



Manejo eficiente de la fertirrigación en horticultura intensiva

Juan José Magán Cañadas

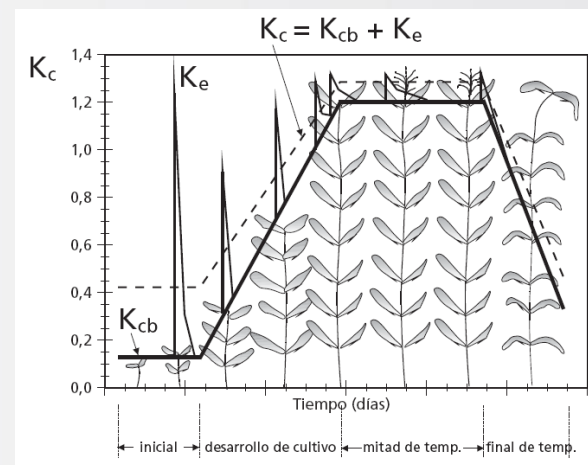
Estrategias de manejo de la fertirrigación

- Manejo prescriptivo: aporte en base a las necesidades teóricas calculadas mediante modelos
- Manejo correctivo: ajuste del aporte en base a síntomas o medidas en suelo/planta
- Manejo prescriptivo-correctivo: calculo del aporte según las necesidades teóricas y corrección en parcela según indicadores en suelo/planta



Manejo prescriptivo del riego en cultivo en suelo

- Cálculo de la ET_c basado en el método FAO: $ET_c = ET_o \times K_c$
- La ET_o depende de las condiciones climáticas (radiación, viento y, en menor medida, DPV). Su cálculo se suele basar en Penman-Monteith.
- K_c depende del cultivo en cuestión, su estado de desarrollo y la disponibilidad de agua en el suelo.



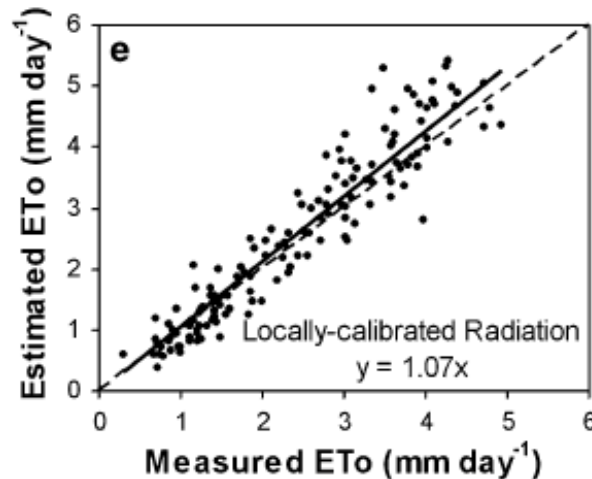
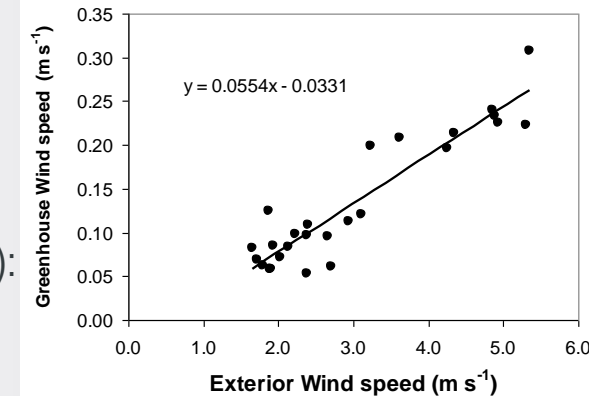
Manejo prescriptivo del riego en cultivo bajo invernadero en suelo

- En invernadero hay una drástica reducción de la velocidad del viento.
- La ET_o se puede calcular en base a la radiación (Fernández y col., 2010):

$$\text{Día juliano (DJ)} \leq 220 \quad ET_o = (0.288 + 0.0019DJ)R_o \tau$$

$$\text{Día juliano (DJ)} > 220 \quad ET_o = (1.339 - 0.00288DJ)R_o \tau$$

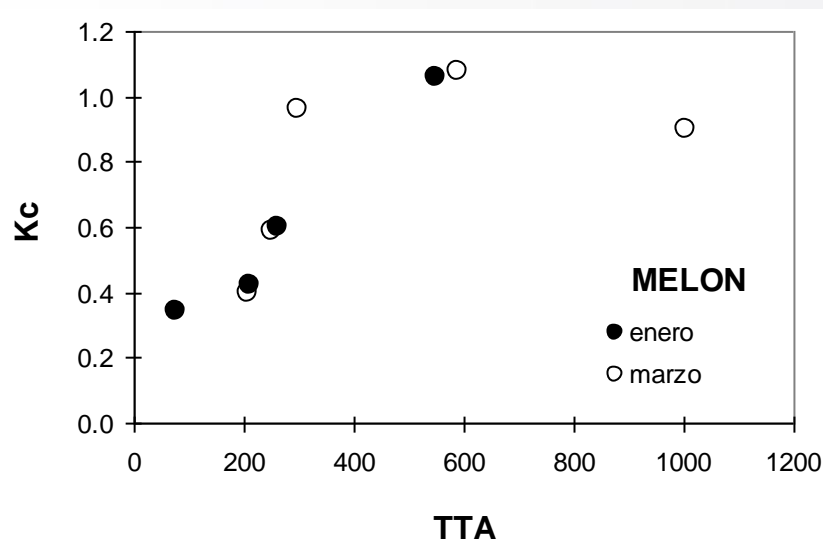
donde, DJ es el día juliano, R_o es la radiación solar en el exterior (mm d^{-1}) y τ es la transmisividad del invernadero a la radiación.



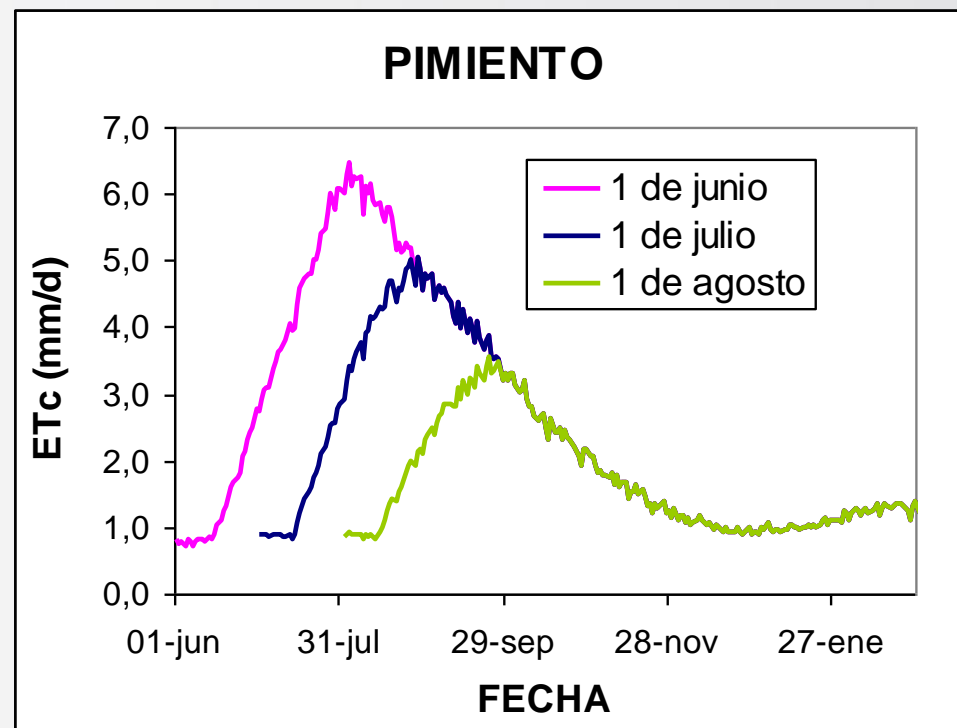
Fernández *et al.*, Irrigation Science 28: 497-509

Manejo prescriptivo del riego en cultivo bajo invernadero en suelo

- Determinación de la K_c en función del tiempo térmico: permite adaptar las estimaciones al tipo de cultivo y a las distintas fechas de trasplante.

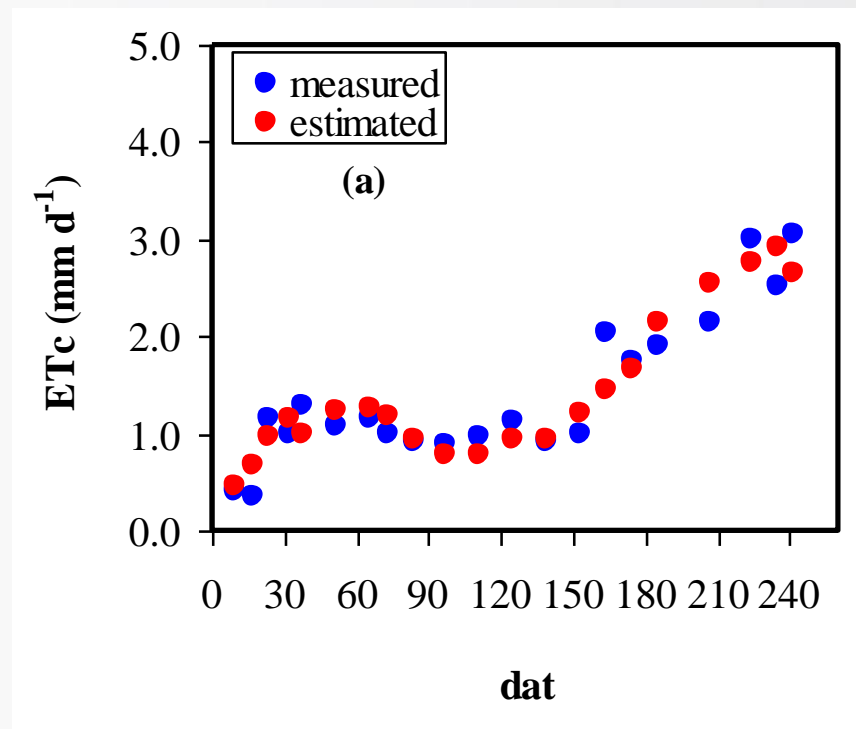


Orgaz *et al.*, Agricultural Water Management: 72 (2): 81-96.



Manejo prescriptivo del riego en cultivo bajo invernadero en suelo

- Es posible estimar satisfactoriamente la evapotranspiración del cultivo en condiciones bajo invernadero mediante los modelos simplificados desarrollados.



Manejo prescriptivo del riego en cultivo bajo invernadero en suelo: cálculo de las necesidades hídricas



- Datos climáticos de la explotación
- Datos climáticos medios
- Programación de riegos individualizada (fecha de siembra, transmisividad, frecuencia de riego, etc)

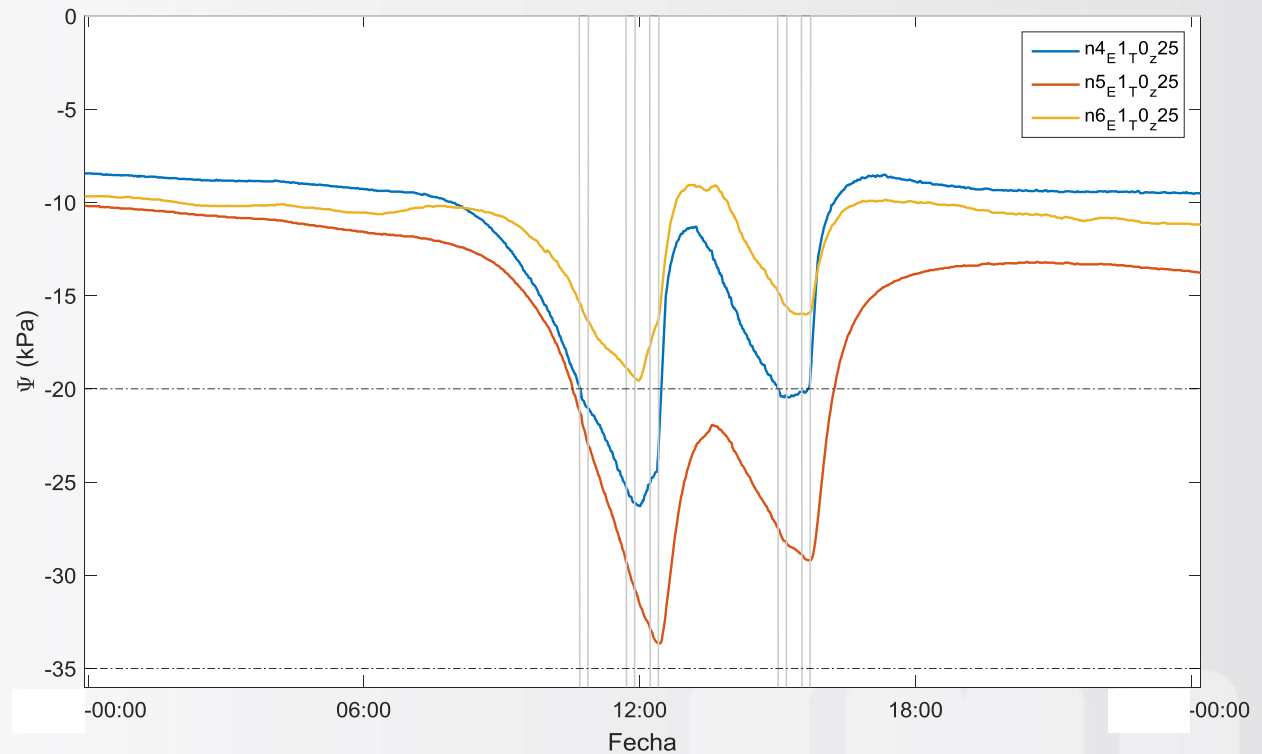
Manejo correctivo del riego: uso de sensores

- Ayudan a establecer el momento oportuno y el volumen de riego.
- Tipos de sensores:
 - Sensores que miden la humedad del suelo:
 - Sensores que miden el potencial matricial del suelo (tensiómetros, sensores de matriz granular)
 - Sensores que miden el contenido volumétrico de agua en el suelo (FDR)
 - Sensores que miden el estado hídrico de la planta



Automatización del riego con tensiómetros

Automatización con tensiómetros



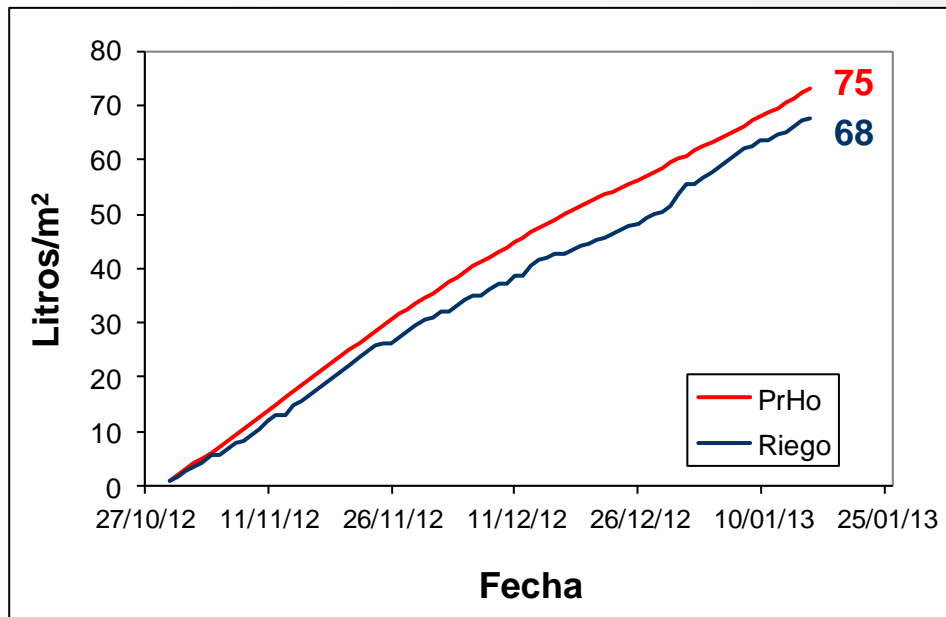
Cabrera *et al.*, datos no publicados

Comparación automatización vs necesidades hídricas medias

CULTIVO DE PEPINO (cv. Caronte)

Trasplante: 27/09/2012

Inicio Automatización: 23/10/2012



30/10/2012 a 16/01/2013

Volumen de riego aportado: 68 Litros/m² (51 litros/gotero)

Volumen de riego estimado: 75 Litros/m² (56 litros/gotero)

Datos climáticos medios



Fernández *et al.*, XXXII Congreso Nacional de Riegos


Automatización con tensiómetros



Manejo prescriptivo de la fertilización en suelo

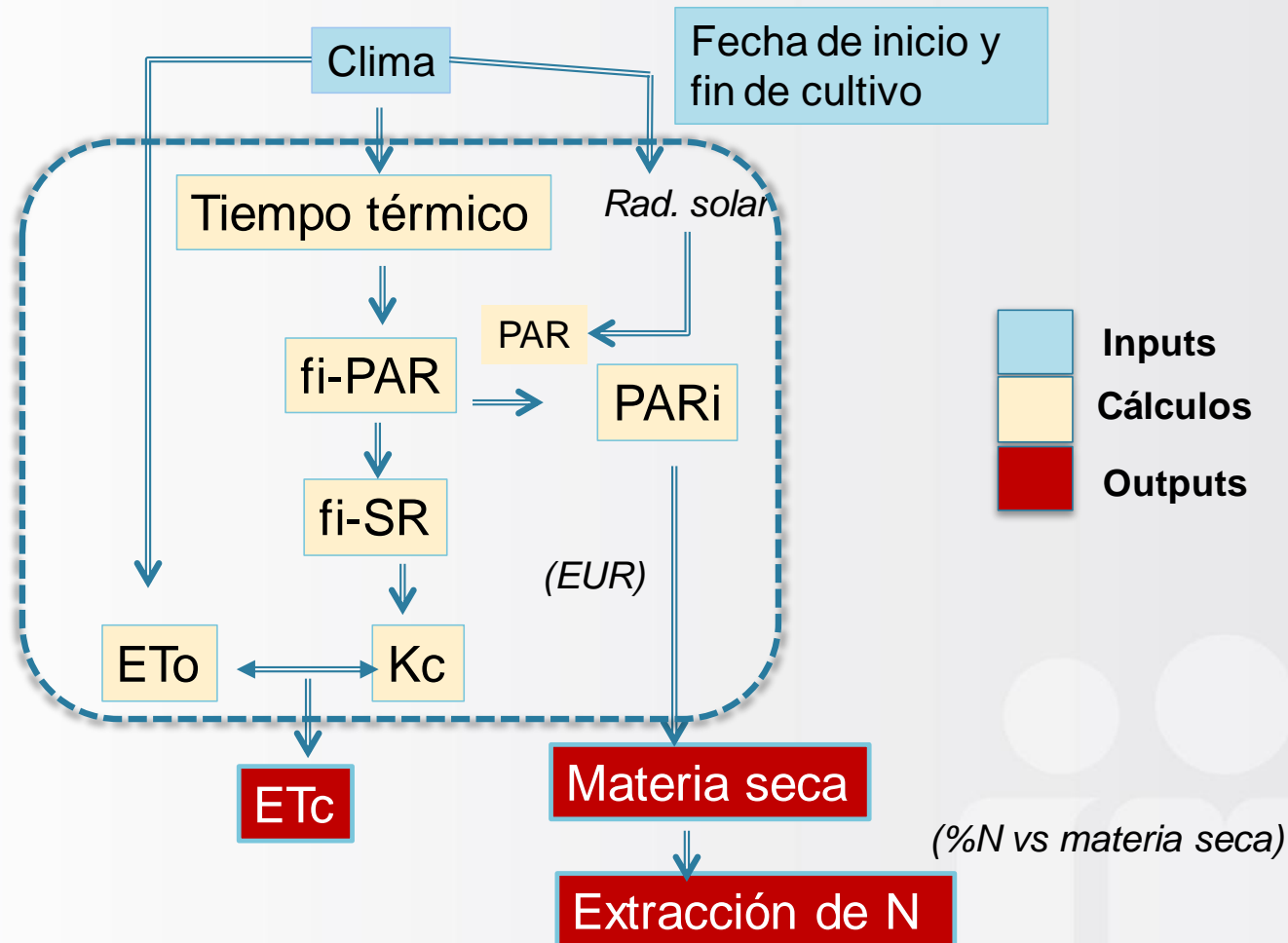
Habitualmente se establecen recetas de abonado que no tienen en cuenta el aporte de nutrientes por parte del suelo, lo que lleva a una sobrefertilización.

Un manejo prescriptivo optimizado de la fertilización requiere disponer de modelos que permitan estimar la absorción de nutrientes:

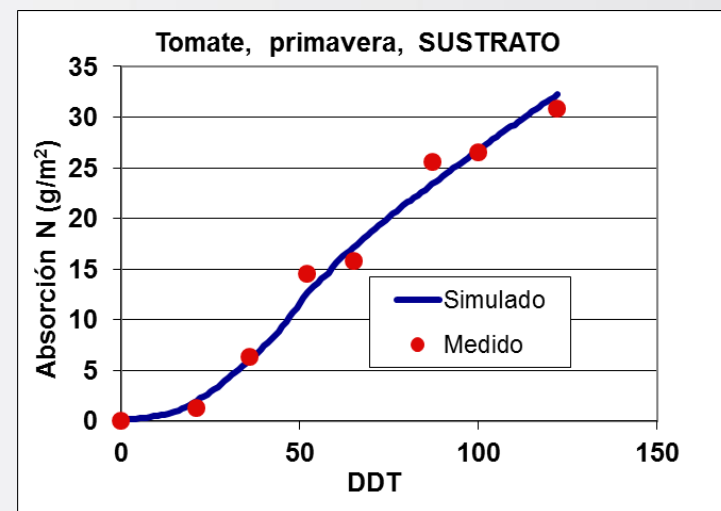
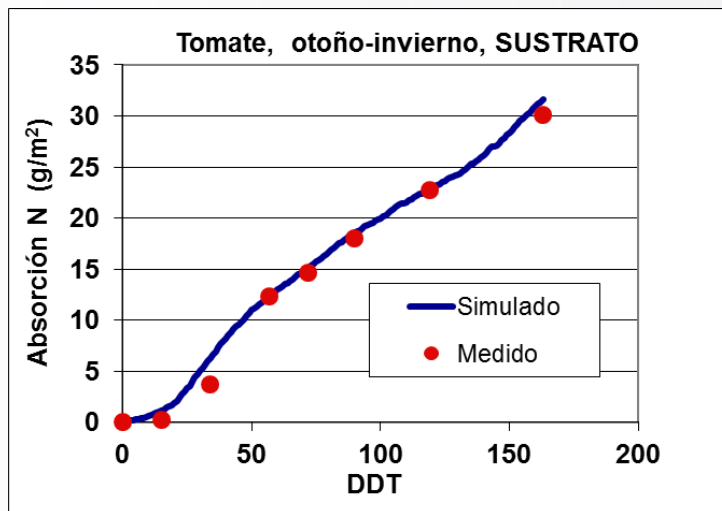
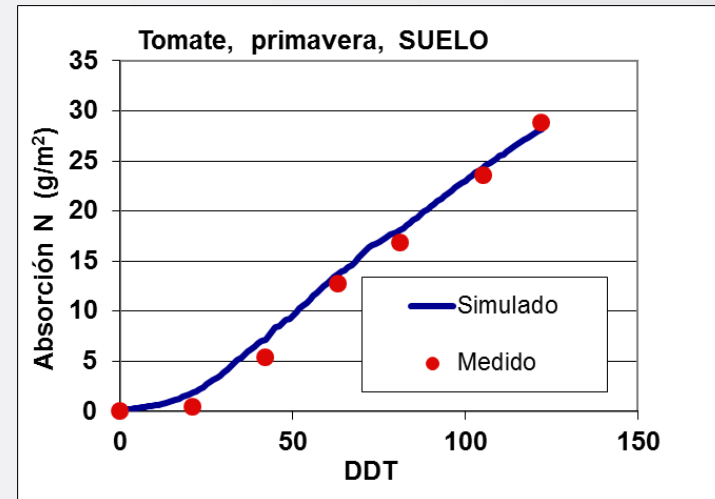
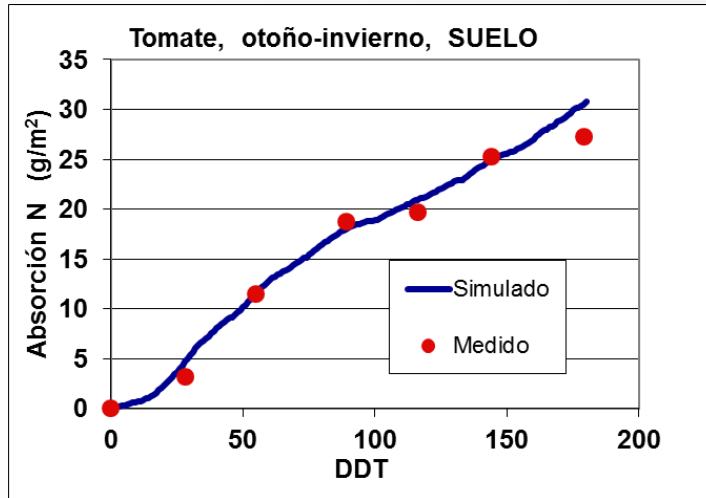
- Determinación de la evolución de la producción de materia seca a partir de parámetros climáticos
- Cálculo del contenido en nutrientes de la biomasa  extracción de nutrientes



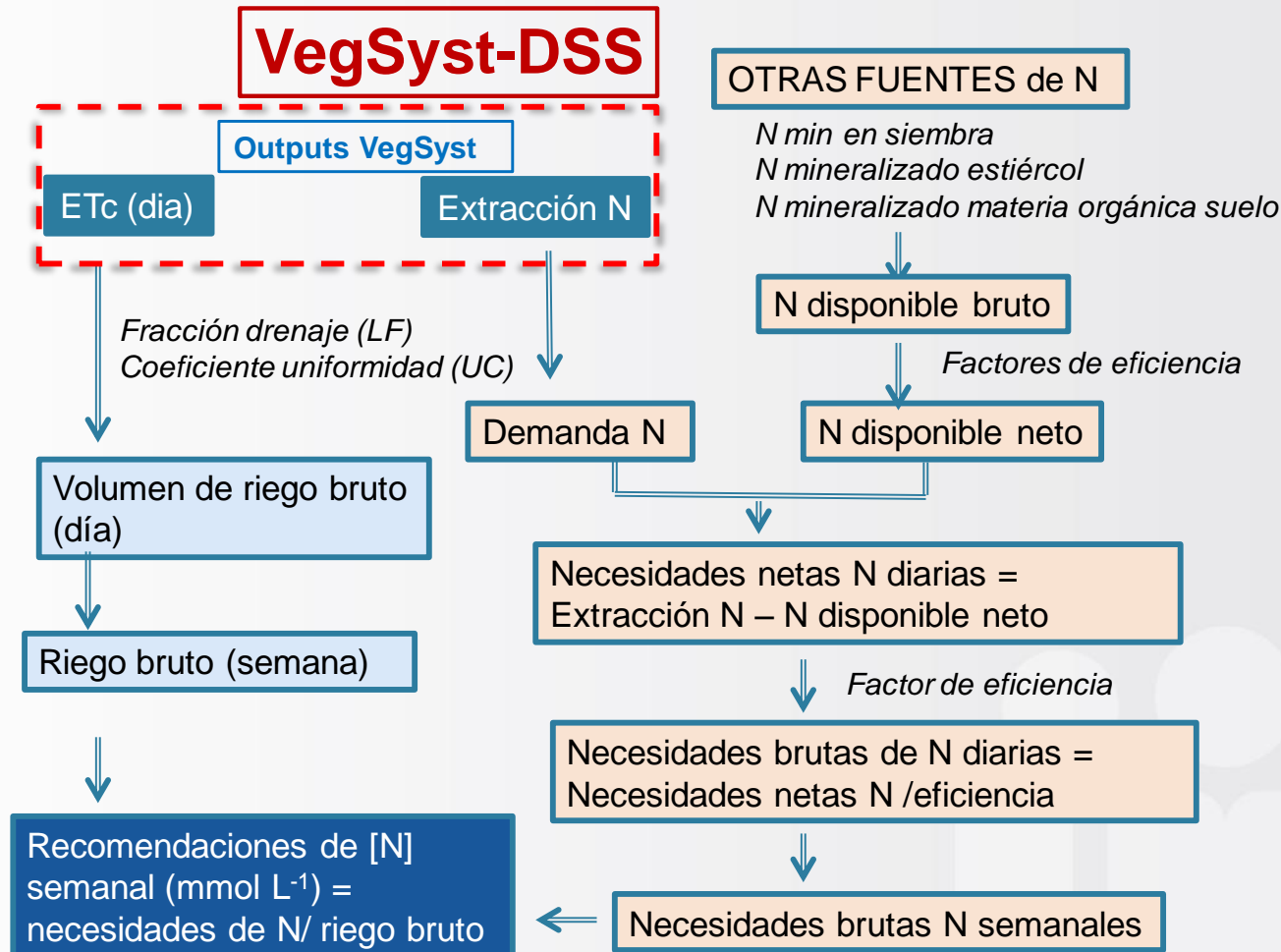
Manejo prescriptivo de la fertilización: modelo VEGSYS desarrollado para la estimación de la extracción de nitrógeno en las condiciones de los invernaderos de Almería (Gallardo *et al.*, *Agric. Water Manage.* 101, 107–117)



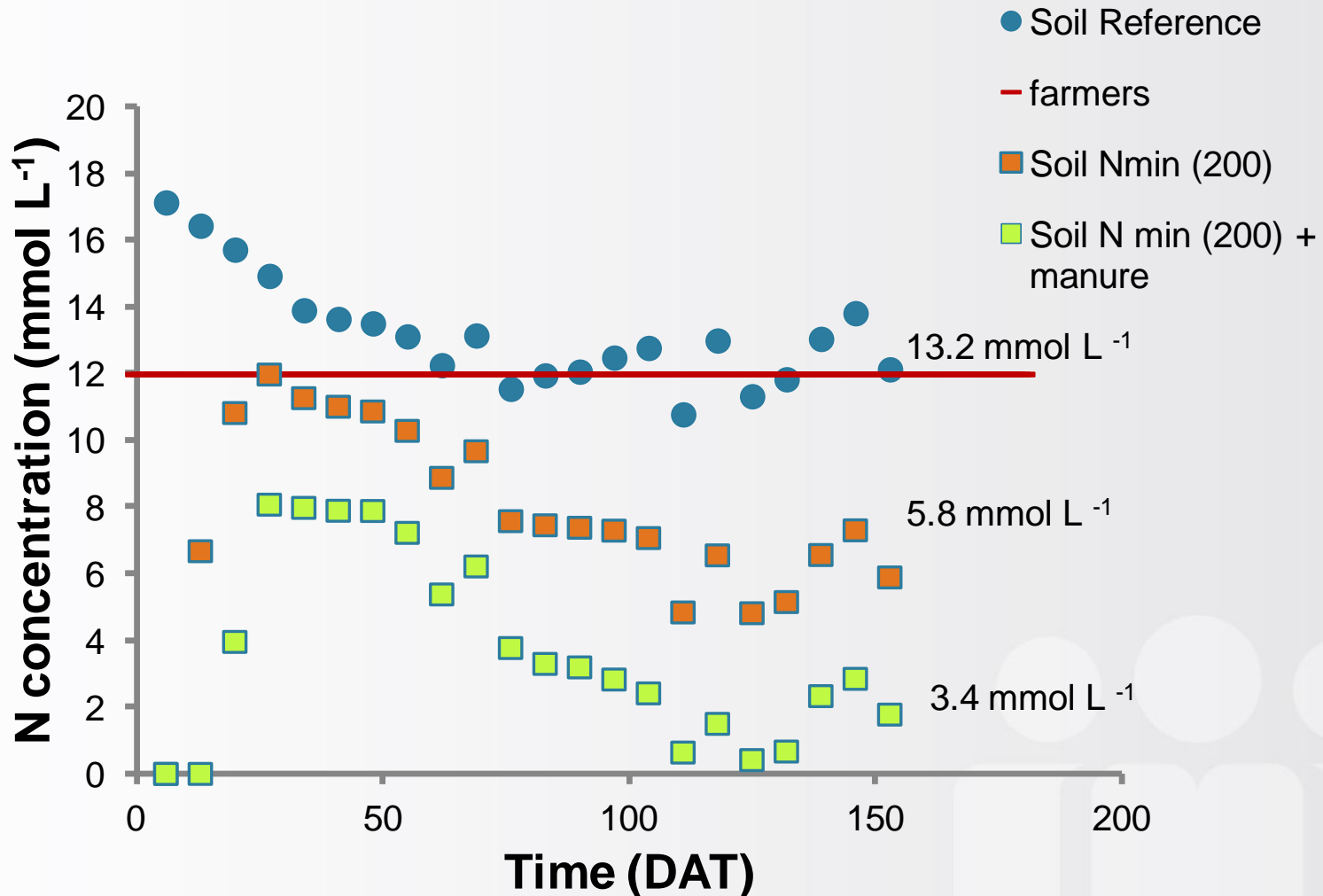
Manejo prescriptivo de la fertilización: simulación con el modelo VEGSYS de la absorción de N en tomate en suelo/sustrato y en cultivos de otoño/primavera (Gallardo *et al.*, Irrig. Sci. 32: 237–253)



Manejo prescriptivo de la fertirrigación: sistema de apoyo a la toma de decisión basado en el modelo VEGSYS para calcular los requerimientos de nitrógeno y agua en las condiciones de los invernaderos de Almería (Gallardo *et al.*, Irrig. Sci. 32: 237–253)



Manejo prescriptivo de la fertirrigación: análisis de escenarios en tomate mediante el sistema de apoyo a la toma de decisión basado en el modelo VEGSYS (Gallardo *et al.*, Irrig. Sci. 32: 237–253)



Manejo correctivo de la fertilización: monitorización de la solución del suelo

La monitorización de la solución del suelo se puede realizar mediante:

- Extracción de la solución del suelo (extracto saturado, extracto 1:2, etc)
- Extracción directa de la solución mediante sonda de succión

Ventajas de la extracción directa de la solución del suelo frente al extracto del suelo:

- Extracción in situ de la disolución del suelo, sin diluciones
- Permite conocer la composición iónica de la disolución mediante análisis
- Extracción de la muestra sencilla y poco costosa, sin alteración del suelo
- Análisis rápido y barato

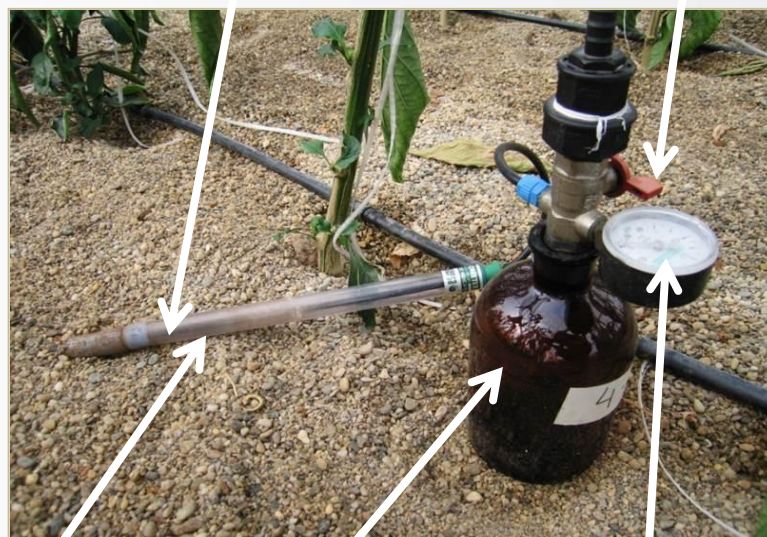


Manejo correctivo de la fertilización: sondas de succión

- La cápsula cerámica porosa se posiciona en la zona de máxima densidad de raíces (10-20 cm de profundidad)
- Se aplica vacío a -60 kPa durante 12-24 horas.
- Se utiliza en suelos húmedos.
- Existe variabilidad espacial.

Cápsula de cerámica porosa

Llave



Tubo de PVC

Botella de topacio

Vacuómetro



Bomba de vacío
adaptada

Manejo correctivo de la fertilización: sondas de succión

- Resulta conveniente determinar con frecuencia la concentración de los iones principales (especialmente nitratos y potasio) en la solución del suelo, con el fin de detectar rápidamente cambios en la absorción de nutrientes.
- Estas determinaciones se pueden llevar a cabo mediante equipos portátiles de análisis rápido.

Patrón calibración
 $2,42 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NO}_3^-$

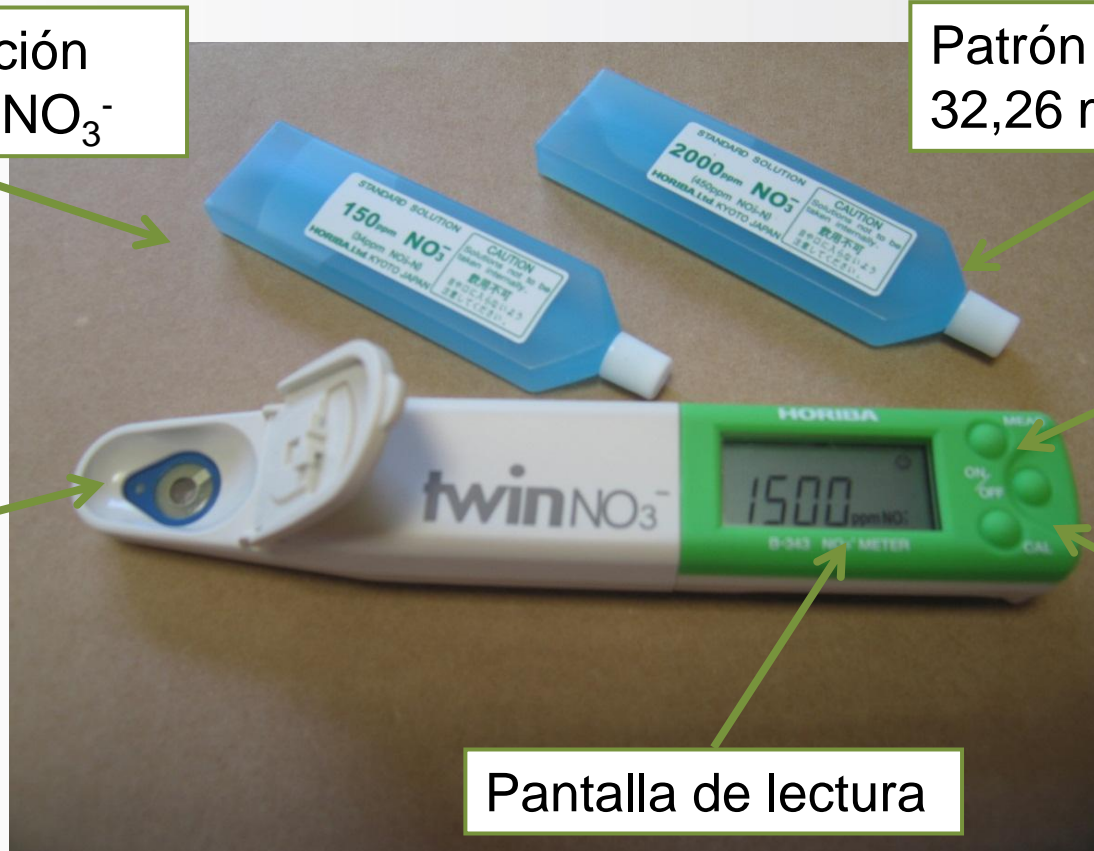
Patrón calibración
 $32,26 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NO}_3^-$

Sensores

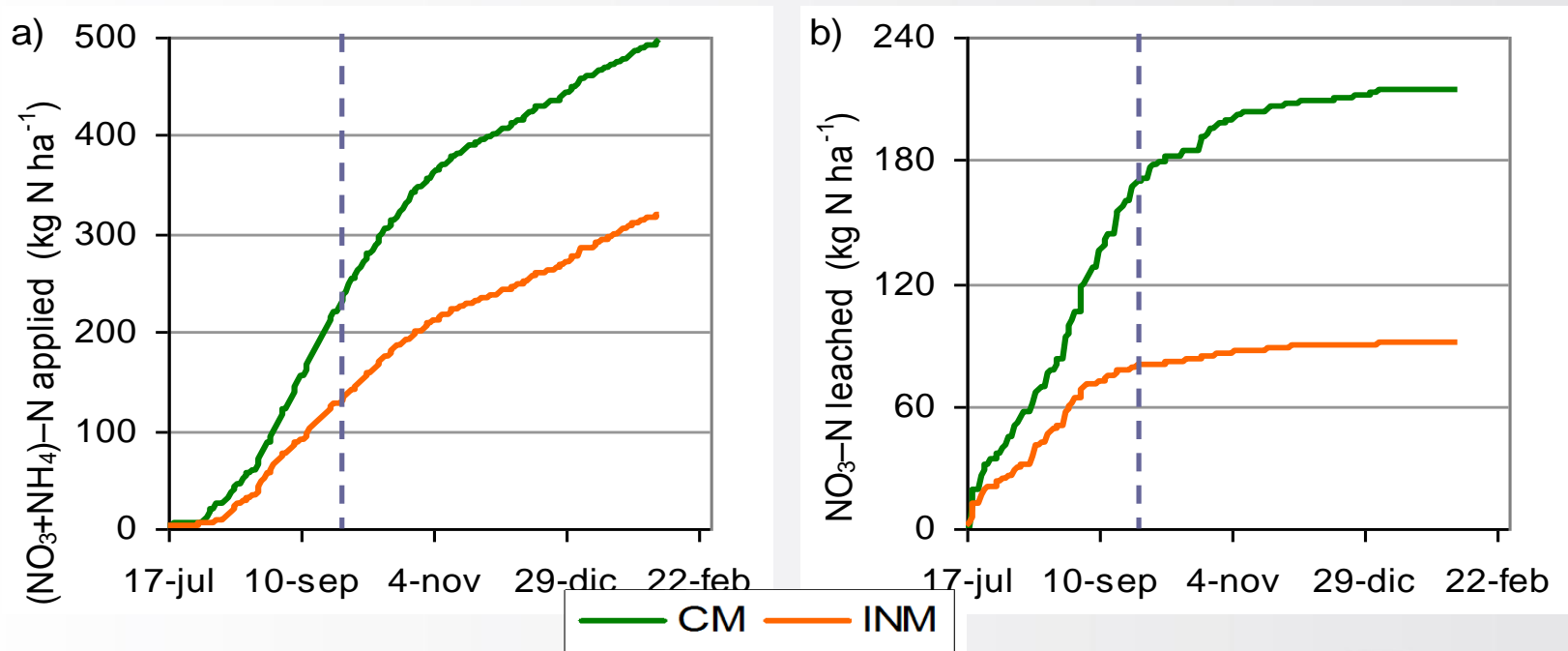
Botón de
medida

Botón de
calibración

Pantalla de lectura



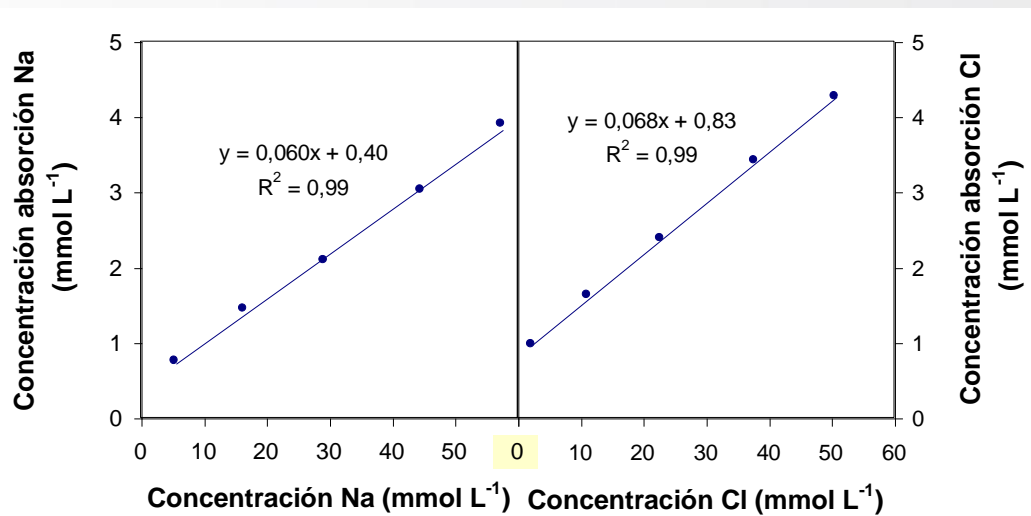
Evaluación de una estrategia de manejo prescriptivo-correctivo de la fertirrigación (Granados *et al.*, Agricultural Water Management 119: 121-134)



- La consideración de un manejo prescriptivo-correctivo en pimiento supuso una reducción del aporte de N del 36% respecto al tratamiento convencional.
- El N-NO_3^- total lixiviado fue un 58% menor.
- En cultivo de melón la reducción del aporte y la lixiviación de N fue del 28 y 72%, respectivamente.

Sistemas cerrados de cultivo sin suelo

- Los cultivos sin suelo permiten recoger el drenaje y reutilizarlo.
- Con los sistemas cerrados se consigue un ahorro notable de agua y fertilizantes, reduciendo la lixiviación de nutrientes.
- Permiten establecer altos porcentajes de drenaje y mantener concentraciones de nutrientes más bajas.
- Desajuste de la solución nutritiva: necesidad de realizar análisis frecuentes.
- Acumulación progresiva de aquellos iones presentes en exceso en el agua de riego.



Magán *et al.*, Acta
Hortic. 697: 365–369

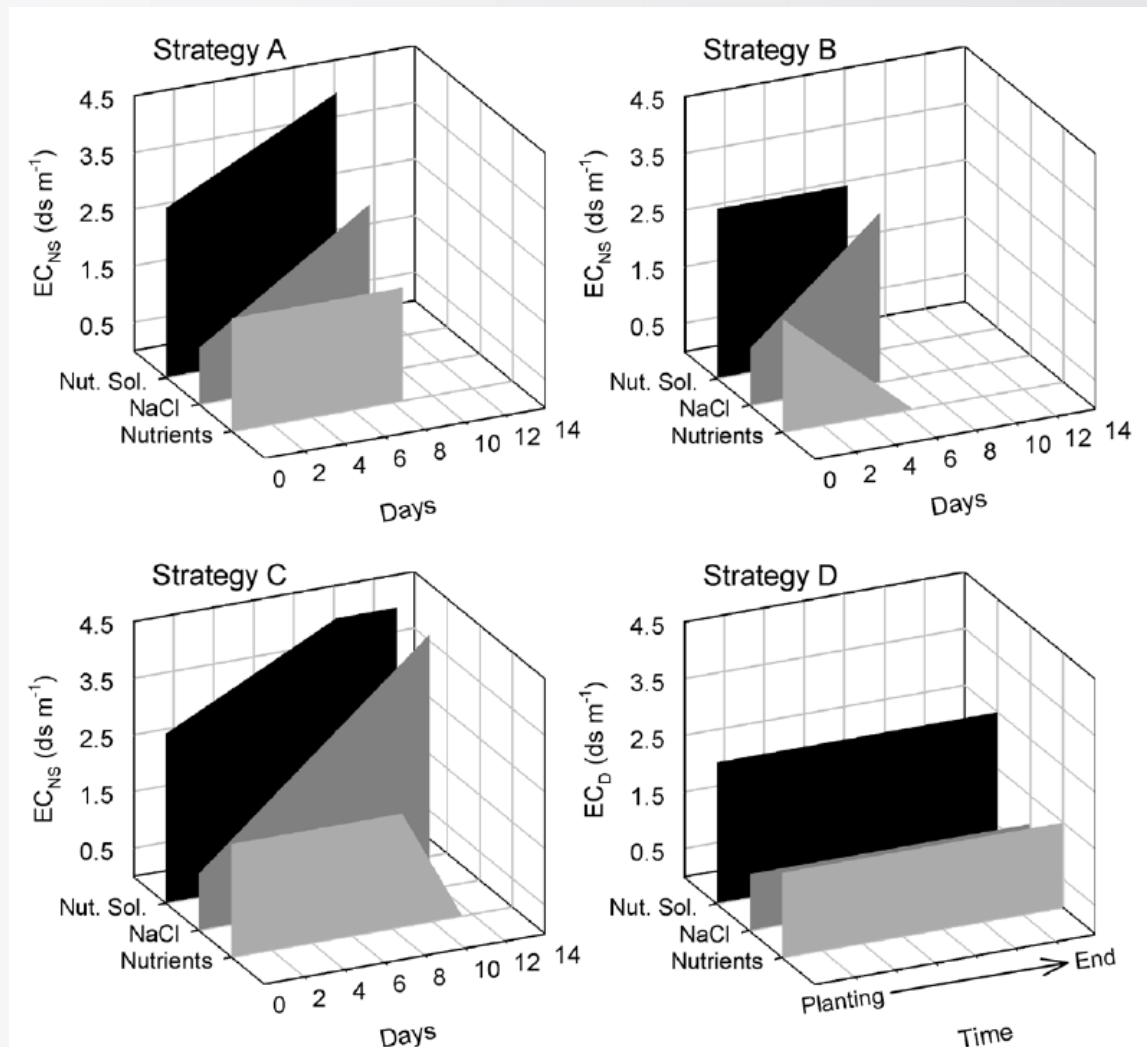
Estrategias para el reajuste de la solución nutritiva en sistemas cerrados de cultivo sin suelo

- Mezclar drenaje con agua nueva y, posteriormente, añadir nutrientes hasta alcanzar una CE determinada: permite asegurar el mantenimiento de una determinada CE pero no la presencia de nutrientes.
- Mezclar drenaje con solución nutritiva nueva que incorpore el agua y los nutrientes que ha absorbido el cultivo: permite asegurar la presencia de nutrientes pero no el mantenimiento de una determinada CE.

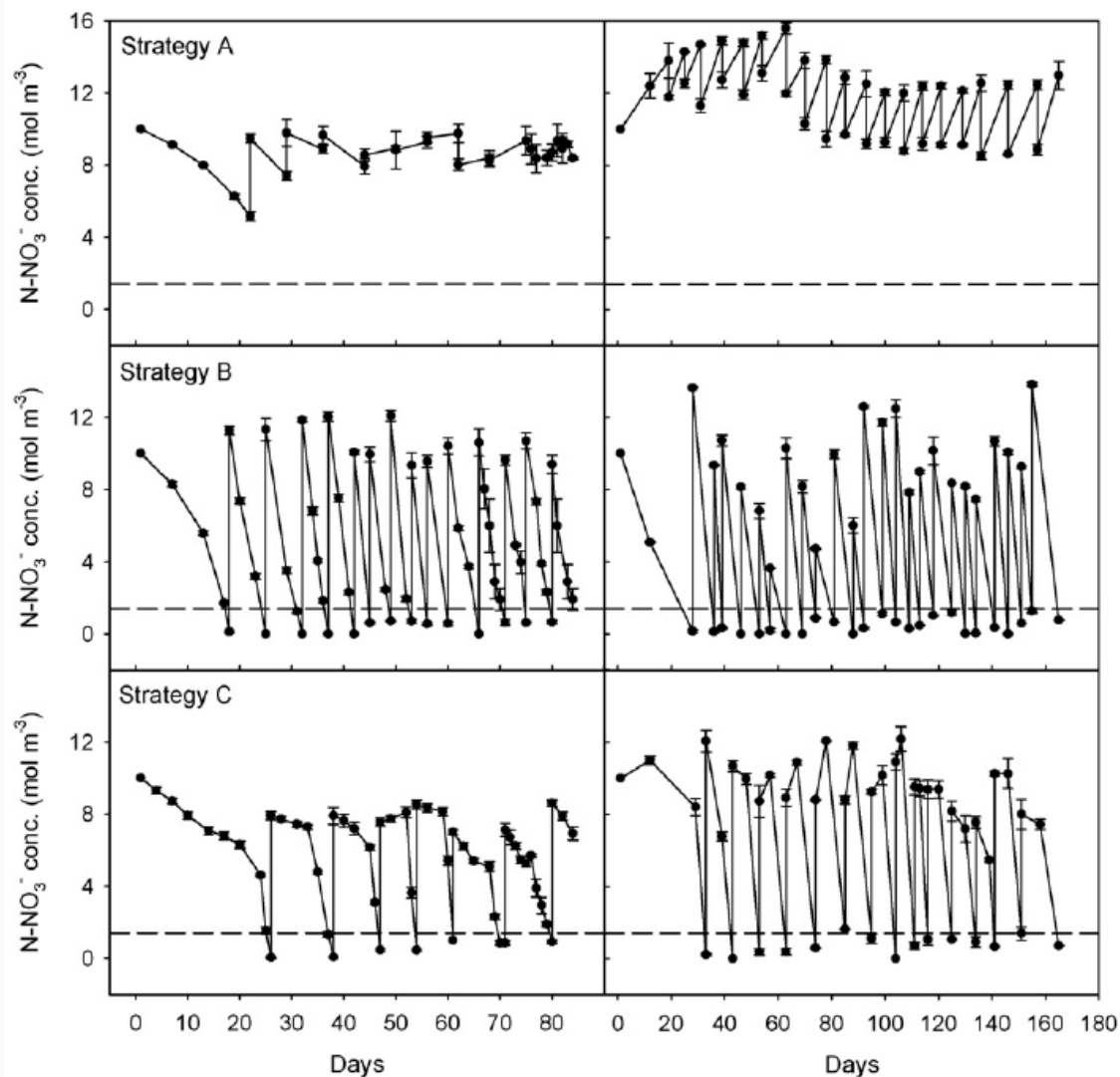


Comparación de estrategias para el reajuste de la solución nutritiva usando un agua mediocre (Massa *et al.*, Agric. Water Manage. 97: 971–980)

Calidad del agua: $1,5 \text{ dS m}^{-1}$
de CE y $9,5 \text{ mMol L}^{-1}$ de NaCl



Evolución de la concentración de N-NO_3^- en la solución recirculante de los distintos tratamientos semicerrados (Massa *et al.*, Agric. Water Manage. 97: 971–980)



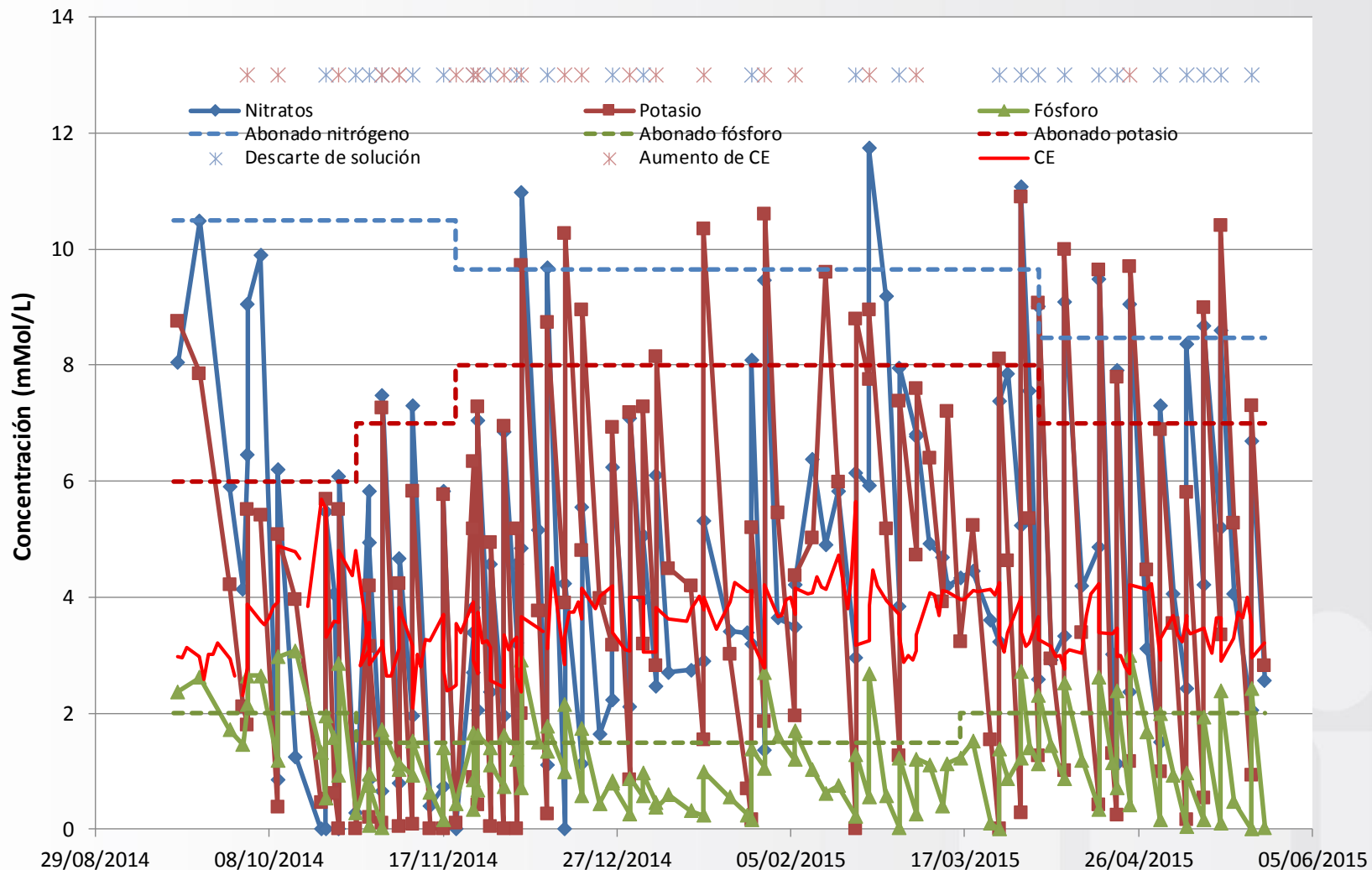
Validación de la estrategia planteada por Massa *et al.* (2010).



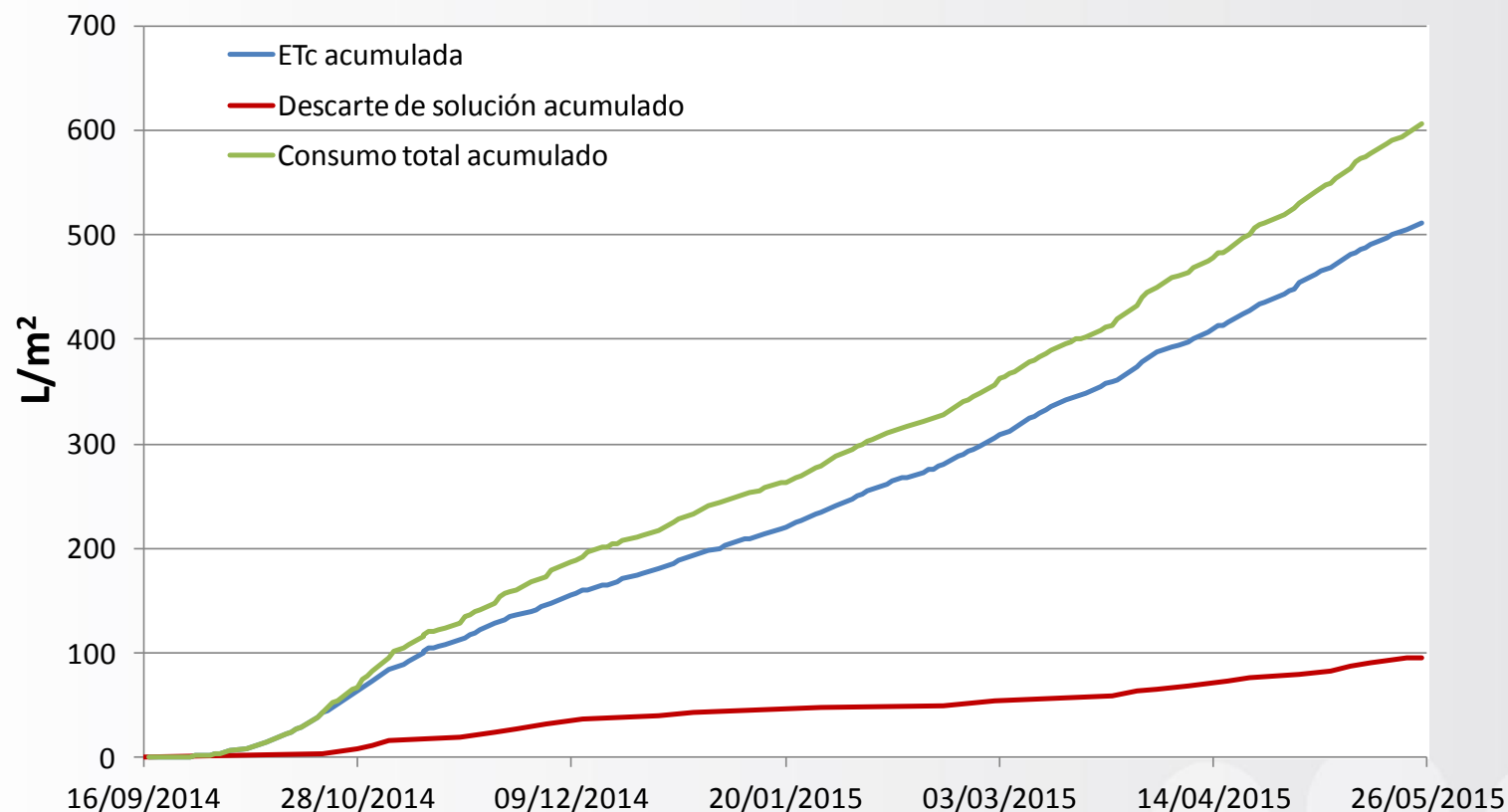
Calidad del agua: $1,6 \text{ dS m}^{-1}$
de CE y $12,3 \text{ mMol L}^{-1}$ de Cl^-
y $5,9 \text{ mMol L}^{-1}$ de Na^+



Evolución de la CE y la concentración de macronutrientes en la solución recirculante (Magán, datos no publicados)



Evolución del consumo de agua (Magán, datos no publicados)



Agua total gastada: 605 L m⁻²

Agua absorbida: 511 L m⁻²

Agua eliminada: 95 L m⁻² (15,6%)

Eficiencia de uso del agua: 37,5 g L⁻¹

Aporte de macronutrientes y eficiencia de uso (Magán, datos no publicados)

NUTRIENTE	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Gasto total de nutrientes (UF ha ⁻¹)	764	426	1194
Relación entre macronutrientes	1,00	0,56	1,56
Descarte de nutrientes (%)	4,4	7,8	2,7
EFICIENCIA DE USO (kg UF ⁻¹)	297	533	190
Eficiencia en Magán <i>et al.</i> (1999) con recirculación (kg UF ⁻¹)	276	400	154
Eficiencia en Magán <i>et al.</i> (1999) sin recirculación (kg UF ⁻¹)	156	278	98
Eficiencia en Magán <i>et al.</i> (2001) con recirculación agua buena (kg UF ⁻¹)	304	404	174
Eficiencia en Magán <i>et al.</i> (2001) con recirculación agua mediocre (kg UF ⁻¹)	248	373	152



Muchas Gracias

