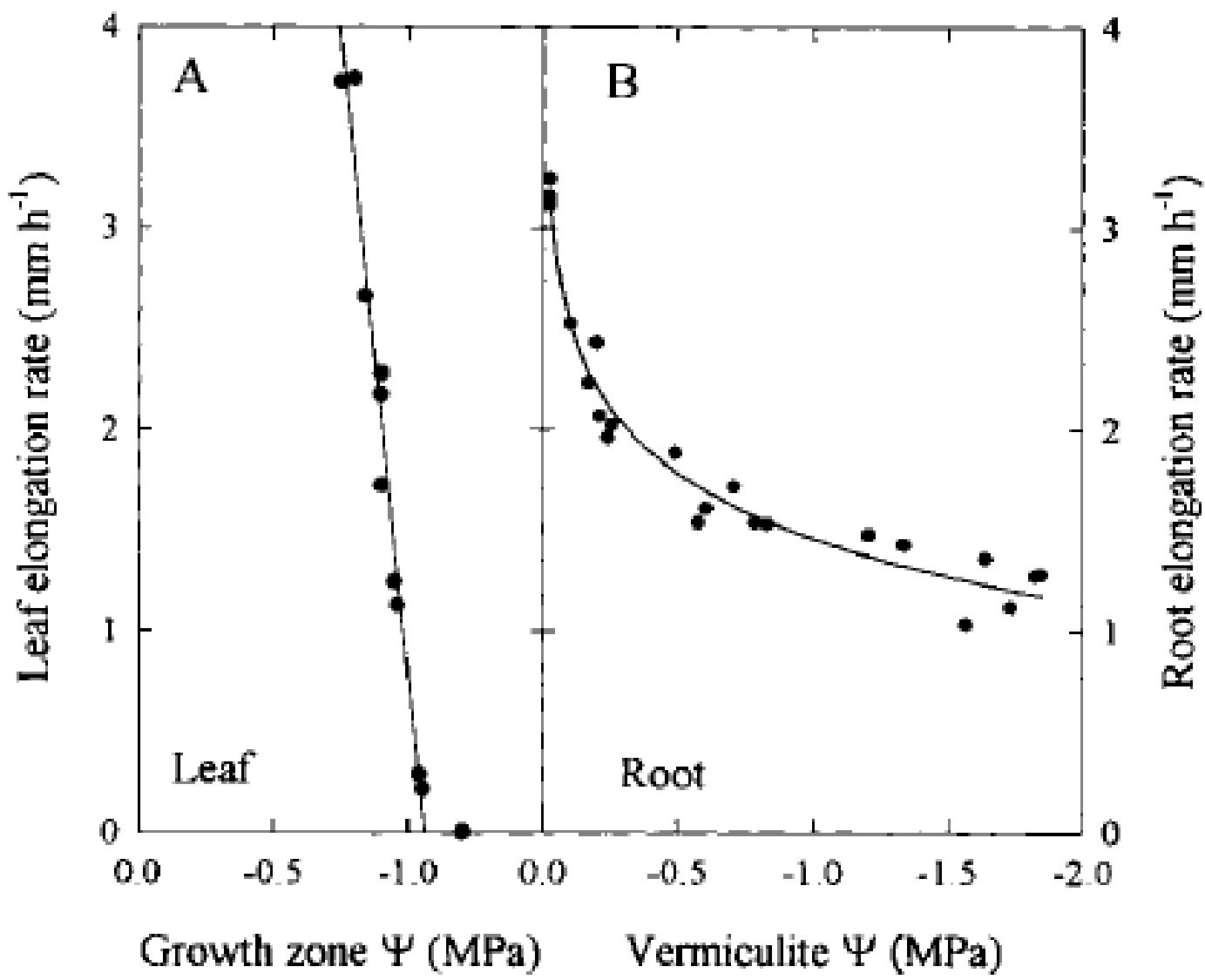


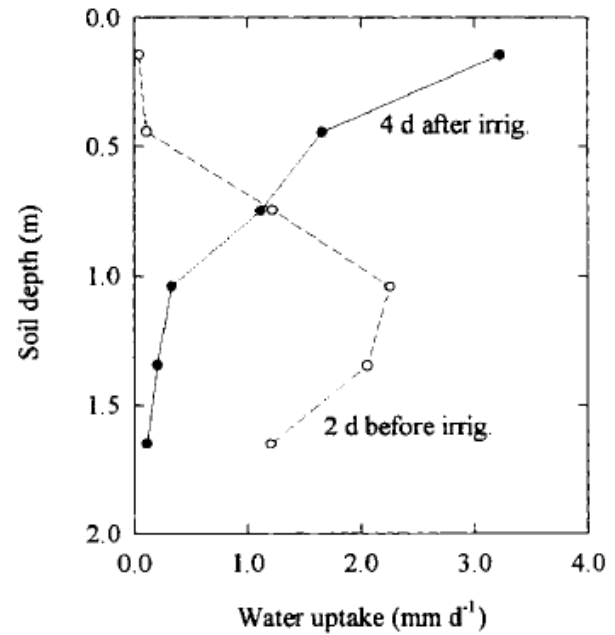
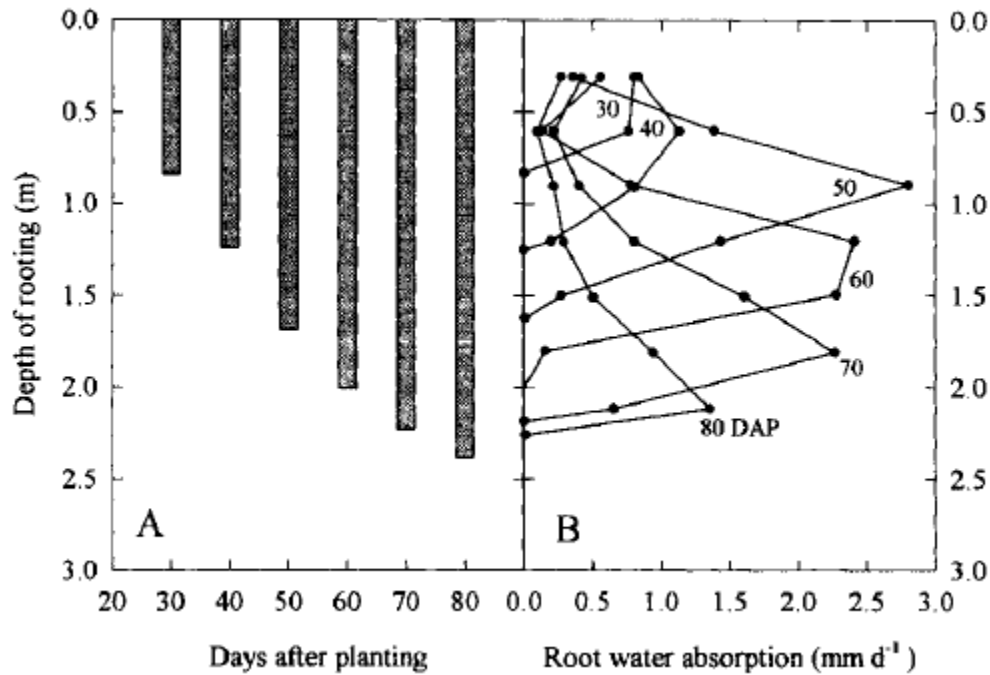




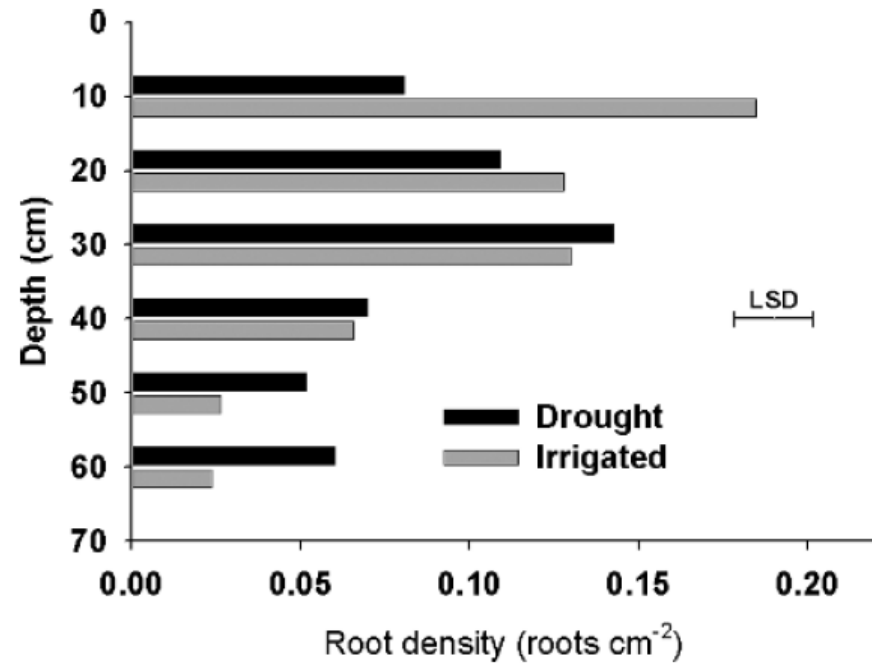
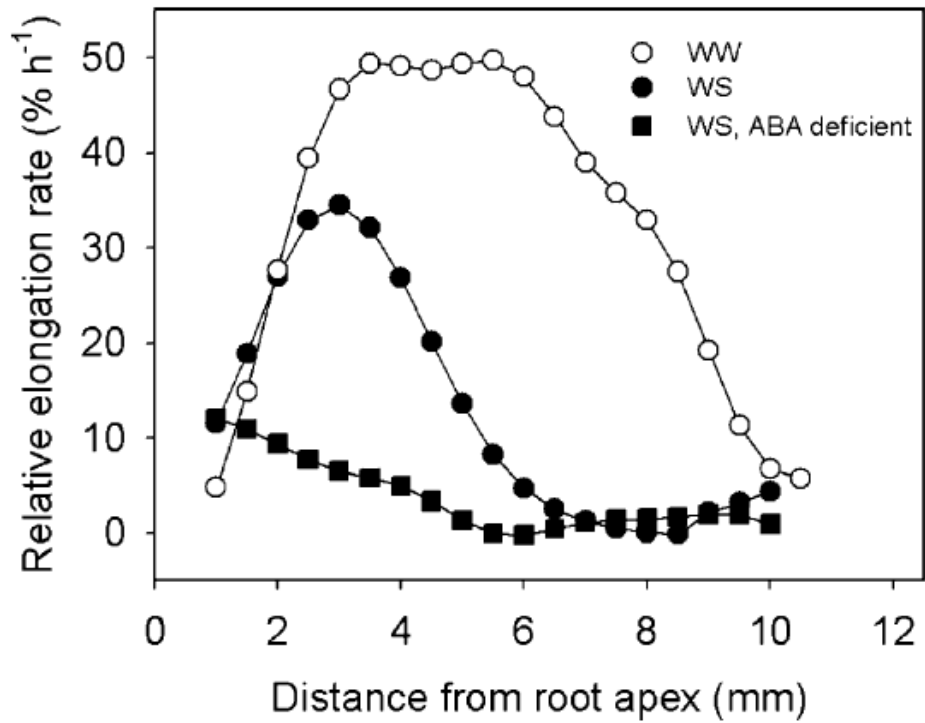
(A)







Water extraction from various depths of the soil by roots of a sorghum crop 2 d before and 4 d after an irrigation. The crop was growing in Davis, California on a soil with high water holding capacity (Yolo clay loam) and well-watered at planting. The irrigation was applied 55 d after planting and there was no effective rain. Soil water content at the various depths were measured by a neutron probe and extraction was calculated by water balance (from Fereres, 1983).



LUZ



Cutícula
Epidermis superior
En empalizada
Mesófilo
Esponjoso
Epidermis inferior
Cutícula

Cloroplasto
Vacuola
Núcleo
Pared celular
Citoplasma

CO₂

FOTOSÍNTESIS

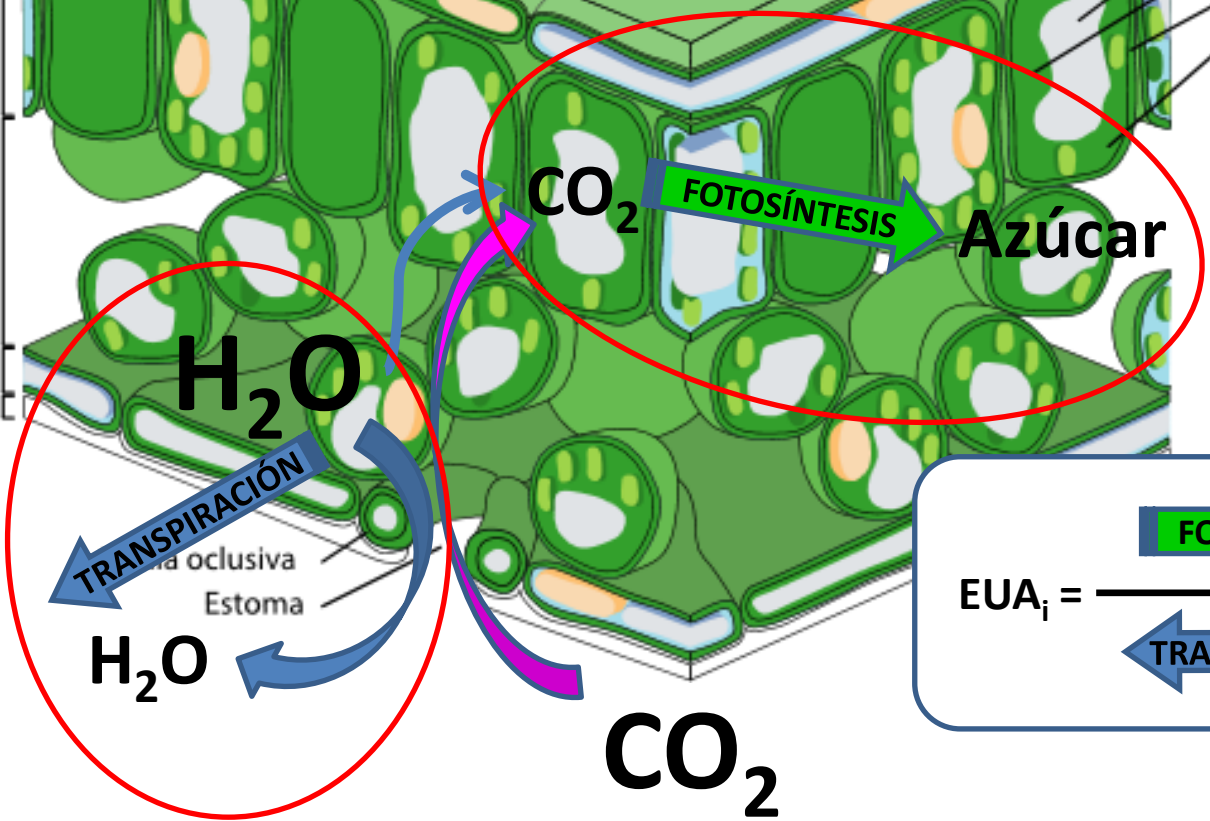
Azúcar

H₂O

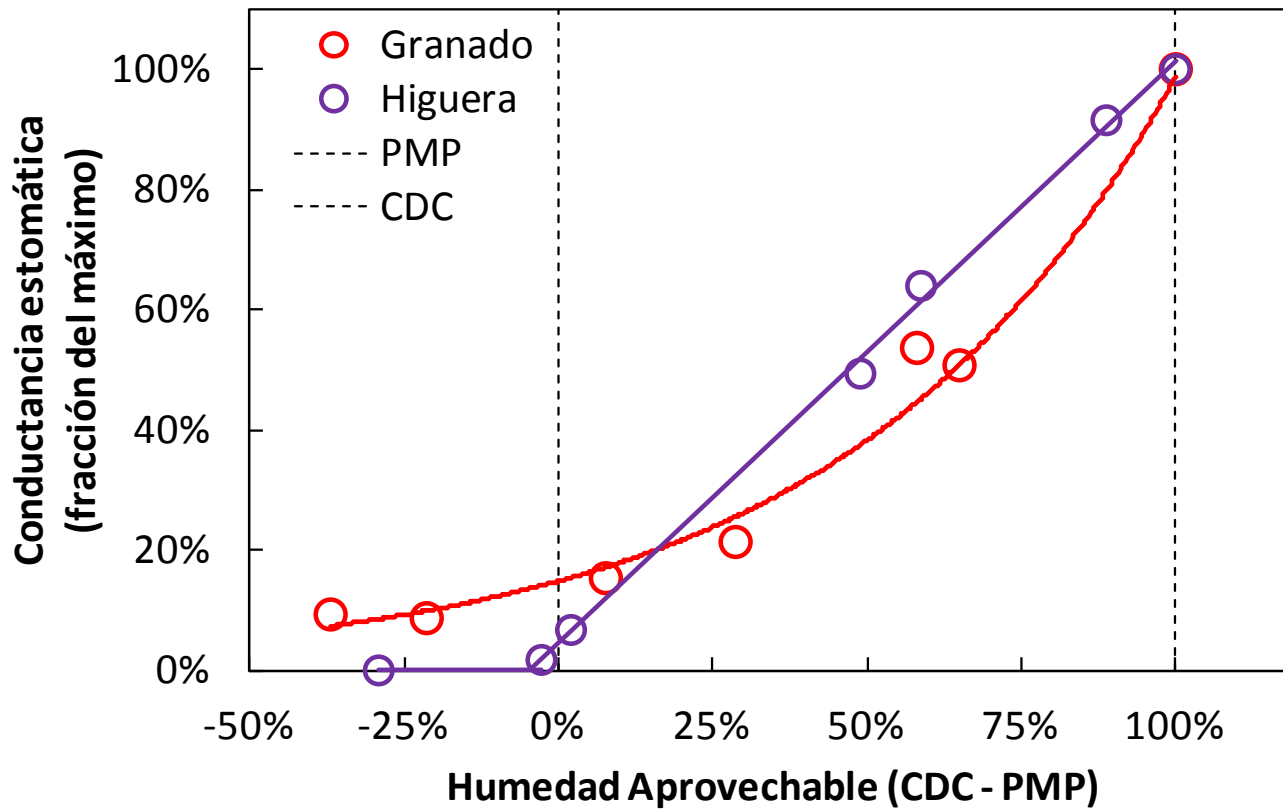
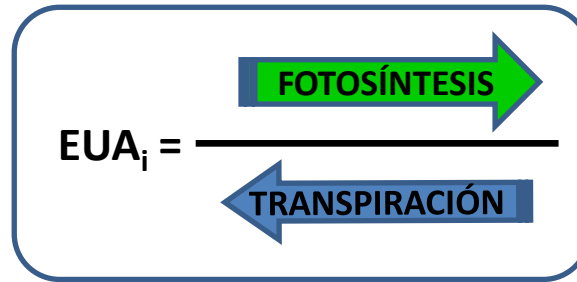
TRANSPIRACIÓN

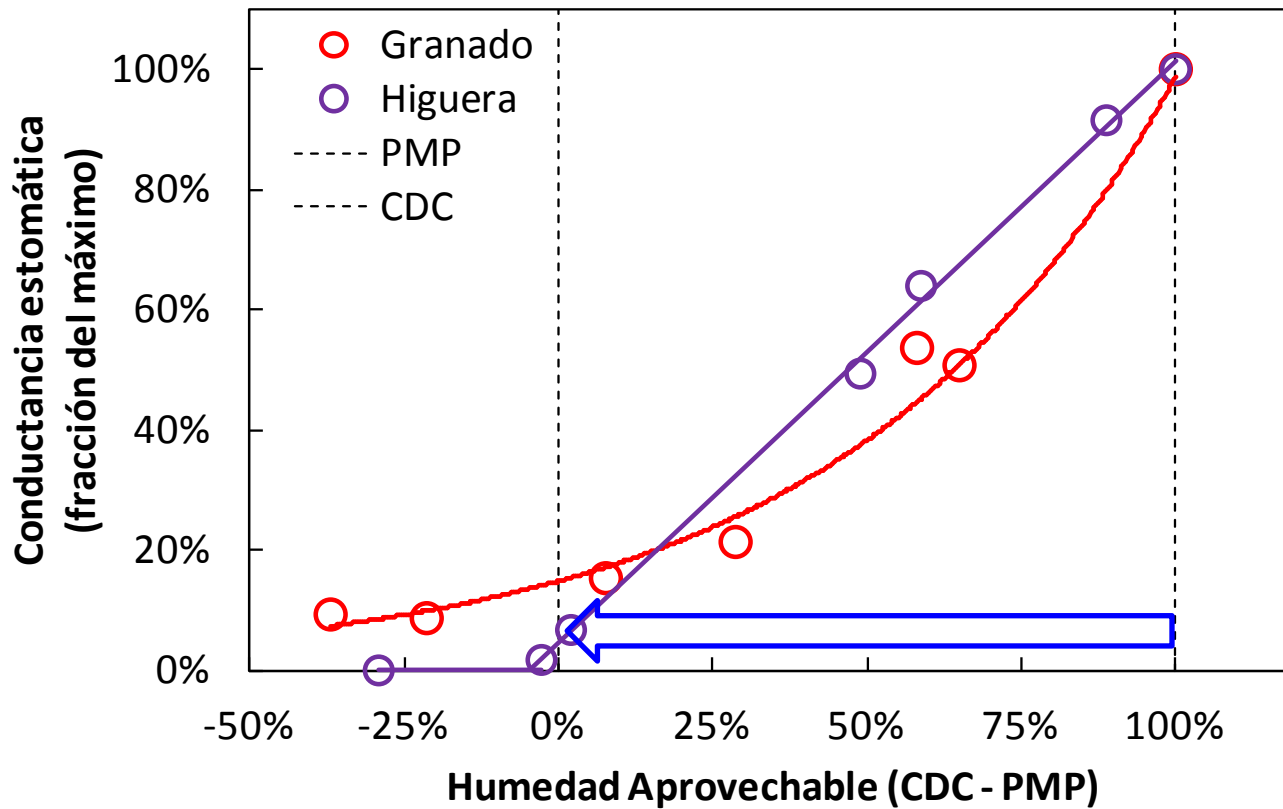
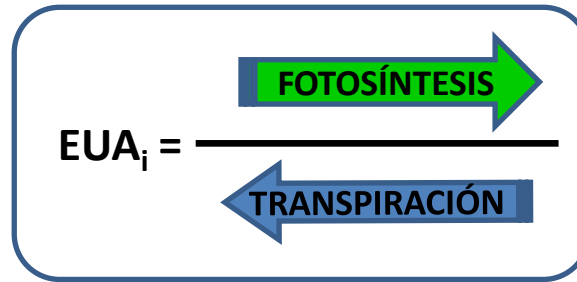
H₂O

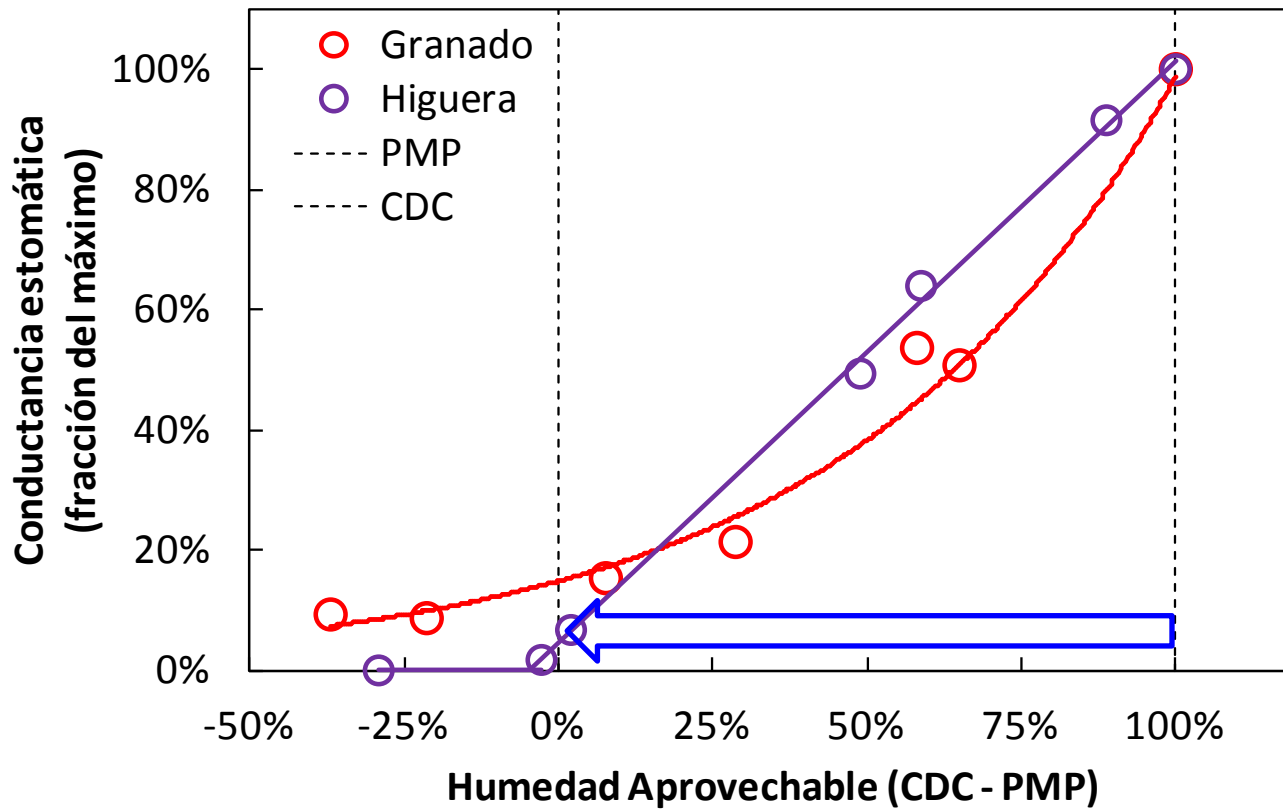
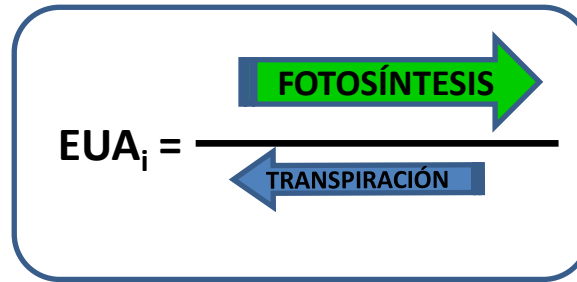
CO₂

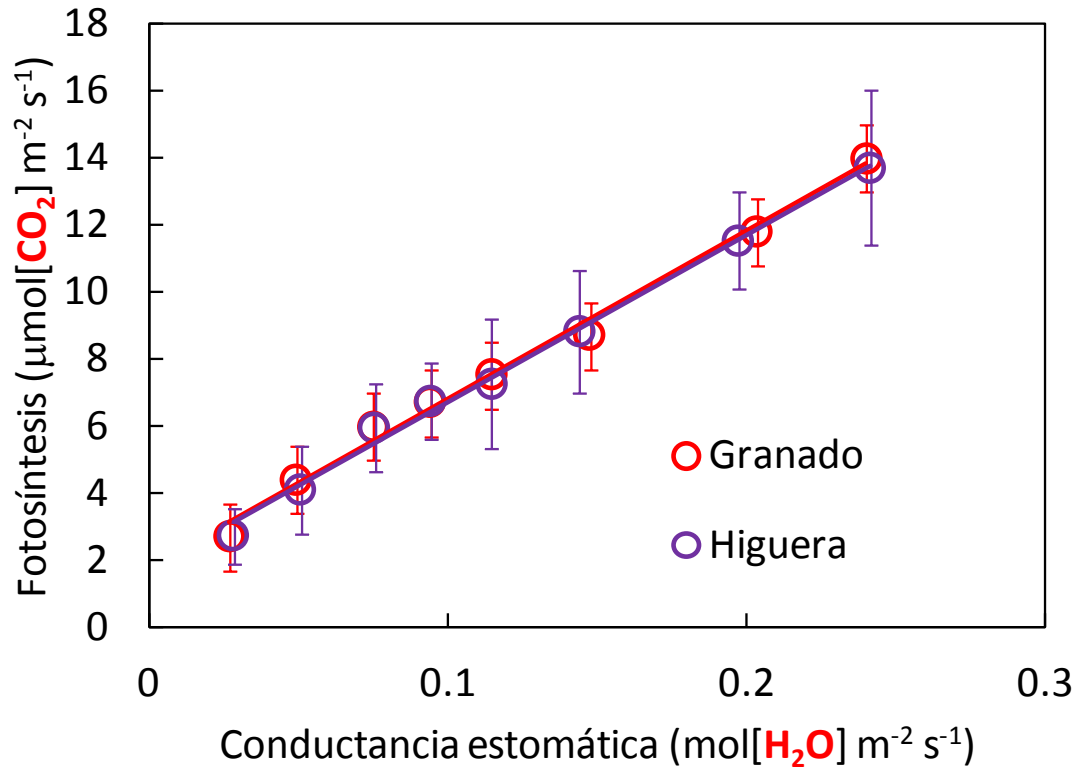
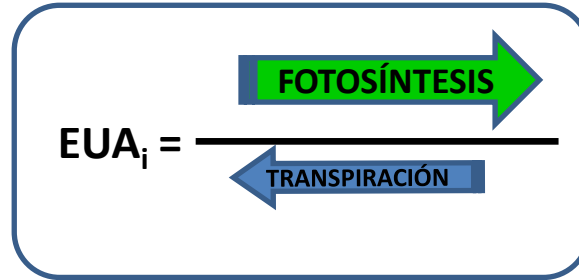


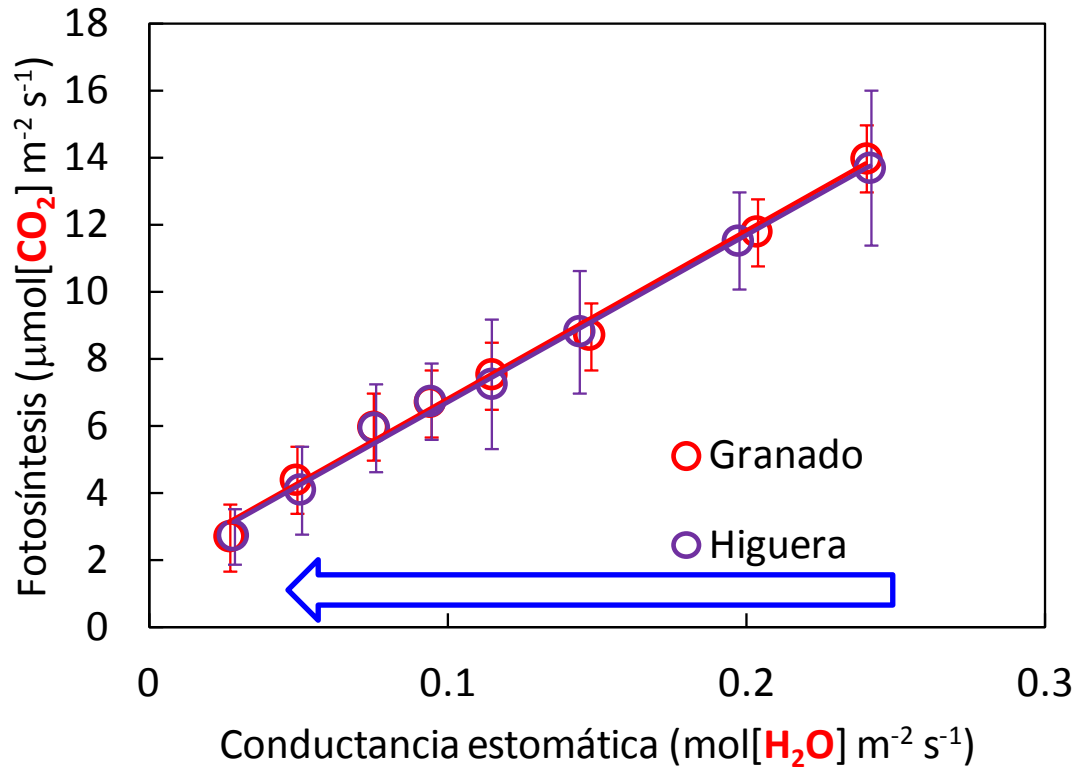
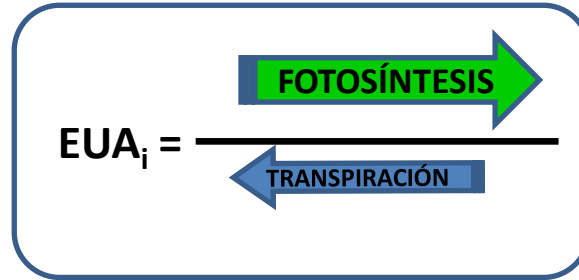
$$EUA_i = \frac{\text{FOTOSÍNTESIS}}{\text{TRANSPIRACIÓN}}$$

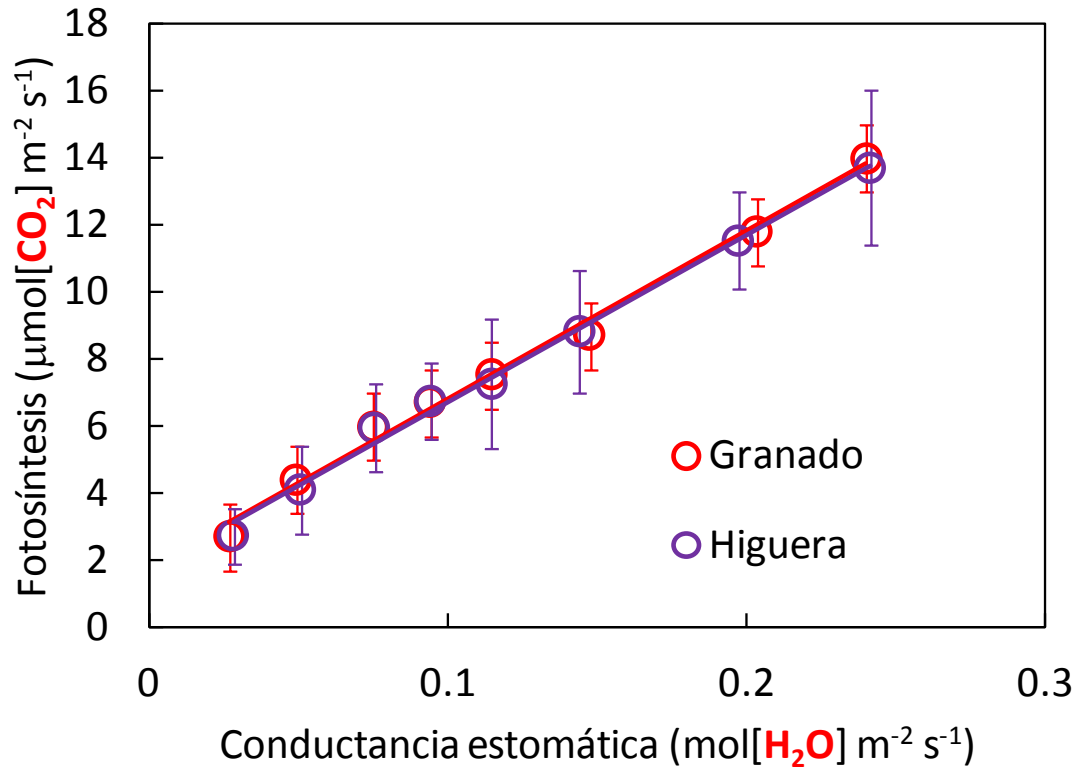
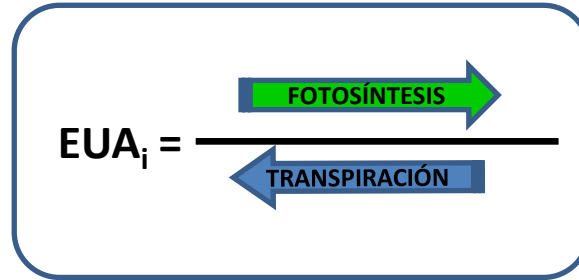






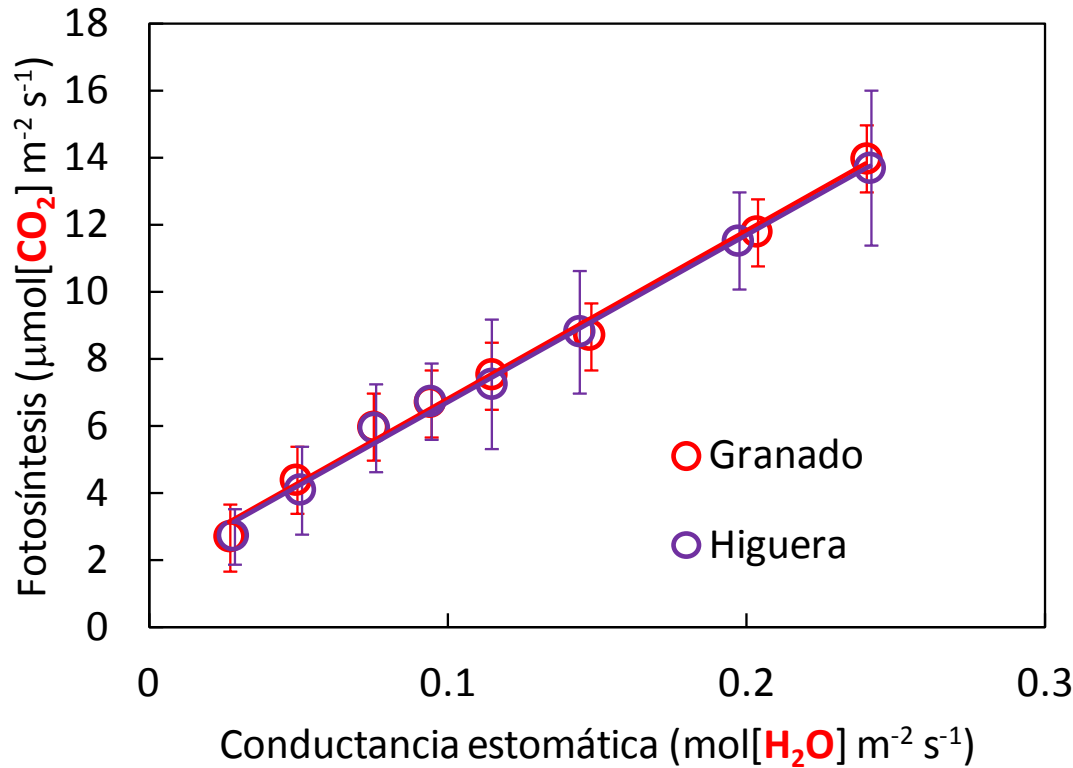






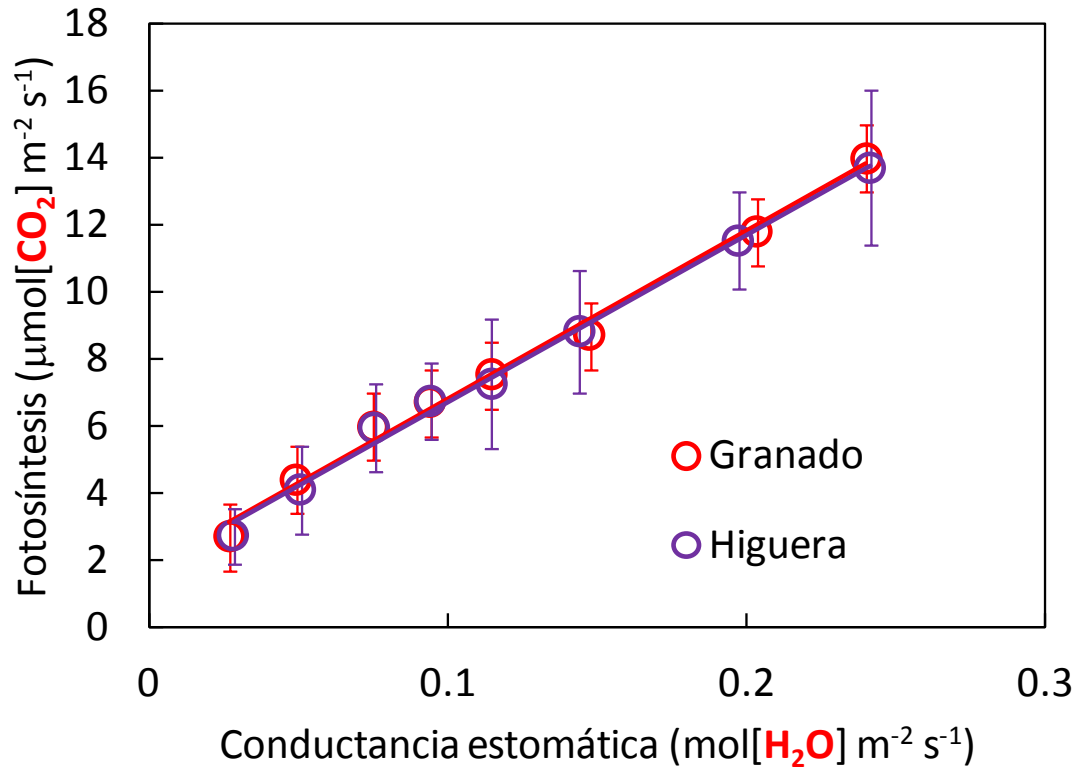
$$EUA_i = \frac{\text{FOTOSÍNTESIS}}{\text{TRANSPIRACIÓN}}$$

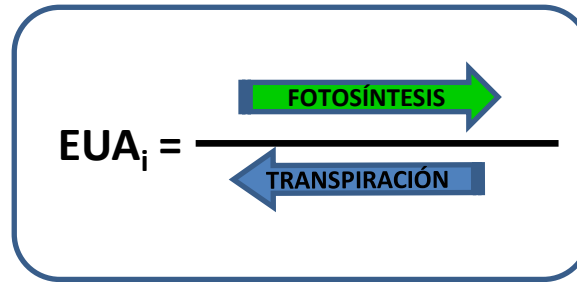
EUA_i = constante?



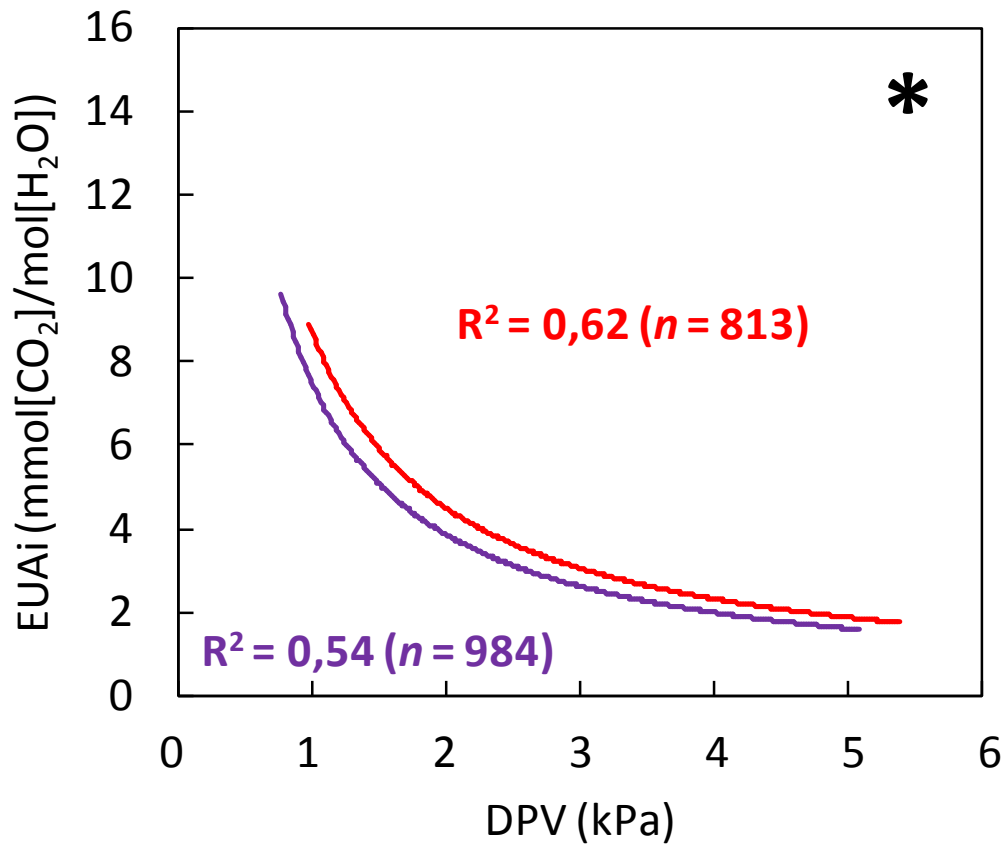
$$EUA_i = \frac{\text{FOTOSÍNTESIS}}{\text{TRANSPIRACIÓN}}$$

EUA_i = constante?

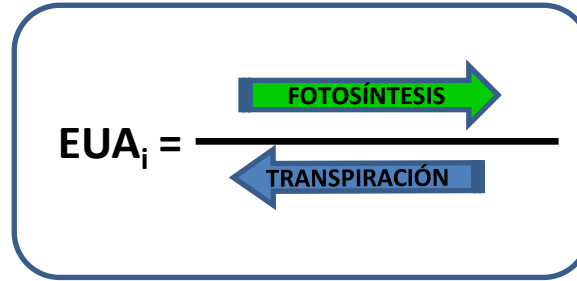




EUAi = constante?

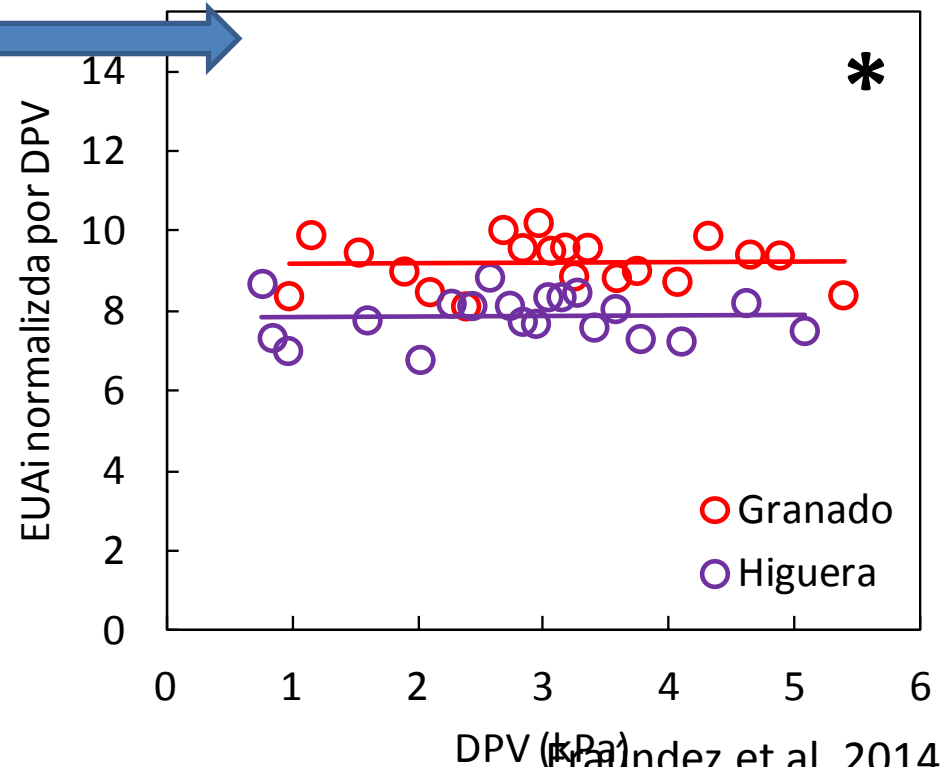
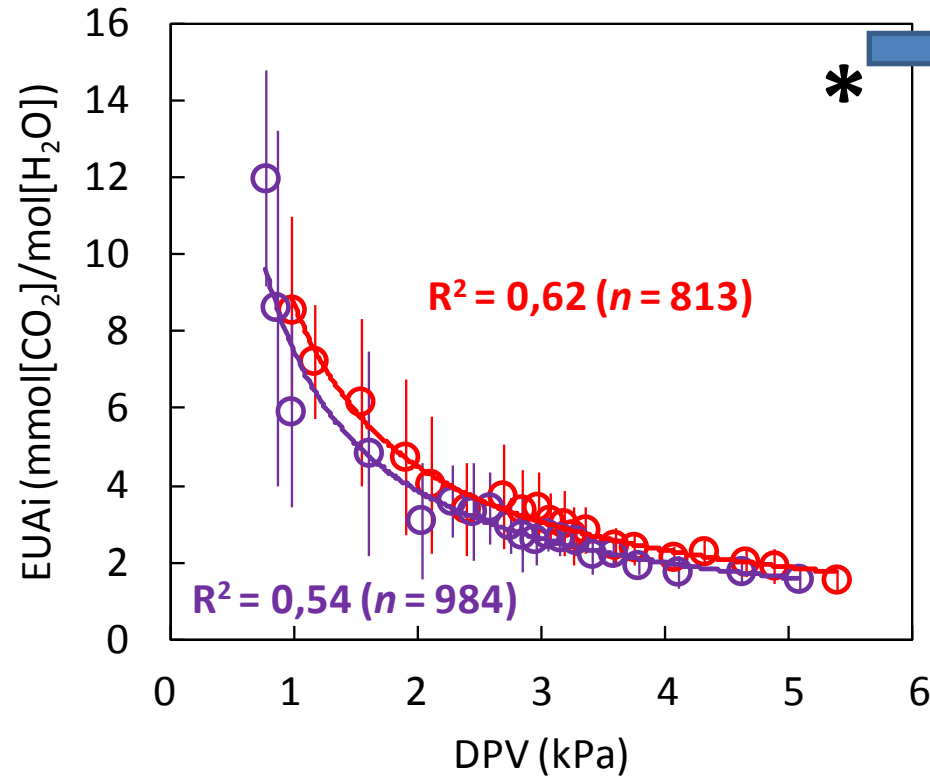


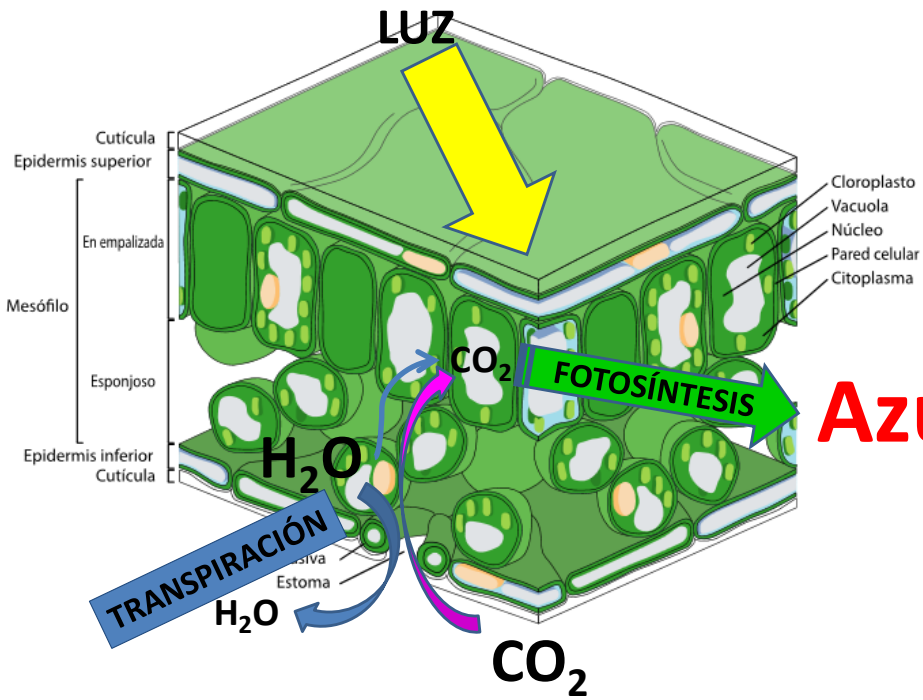
Fraúndez et al. 2014



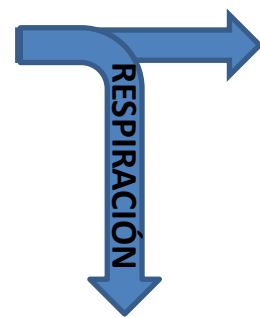
$$EUA_i^* = \frac{\text{Fotosíntesis}}{\text{Transpiración}/DPV}$$

✓ **Constante!**



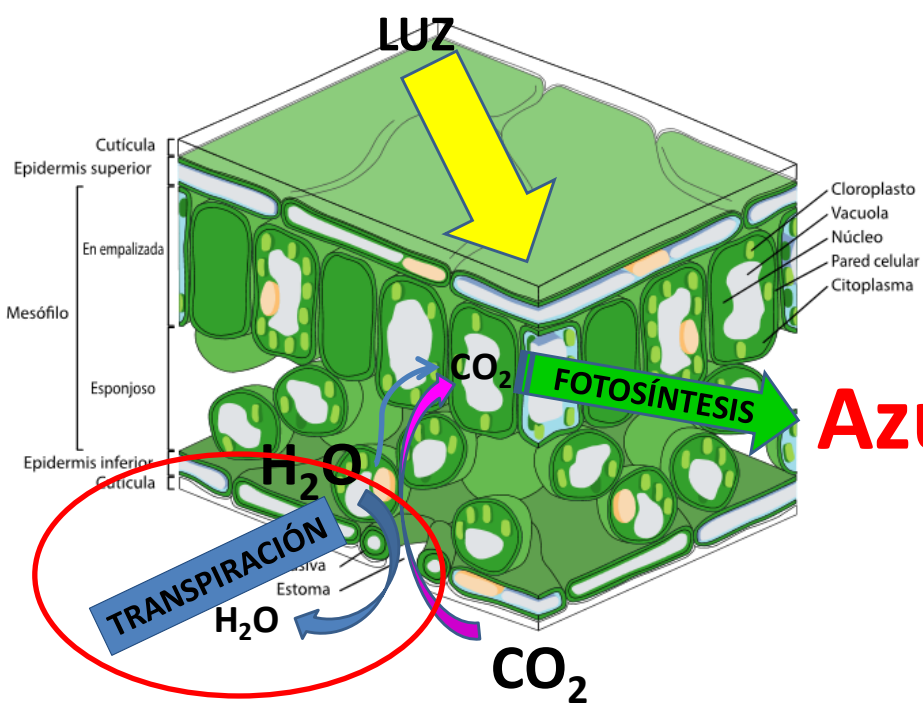


Azúcar

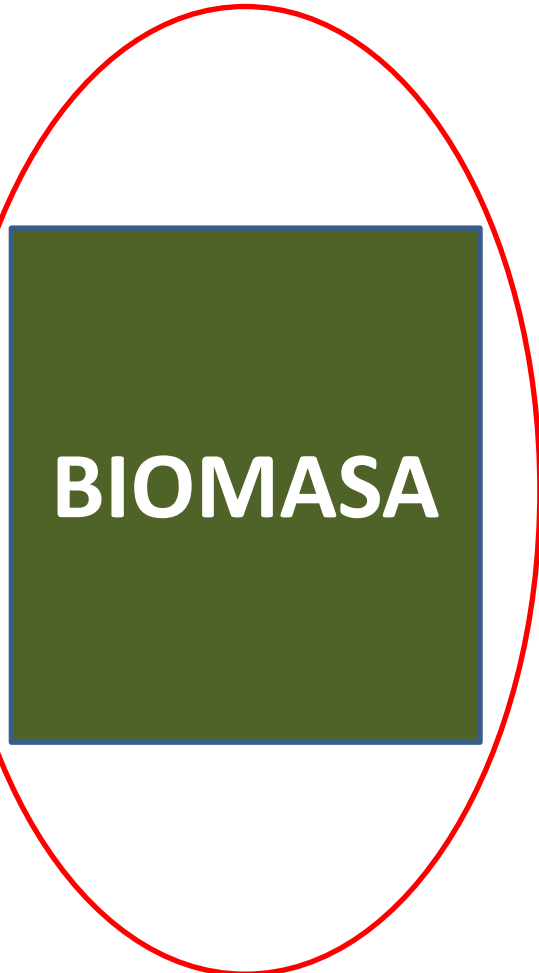
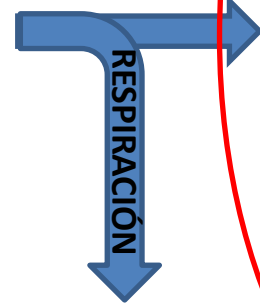


BIOMASA

CO₂

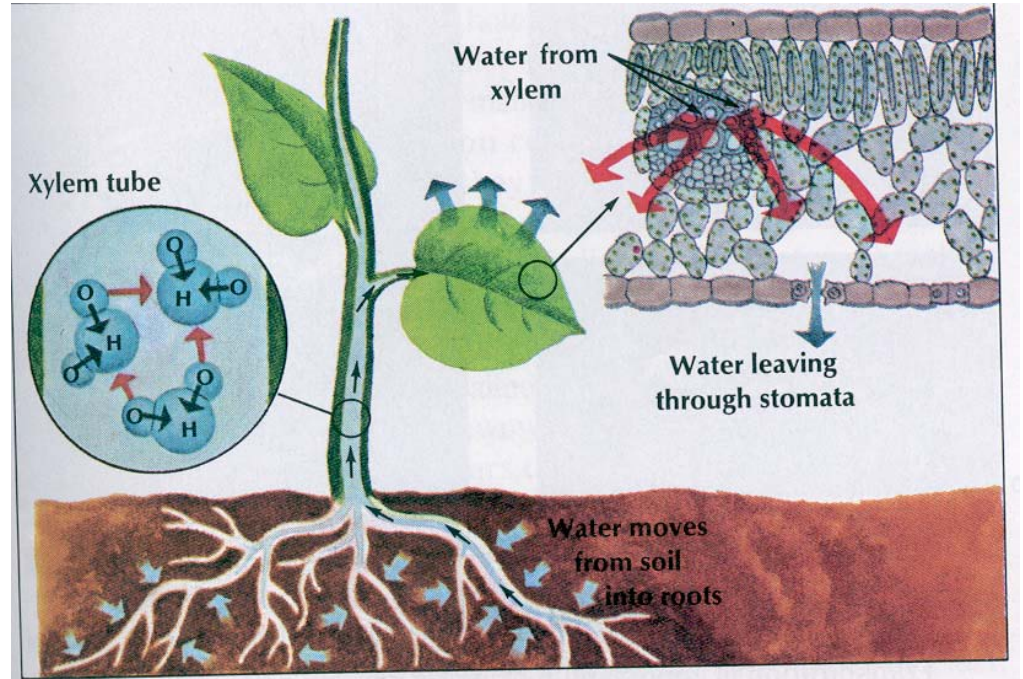


Azúcar

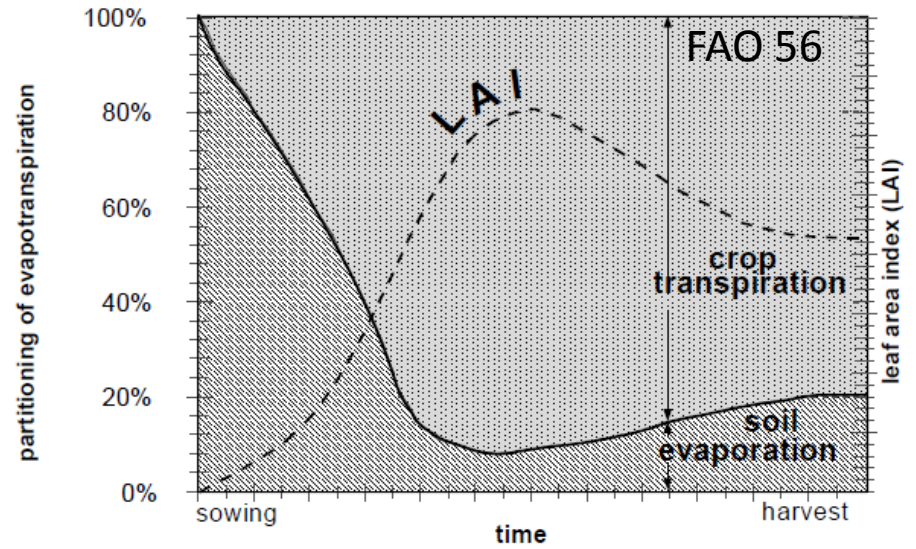


BIOMASA

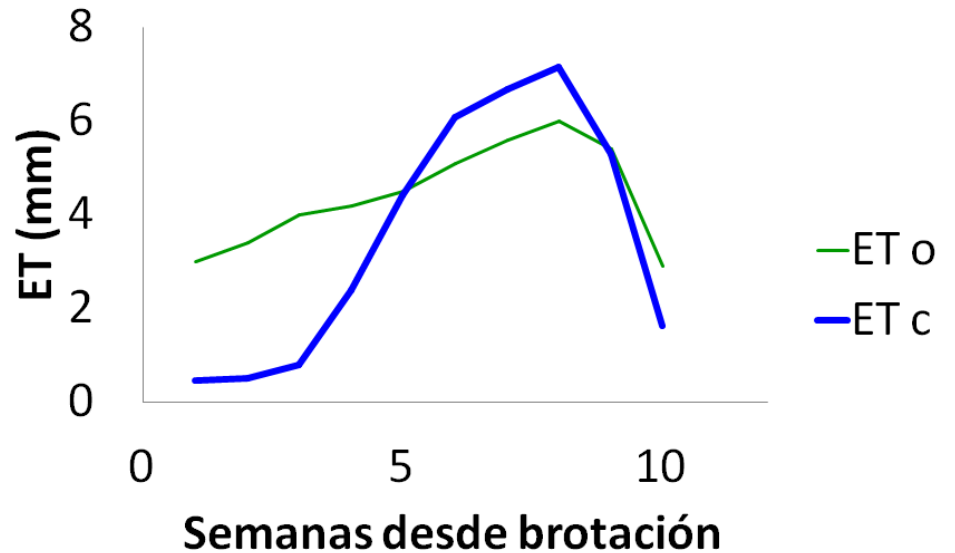
TRANSPIRACIÓN



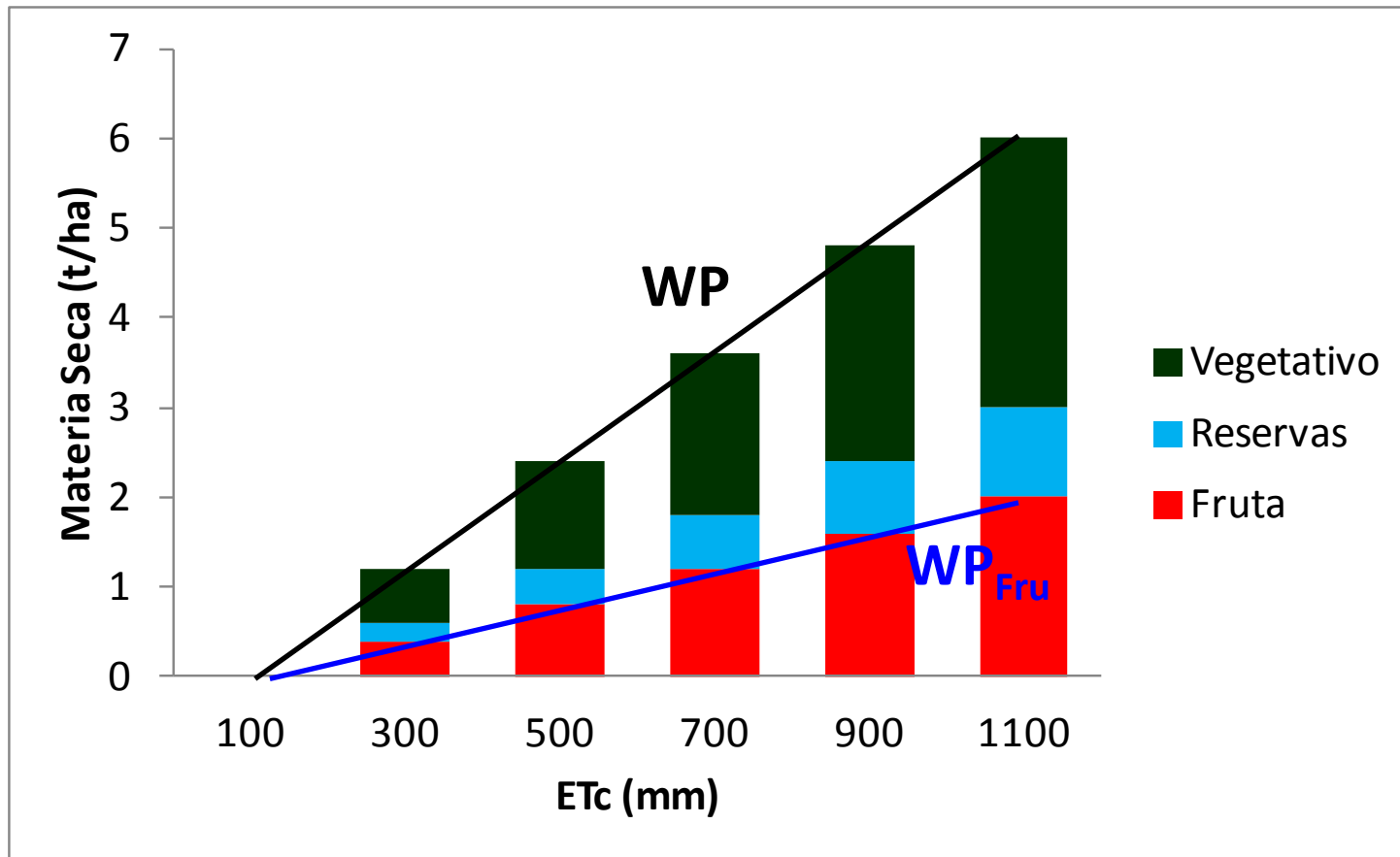
BIOMASA

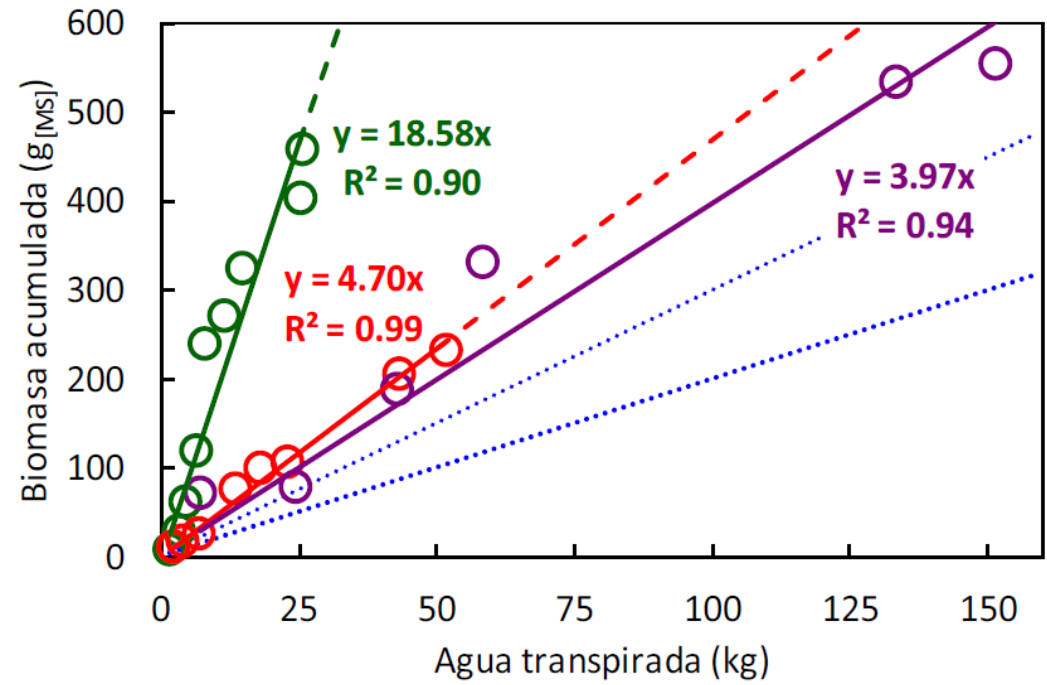


Evolución estacional ETo y ETc



$$WP_{FRU} = \frac{(Biomasa + Reservas) \times \text{índice de cosecha}}{ET_c}$$

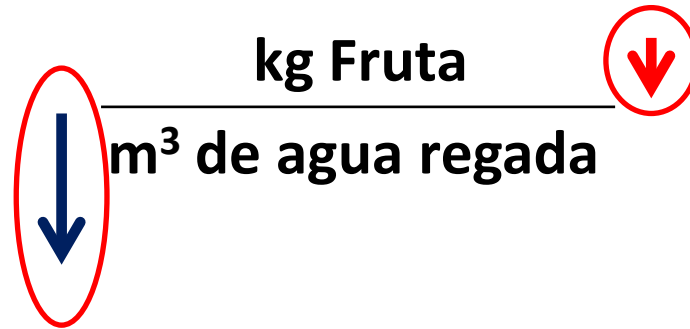




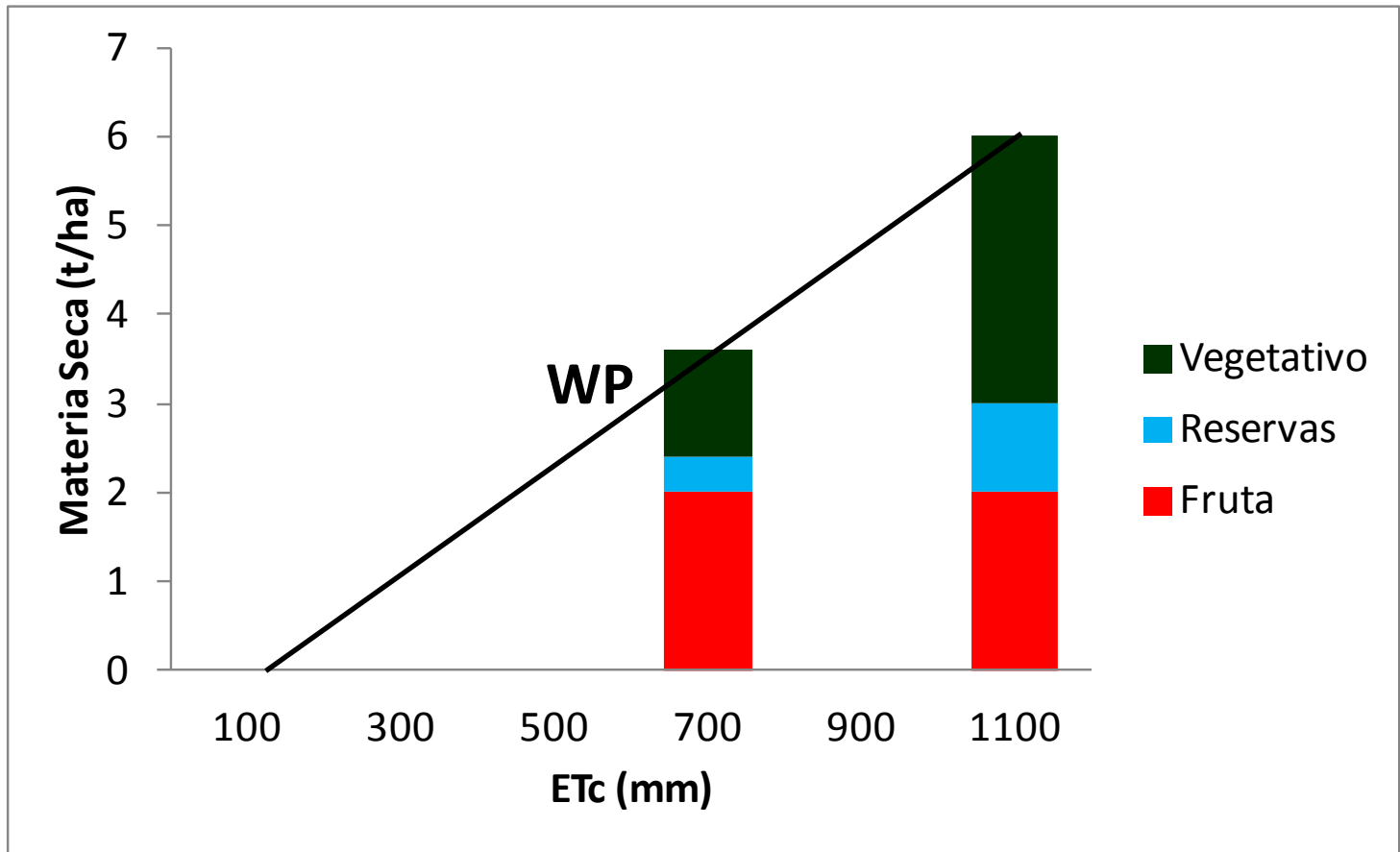
○ Tuna ○ Granado ○ Higuera Tradicionales

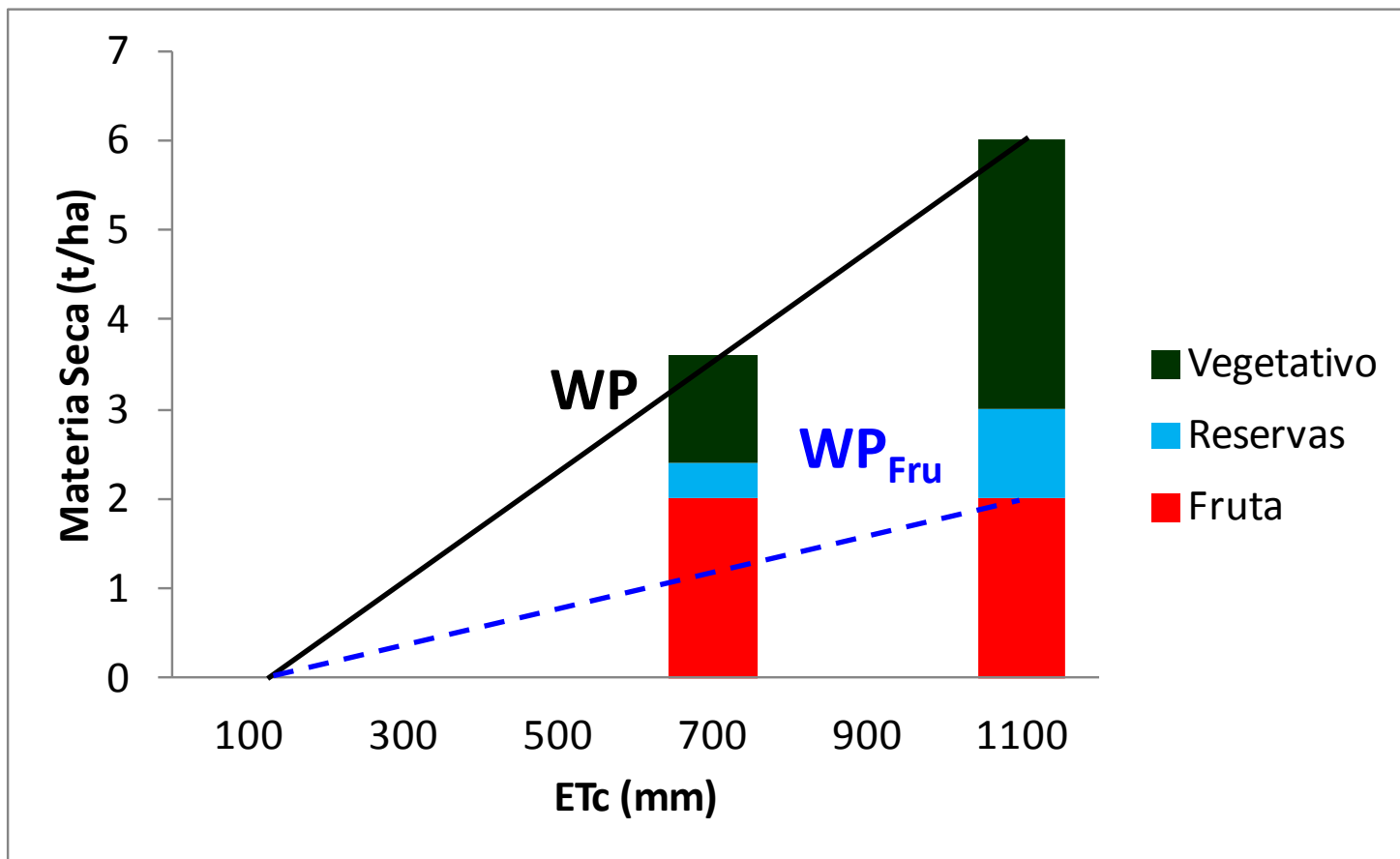


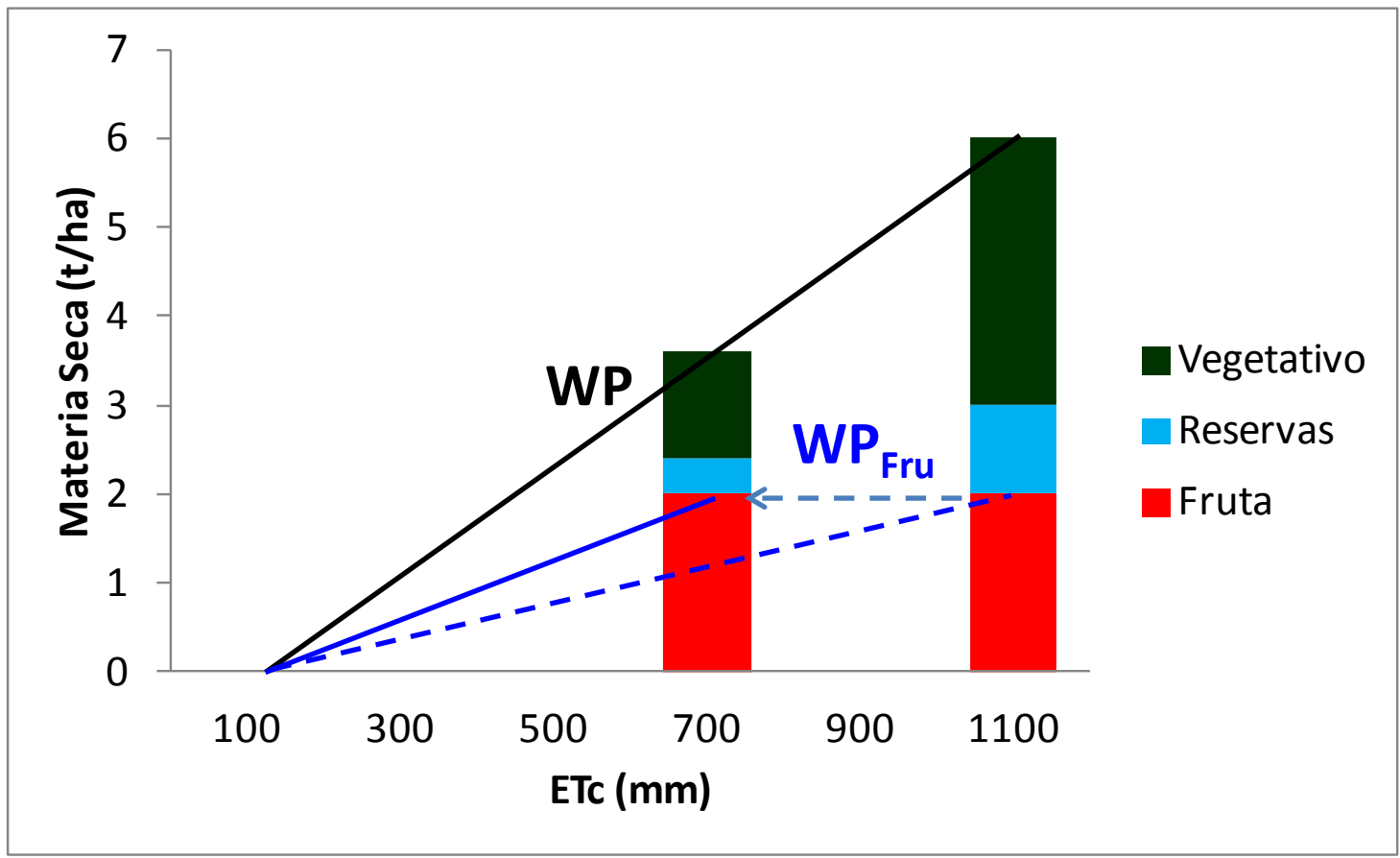
EUA agronómica

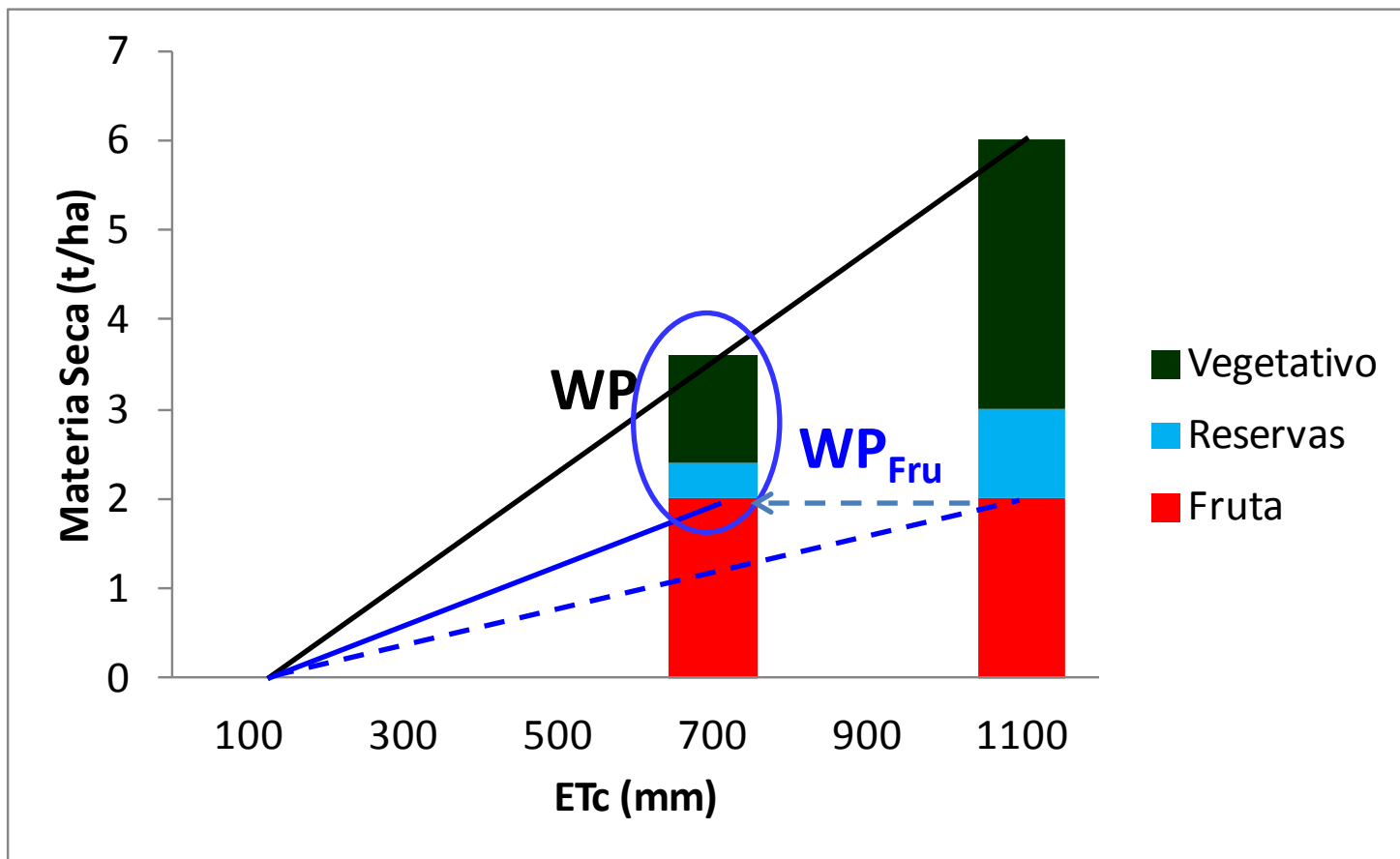
$$\frac{\text{kg Fruta}}{\text{m}^3 \text{ de agua regada}}$$


- Riego Deficitario Controlado (RDC)

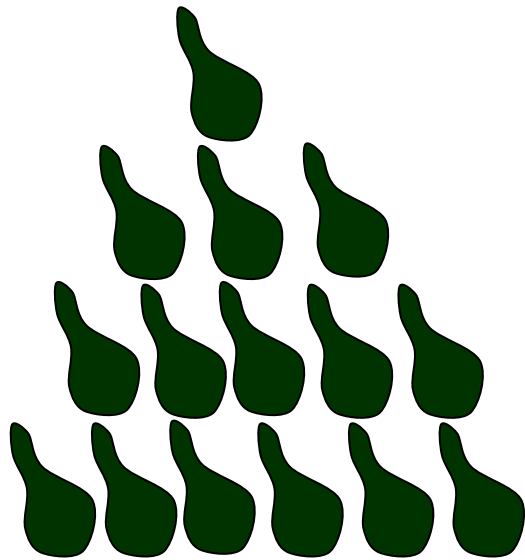








EUA agronómica

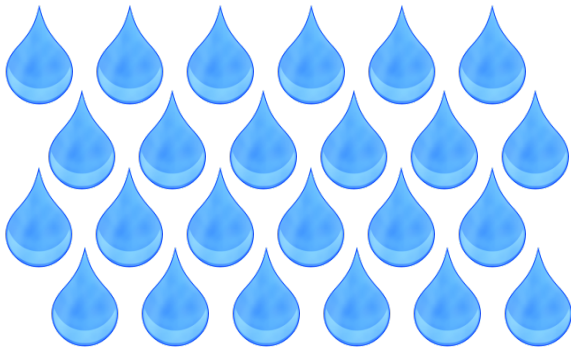


kg Fruta
m³ de agua regada

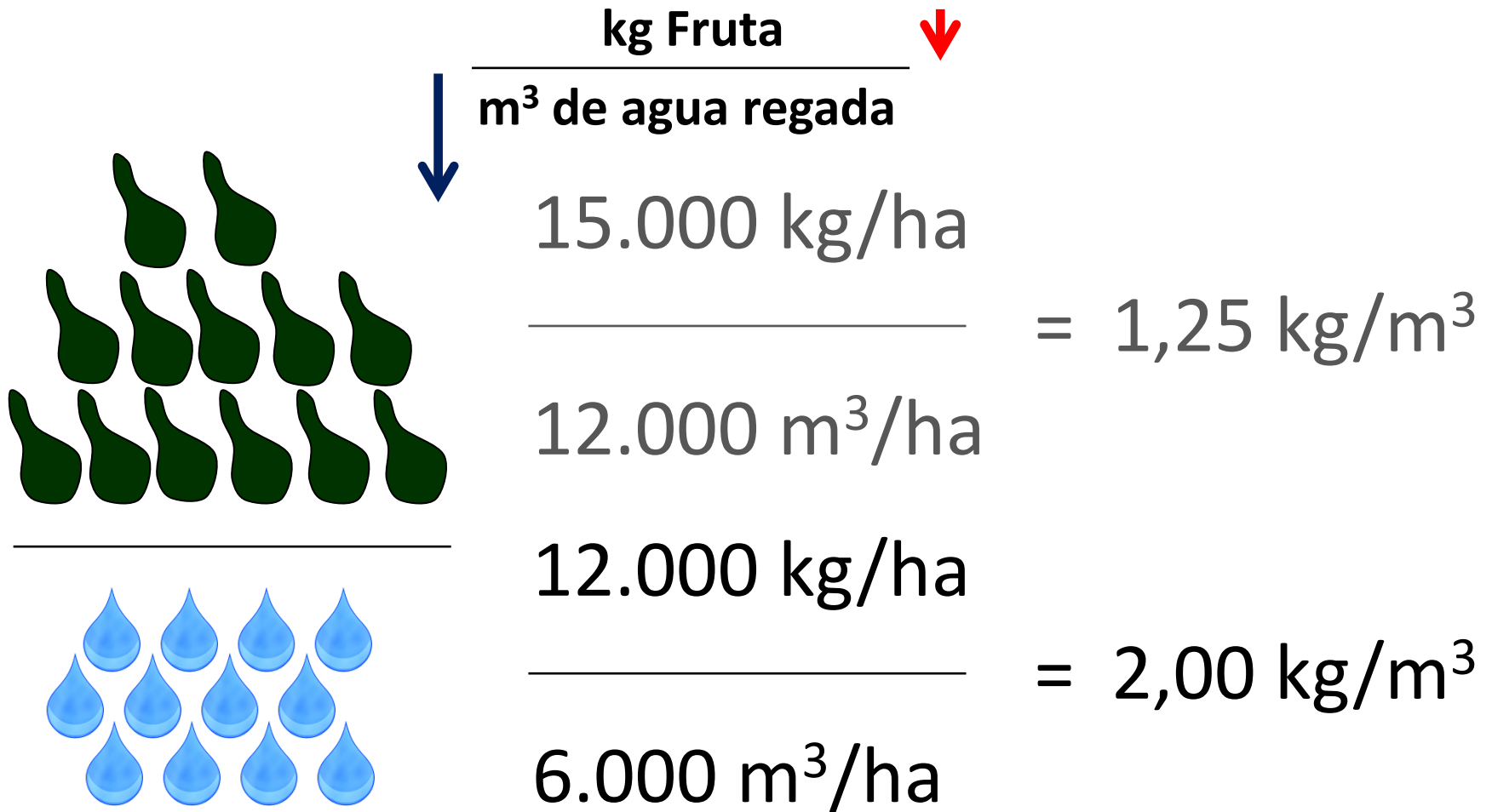
15.000 kg/ha

12.000 m³/ha

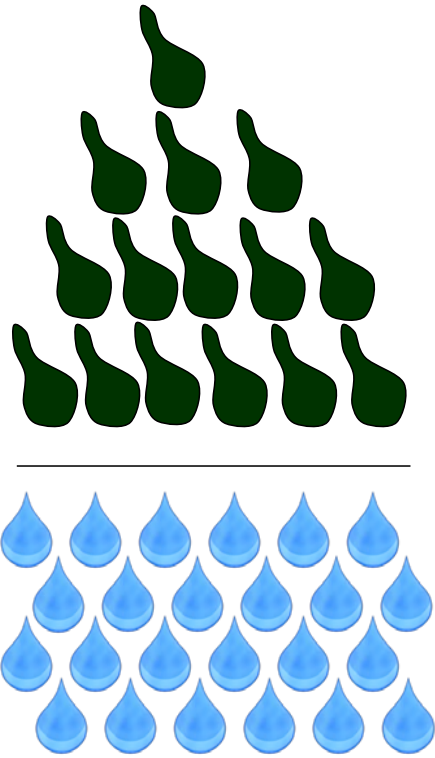
= 1,25 kg/m³



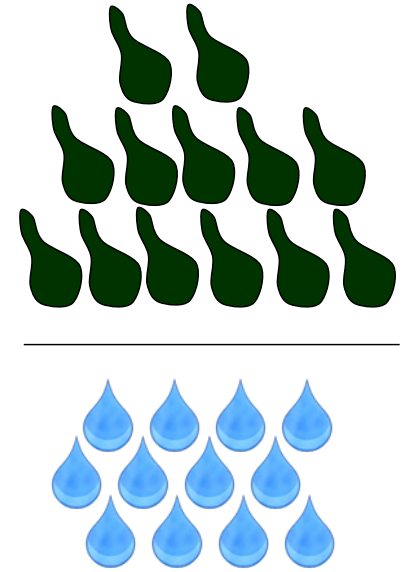
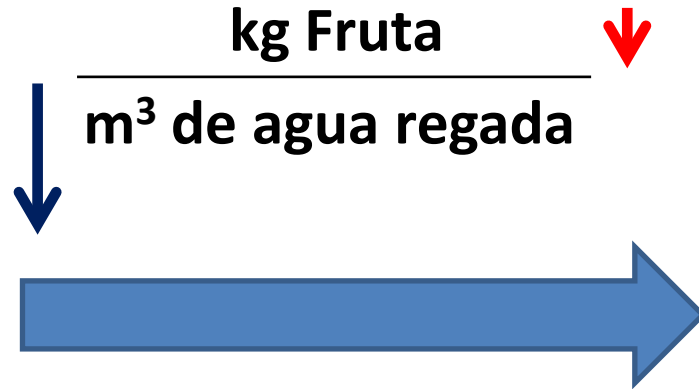
EUA agronómica



EUA agronómica

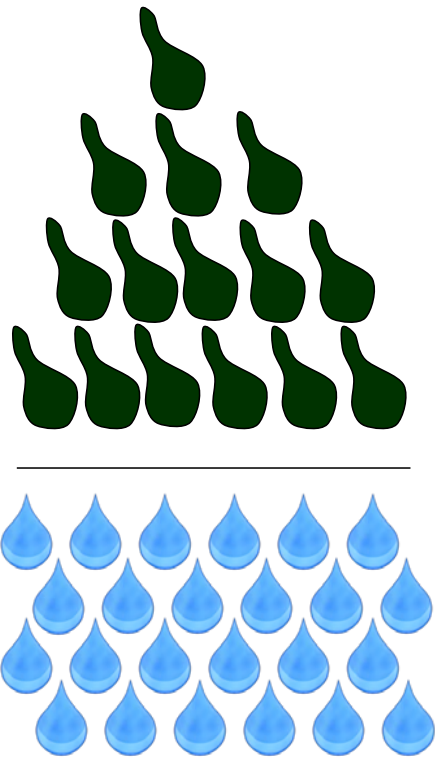


$$= 1,25 \text{ kg/m}^3$$



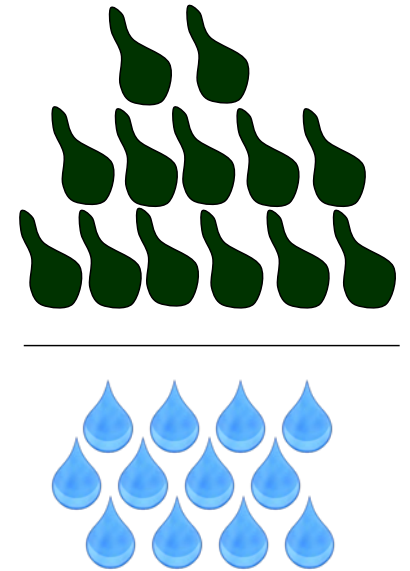
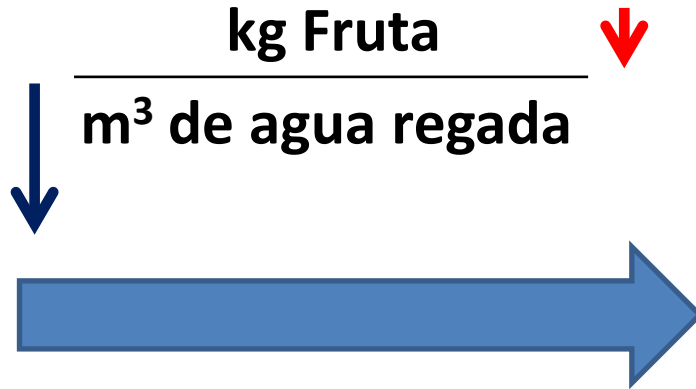
$$= 2,00 \text{ kg/m}^3$$

EUA agronómica



$$= 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$\Rightarrow 800 \text{ m}^3/\text{ton}$$



$$= 2,00 \text{ kg/m}^3$$

$$\Rightarrow 500 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Riego Deficitario Controlado (RDC)

Riego => menos... pero se sigue regando

Deficitario => se reduce la cantidad **¿CUÁNTO?**

Controlado => en períodos que no afecte mayormente rendimiento y calidad **¿CUÁNDO?**

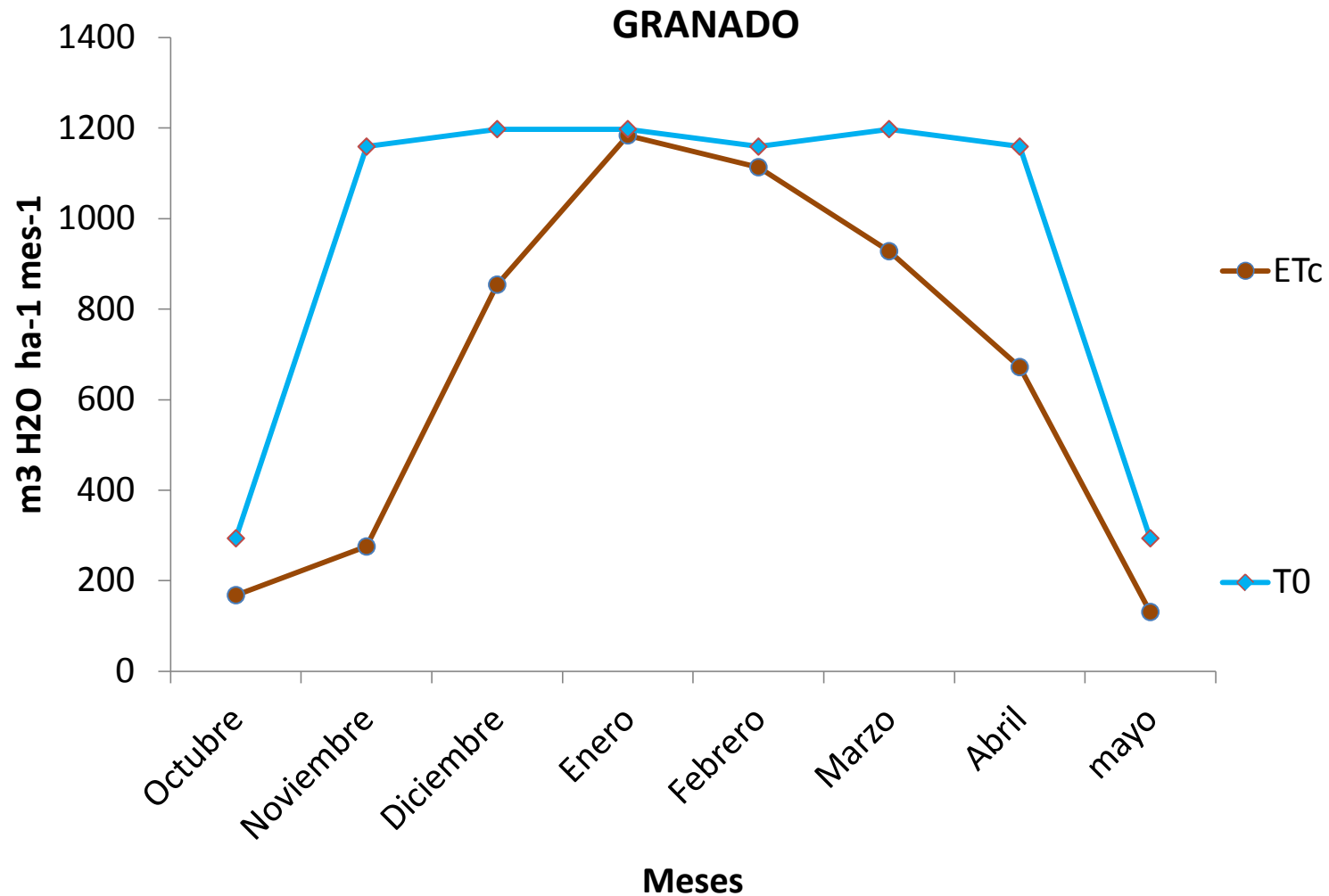
Riego Deficitario Controlado (RDC)

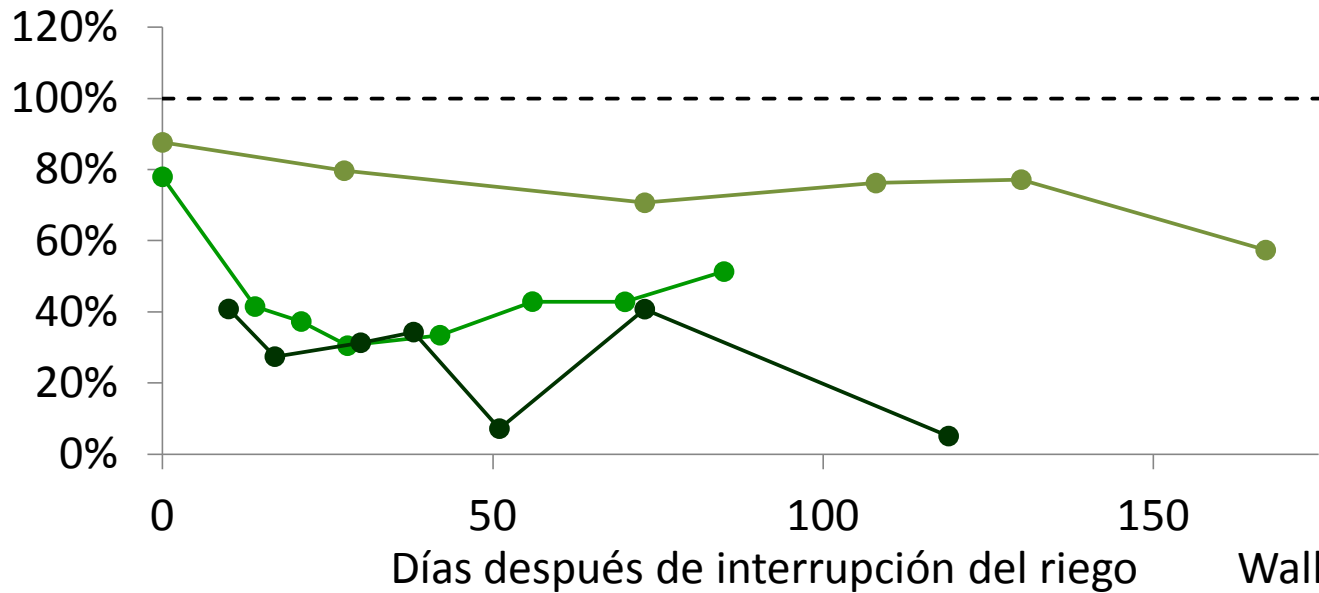
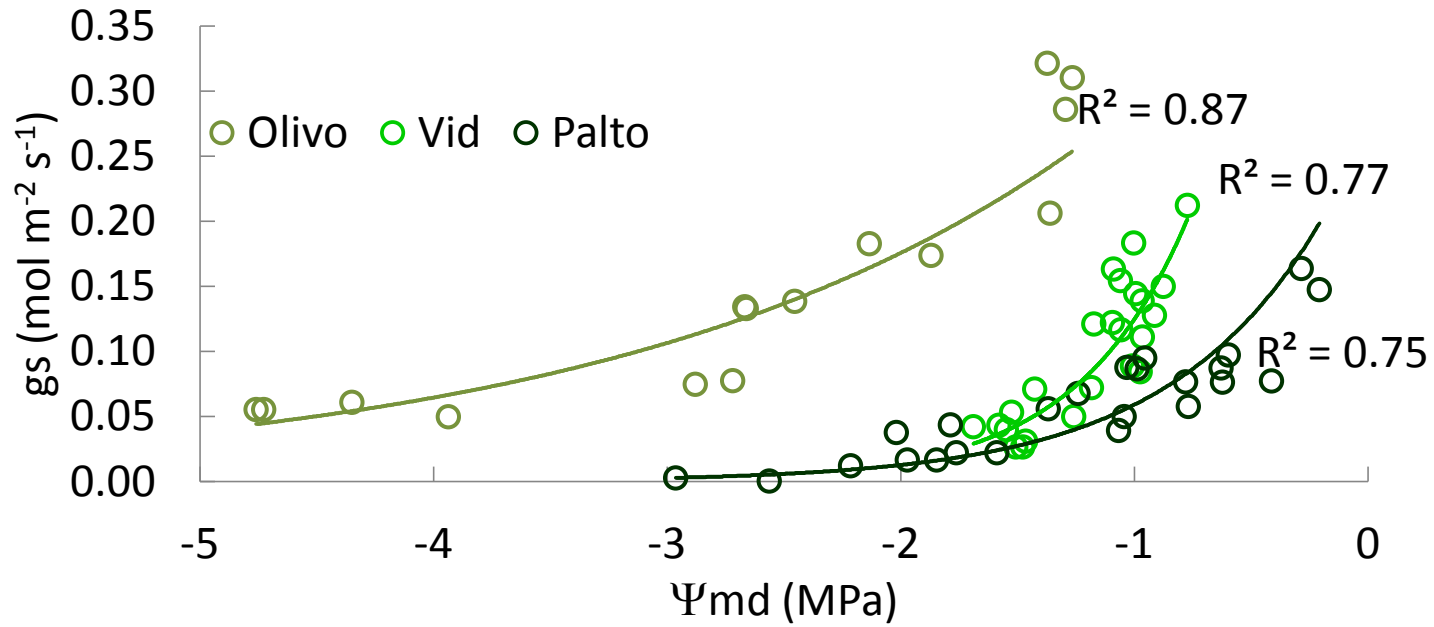
Riego => menos... pero se sigue regando

Deficitario => se reduce la cantidad **¿CUÁNTO?**

Controlado => en períodos que no afecte mayormente rendimiento y calidad **¿CUÁNDO?**

Riego Excesivo Descontrolado (RED)





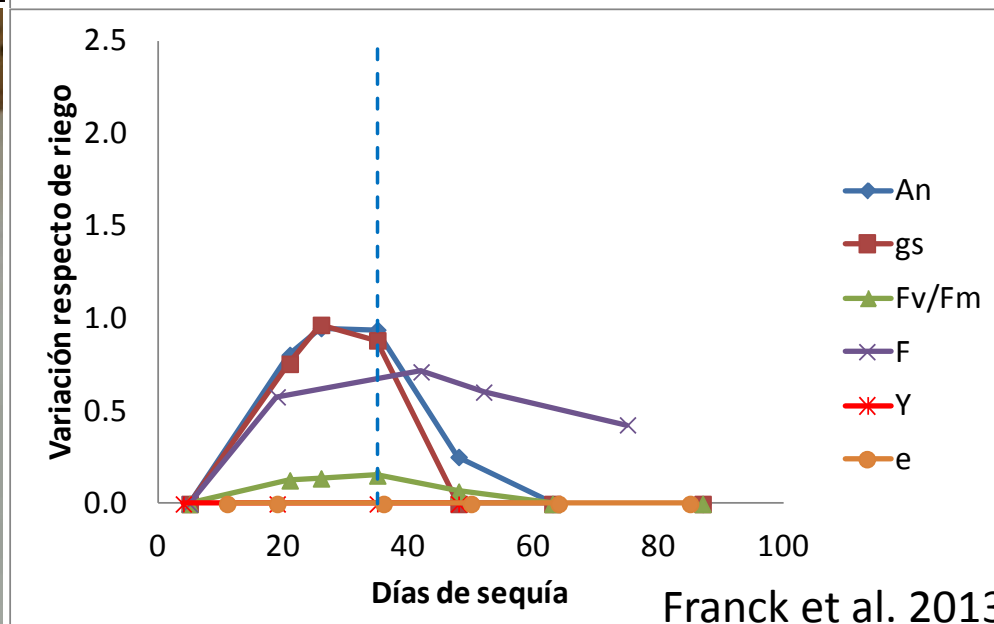
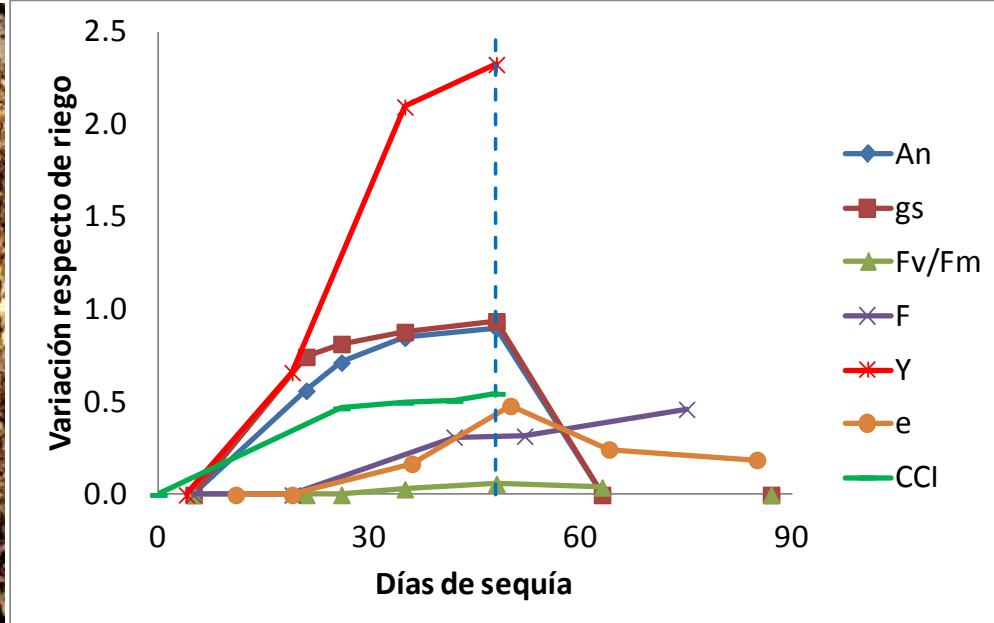
Riego Deficitario Controlado (RDC)

Riego => menos... pero se sigue regando

Deficitario => se reduce la cantidad **¿CUÁNTO?**

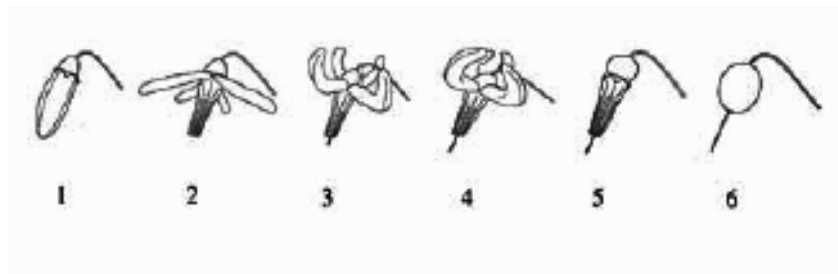
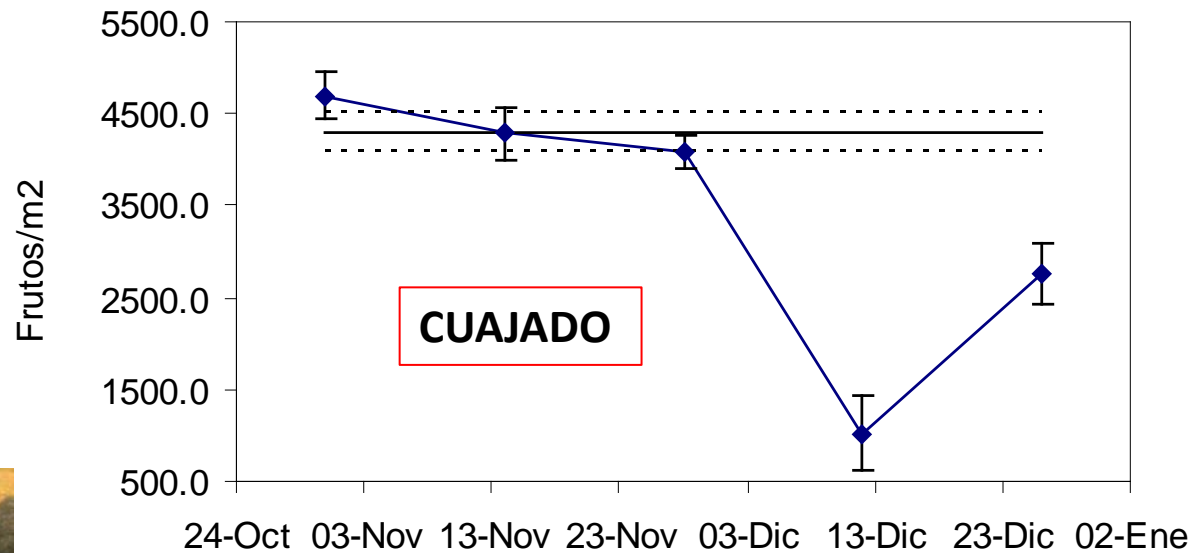
Controlado => en períodos que no afecte mayormente rendimiento y calidad **¿CUÁNDO?**

Riego Deficitario Controlado (RDC)



Riego Deficitario Controlado (RDC)

NUNCA EN FASE CRÍTICA!!!

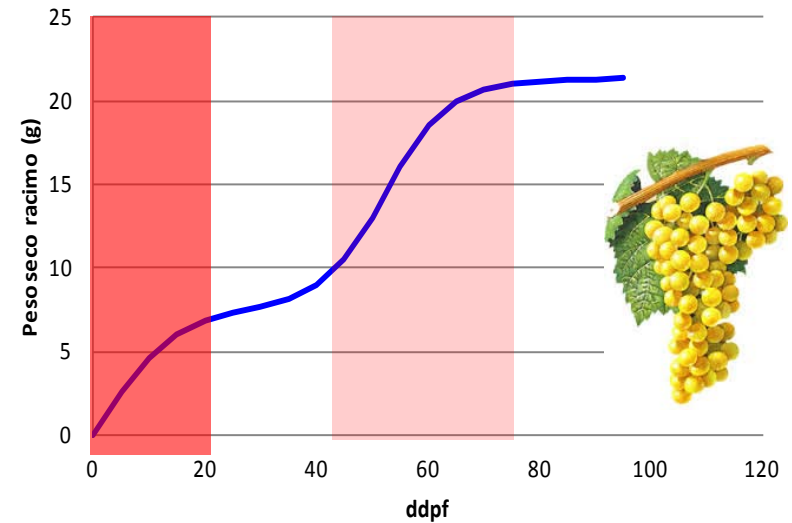
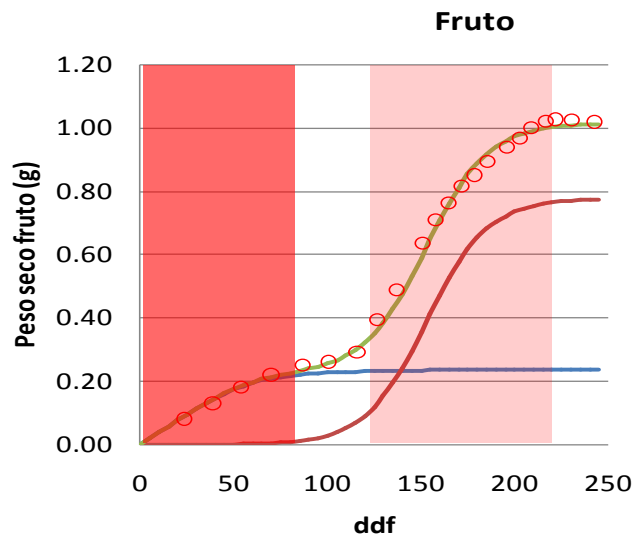


Riego Deficitario Controlado (RDC)

NUNCA EN FASE SENSIBLE DEL CALIBRE!!!

OLIVO

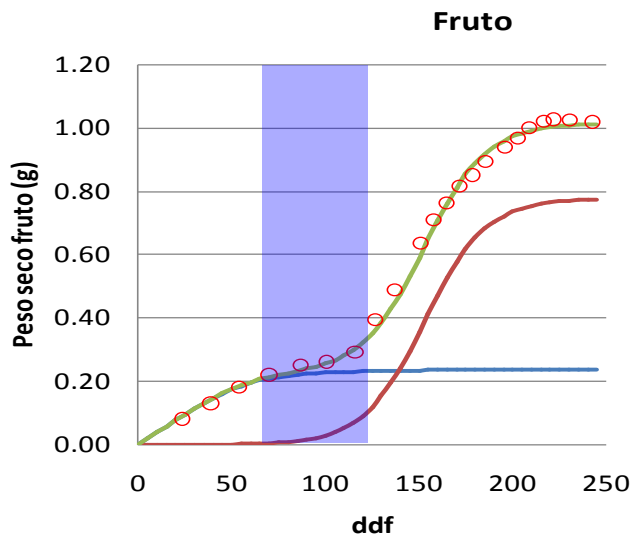
VID



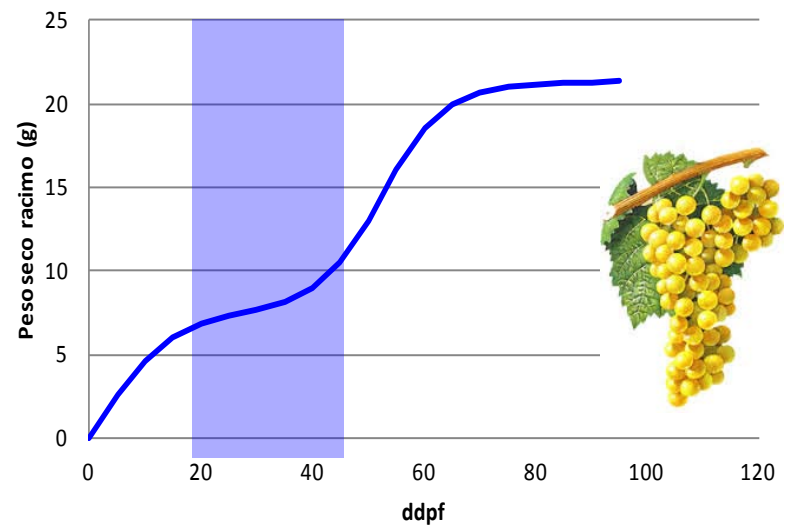
Riego Deficitario Controlado (RDC)

¿VENTANAS?

OLIVO

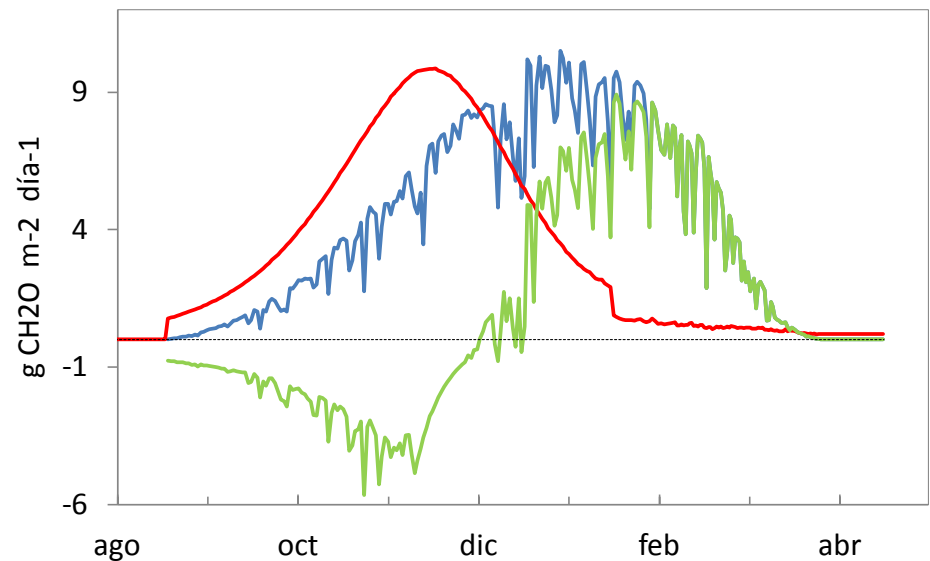
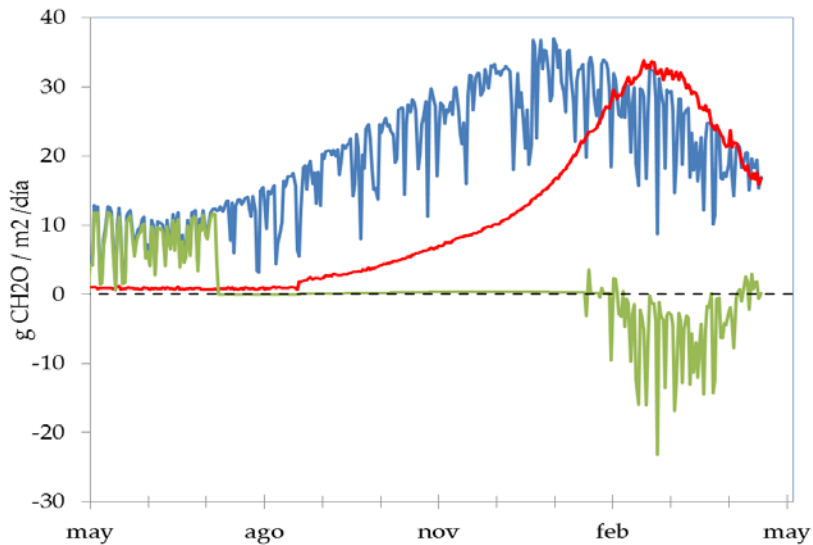


VID



Riego Deficitario Controlado (RDC)

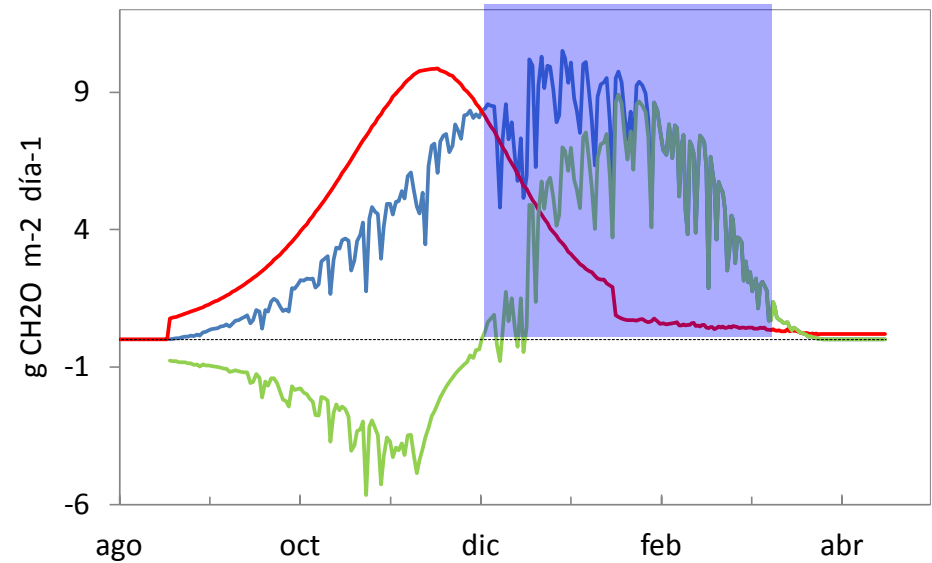
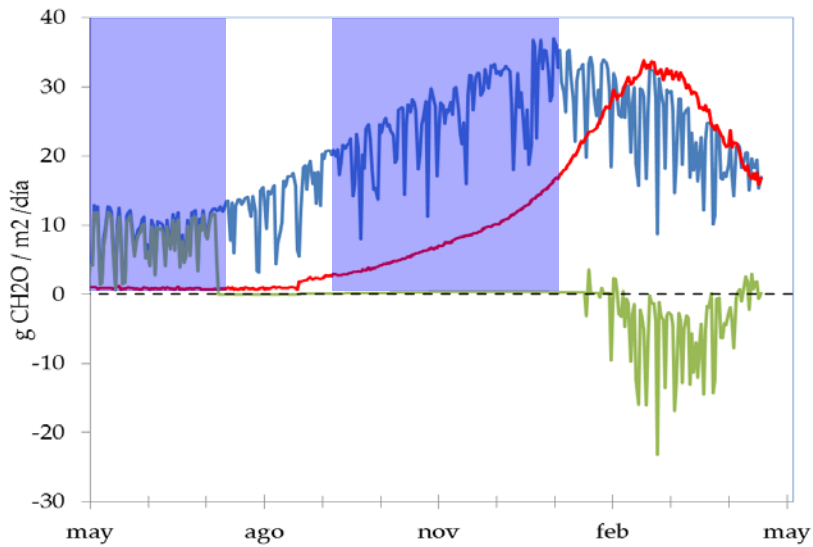
¿VENTANAS?



Asimilación de C (fotosíntesis) **Demanda C (crecimiento y respiración)** **Flujos de reservas de C**

Riego Deficitario Controlado (RDC)

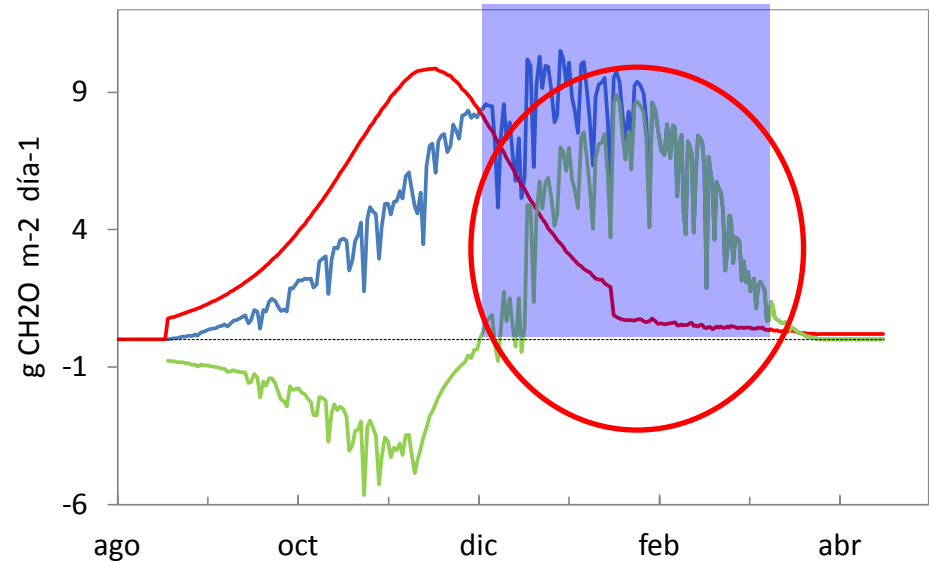
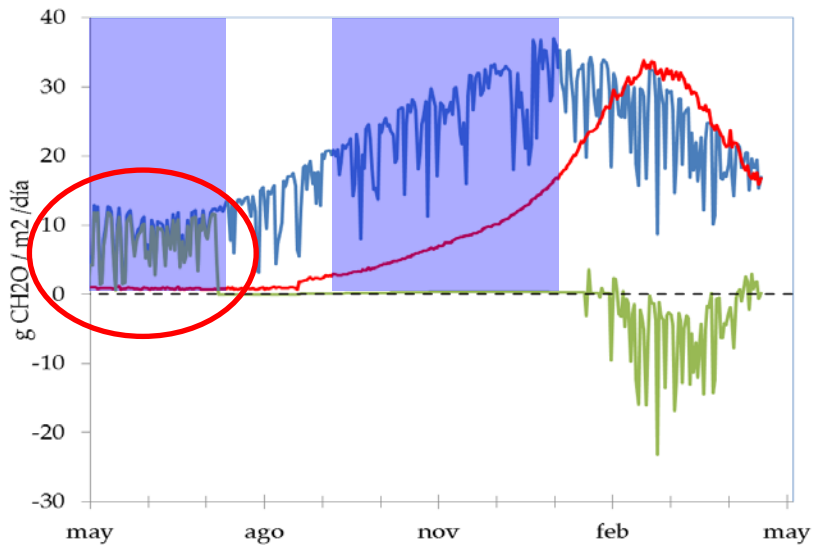
¿VENTANAS?



Asimilación de C (fotosíntesis) Demanda C (crecimiento y respiración) Flujos de reservas de C

Riego Deficitario Controlado (RDC)

OJO CON RESRERVAS!!!



Asimilación de C (fotosíntesis) Demanda C (crecimiento y respiración) Flujos de reservas de C

Riego Deficitario Controlado (RDC)

OJO CON RESRERVAS!!!

EUA agronómica

Temporada actual...
...y las siguientes!

kg Fruta

m³ de agua regada



Riego Deficitario Controlado (RDC)

OJO CON RESRERVAS Y SITIOS FLORALES!!!

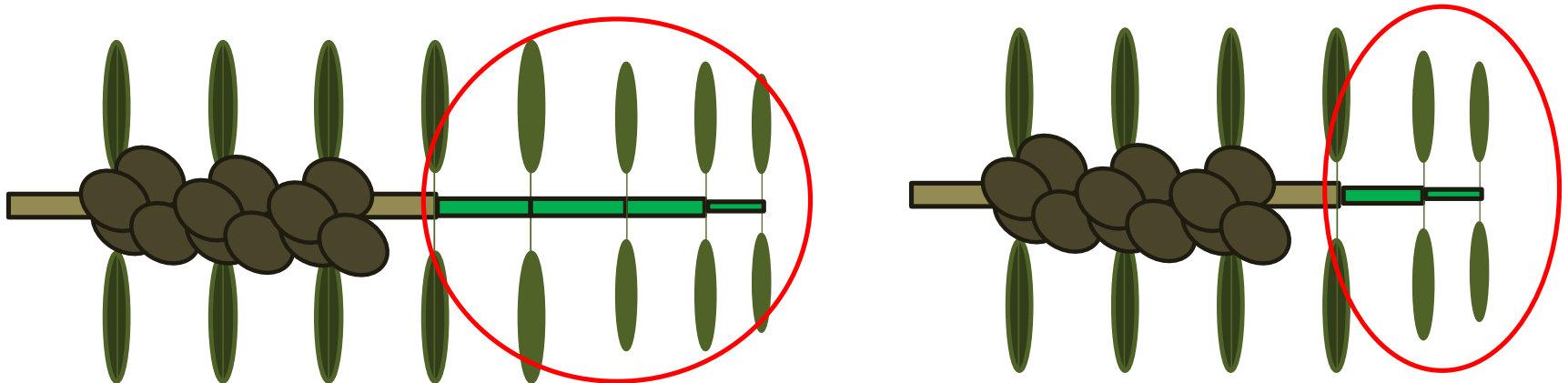
EUA agronómica

Temporada actual...
...y las siguientes!

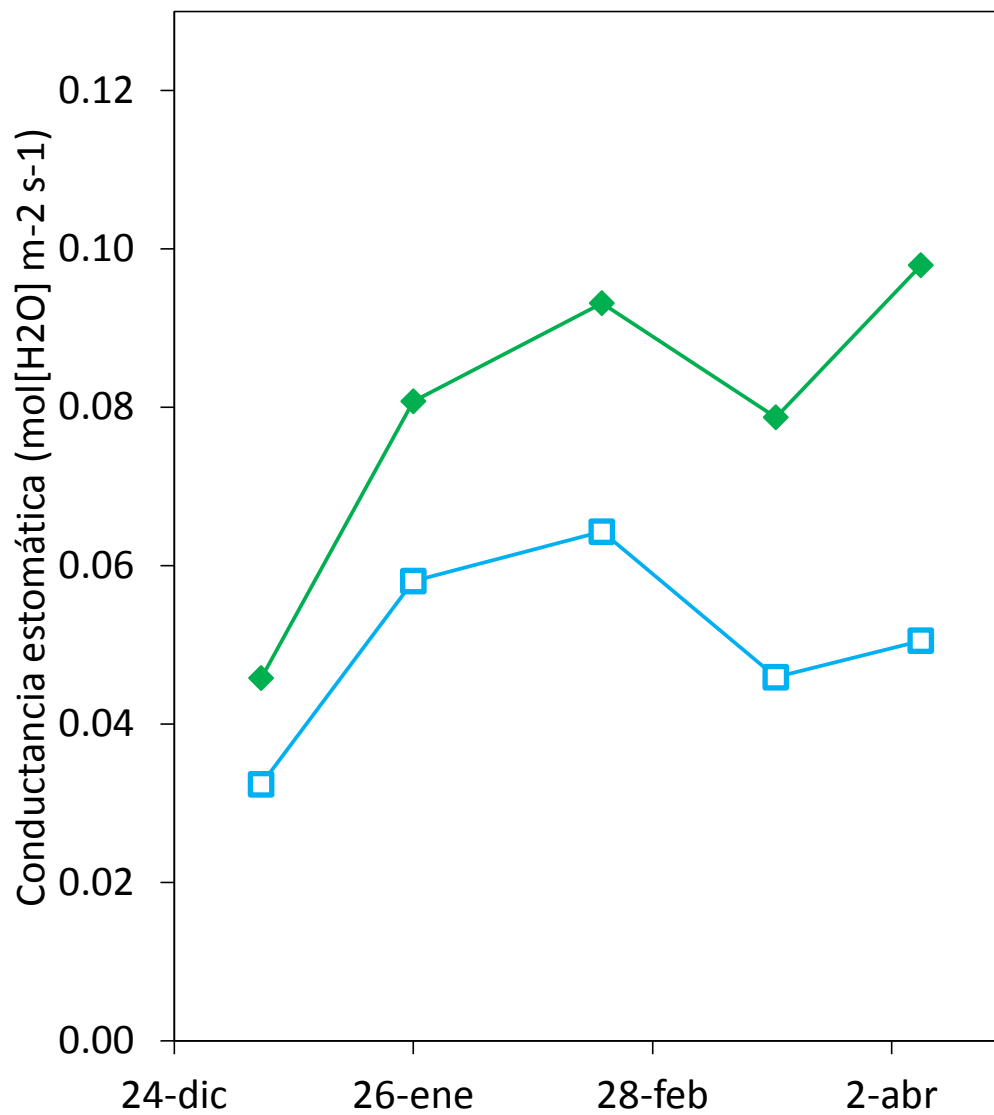
kg Fruta



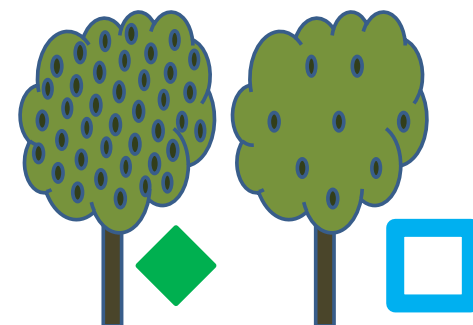
m³ de agua regada



Riego Deficitario Controlado (RDC)

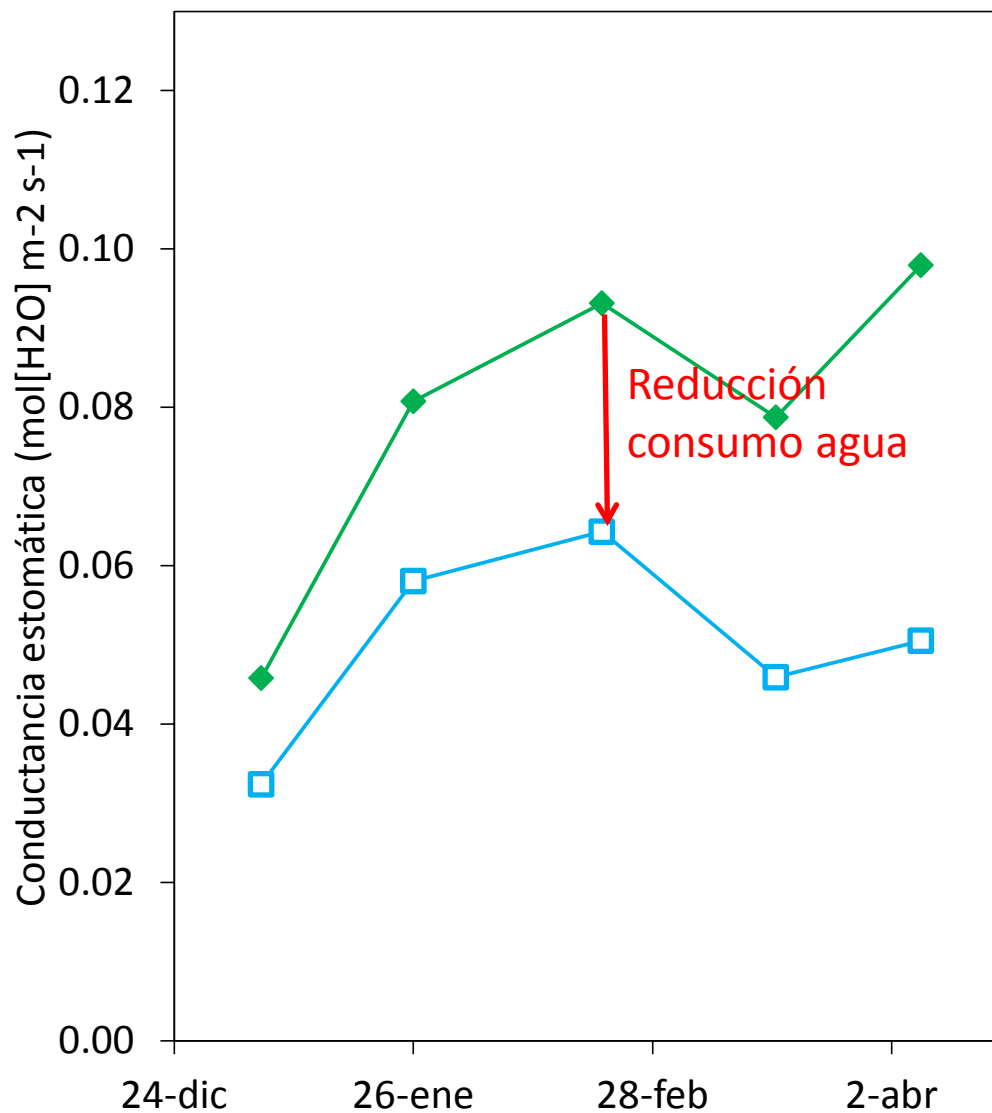


OLIVO

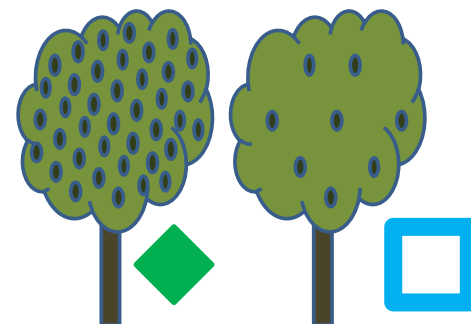


Meza et al. 2013

Riego Deficitario Controlado (RDC)



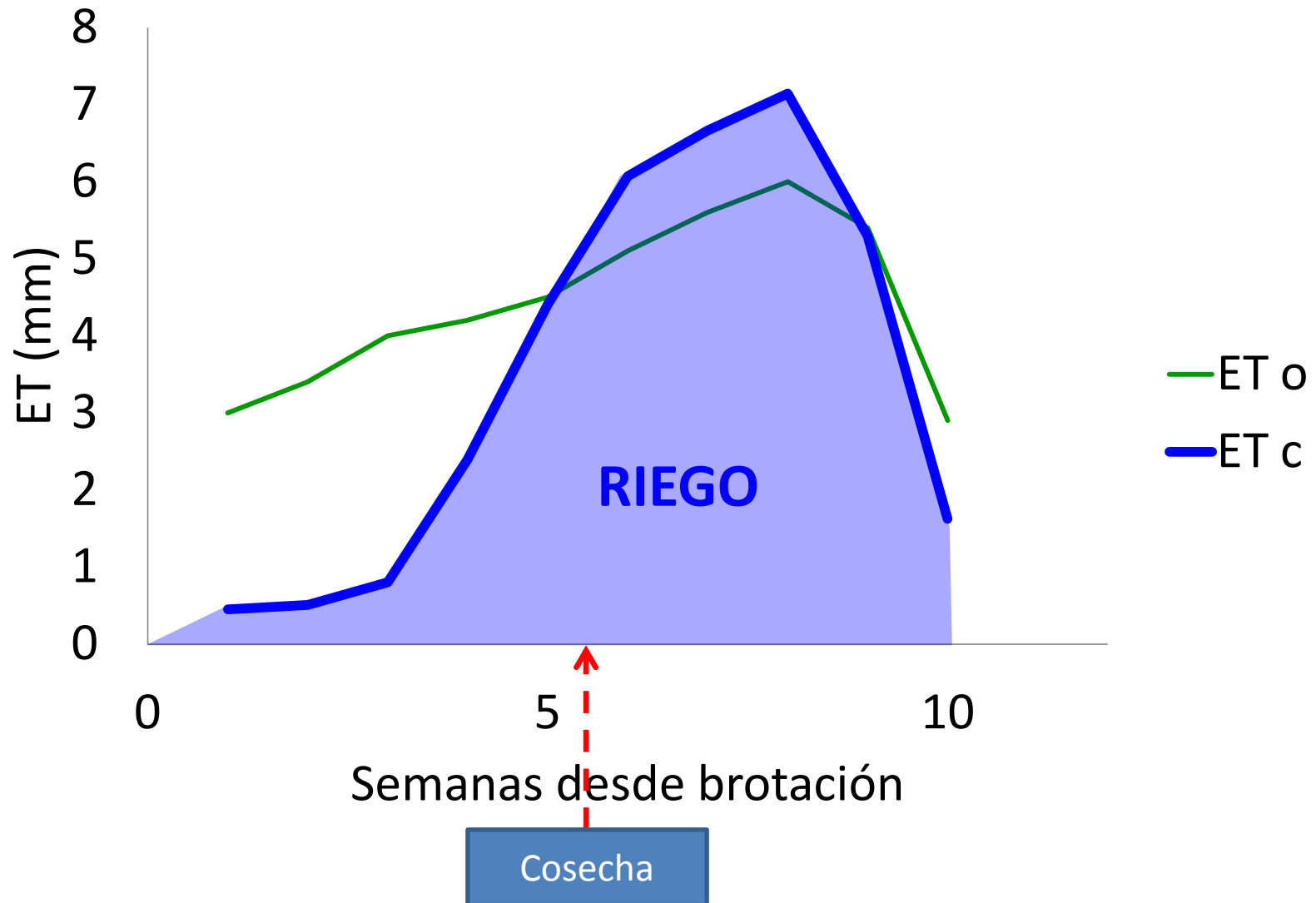
OLIVO



Meza et al. 2013

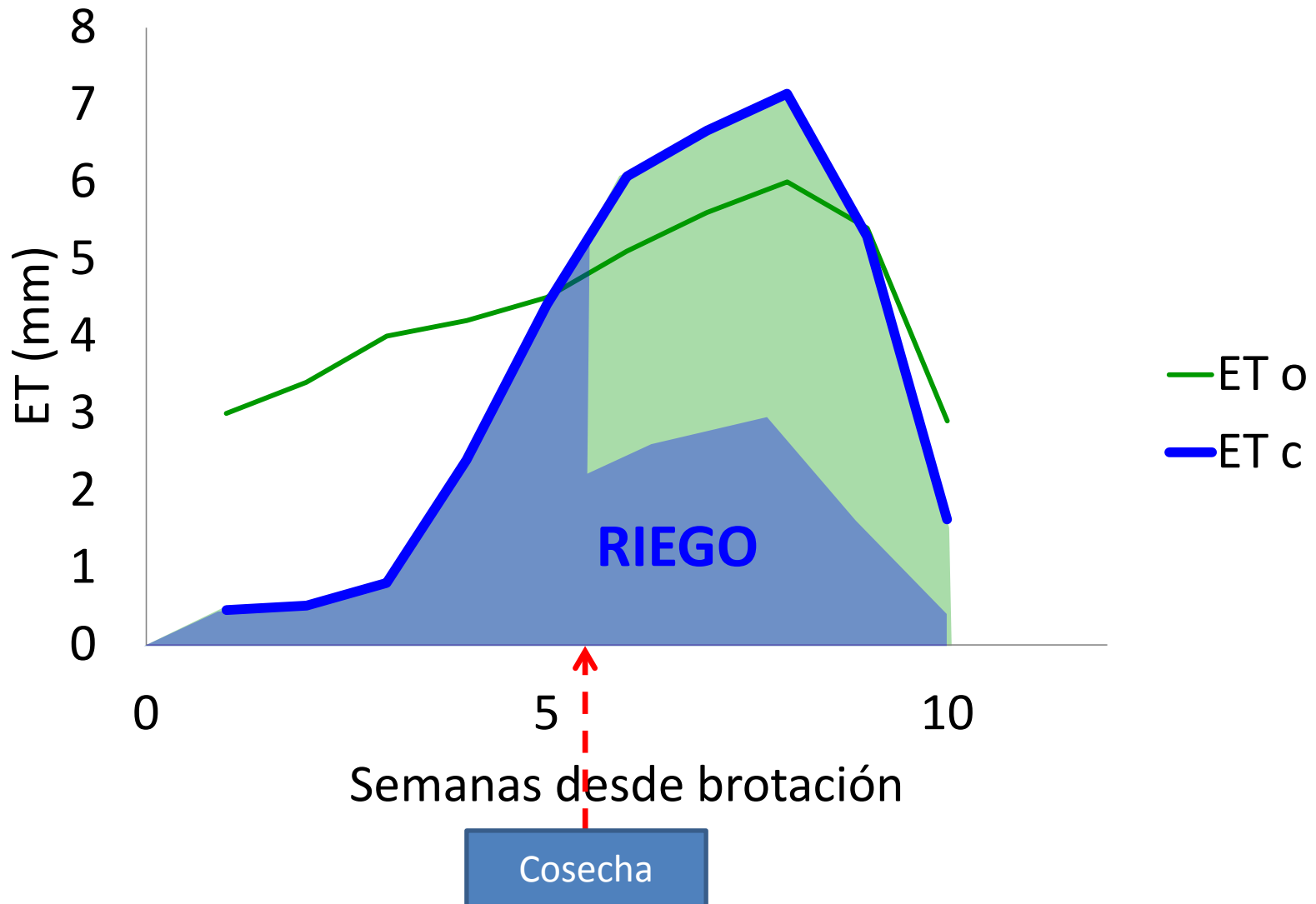
Riego Deficitario Controlado (RDC)

Evolución estacional ETo y ETc



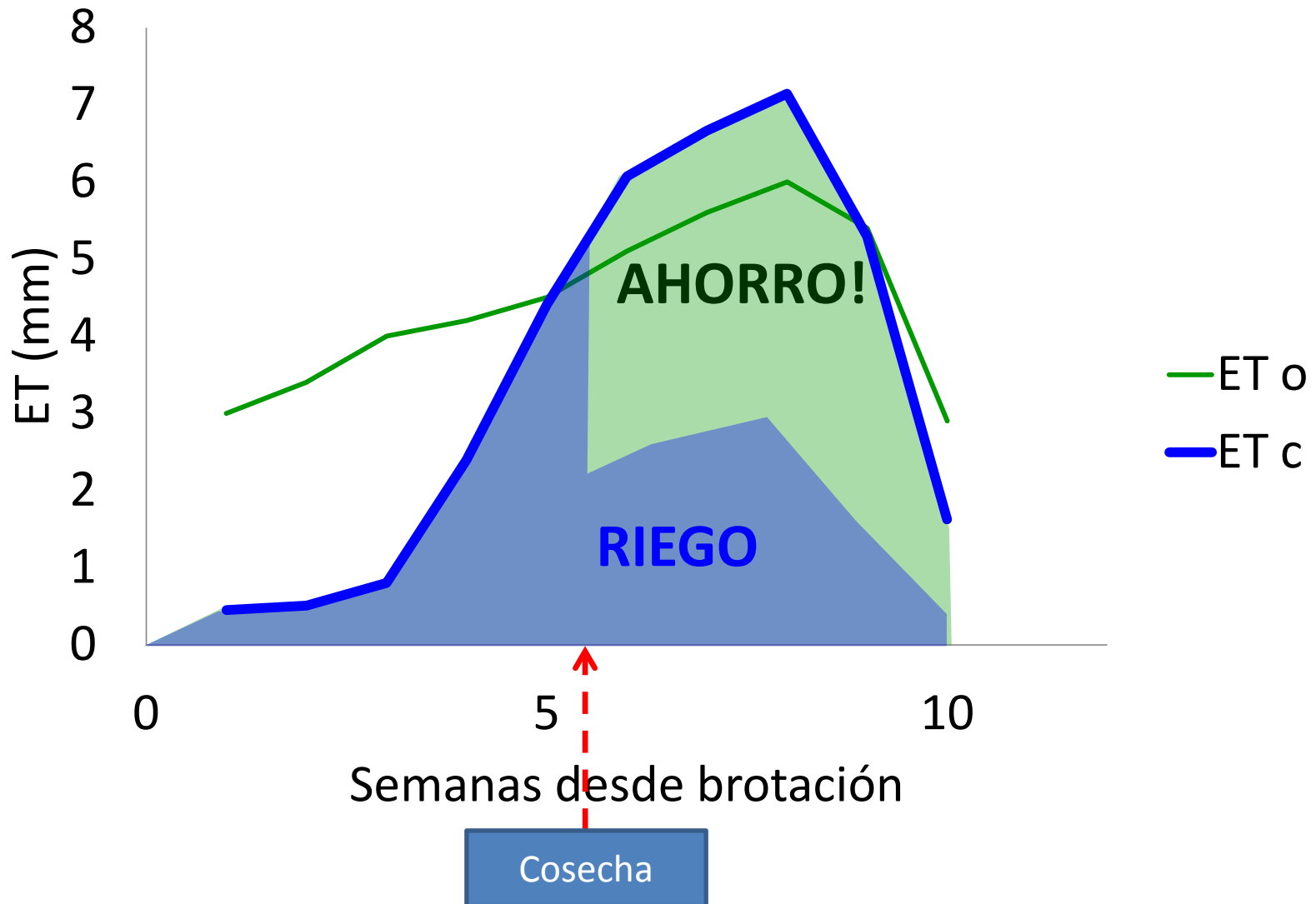
Riego Deficitario Controlado (RDC)

Evolución estacional ETo y ETc



Riego Deficitario Controlado (RDC)

Evolución estacional ETo y ETc



Riego Deficitario Controlado (RDC)

Riego => menos... pero se sigue regando

Deficitario => se reduce la cantidad **¿CUÁNTO?**

Controlado => en períodos que no afecte mayormente
rendimiento y calidad **¿CUÁNDO?**

..... **¿DÓNDE?**

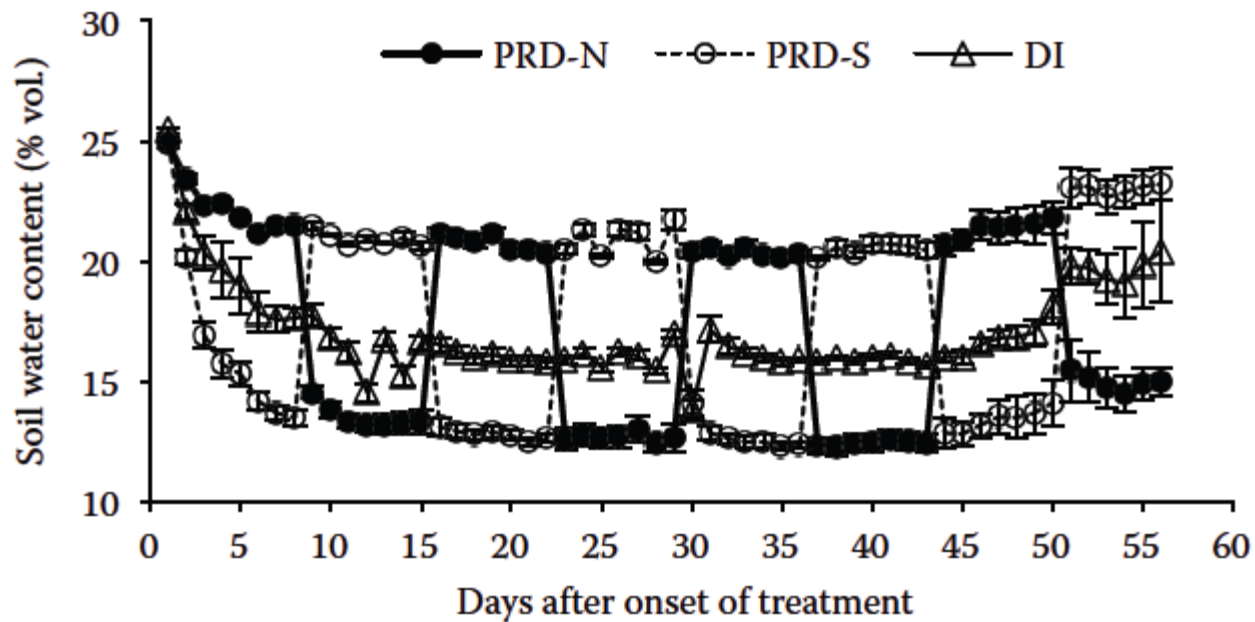
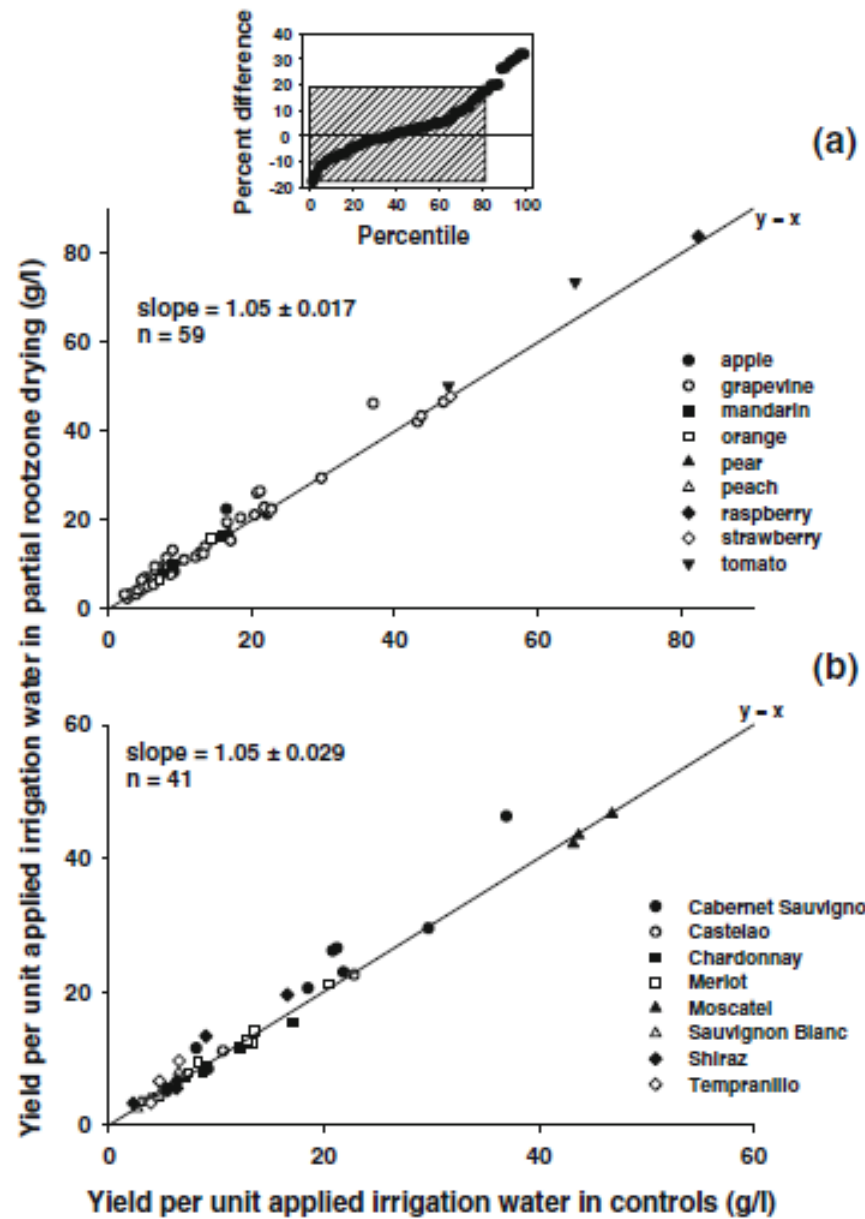
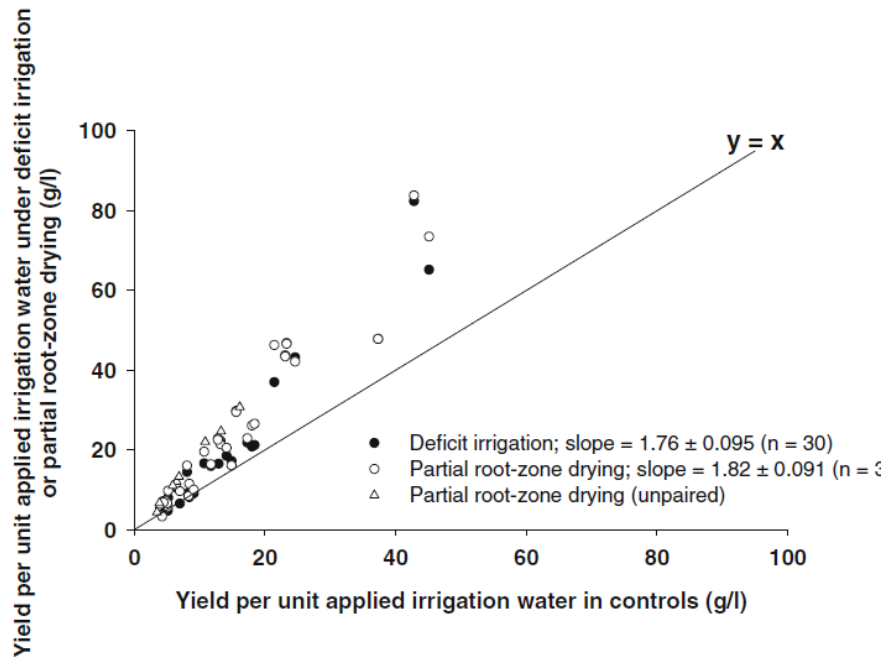


Table 1. Effect of alternate partial root-zone drying (PRD) irrigation and deficit irrigation (DI) on fruit yield, fruit firmness and fruit total soluble solids (TSS) concentration in tomato

Factor	Yield (kg/plant)	Firmness (kg/cm ²)	TSS (°Brix)
PRD	1.21 ± 0.01	7.04 ± 0.24	6.26 ± 0.24
DI	1.22 ± 0.03	5.86 ± 0.21	5.27 ± 0.10
<i>P</i> -value	0.879	0.007	0.048



EXPERIENCIA CON FRUTALES EN LA REGIÓN DE COQUIMBO



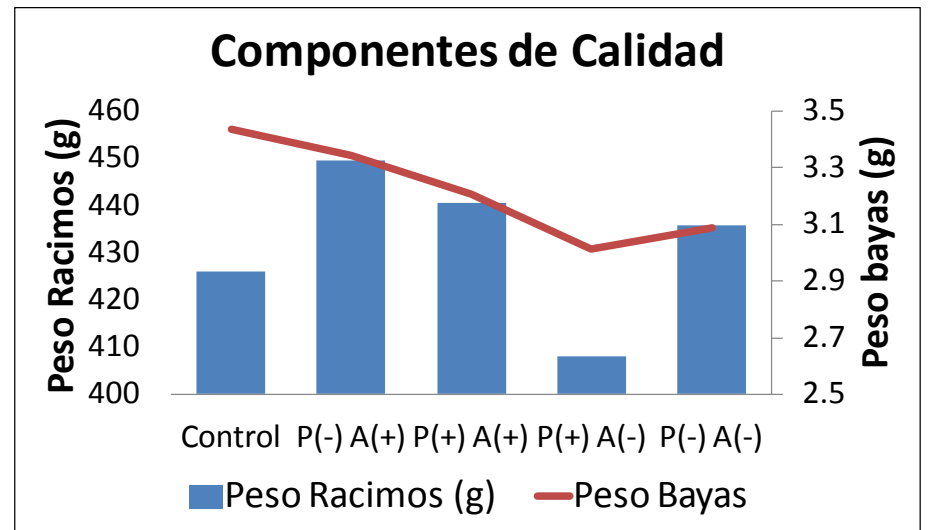
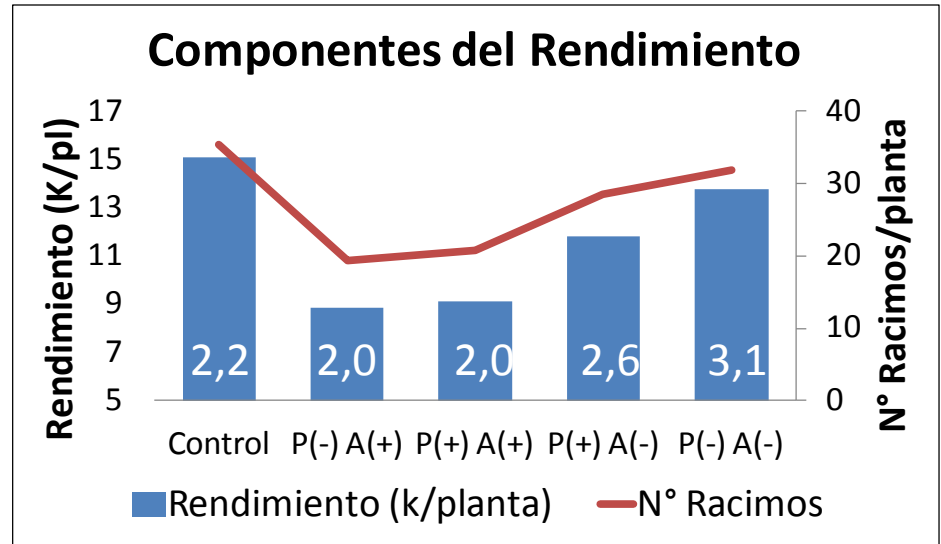
Experiencias en frutales: Uva de mesa

Tratamiento	Factor Poda	Factor Ajuste de Carga
Control	Sin Poda	Sin Ajuste
P(-) A(+)	Sin Poda	Con Ajuste
P(+) A(+)	Con Poda	Con Ajuste
P(+) A(-)	Con Poda	Sin Ajuste
P(-) A(-)	Sin Poda	Sin Ajuste

Poda: 25% IAF

Ajuste carga: -40%

Ahorro riego: 35%



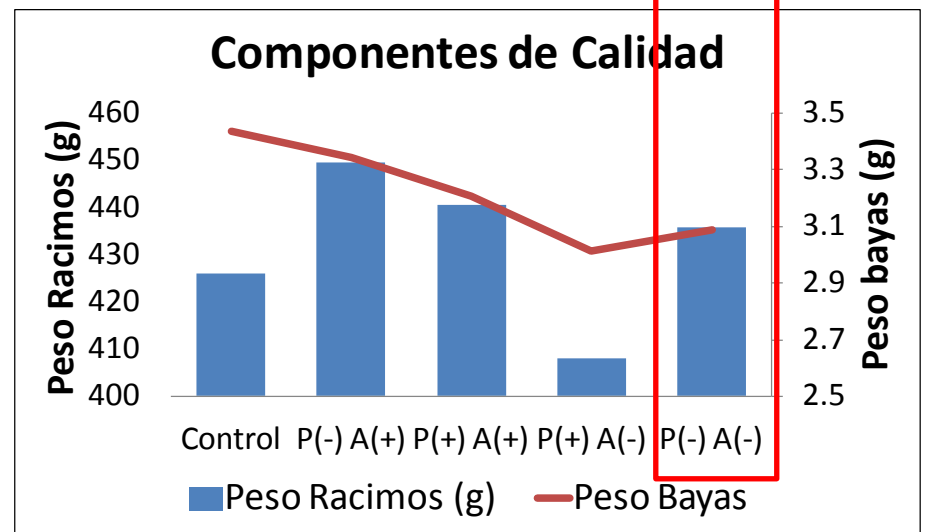
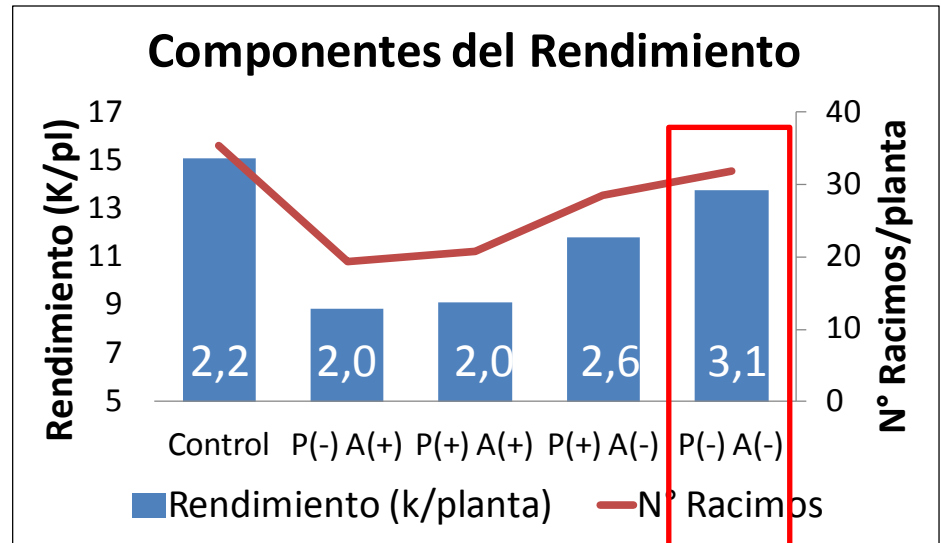
Experiencias en frutales: Uva de mesa

Tratamiento	Factor Poda	Factor Ajuste de Carga
Control	Sin Poda	Sin Ajuste
P(-) A(+)	Sin Poda	Con Ajuste
P(+) A(+)	Con Poda	Con Ajuste
P(+) A(-)	Con Poda	Sin Ajuste
P(-) A(-)	Sin Poda	Sin Ajuste

Poda: 25% IAF

Ajuste carga: -40%

Ahorro riego: 35%



Experiencias en frutales: Uva de mesa

Tratamiento	Riego pre-cosecha	Riego post-cosecha	Ác. Húmico	Poda
TC	100% ETc	100% ETc	NO	NO
H+P-	50% ETc	NO	SI	NO
H+P+	50% ETc	NO	SI	SI
H-P+	50% ETc	NO	NO	SI
H-P-	50% ETc	NO	NO	NO



Figura 1: estado de las plantas el 15 de octubre previo a la implementación de los tratamientos (A) y de las plantas de los tratamientos T0 (B), H+P- (E) y H-P+ (D) al 11 de marzo de 2014.

Experiencias en frutales: Uva de mesa

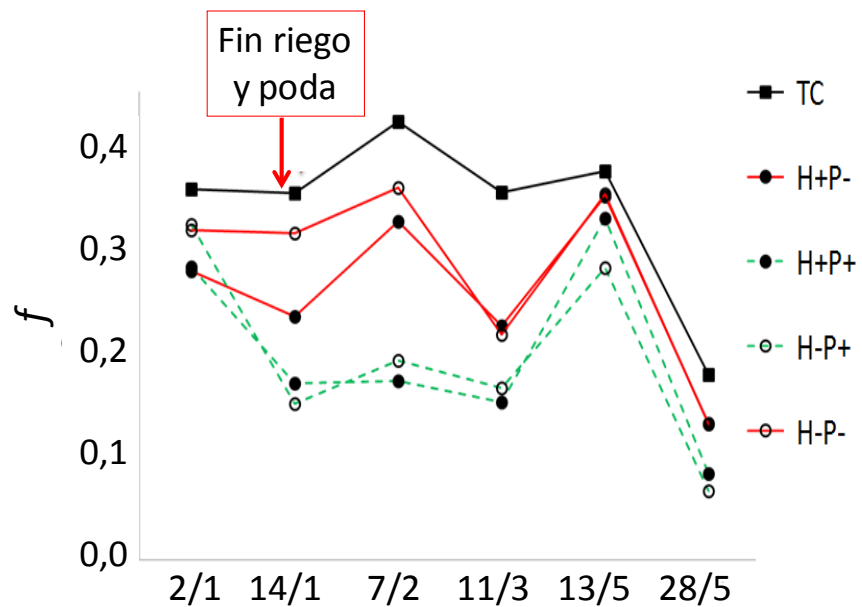


Figura 2: Fracción de radiación interceptada (f).

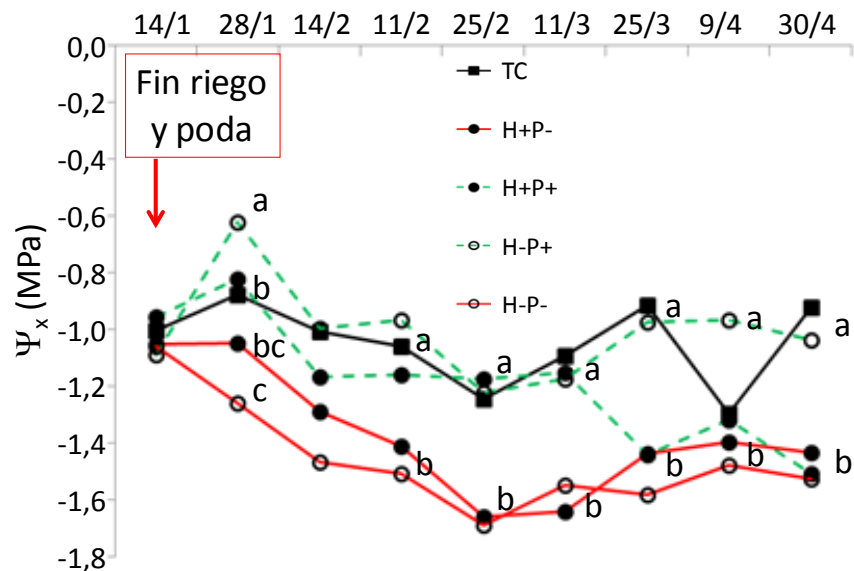


Figura 3: Potencial hídrico xilemático (Ψ_x).

Experiencias en frutales: Uva de mesa

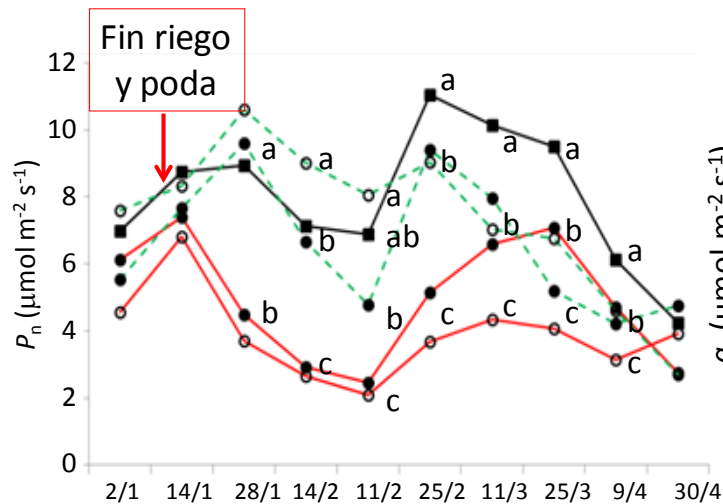


Figura 4: Fotosíntesis (P_n) antes y después de la implementación de la poda y la sequía

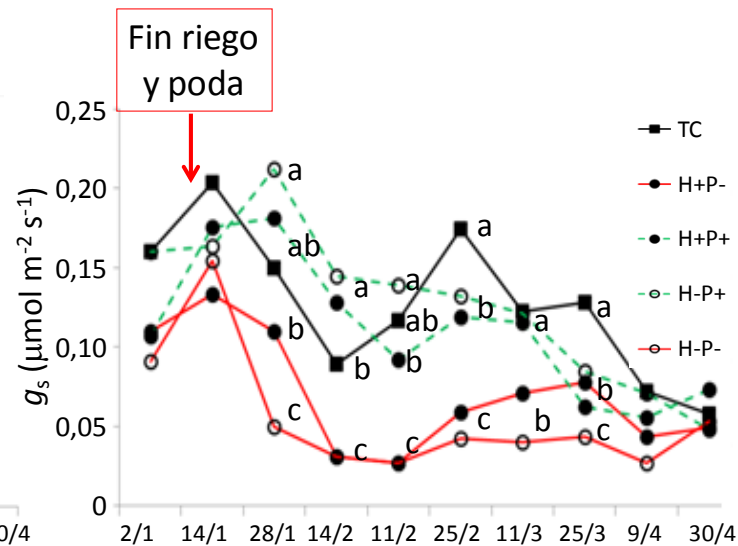


Figura 5: Conductancia estomática (g_s) antes y después de la implementación de la poda y la sequía

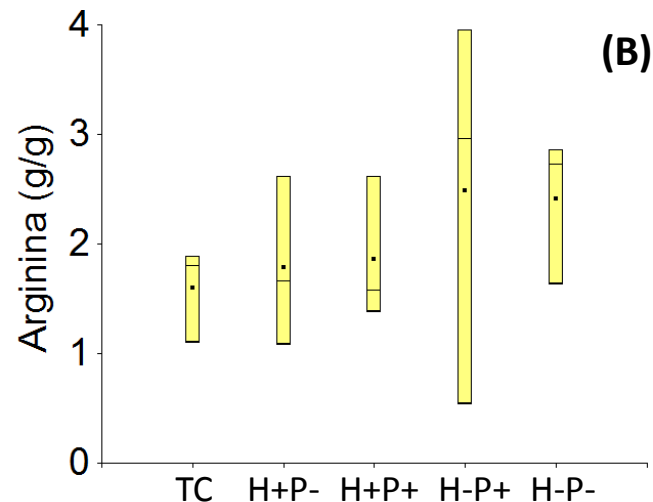
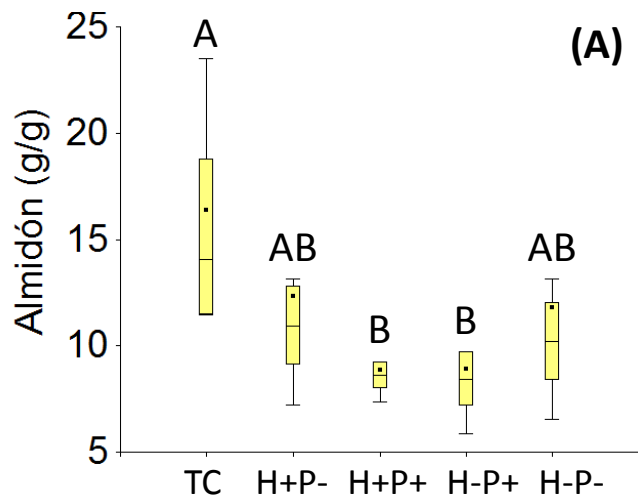
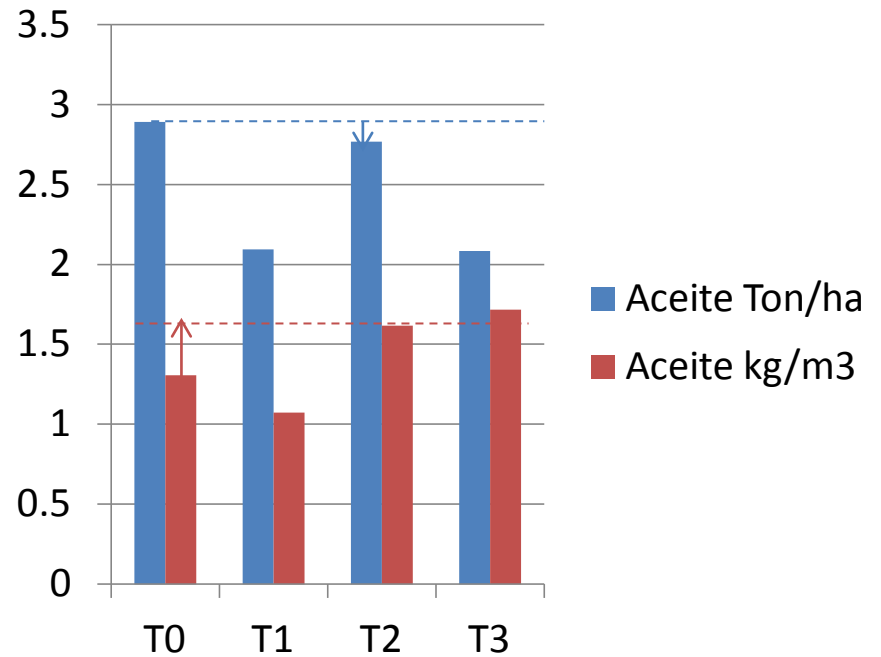
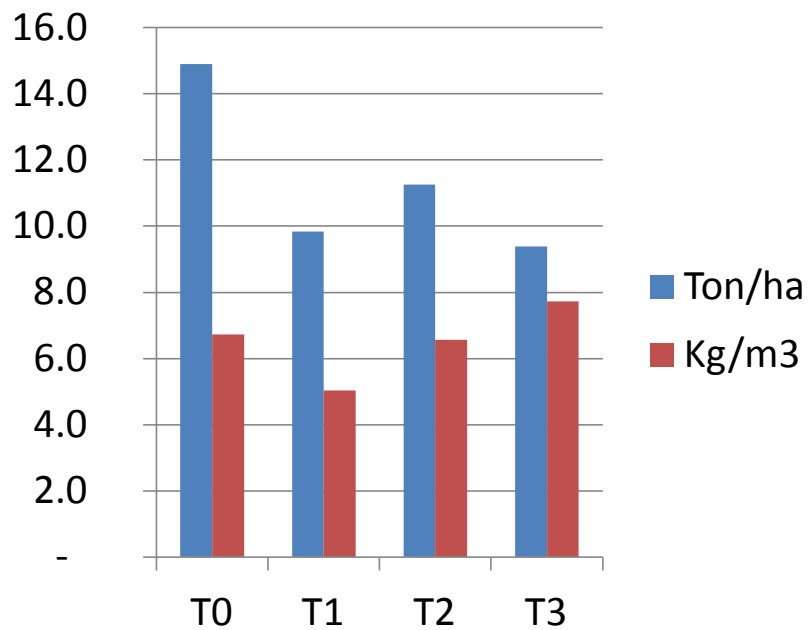


Figura 6: Concentración de almidón (A) y arginina (B) en las raíces en la etapa de receso invernal.

Experiencias en frutales: Olivo

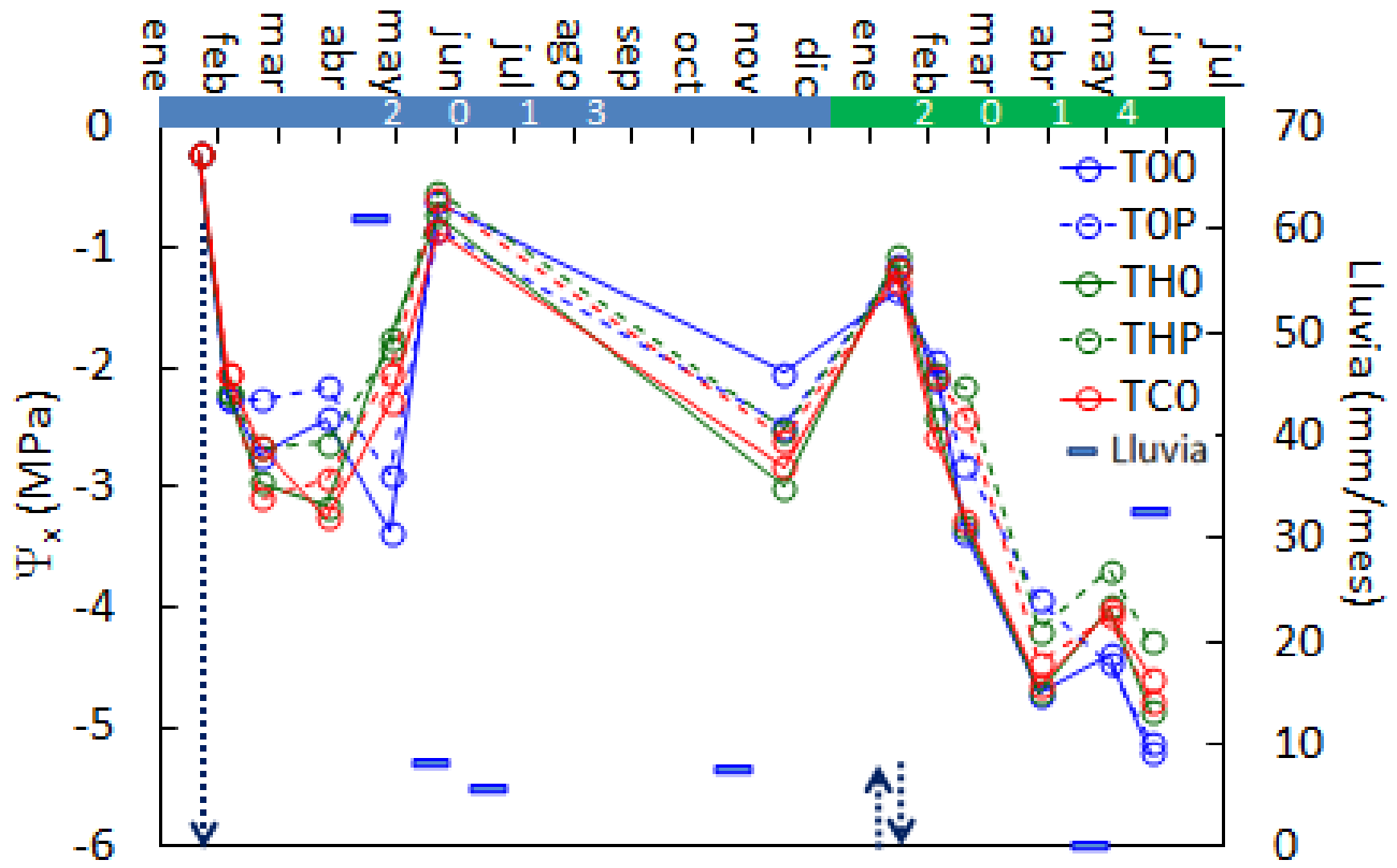
Tratamiento	Crecimiento Fruto			Consumo Riego (m3/ha)	Porcentaje Riego
	Fase I	Fase II	Fase III		
T0	100%	100%	100%	2.213	100%
T1	100%	50%	100%	1.953	88%
T2	100%	50%	50%	1.713	77%
T3	100%	0%	0%	1.213	55%



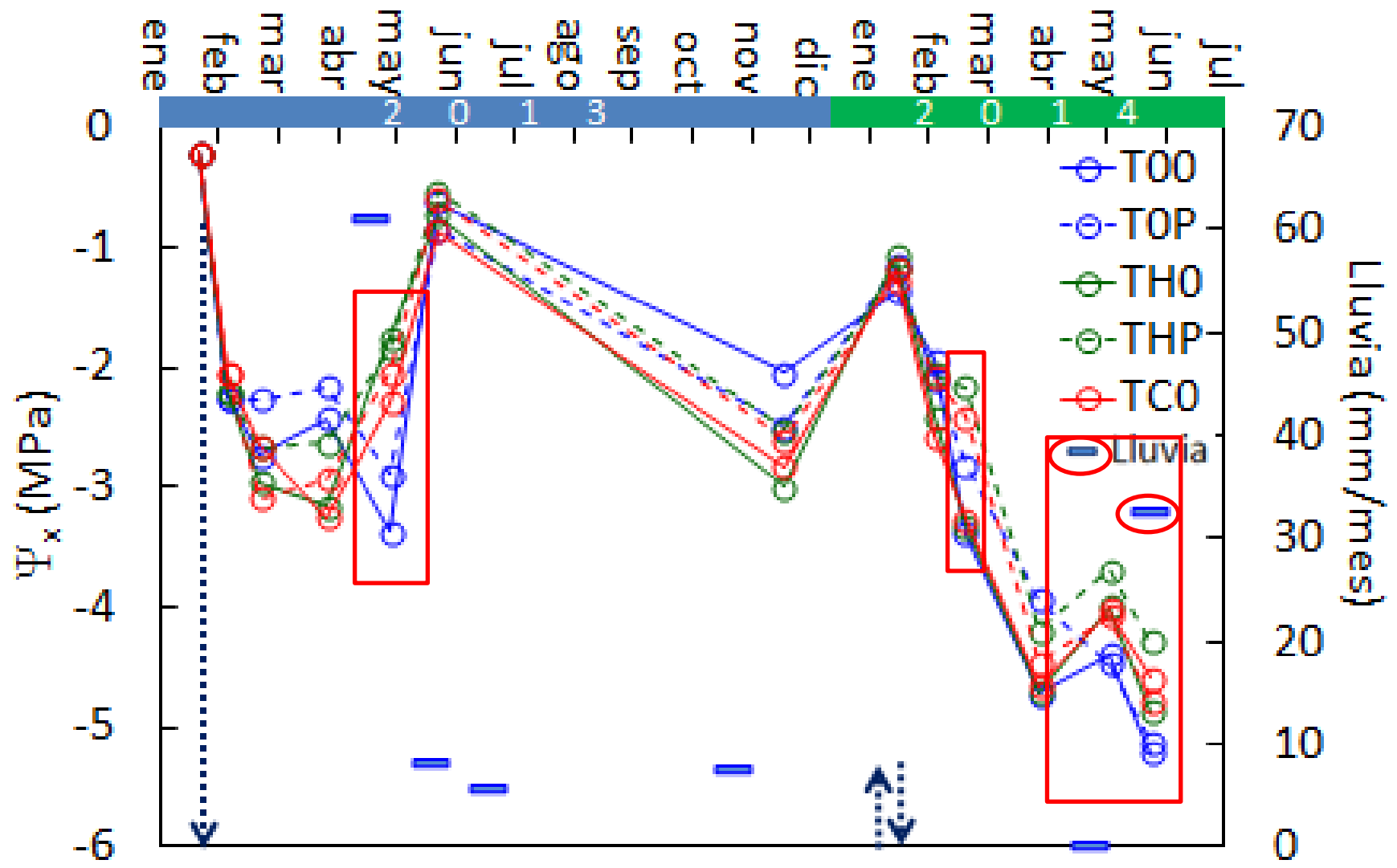
¿y cuando el agua no alcanza ni siquiera para RDC?



POTENCIAL HÍDRICO

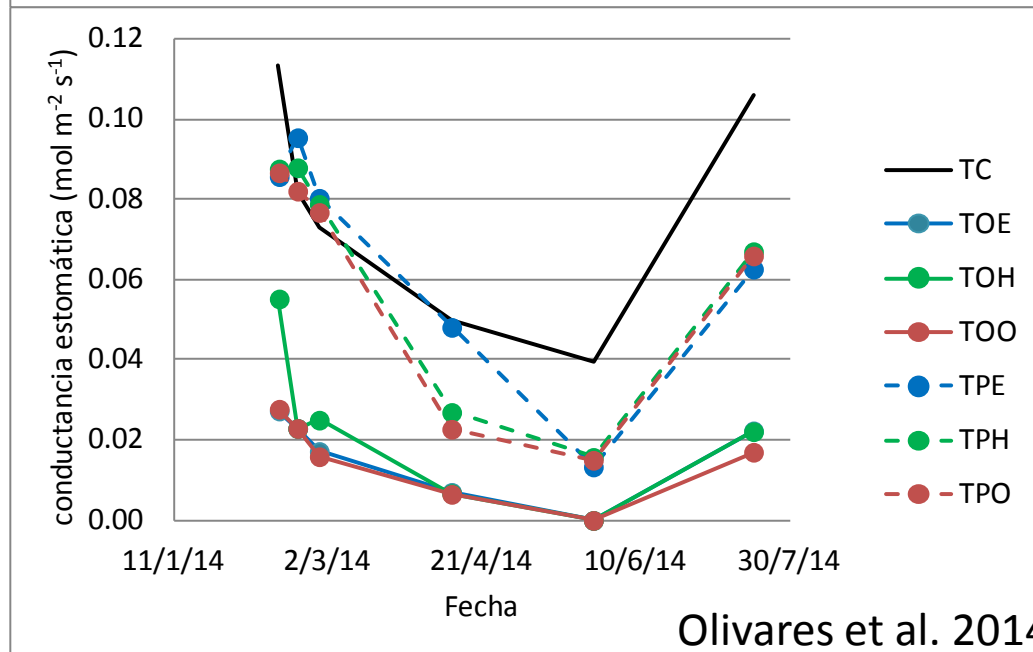
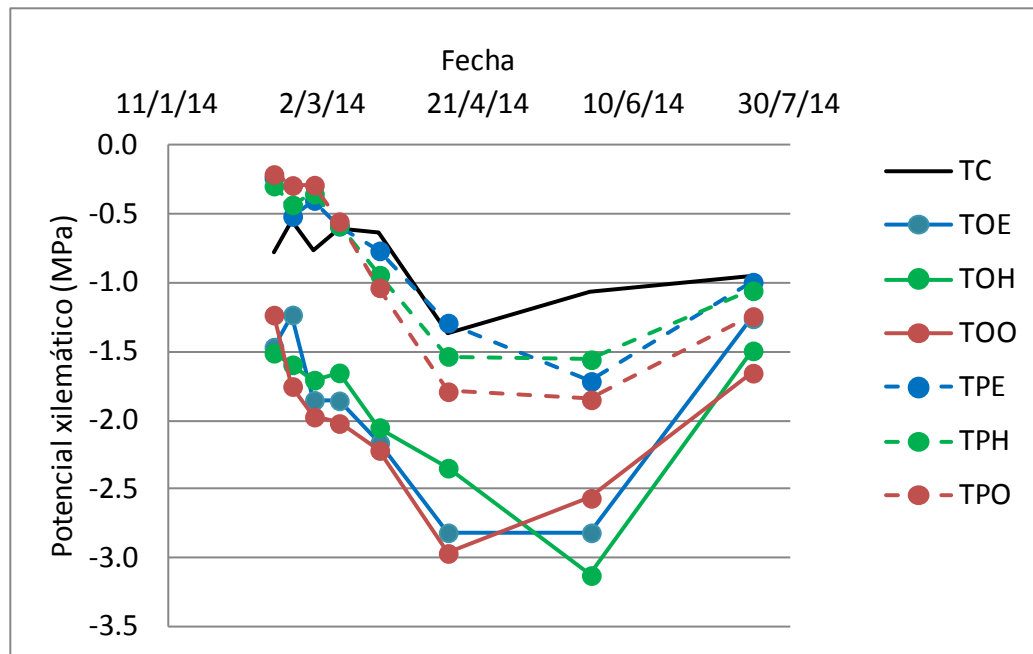


POTENCIAL HÍDRICO



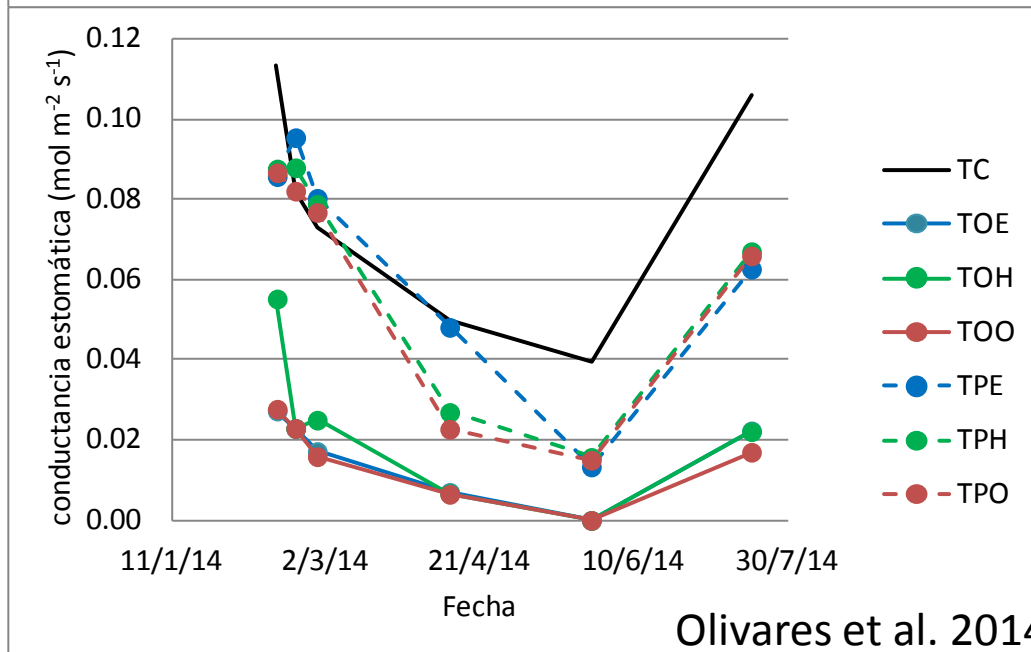
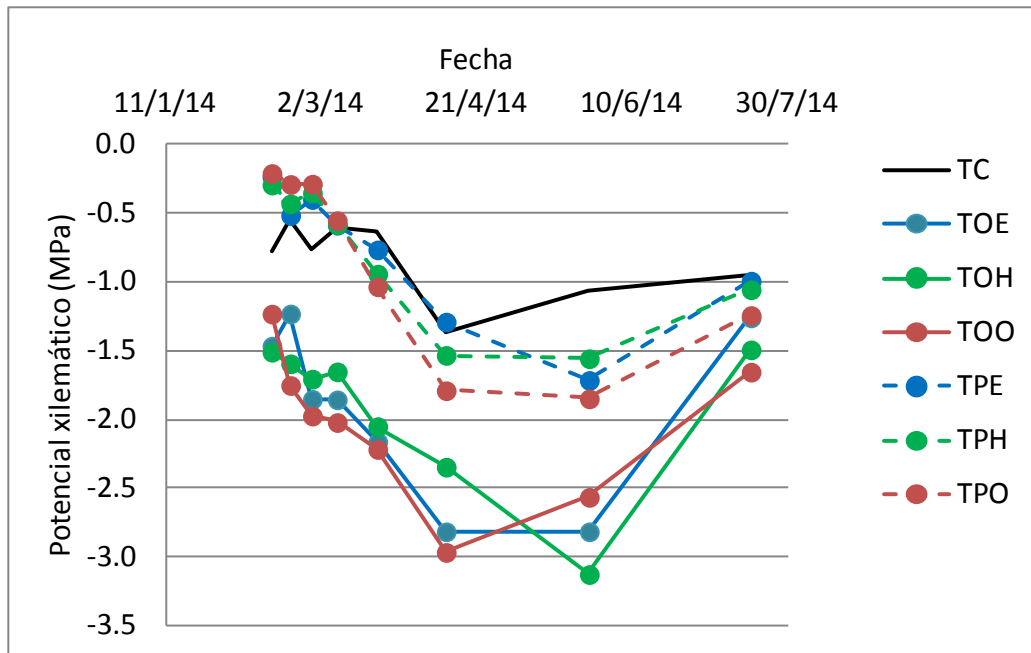
Experiencias en frutales: Palto

- Sin enmienda de suelo
- Ácido húmico
- Estiércol
- Sin poda
- - - Con poda
- Control (riego sin poda ni enmienda)

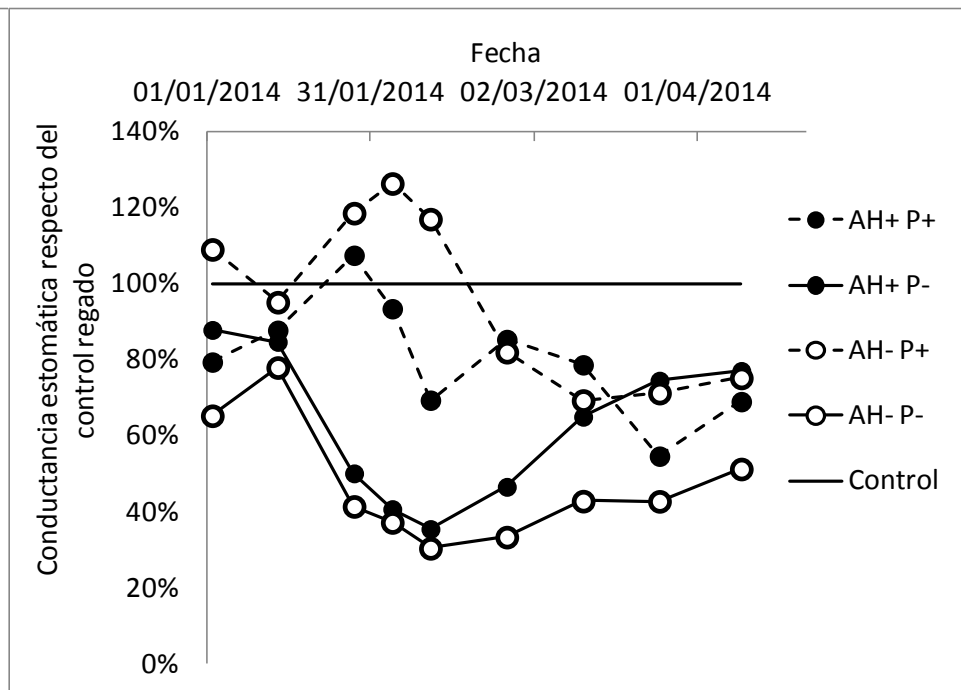
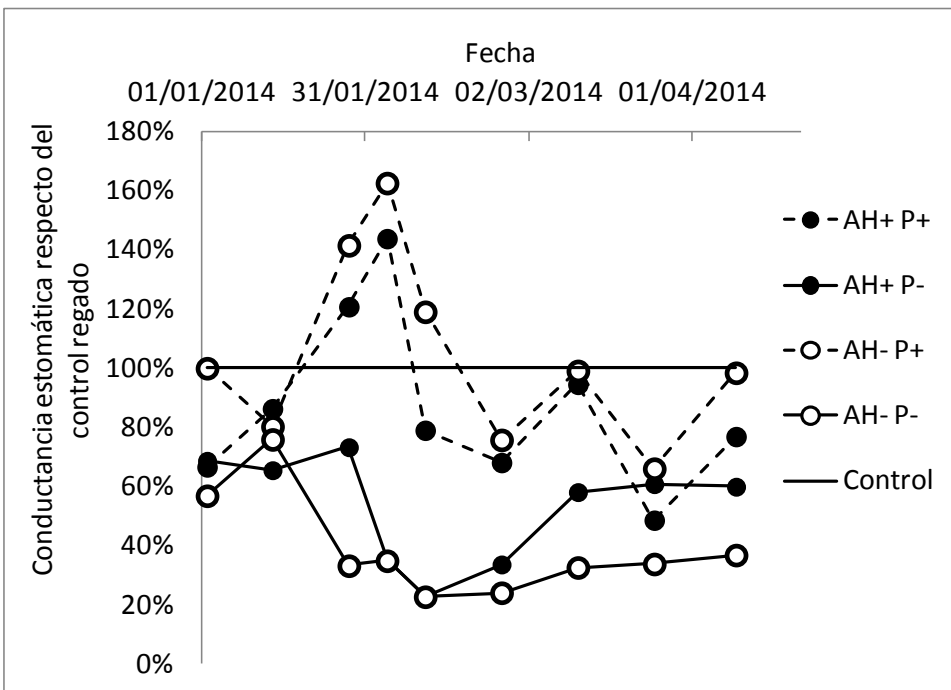


Experiencias en frutales: Palto

- ~~● Sin enmienda de suelo~~
- ~~● Ácido húmico~~
- ~~● Estiércol~~
- Sin poda
- - Con poda ✓
- Control (riego sin poda ni enmienda)



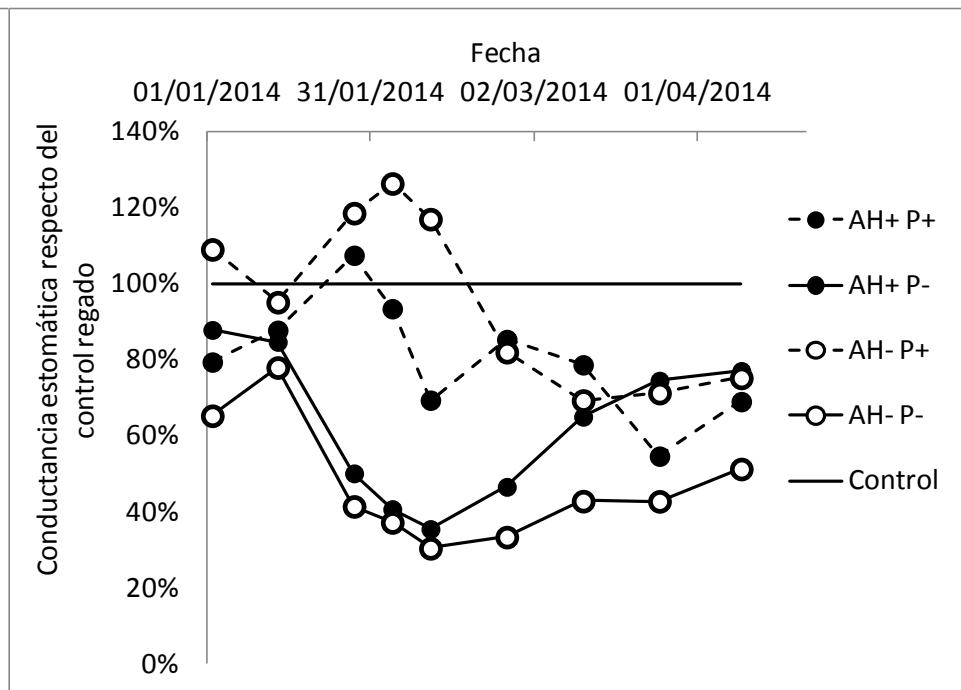
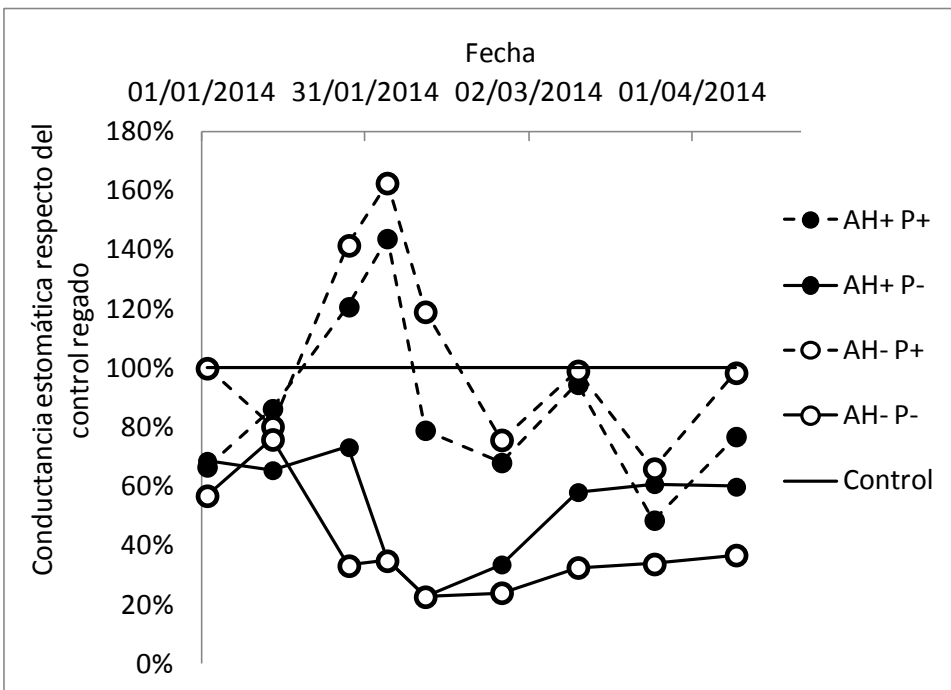
Experiencias en frutales: uva de mesa



- Ácido húmico
- Sin enmienda de suelo
- Sin poda
- - - Con poda



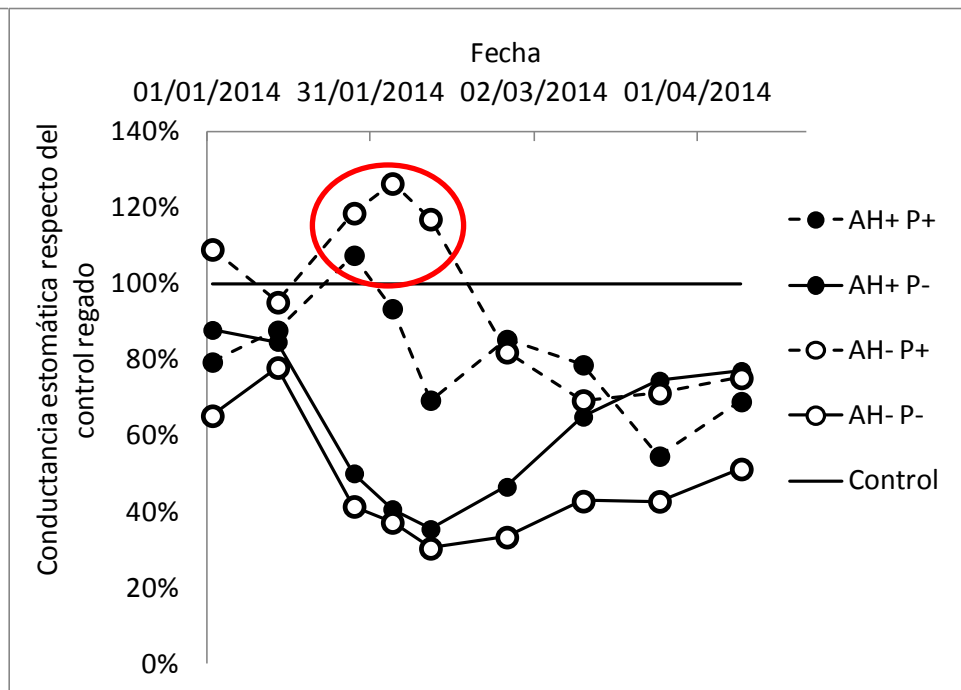
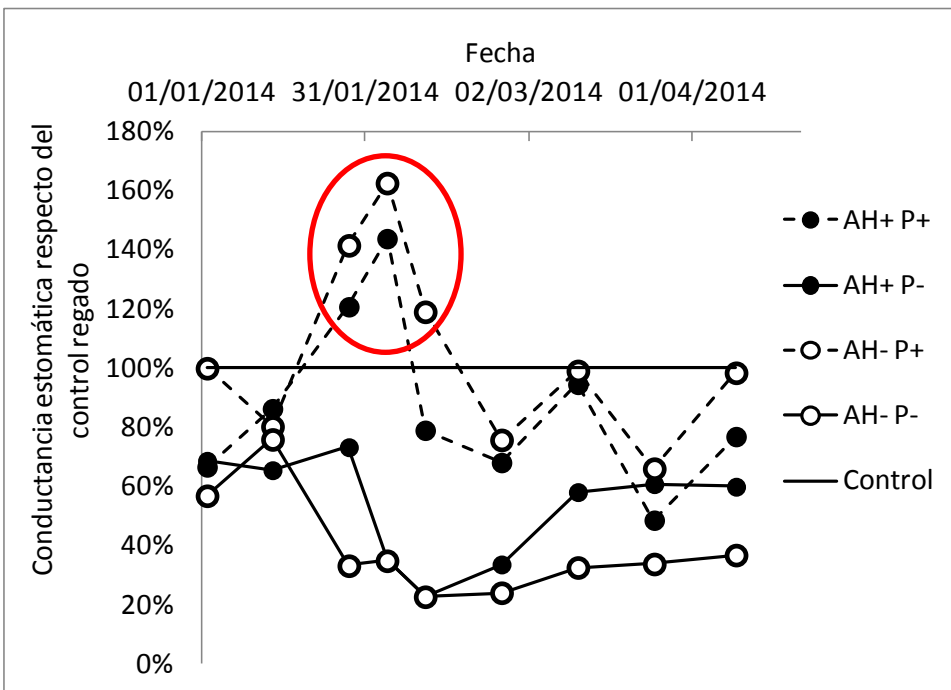
Experiencias en frutales: uva de mesa



- Ácido húmico
- Sin enmienda de suelo
- Sin poda
- - - Con poda



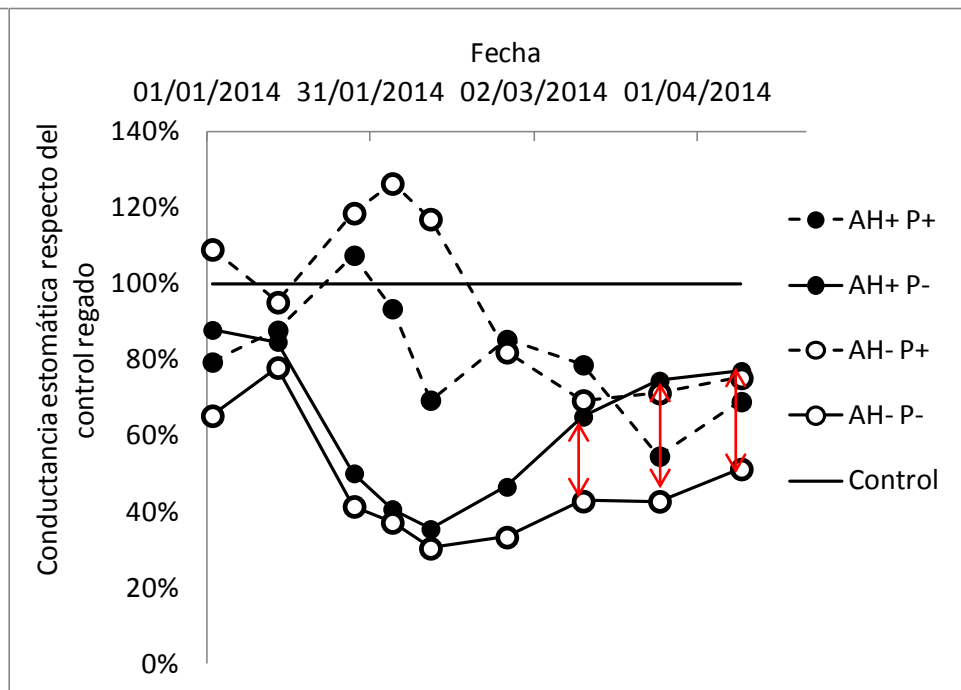
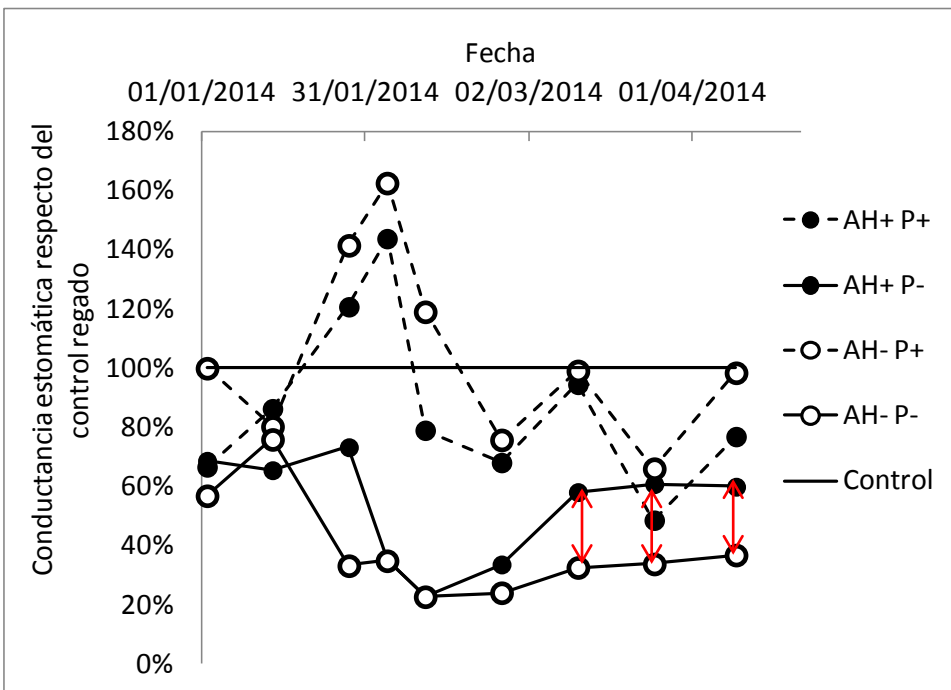
Experiencias en frutales: uva de mesa



- Ácido húmico
- Sin enmienda de suelo
- Sin poda
- - - Con poda



Experiencias en frutales: uva de mesa



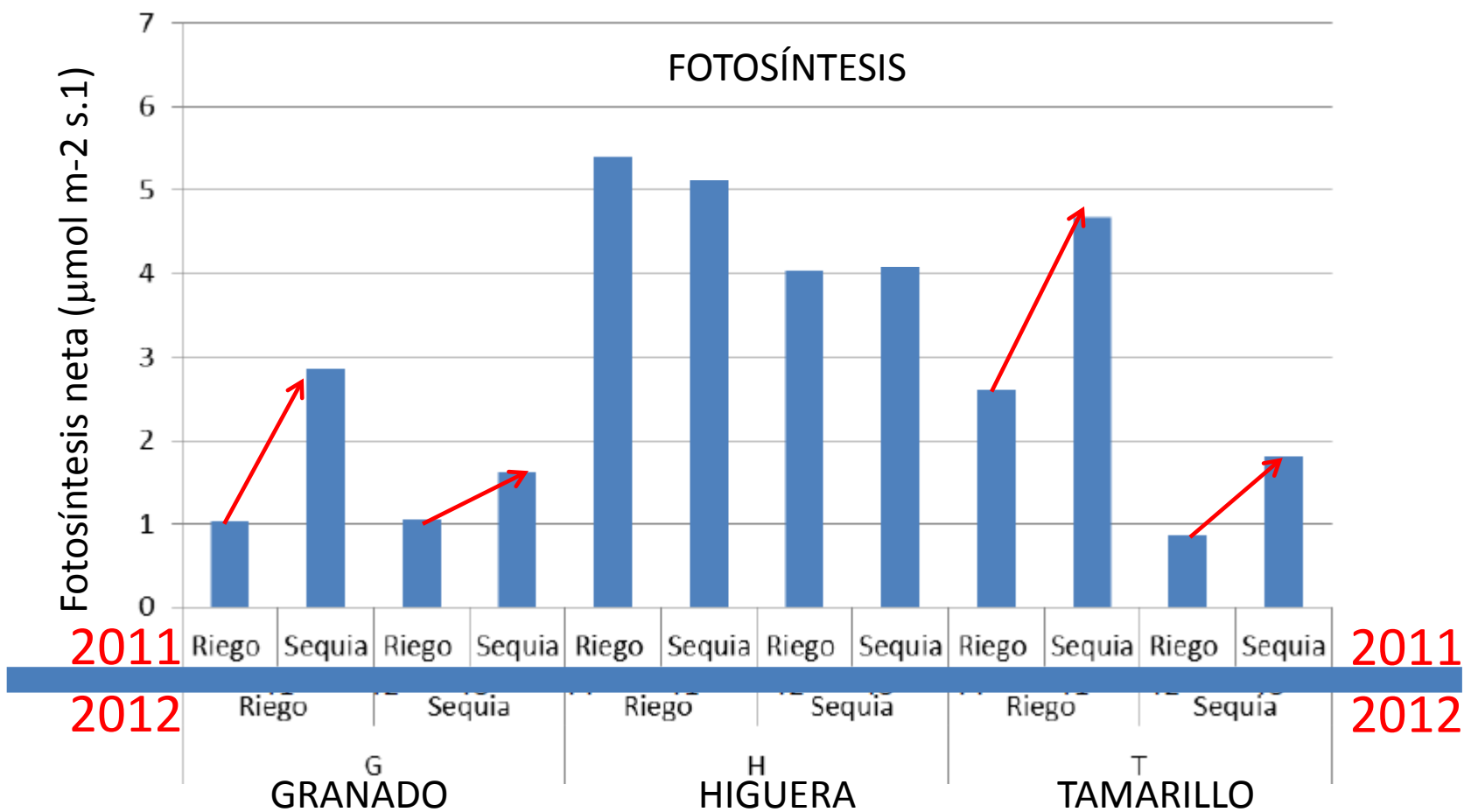
- Ácido húmico
- Sin enmienda de suelo
- Sin poda
- - - Con poda

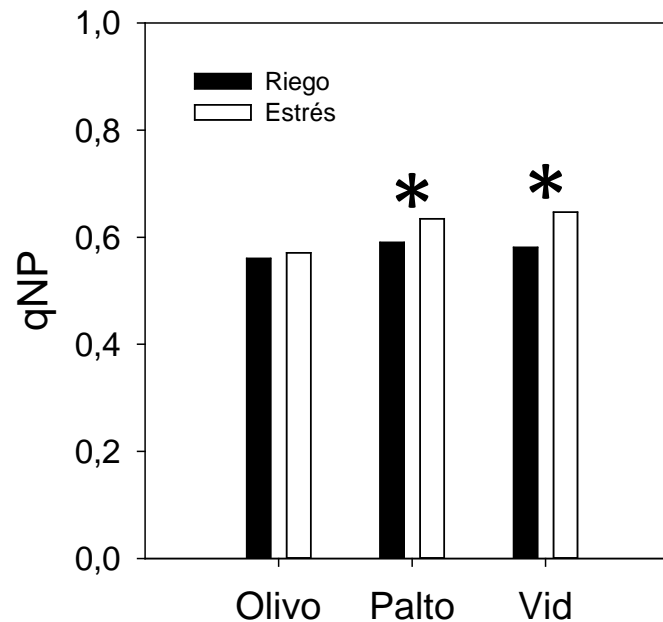
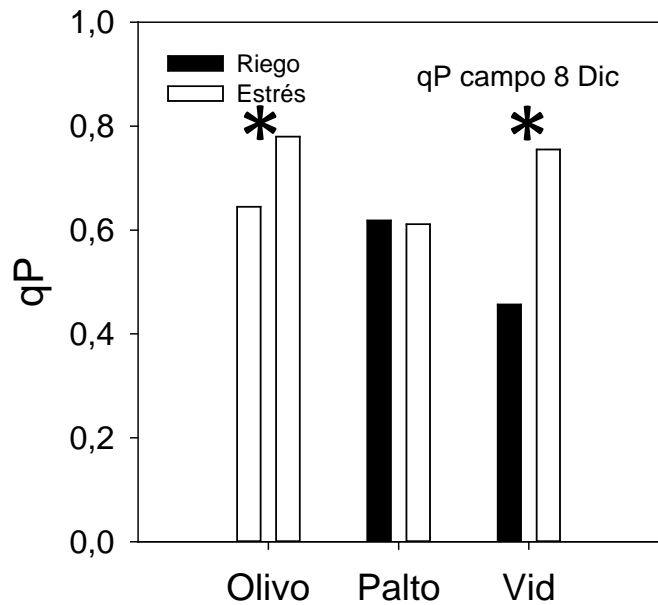
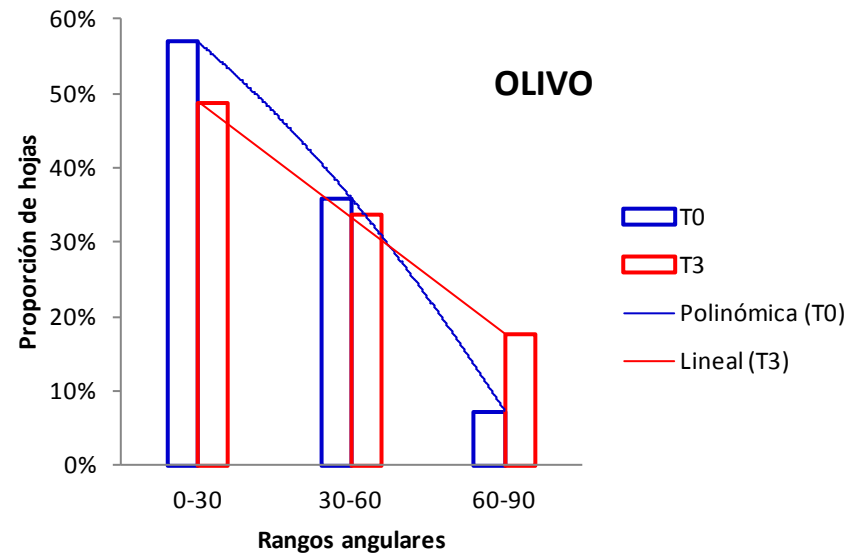
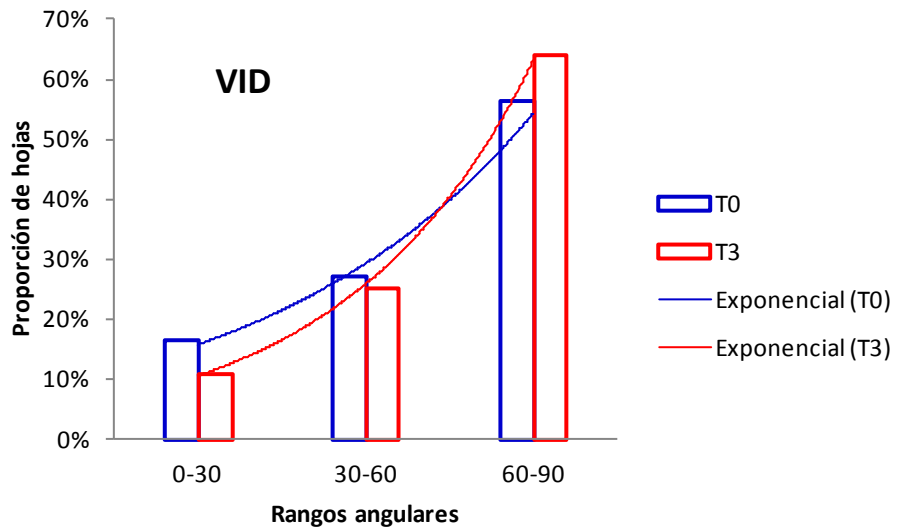


Experiencias en frutales: Memoria del estrés?

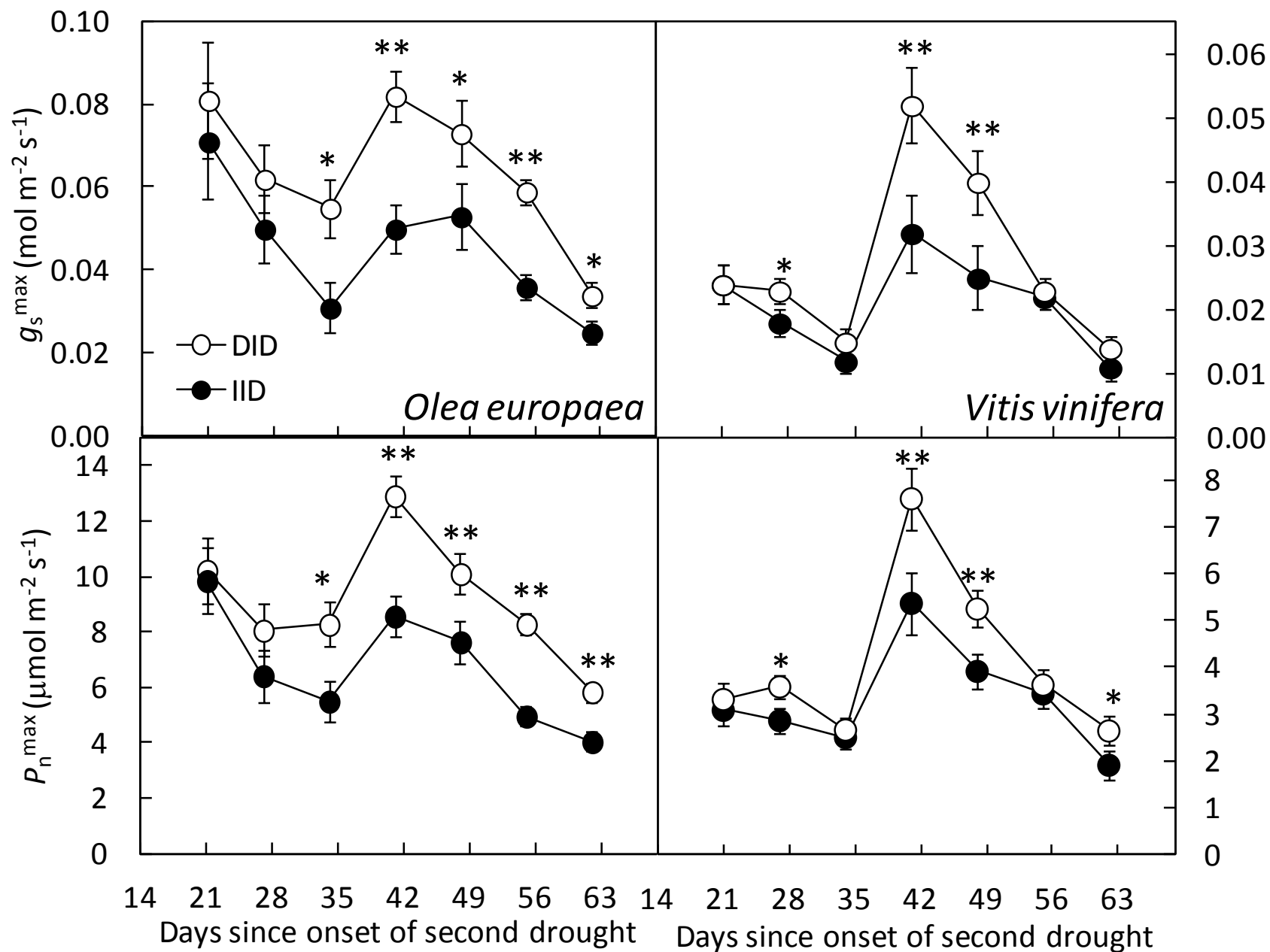
Conductancia estomática (gs)	Granado		Higuera		Tamarillo	
Riego 2011	0.02	a	0.16	a	0.03	a
Sequia 2011	0.03	b	0.17	a	0.05	b

Año anterior





Experiencias en frutales: Memoria del estrés?



Reflexiones finales:

- La sequía estructural que enfrenta Chile requiere el desarrollo urgente de estrategias de manejo agronómico que aumenten la EUA de los sistemas productivos (kg/m^3).

Reflexiones finales:

- La sequía estructural que enfrenta Chile requiere el desarrollo urgente de estrategias de manejo agronómico que aumenten la EUA de los sistemas productivos (kg/m^3).
- El riego deficitario controlado se presenta como una alternativa efectiva para lograr dicho propósito si se consideran las épocas y niveles de restricción que optimicen el sistema productivo en el corto y largo plazo: sin afectar rendimiento de la temporada siguiente, en épocas que permitan mayor ahorro, secado parcial de raíces...

Reflexiones finales:

- La sequía estructural que enfrenta Chile requiere el desarrollo urgente de estrategias de manejo agronómico que aumenten la EUA de los sistemas productivos (kg/m^3).
- El riego deficitario controlado se presenta como una alternativa efectiva para lograr dicho propósito si se consideran las épocas y niveles de restricción que optimicen el sistema productivo en el corto y largo plazo: sin afectar rendimiento de la temporada siguiente, en épocas que permitan mayor ahorro, secado parcial de raíces...
- Esto requiere de estudios bajo las condiciones específicas de Chile considerando las principales combinaciones especie x suelo x clima.

Reflexiones finales:

- La sequía estructural que enfrenta Chile requiere el desarrollo urgente de estrategias de manejo agronómico que aumenten la EUA de los sistemas productivos (kg/m^3).
- El riego deficitario controlado se presenta como una alternativa efectiva para lograr dicho propósito si se consideran las épocas y niveles de restricción que optimicen el sistema productivo en el corto y largo plazo: sin afectar rendimiento de la temporada siguiente, en épocas que permitan mayor ahorro, secado parcial de raíces...
- Esto requiere de estudios bajo las condiciones específicas de Chile considerando las principales combinaciones especie x suelo x clima.
- Se requiere el desarrollo de herramientas de monitoreo que sean fáciles de implementar y adoptar por los agricultores.

Reflexiones finales:

- La sequía estructural que enfrenta Chile requiere el desarrollo urgente de estrategias de manejo agronómico que aumenten la EUA de los sistemas productivos (kg/m^3).
- El riego deficitario controlado se presenta como una alternativa efectiva para lograr dicho propósito si se consideran las épocas y niveles de restricción que optimicen el sistema productivo en el corto y largo plazo: sin afectar rendimiento de la temporada siguiente, en épocas que permitan mayor ahorro, secado parcial de raíces...
- Esto requiere de estudios bajo las condiciones específicas de Chile considerando las principales combinaciones especie x suelo x clima.
- Se requiere el desarrollo de herramientas de monitoreo que sean fáciles de implementar y adoptar por los agricultores.
- Además del RDC se requiere el desarrollo de estrategias de riego que permitan aumentar la resiliencia de los sistemas productivos a sequías severas (manejo combinado de copa y suelo, “memoria del estrés”?).

Reflexiones finales:

- La sequía estructural que enfrenta Chile requiere el desarrollo urgente de estrategias de manejo agronómico que aumenten la EUA de los sistemas productivos (kg/m^3).
- El riego deficitario controlado se presenta como una alternativa efectiva para lograr dicho propósito si se consideran las épocas y niveles de restricción que optimicen el sistema productivo en el corto y largo plazo: sin afectar rendimiento de la temporada siguiente, en épocas que permitan mayor ahorro, secado parcial de raíces...
- Esto requiere de estudios bajo las condiciones específicas de Chile considerando las principales combinaciones especie x suelo x clima.
- Se requiere el desarrollo de herramientas de monitoreo que sean fáciles de implementar y adoptar por los agricultores.
- Además del RDC se requiere el desarrollo de estrategias de riego que permitan aumentar la resiliencia de los sistemas productivos a sequías severas (manejo combinado de copa y suelo, “memoria del estrés”?).
- Las interacciones agua-suelo-nutrientes–sales, y el desarrollo de genotipos adaptados a las condiciones de sequía específicos del país son desafíos que debemos enfrentar.

Reflexiones finales:

- La sequía estructural que enfrenta Chile requiere el desarrollo urgente de estrategias de manejo agronómico que aumenten la EUA de los sistemas productivos (kg/m^3).
- El riego deficitario controlado se presenta como una alternativa efectiva para lograr dicho propósito si se consideran las épocas y niveles de restricción que optimicen el sistema productivo en el corto y largo plazo: sin afectar rendimiento de la temporada siguiente, en épocas que permitan mayor ahorro, secado parcial de raíces...
- Esto requiere de estudios bajo las condiciones específicas de Chile considerando las principales combinaciones especie x suelo x clima.
- Se requiere el desarrollo de herramientas de monitoreo que sean fáciles de implementar y adoptar por los agricultores.
- Además del RDC se requiere el desarrollo de estrategias de riego que permitan aumentar la resiliencia de los sistemas productivos a sequías severas (manejo combinado de copa y suelo, “memoria del estrés”?).
- Las interacciones agua-suelo-nutrientes–sales, y el desarrollo de genotipos adaptados a las condiciones de sequía específicos del país son desafíos que debemos enfrentar.
- Estas estrategias de RDC deben insertarse en una estrategia que aborde el sistema completo: reduciendo las pérdidas de agua y aumentando su captura, reciclaje y almacenamiento e incluyendo los impactos económicos, ambientales y sociales.

Agradecimientos

- Agrícola Río Negro
- Agrícola Tamaya
- Agrícola Don Alfonso LTDA.



FONDECYT 30 AÑOS
Apoyando la investigación
científica y tecnológica en Chile





GRACIAS!