



Nuevas tecnologías aplicadas en invernaderos

Juan José Magán Cañadas
Estación Experimental Cajamar

Niveles tecnológicos del invernadero

INVERNADERO ZONAS FRÍAS



Se buscan las condiciones óptimas para las plantas

- Nivel tecnológico elevado
- Inversión elevada
- Gran consumo de energía
- Elevadas producciones

INVERNADERO ZONAS CÁLIDAS

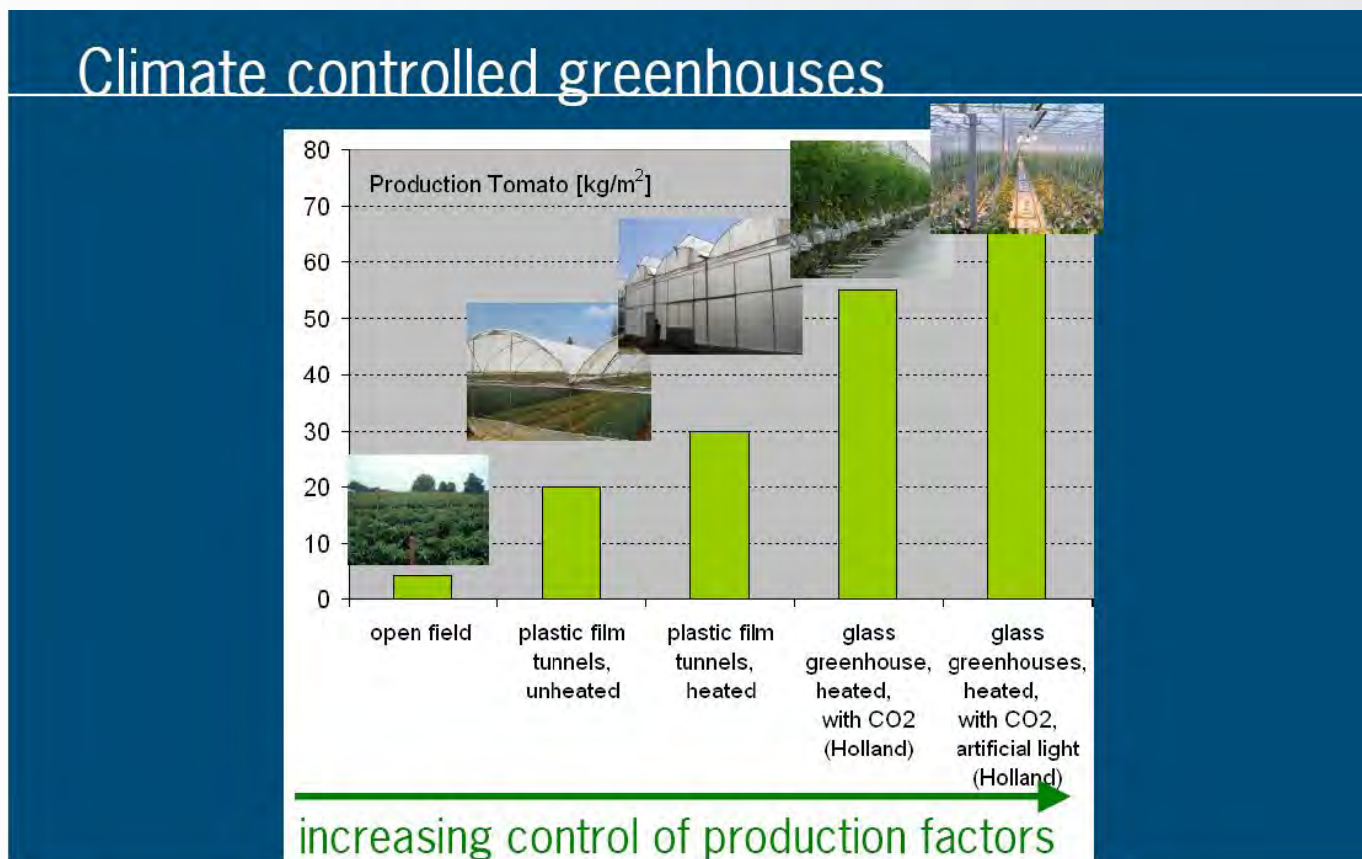


Las plantas se adaptan a las condiciones subóptimas

- Nivel tecnológico bajo
- Inversión limitada
- Escaso consumo de energía
- Moderadas producciones


Impacto de la incorporación de tecnología sobre la producción

Un aumento de la tecnología conlleva un aumento de la producción.



Nivel tecnológico óptimo de un invernadero

Incrementando la tecnología podemos mejorar la rentabilidad.

Tecnología  Rentabilidad: camino de ida y vuelta

Sin embargo, un incremento de la tecnología no siempre implica mayor rentabilidad.

El objetivo es que sea rentable y sostenible.



Tecnologías para el control del clima en invernaderos

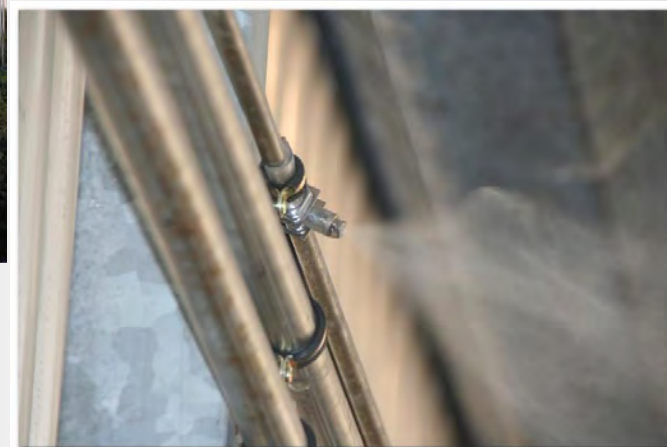
Calefacción agua caliente



Calefacción aire caliente



Humidificación



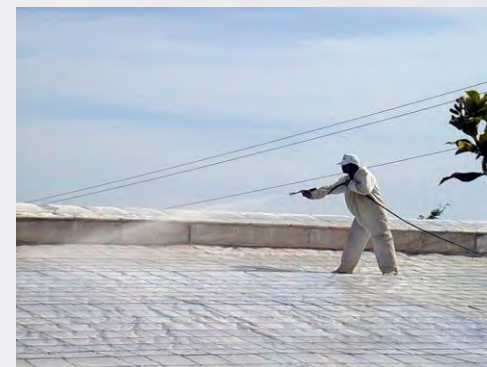
Ventilación forzada



Ventilación natural



Blanqueo



Energías renovables en invernaderos

Fotovoltaica



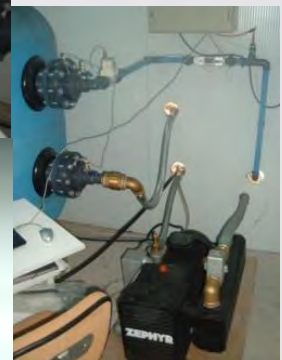
Invernaderos cerrados



Calefacción por biomasa



Sistema de
captura de CO₂

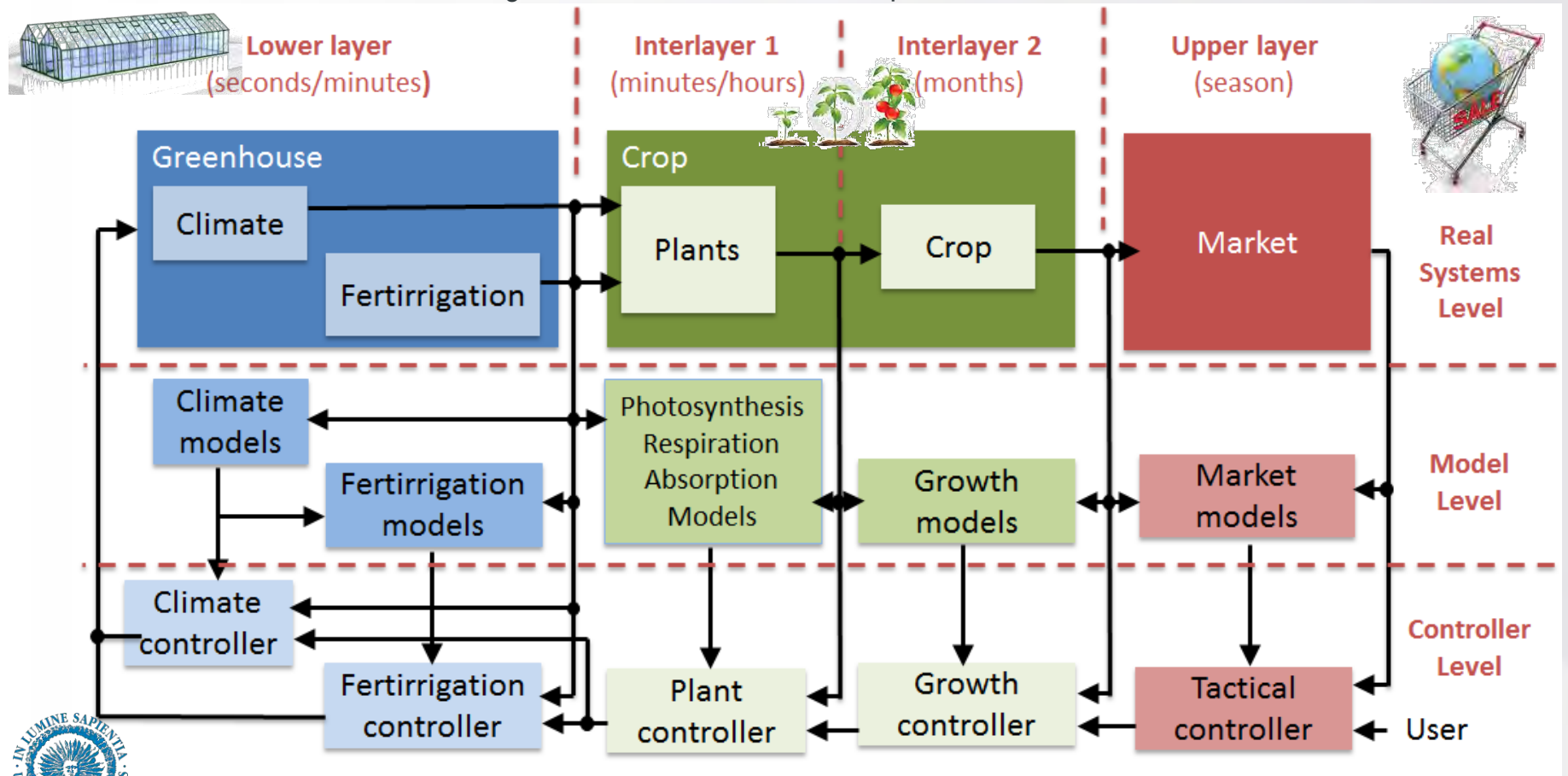


Control del clima del invernadero



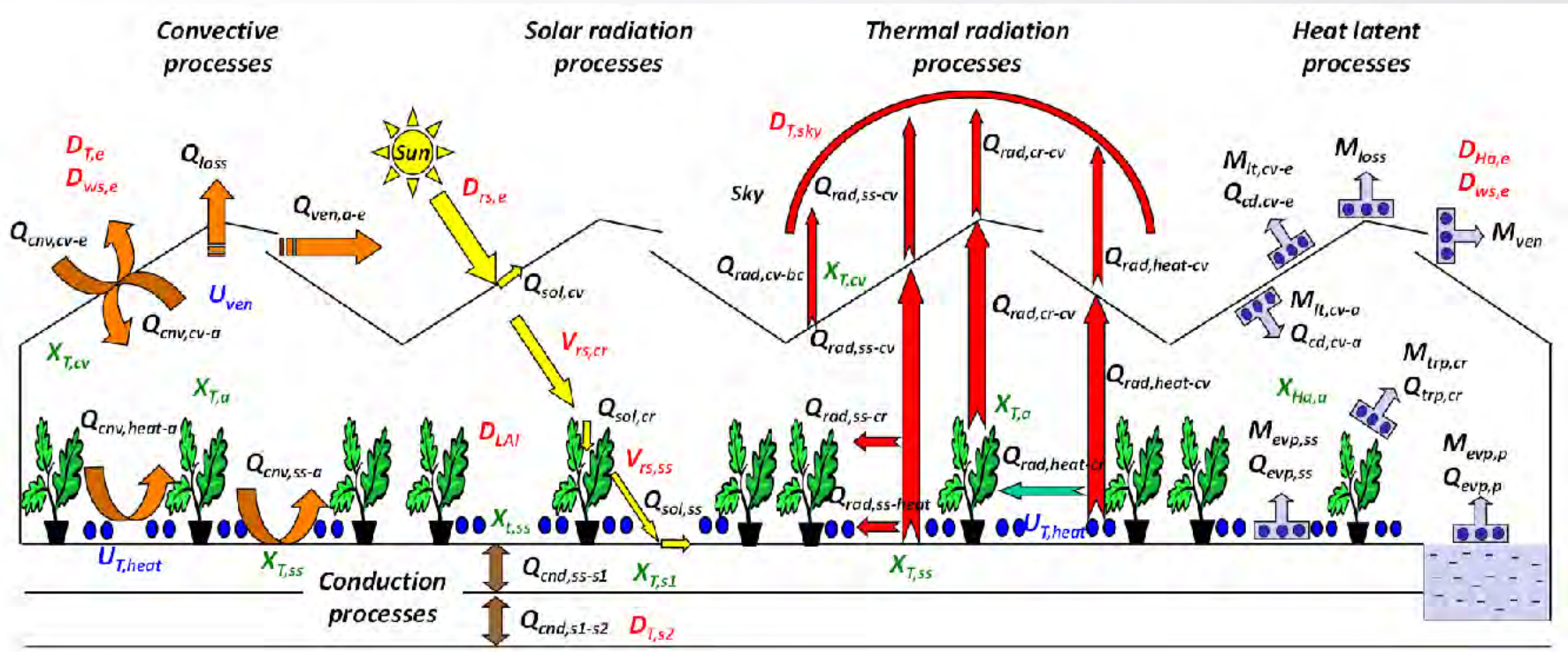
Control jerárquico

La Fundación Cajamar ha colaborado con el grupo de investigación de Automática, Robótica y Mecatrónica de la Universidad de Almería en el desarrollo de controladores jerárquicos. En estos se incorporan modelos de mercado, de predicción del clima y del coste de la energía para optimizar automáticamente las consignas a establecer, de forma que el beneficio económico resulte máximo.



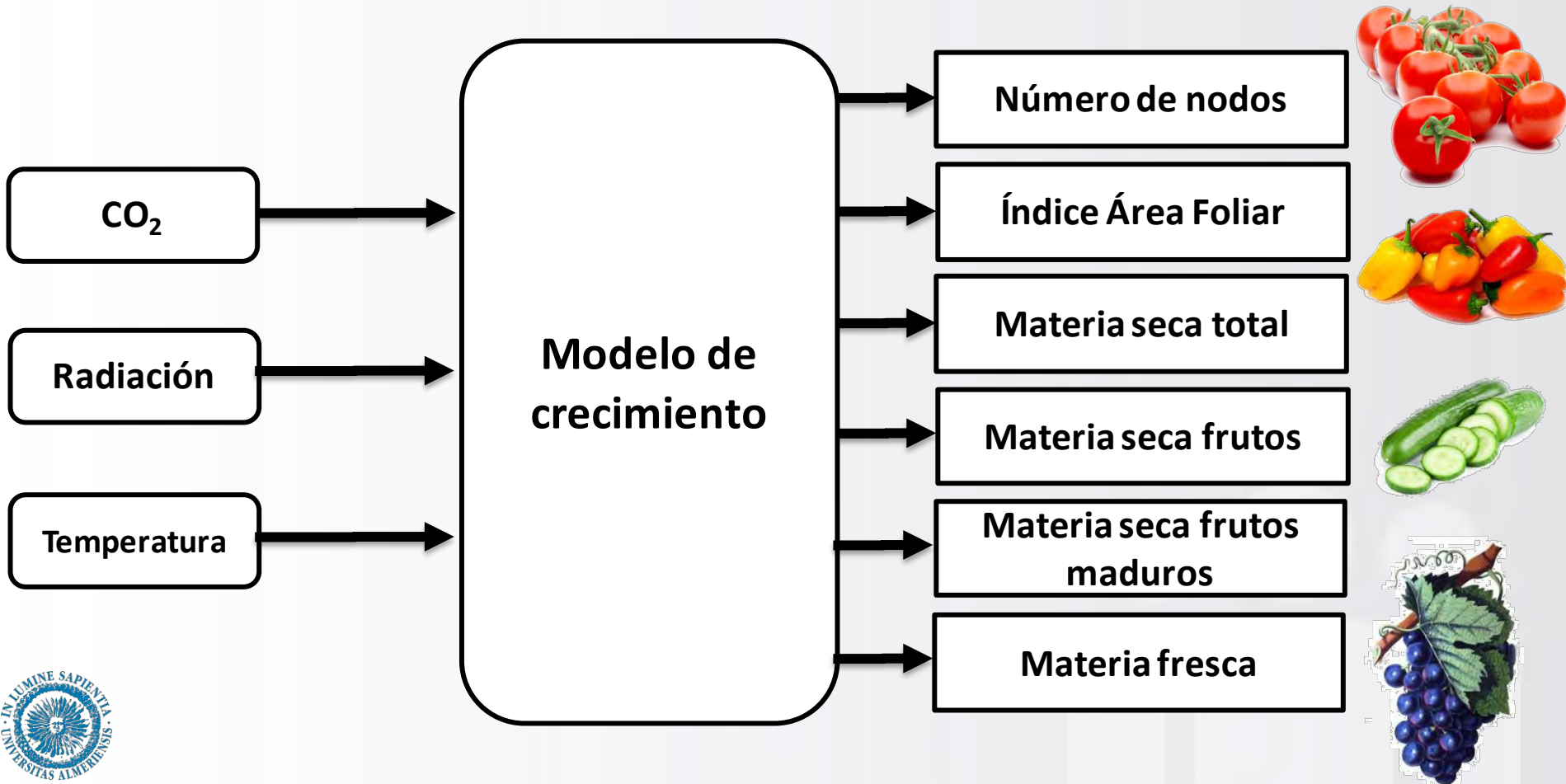
Modelo de clima en el invernadero

- El modelo de temperatura está basado en balances de energía
- El modelo de humedad se basa en un balance de materia del vapor de agua
- El modelo de CO₂ se base en un balance de materia del CO₂
- El modelo de radiación se basa en una ecuación algebraica



Modelos de predicción/estimación productiva

Los modelos de crecimiento calculan cómo evoluciona la radiación interceptada por el cultivo, así como la eficiencia de uso de dicha radiación, lo que permite determinar la producción de materia seca y, a partir de esta, la de materia fresca.



Gestión de la fertirrigación



Estrategias de manejo de la fertirrigación

- Manejo prescriptivo: aporte en base a las necesidades teóricas de agua y nutrientes
- Manejo correctivo: ajuste del aporte en base a medidas en suelo/planta
- Manejo prescriptivo-correctivo: calculo del aporte según las necesidades teóricas y corrección en parcela según indicadores en suelo/planta

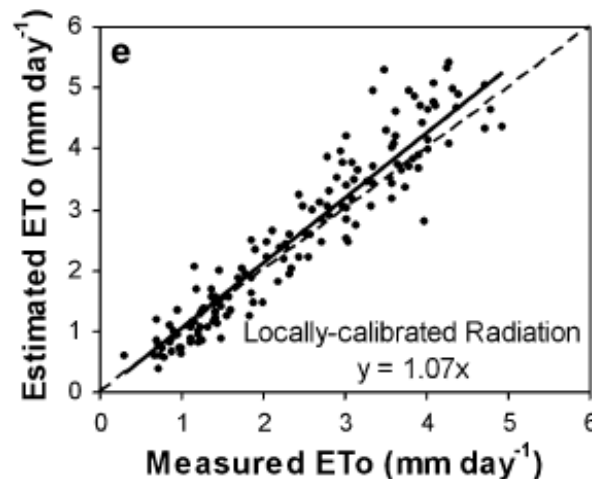
Manejo prescriptivo del riego

- Cálculo de la ETc basado en el método FAO: $ET_c = ET_o \times K_c$
- 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: 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 prescriptivo de la fertirrigación: Acceso al sistema de apoyo a la toma de decisión PrHo



The screenshot shows the website interface for 'Publicaciones de Cajamar Caja Rural'. The main navigation bar includes 'Publicaciones Periódicas', 'Series Temáticas', and 'RSS publicaciones'. A search bar is also present. The left sidebar lists various categories under 'Series Temáticas', such as 'Agricultura', 'Centros Experimentales', 'Economía', and 'Manuales Cajamar'. The main content area displays the title 'PrHo V. 2.0: Programa de Riego para cultivos Hortícolas en invernadero' with a cover image. Below the title, there are social media sharing options (Facebook, Twitter, Google+, Dribbble), author information (M^a Dolores González, Antonio Céspedes López and Alicia M^a González Céspedes), publication date (Enero de 2008), series name (Las Palmerillas), and legal deposit (AL-1233-2008). A 'Descargar documento' button with a download icon is visible. A 'Resumen:' section follows, providing a brief description of the program's purpose. At the bottom, contact information for 'publicaciones@cajamar.com' and the address 'Plaza de Barcelona 5. 04006, Almería.' is provided, along with the phone number '(+34) 950 210 189'. The footer includes the copyright notice '© Cajamar Caja Rural 2016. Todos los derechos reservados.'

El programa y un manual se pueden descargar gratuitamente en:

<http://www.publicacionescajamar.es/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/prho-v-20-programa-de-riego-para-cultivos-hortcolas-en-invernadero-2/>

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



Registro de la información adquirida mediante sensores

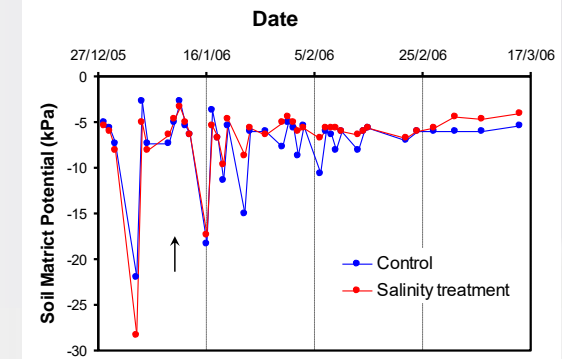
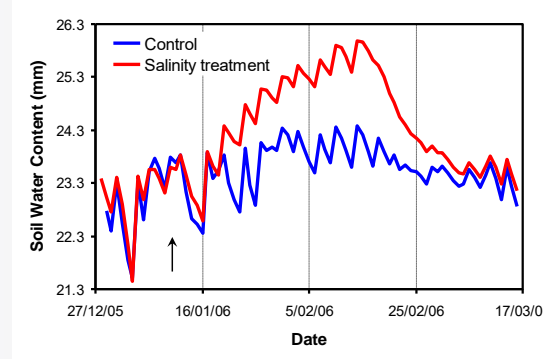
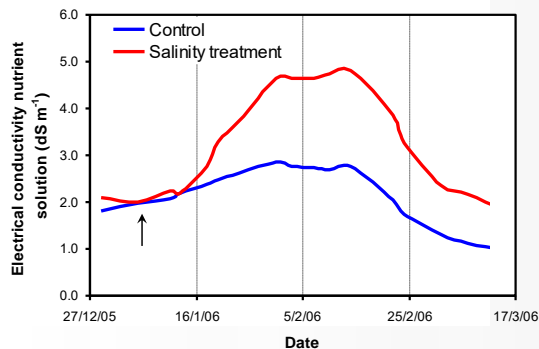
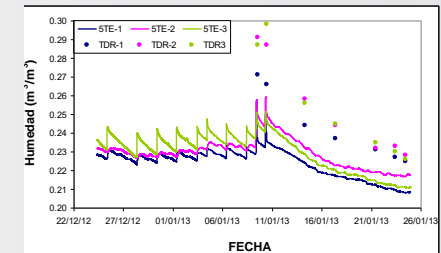
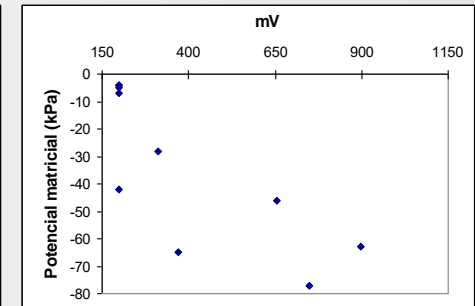
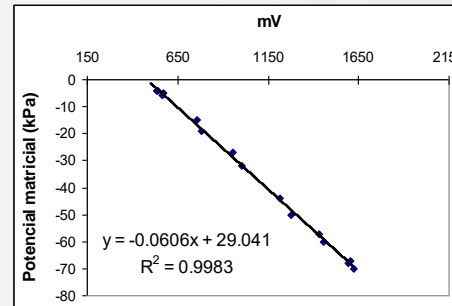
Hoy día existe tecnología adecuada que permite el envío a la nube de los datos adquiridos y su visualización a través de aplicaciones web o Apps. Esto ha facilitado considerablemente la instalación y uso de sensores, al minimizarse las necesidades de cableado, así como de suministro eléctrico, y evitarse la incorporación de dataloggers.



Manejo correctivo del riego: uso de sensores

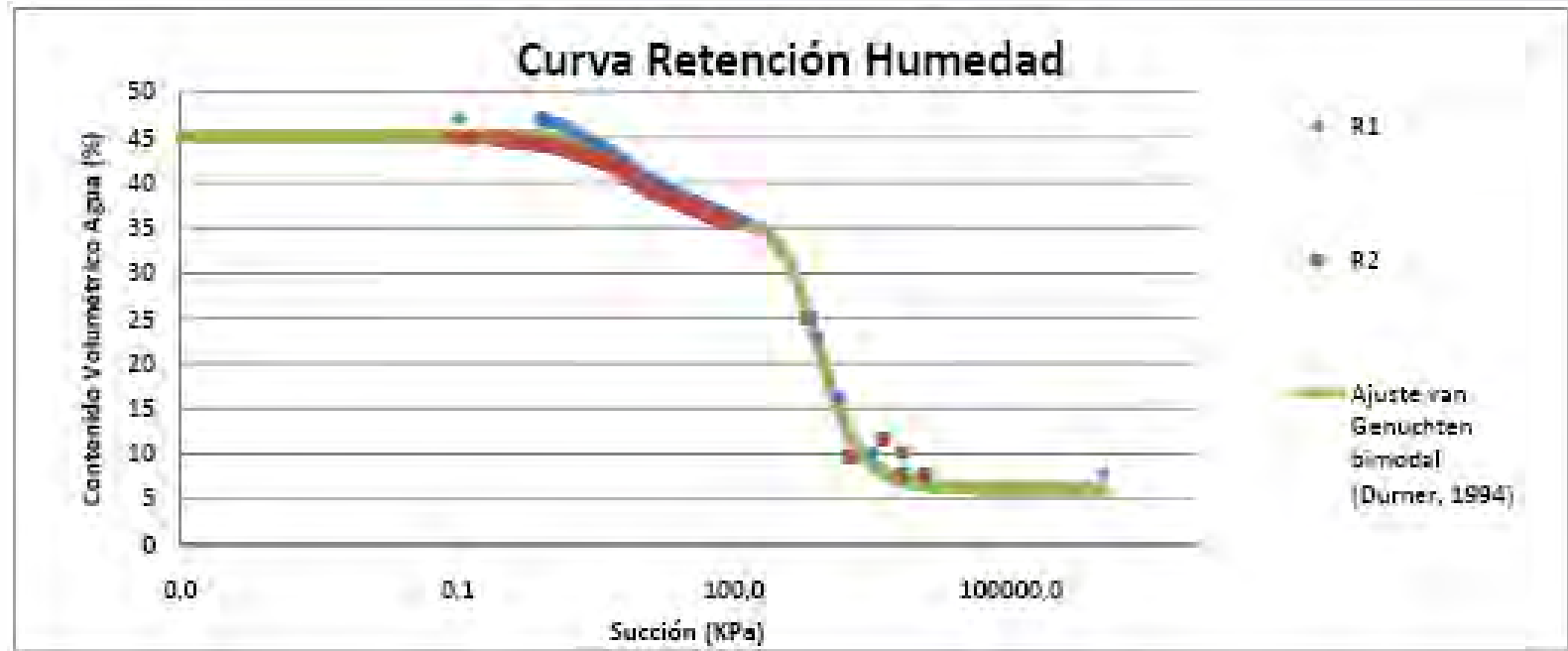
Problemas que se plantean en el manejo del riego mediante sensores:

- Riesgo derivado de averías
- Efecto de la variabilidad del suelo
- Efecto de la salinidad sobre las medidas
- Correcta instalación
- Falta de previsión de cuáles serán las necesidades de riego a medio plazo
- Interpretación de la información



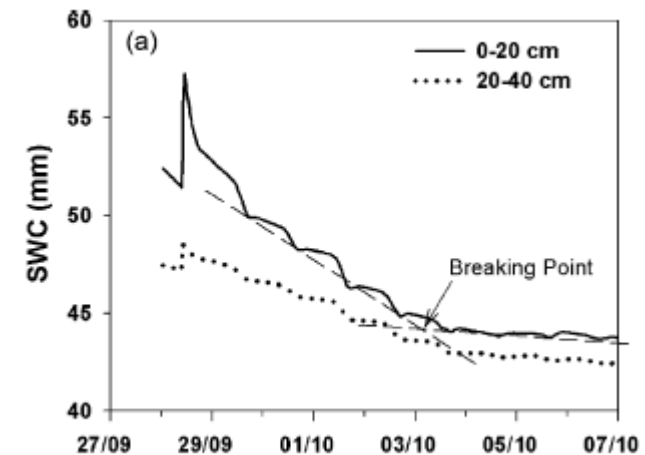
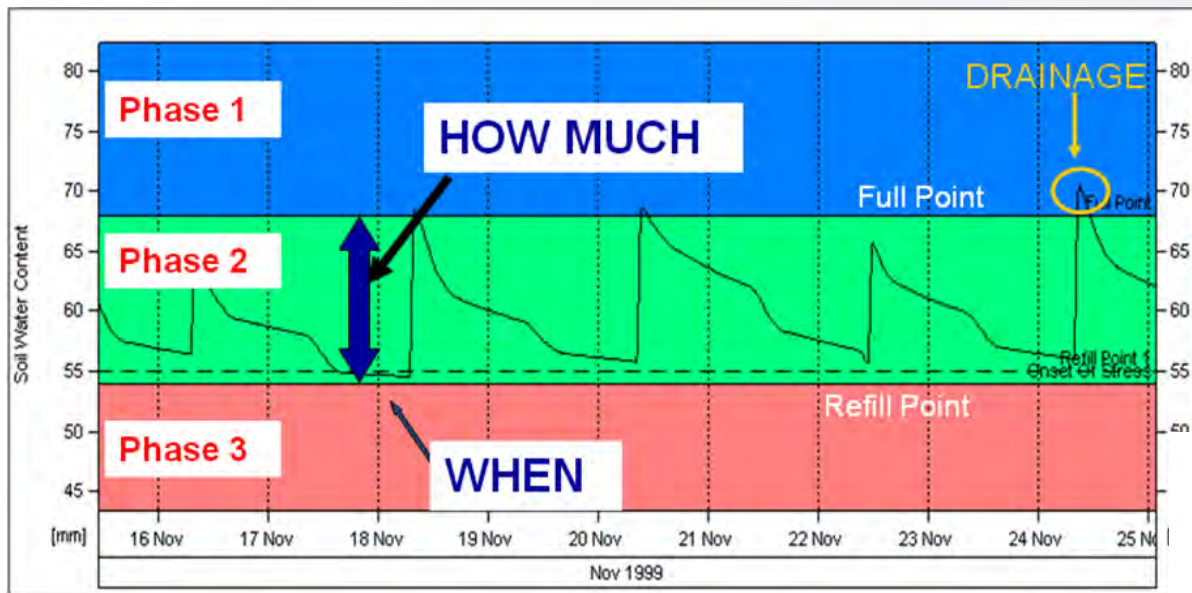
Manejo correctivo del riego: uso de sensores

En el rango de humedad del suelo que se maneja en fertirrigación en horticultura intensiva, la medida del potencial matricial es más sensible que la del contenido volumétrico de agua.



Manejo correctivo del riego: uso de sensores

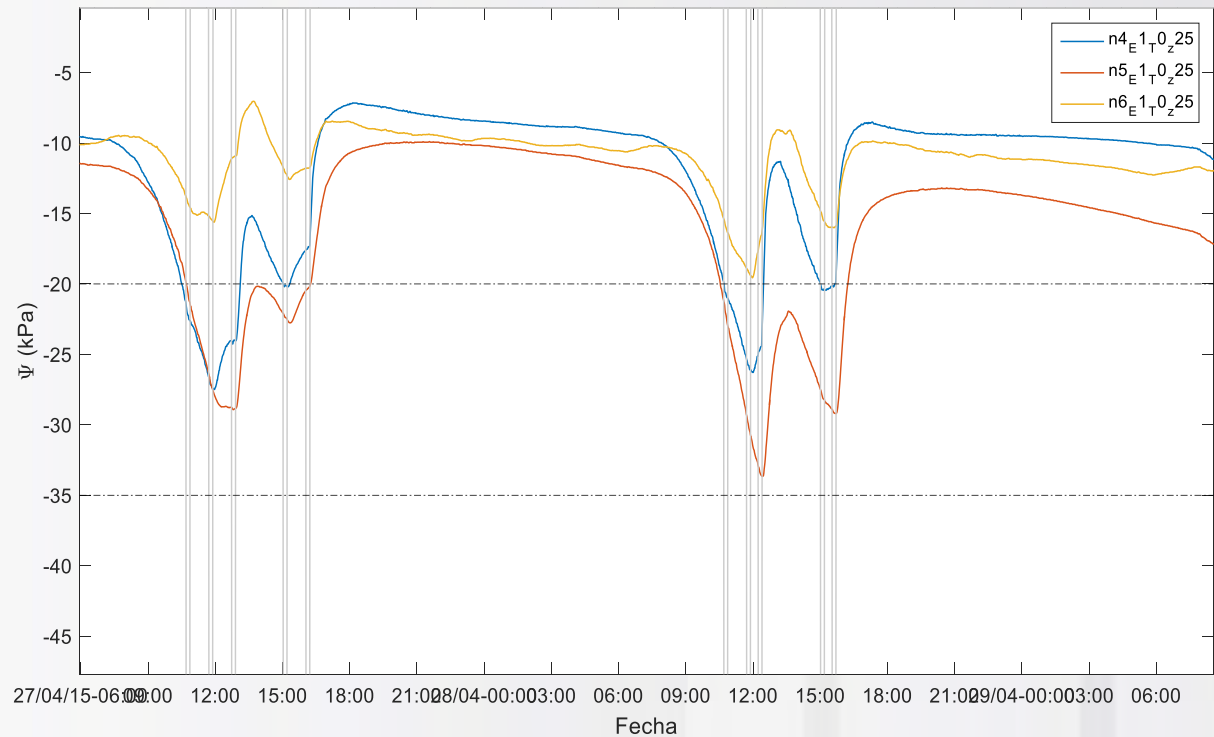
Cuando se utilizan sensores para el manejo del riego, es necesario definir los límites superior e inferior entre los que debe oscilar la humedad del suelo.



Thompson *et al.*, *Agricultural Water Management*, 92: 13-28

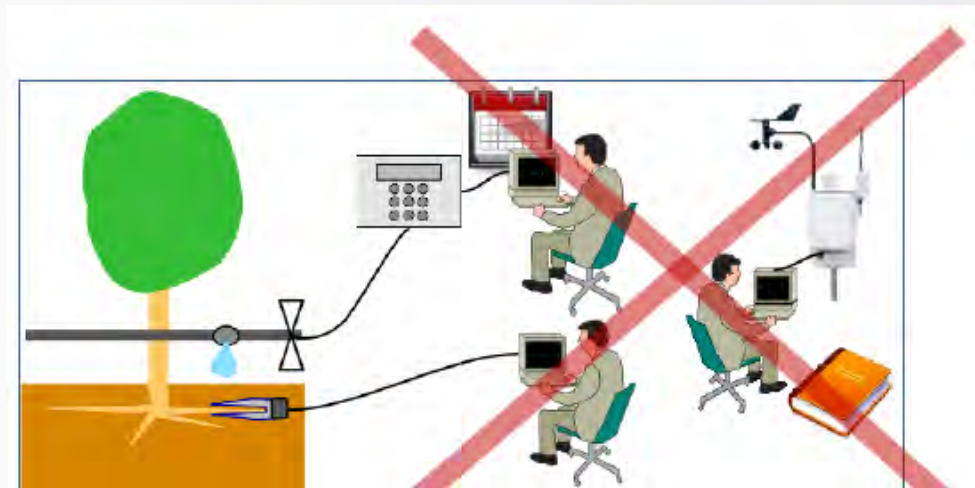
Automatización del riego con electrotensiómetros

Se deben utilizar varios sensores para mitigar la variabilidad del suelo y reducir el riesgo. En el ejemplo se utilizaron tres tensiómetros, activándose el riego cuando dos de ellos habían sobrepasado la consigna. Se deben establecer medidas de seguridad (pausas entre demandas suficientemente largas, número máximo de riegos, etc).



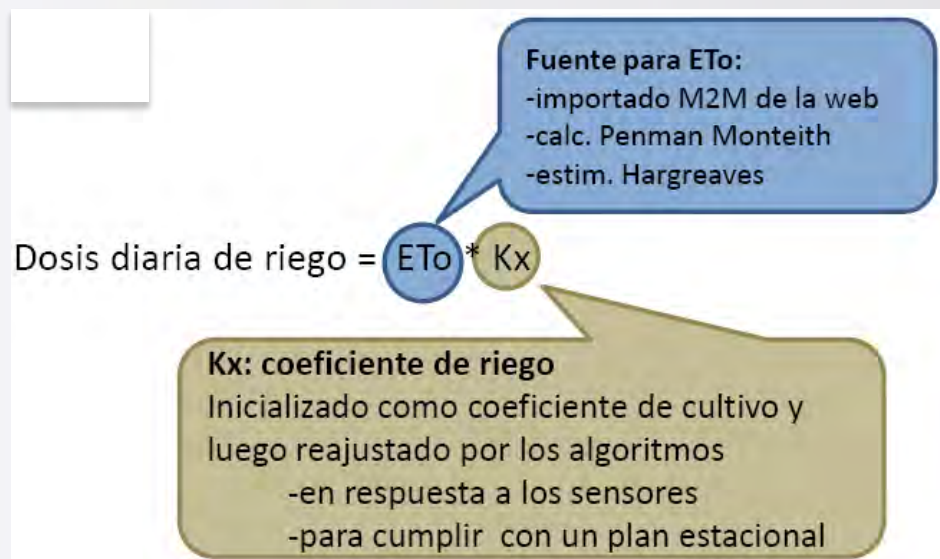
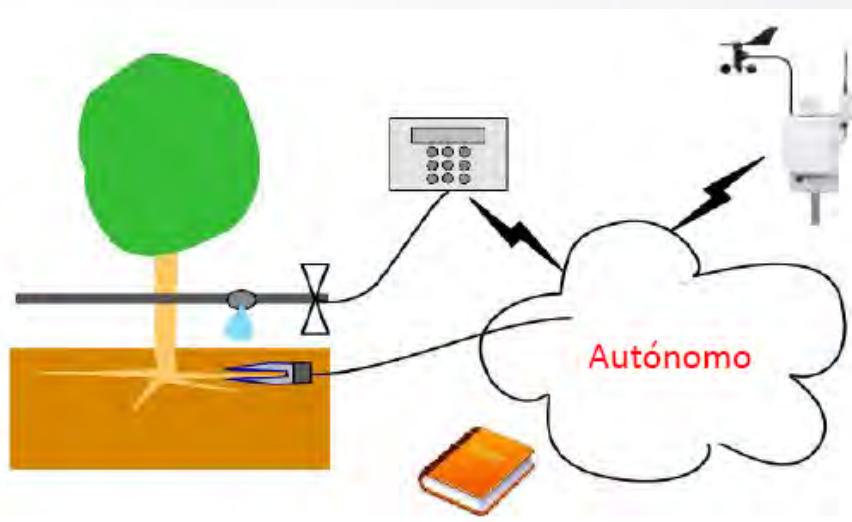
Combinación de modelos y sensores

En la actualidad el agricultor tiene a su alcance diversas tecnologías para la optimización del riego (recomendaciones de los servicios de asesoramiento al regante de las comunidades autónomas, sistemas de ayuda a la toma de decisiones que pueden utilizar datos climáticos medios o los propios de la explotación si se registran, sensores para la medida de la humedad del suelo, sensores para la determinación del estado hídrico de la planta). Sin embargo, su uso requiere esfuerzo, perseverancia y conocimientos por parte del regante.



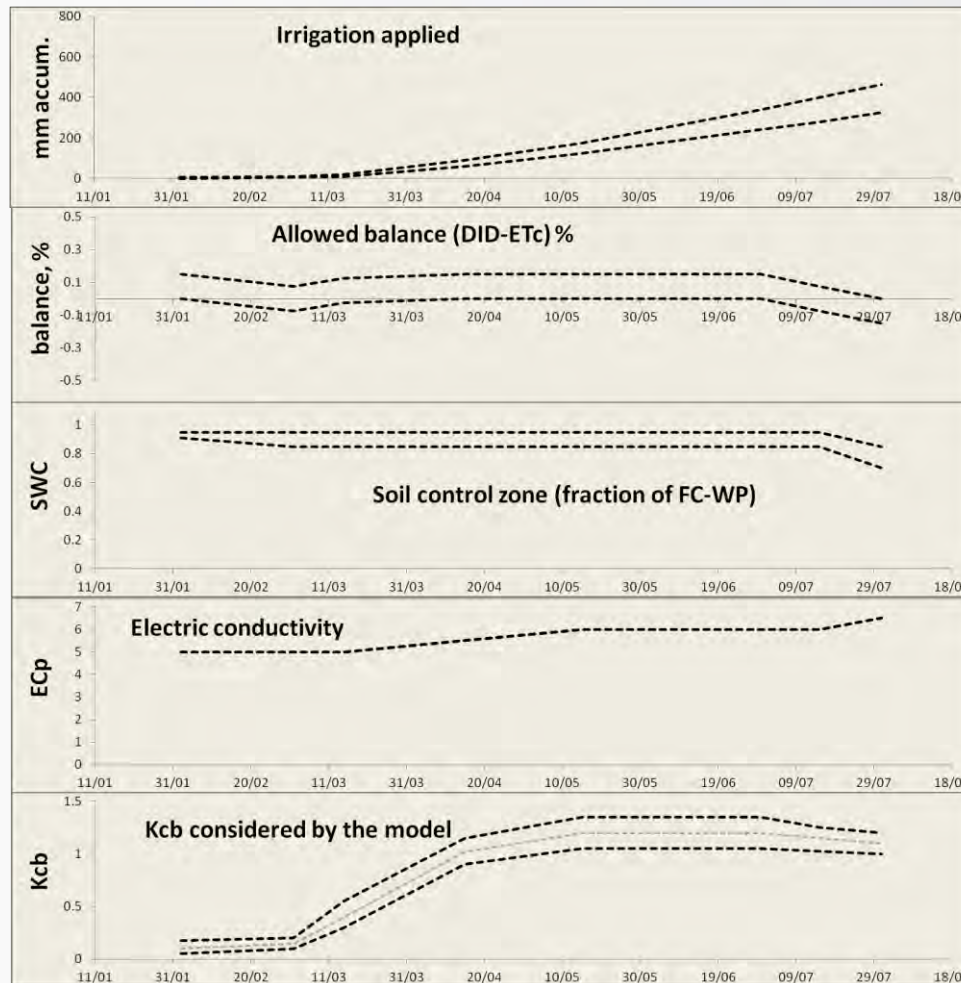
Combinación de modelos y sensores

Ante este problema se ha propuesto el desarrollo de un algoritmo (IRRIX) para la programación automática del riego capaz de integrar los modelos de cálculo de la E_{Tc} y los sensores (Casadesús *et al.*, 2012). La Fundación Cajamar está participando en el proyecto INIA RTA2013-00045-C04 (“Integración de sensores de agua en el suelo en una estrategia estacional de reprogramación automatizada del riego localizado”) coordinado por IRTA, en el que este algoritmo se ha adaptado para el riego de cultivos hortícolas intensivos.



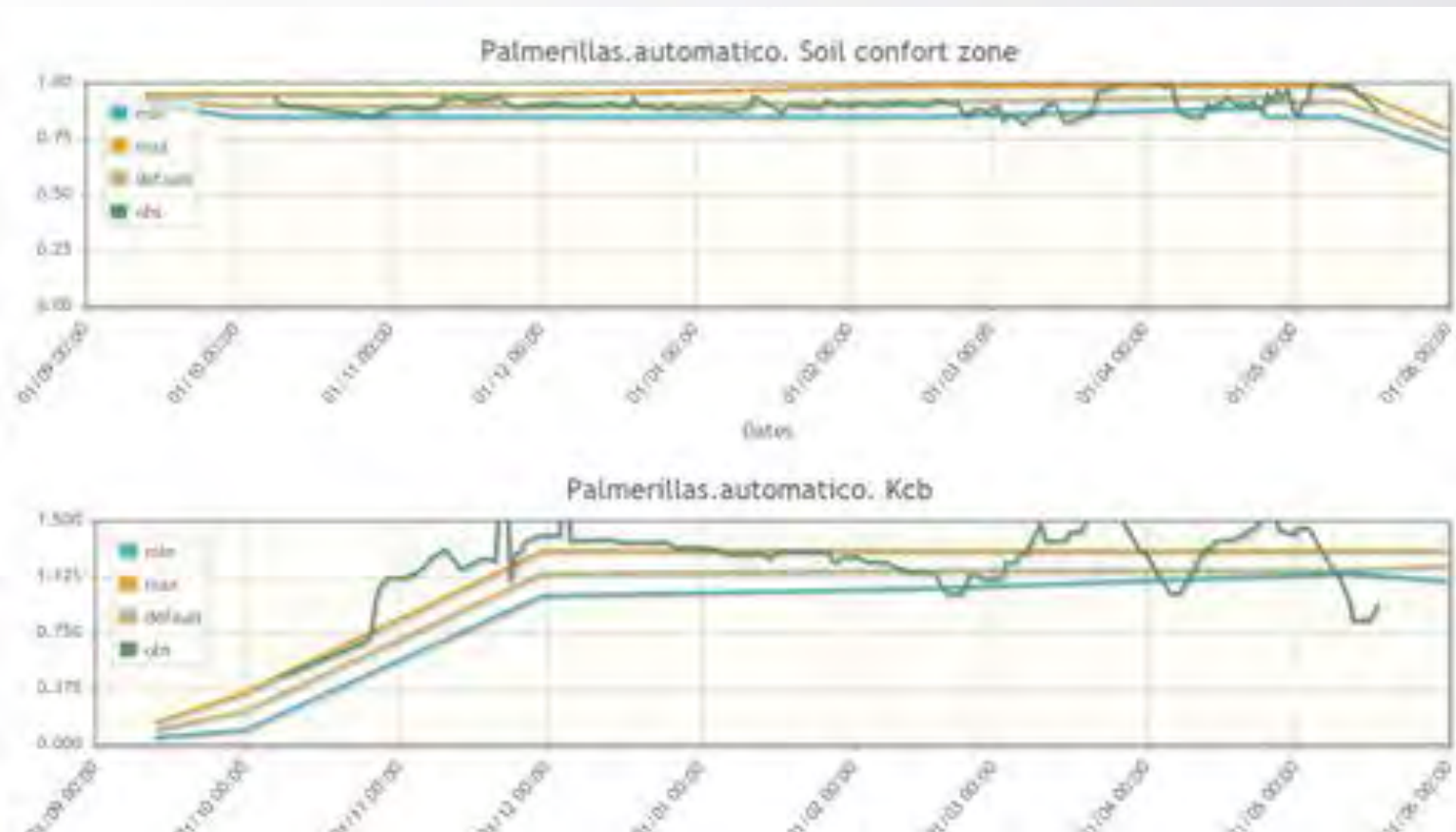
Combinación de modelos y sensores

Al inicio del cultivo se define un plan estacional que IRRIX trata de cumplir ajustando la dosis de riego calculada por el modelo de ETC.



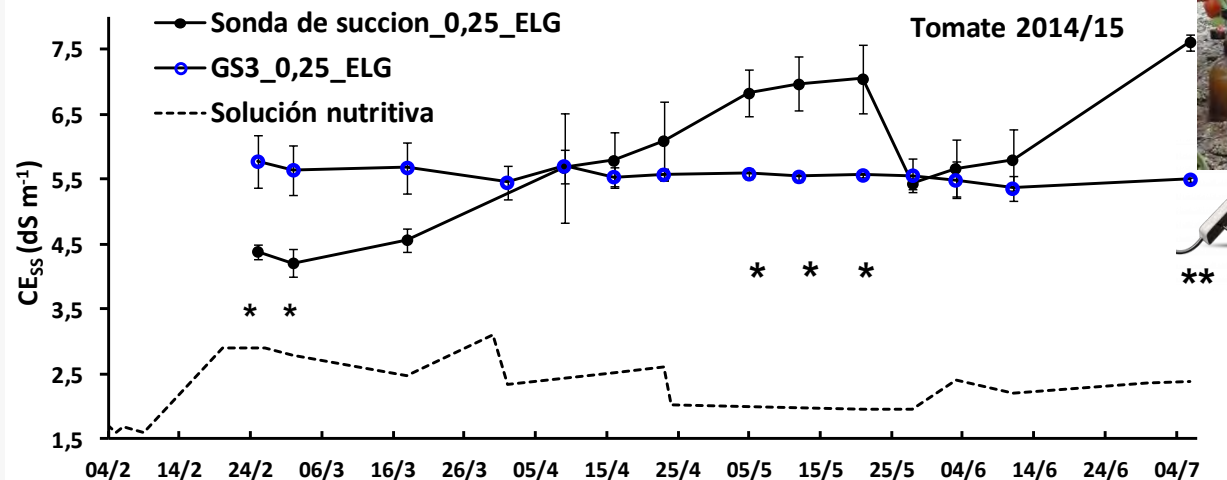
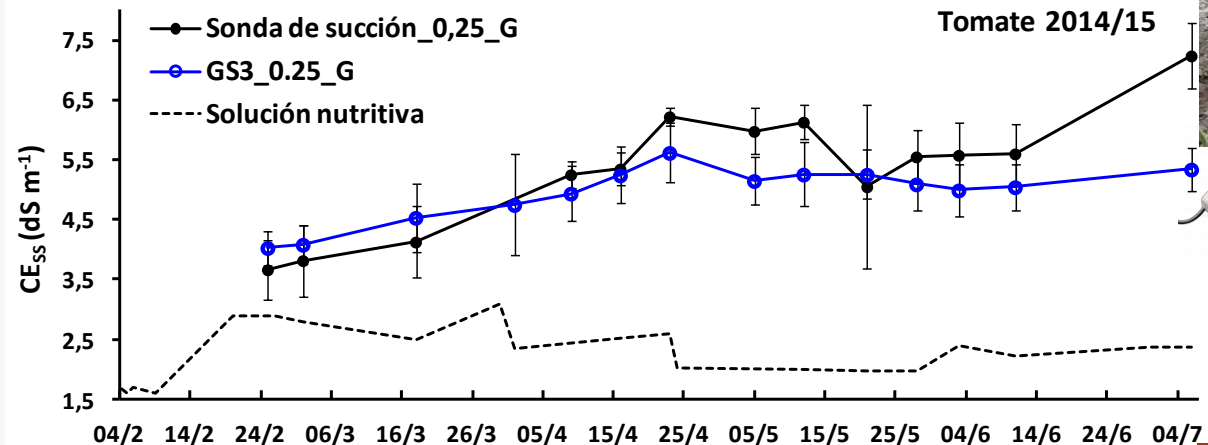
Combinación de modelos y sensores

El algoritmo es capaz de controlar el riego satisfactoriamente. La limitación viene dada por los sensores, que se han visto afectados por la salinidad.



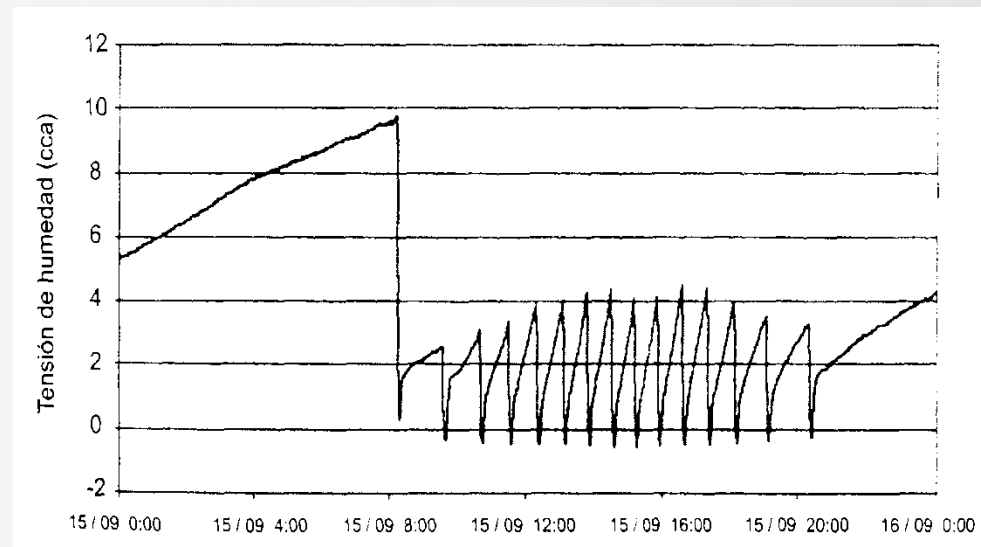
Combinación de modelos y sensores

Para el seguimiento de la humedad y la CE del suelo, con el fin de utilizar estos parámetros como entradas de IRRIX, se han utilizado sensores GS3 de Decagon. Se ha comprobado que la localización más adecuada es próxima al gotero y que permiten obtener una estimación adecuada de la CE del suelo hasta un valor aproximado de 5 dS m⁻¹.



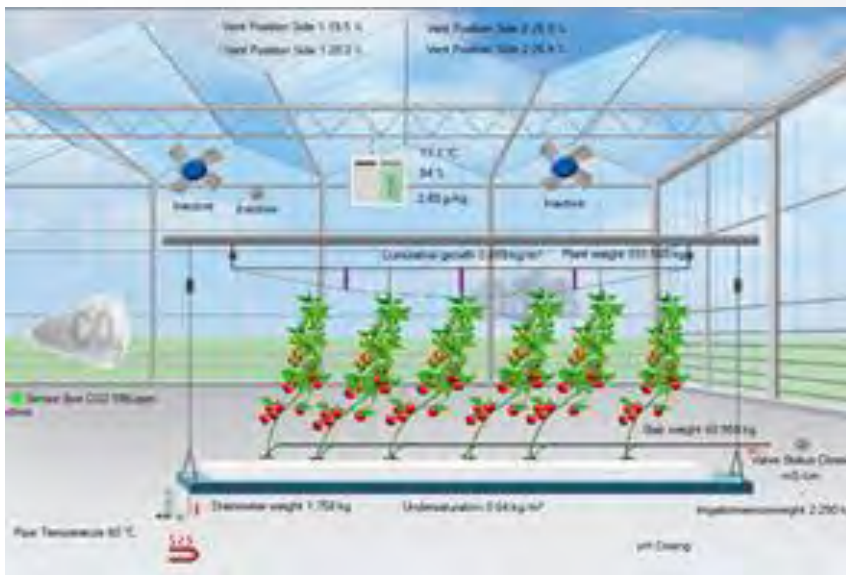
Automatización del riego en cultivo sin suelo

- En cultivo sin suelo se establece una alta frecuencia de riego por lo que se suelen utilizar sistemas automáticos de demanda.
- En el sureste español el sistema de demanda más ampliamente utilizado es la bandeja de demanda.
- La bandeja de demanda no es un sistema perfecto ya que provoca un retraso del riego en los periodos de mayor transpiración.
- Se ha intentado desarrollar sistemas de demanda alternativos pero, de momento, el sistema perfecto no existe.

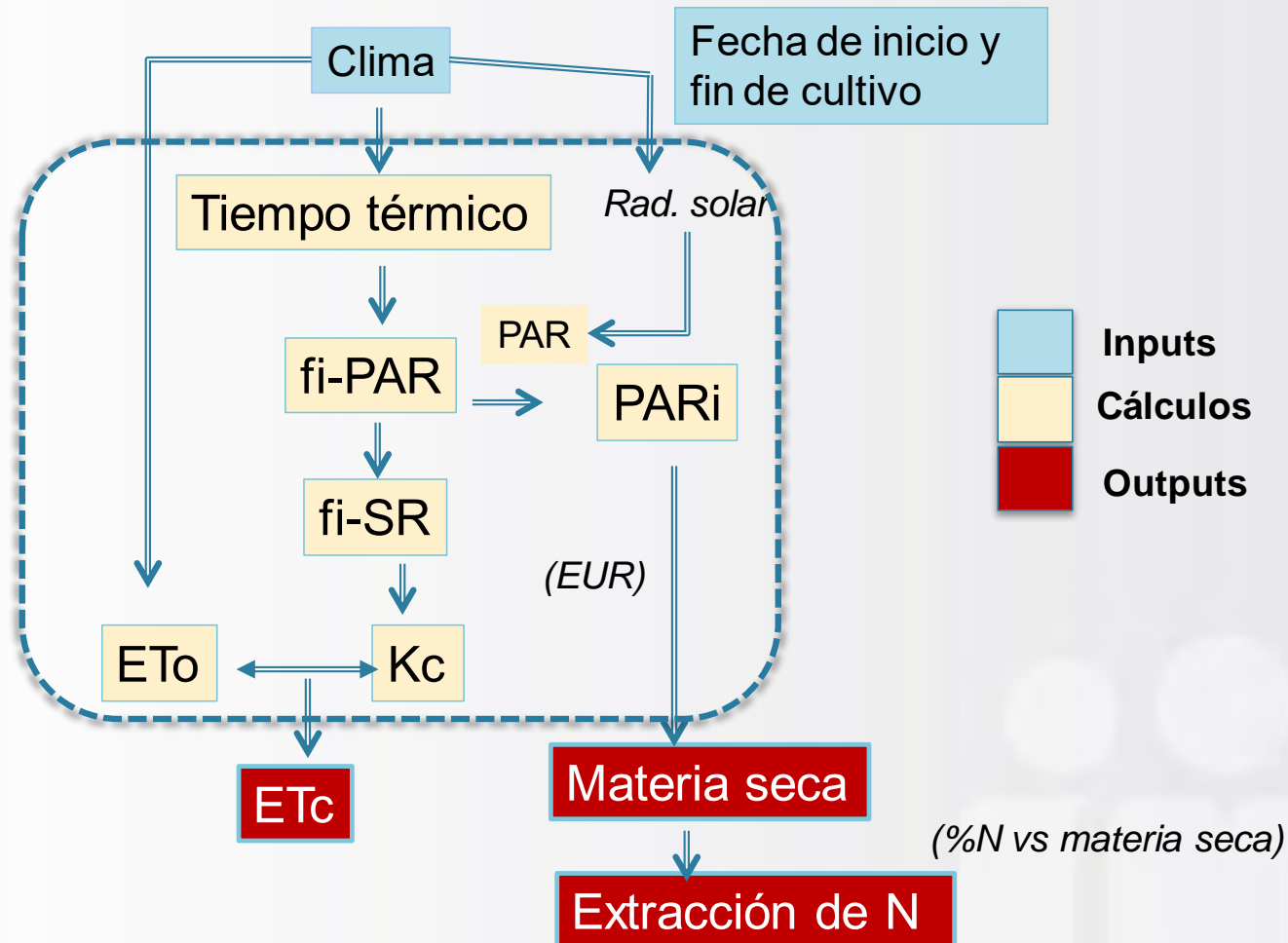


Control del riego con balanza lisimétrica

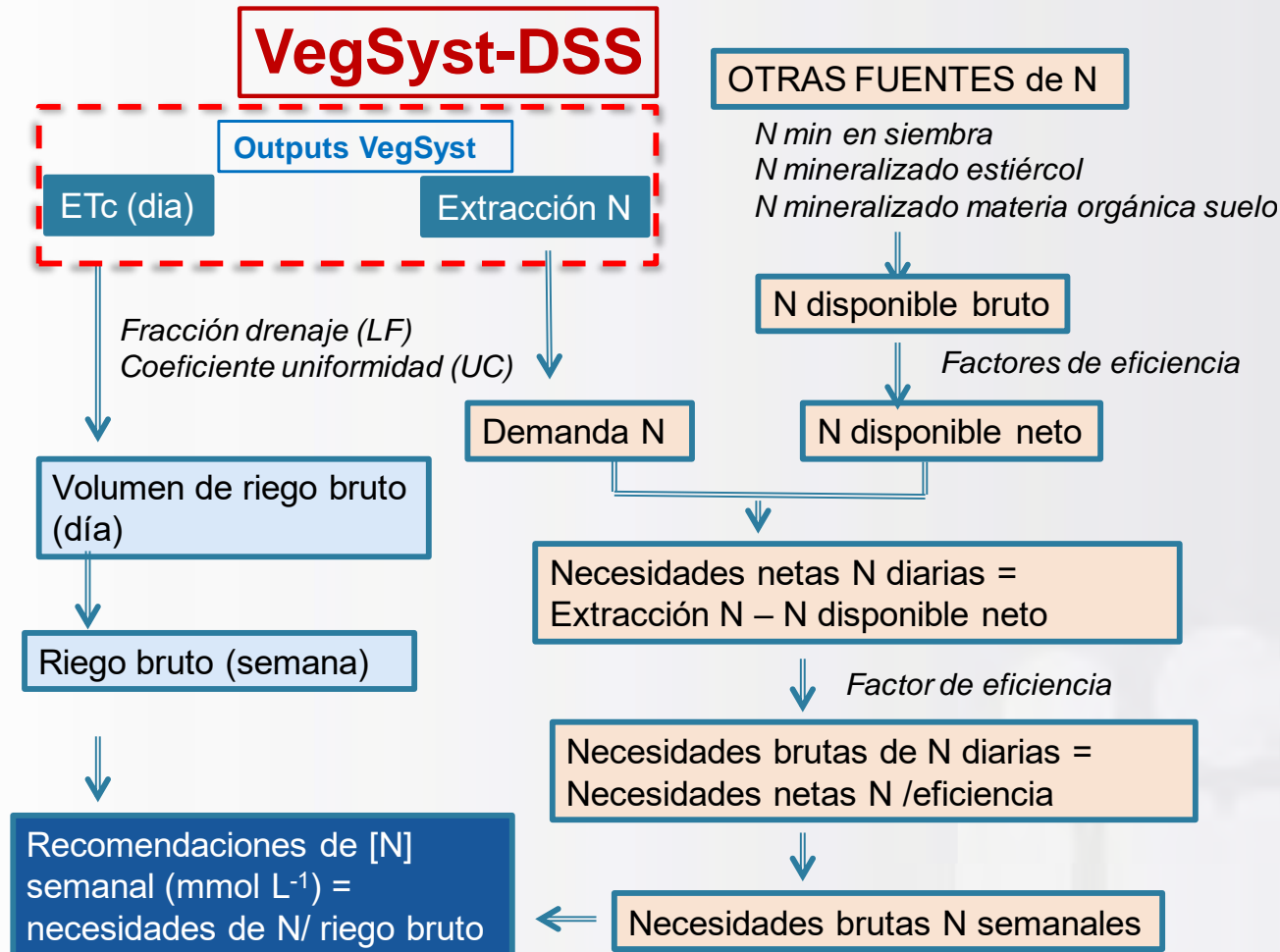
Actualmente se están utilizando a nivel comercial sistemas de pesada para el control del riego. Estos dispositivos miden, por un lado, el peso de varios sacos de cultivo y, por otro, el peso de las plantas correspondientes, así como el volumen de agua aportada y drenada. De este modo, el software es capaz de hacer un balance y calcular a tiempo real el consumo de agua del cultivo, previa limpieza del ruido existente en los datos. Al alcanzarse un cierto valor de consumo acumulado, se activa el riego. Este sistema también se está utilizando para conocer el crecimiento que experimenta el cultivo y poder así optimizar la producción.



Manejo prescriptivo de la fertilización: modelo VegSyst desarrollado para la estimación de la extracción de nitrógeno en las condiciones de los invernaderos de Almería (Gallardo *et al.*, 2011)



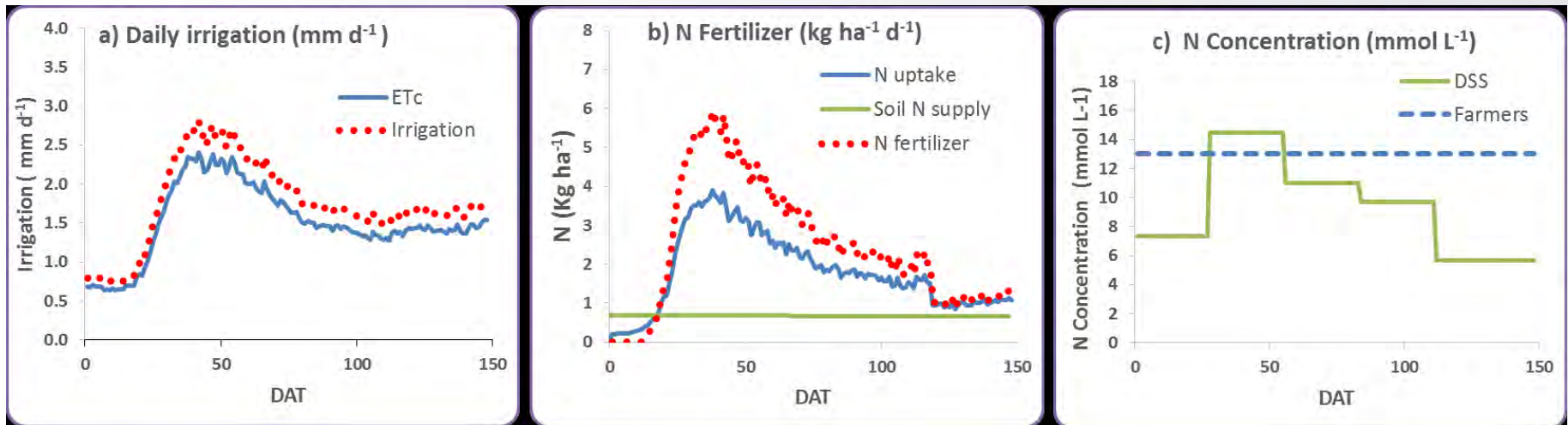
Manejo prescriptivo: sistema de apoyo a la toma de decisión basado en el modelo VegSyst para calcular los requerimientos de nitrógeno y agua en las condiciones de los invernaderos de Almería (Gallardo *et al.*, 2014)



Manejo prescriptivo: ejemplo de salidas del sistema de apoyo a la toma de decisión VegSys-DSS

Cultivo de pepino:

- Del 5 de Septiembre al 1 de Febrero
- 80 kg N ha⁻¹ en el suelo en el momento del trasplante
- 50 m³ ha⁻¹ de estiércol aplicado el año anterior
- Coeficiente de uniformidad del sistema de riego: 0,95
- CE del agua de riego: 2 dS m⁻¹



Manejo prescriptivo de la fertirrigación: Acceso al sistema de apoyo a la toma de decisión basado en el modelo VEGSYST



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

Contacta Correo Buscar

Inicio > Universidad > Grupo de Nitrógeno y Riegos de la UAL

Grupo de Nitrógeno y Riegos de la UAL

- > Inicio
- > Investigación
- > Personal
- > Publicaciones
- > Tesis doctorales
- > Proyectos fin de grado y máster
- > Proyectos
- > Responsabilidades editoriales y científicas
- > Presentaciones invitadas
- > Programa VegSys-DSS

VegSys-DSS, herramienta de ayuda en la toma de decisiones en el manejo del riego y la fertilización nitrogenada en cultivos hortícolas en invernadero

La primera versión del software VegSys-DSS ya está disponible. El software se puede descargar desde el enlace que aparece a la derecha junto al manual y un archivo Excel que se usa como plantilla para crear archivos de clima. Próximamente se dispondrá de un video demostrativo del software.

El Sistema de Ayuda a la toma de decisiones VegSys (VegSys-DSS) ha sido desarrollado para calcular las necesidades diarias de fertilizante nitrogenado y de riego y la concentración de N de la solución nutritiva aplicada mediante fertirrigación y riego por goteo en cultivos hortícolas de invernadero. Se puede usar en cultivos en suelo o en sustrato. Las necesidades de fertilizante N se calculan a partir de la extracción diaria de N del cultivo y consideran el N mineral presente en el suelo al comienzo del ciclo y el N mineralizado desde el estiércol y la materia orgánica del suelo. Las necesidades de riego se calculan a partir de la ETC y consideran la eficiencia de aplicación del riego y la salinidad del agua de riego.

VegSys-DSS requiere pocas variables de entrada que suelen ser fácilmente disponibles para los agricultores y técnicos asesores. Estas variables son:

- > Valores diarios de temperatura y humedad relativa máxima y mínima dentro del invernadero y radiación solar exterior
- > Cantidad de N mineral en el suelo al comienzo del ciclo
- > Información sobre la última aplicación de estiércol

Descarga

- VegSys-DSS software
- VegSys-DSS manual
- VegSys-DSS video demo
- VegSys-DSS plantilla de clima

El programa y un manual se pueden descargar gratuitamente en:

<http://www.ual.es/GruposInv/nitrogeno/VegSys-DSS%20-%20ESP.shtml>

Además, hay un vídeo de demostración en esta página web.

Manejo correctivo: 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 / Rhizon

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

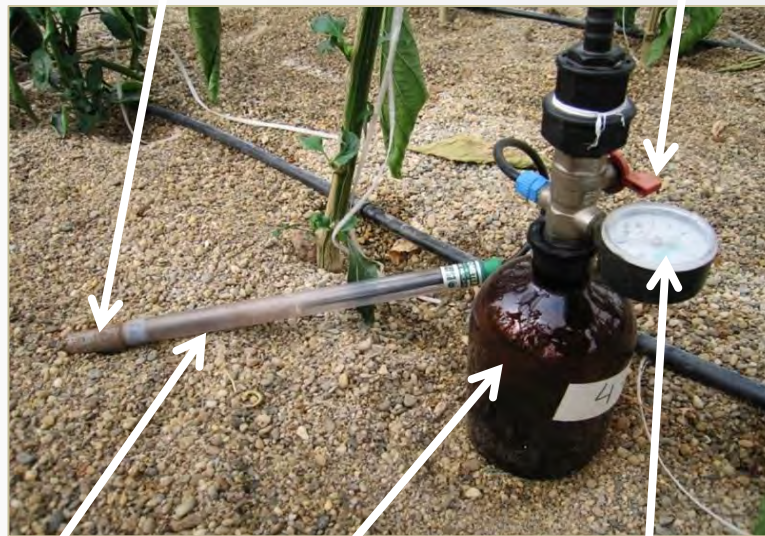


Manejo correctivo: sondas de succión

- 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: sistema automático de extracción y medición de la CE

En la actualidad existen equipos capaces de extraer automáticamente la solución del suelo, midiendo a continuación su conductividad eléctrica (y pH).



Manejo correctivo: uso de electrodos selectivos

- 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

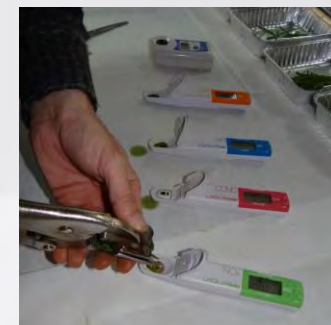
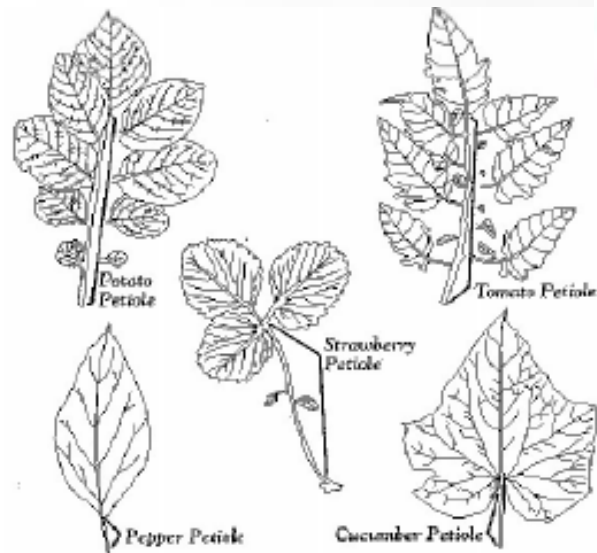
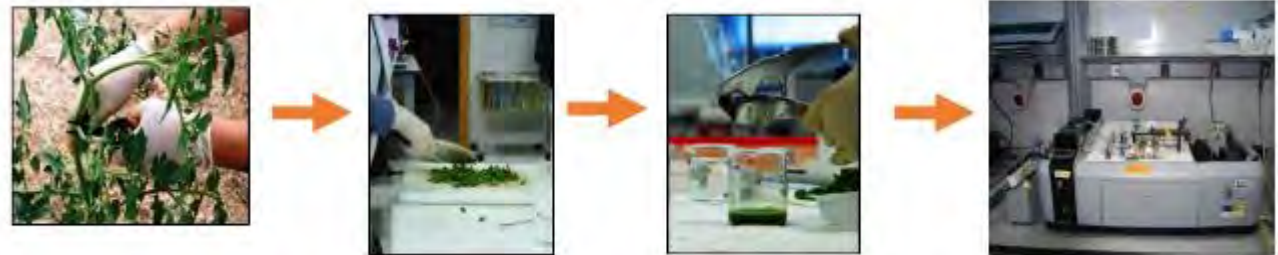
Botón de
calibración

Pantalla de lectura

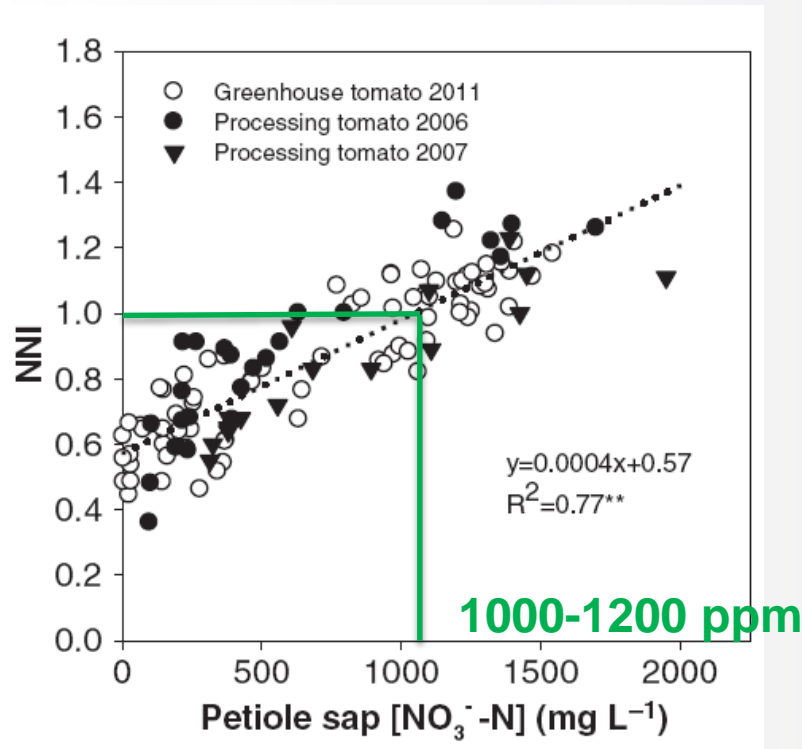


Manejo correctivo: análisis de savia

- Nos informa sobre la nutrición del cultivo en los días previos al momento del muestreo. Es una técnica de diagnóstico útil cuando la fertilización puede variar en pocos días, como ocurre en la fertirrigación.
- El material analizado corresponde al jugo extraído de tejidos conductores de la planta.



Manejo correctivo: niveles de referencia para nitrógeno en análisis de savia



Peña-Fleitas *et al.* (2015)

Valores de referencia (en ppm) de la concentración de nitrógeno nítrico para análisis de savia en las condiciones de cultivo de Almería (Thompson *et al.*, 2016)

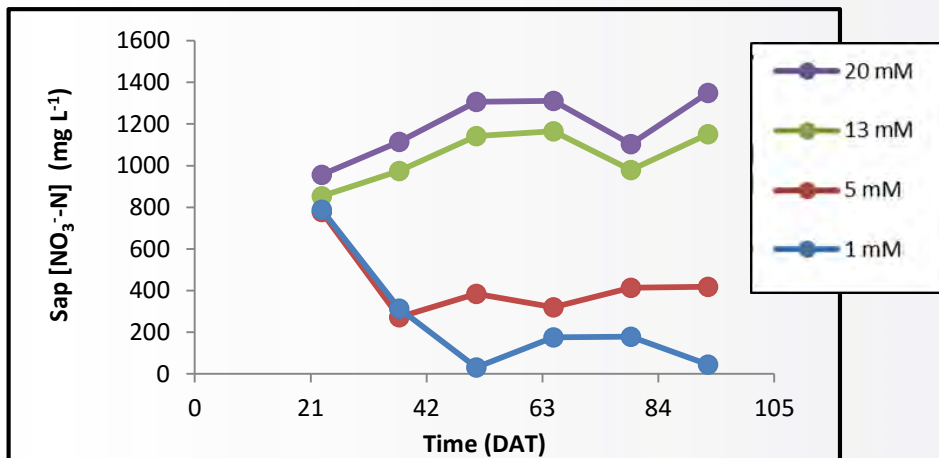
CULTIVO	VALORES DE REFERENCIA
Tomate	1000-1200
Melón	1100-1300
Pimiento	1100-1500

$$NNI = \%N_{\text{actual}} / \%N_{\text{crítico}}$$

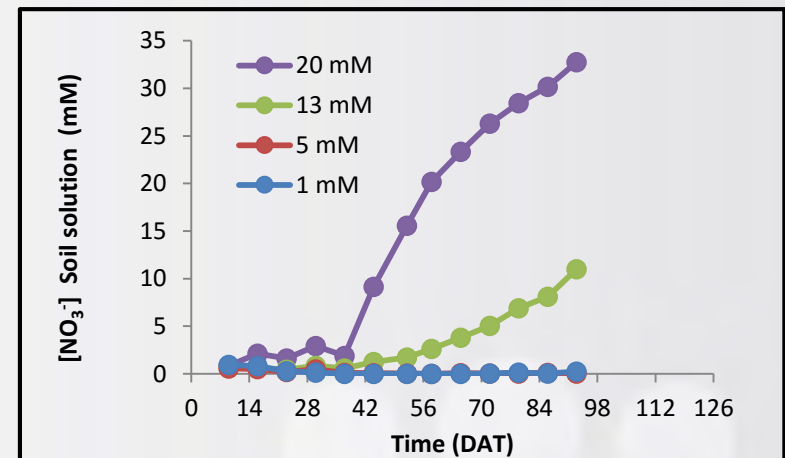
Manejo correctivo: combinación de sondas de succión y análisis de savia para una fertilización nitrogenada optimizada (Peña-Fleitas *et al.*, 2015)

Con el fin de optimizar la fertilización nitrogenada parece adecuado la combinación del seguimiento de la concentración de nitratos tanto en savia como en la solución del suelo ya que la primera técnica permite detectar niveles de deficiencia, mientras que la segunda es mucho más sensible al exceso de nitrógeno.

Savia



Solución de suelo



Manejo correctivo: sensores ópticos para el manejo del nitrógeno en los cultivos de invernadero

- Los sensores ópticos permiten evaluar rápidamente el estado nitrogenado del cultivo, permitiendo el ajuste rápido de la nutrición nitrogenada para asegurar un estado óptimo.
- Tienen potencial para proporcionar un manejo del nitrógeno adaptado a un cultivo dado.
- Los resultados están disponibles de inmediato.
- Actualmente tienen un uso considerable en cultivos al aire libre en Norte América.



Manejo correctivo: sensores ópticos que están siendo evaluados (Thompson, comunicación personal)

1. Sensores de reflectancia



Crop Circle ACS470
(6.500€)



Greenseeker hand-held
(690€)

2. Medidores de clorofila



SPAD
(3.000€)



AtLeaf+
(260€)



Apogee
(2.900€)

3. Sensor de fluorescencia (MULTIPLEX)

- Clorofila en hoja
- Flavonoides en hoja
- Relación entre ambos (Nitrogen Balance Index; NBI)



Multiplex
(Muy caro)

Manejo correctivo: evaluación de sensores ópticos para el manejo del nitrógeno en invernaderos (Thompson, comunicación personal)

1. Evaluación de sensores

- Determinación de relaciones entre las medidas del sensor y el estado nitrogenado del cultivo (como Nitrogen Nutrition Index (NNI))
- NNI (Nitrogen Nutrition Index):
 - Relación entre el contenido de nitrógeno del cultivo y el contenido crítico de nitrógeno.
 - Contenido crítico de nitrógeno: valor por debajo del cultivo el crecimiento del cultivo está limitado.
 - Medida aceptada del estado nitrogenado del cultivo.
 - Indica si el cultivo tiene deficiencia, suficiencia o exceso de nitrógeno.

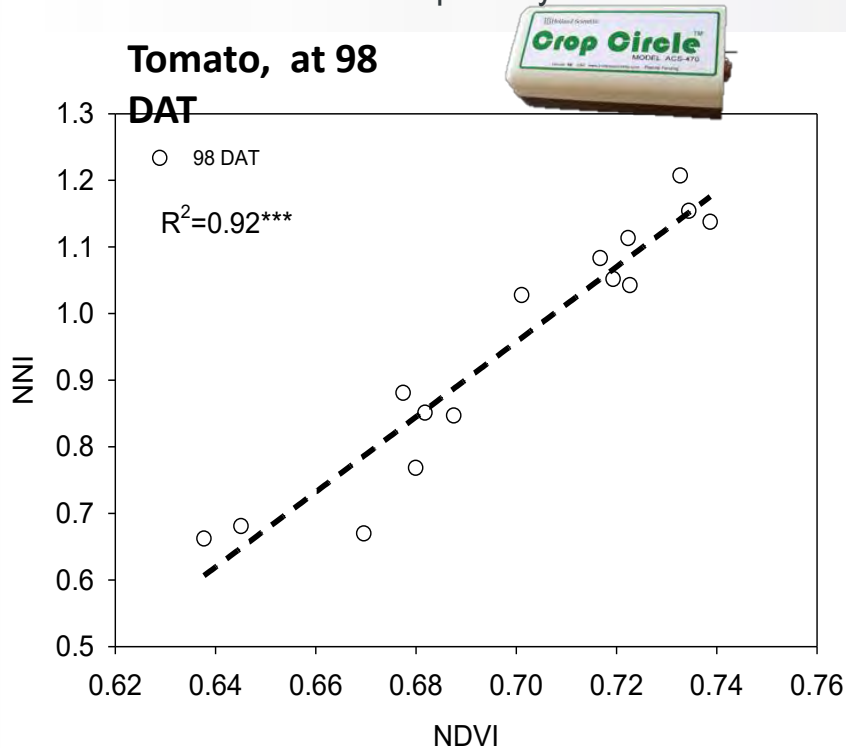
2. Determinación de valores de suficiencia

- Para evaluar si el cultivo es deficiente en nitrógeno o tiene suficiente.
- Se usan dos métodos:
 - En base al crecimiento (usando NNI)
 - En base a la producción

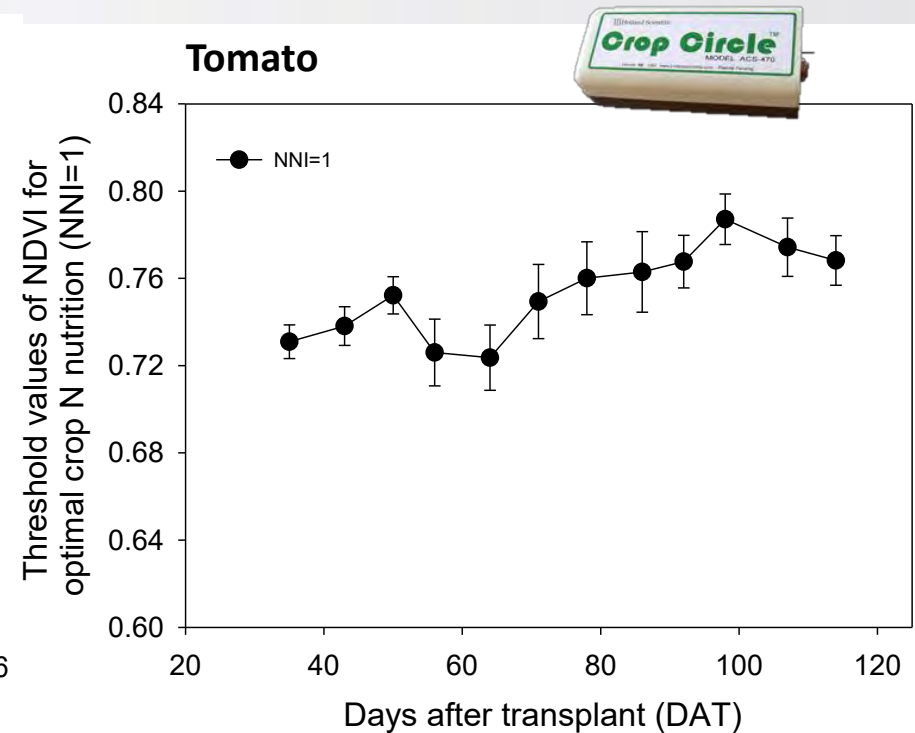


Manejo correctivo: valores de suficiencia con sensores ópticos para máximo crecimiento del cultivo (Padilla *et al.*, 2015)

- Cálculo de valores de suficiencia a partir de las funciones matemáticas que relacionan las medidas de los sensores ópticos y NNI. Las funciones matemáticas se resuelven para NNI=1 (óptimo N).



Valor umbral de NDVI para una nutrición nitrogenada óptima a los 98 DDT



Valores umbrales de NDVI para una nutrición nitrogenada óptima a lo largo del cultivo

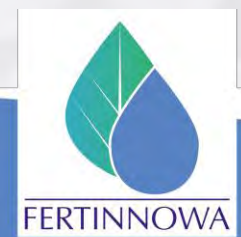
- Se pueden establecer valores de suficiencia por fase fenológica.
- Se dispone de valores de suficiencia (reflectancia, SPAD) en las condiciones de Almería para tomate, pepino, pimiento y melón (R. Thompson, comunicación personal)
- Ahora se está evaluando el efecto de la variedad.

Proyecto FERTINNOWA: Transferencia de técnicas innovadoras para el uso sostenible del agua en cultivos fertirrigados Convocatoria H2020-WATER-2015

El objetivo del proyecto es crear una red temática que permita recopilar, intercambiar, mostrar y transferir soluciones innovadoras para el manejo del agua capaces de aumentar la eficiencia en el uso del agua y su calidad, así como reducir el impacto medioambiental provocado por los sistemas de producción hortícola fertirrigados.



- 23 socios
- 9 países europeos + Sudáfrica



Sistema de ayuda a la toma de decisiones en el control de plagas y enfermedades



Gestión integrada de plagas (GIP):

Supone la combinación de varias estrategias:

1. Medidas preventivas.
 - Prácticas culturales adecuadas: retirada de restos vegetales, etc
 - Barreras físicas para prevenir la entrada a través de puertas y ventanas: dobles puertas y mallas antiinsecto.
 - Empleo de plantas sanas, libres de plagas

2. Sistemas de muestreo y pronóstico
 - Identificación de las plagas y el estadio en el que se encuentran.
 - Identificación de las tendencias de propagación en el invernadero.

3. Medidas de control.
 - Control biotecnológico (trampeo masivo, confusión sexual, protección cruzada frente a Pepmv)
 - Empleo de organismos de control biológico para reducir la incidencia de plagas.
 - Control químico.



Gestión integrada de plagas y enfermedades: Manejo óptimo, no la total erradicación

- Optimizar el control de una manera económica y ecológicamente viable
- La integración de prácticas culturales, físicas, biológicas y químicas.
- Seguimiento y muestreo: mantener las poblaciones de plaga bajo un umbral económico de daño y toma de decisiones.
- Insta a la utilización de **sistemas de ayuda a la toma de decisiones**.
- Plantea la **protección de los cultivos solo cuando es necesario...** cuando hay riesgo de infección y/o ataque... **MODELOS DE PREDICCIÓN**



Modelos de predicción

Son una **representación de los riesgos de ataque** en el tiempo, por lo que permiten minimizar los daños ante cualquier eventualidad con un cierto grado de confianza

Biología del patógeno

Factores ambientales

Pueden prever el comportamiento del patógeno basándose en datos meteorológicos

Modelos empíricos
Basados en datos



Modelos mecanísticos
Basados en procesos

Se buscan relaciones matemáticas o estadísticas para entender las relaciones entre un patógeno, su planta huésped y el ambiente.

- Pero esta relación no tiene por qué tener un significado causa-efecto.
- **Requieren extensas validaciones.**
- Han sido importantes durante un largo periodo de tiempo

- ✓ Se basan en el conocimiento previo acerca de cómo funciona el sistema en función de las variables que lo influncian:
 - Condiciones ambientales
 - Características de la planta huésped
 - Medidas de control...
- ✓ **Son dinámicos:** analizan los cambios en el tiempo de las diferentes etapas de una epidemia.

Sistemas de soporte a la toma de decisiones (DSS). El futuro

Los avances en las tecnologías de la información y comunicación (TICs) han hecho posible la incorporación de los modelos mecanísticos en sistemas de soporte a la toma de decisiones para poder transferirlos rápidamente a los técnicos y agricultores

En horticultura se han llegado a desarrollar diversas Apps para la toma de decisiones en el manejo de plagas y enfermedades:

- Identificación de plagas, enfermedades y de los daños producidos en el cultivo mediante imágenes y descriptores.
- Aplicaciones para el manejo fitosanitario de los cultivos
- Aplicaciones para realizar un manejo agroecológico de los cultivos



Di@gnoplant Melon

INRA Libros y obras de consulta

★★★★☆ 6

PEGI 3

Esta aplicación es compatible con tu dispositivo.

Añadir a la lista de deseos [Instalar](#)



Proyecto Smart IPM. Smart DSS for IPM in Protected Horticulture

- Convocatoria ERANET 2015.
- Topic A. Innovative and new pest monitoring tools and Decision Support Systems (DSS).
- Duración del Proyecto: 30 meses
- Consorcio: INRA
Fundación Cajamar y Fundación Cajamar Valencia
Julius Kühn-Institute
- Objetivo: desarrollar, optimizar y validar herramientas DSS en un contexto real de sistema de cultivo en invernadero



1. Desarrollo de herramientas para evaluar el estado de salud de los cultivos: muestreo y análisis de plagas y enfermedades en una red europea de estaciones y explotaciones experimentales.
2. Construir y optimizar modelos predictivos para anticipar las dinámicas de plagas y enemigos naturales en situaciones de cultivo reales.
3. Desarrollar sistemas y herramientas de apoyo a la toma de decisiones basadas en la redefinición de las normas de decisión locales, regionales y europeas teniendo en cuenta los aspectos socioeconómicos de las explotaciones.

Proyecto Smart IPM. Smart DSS for IPM in Protected Horticulture

Este sistema inteligente se basará en el ISS@M desarrollado hasta ahora en ornamentales en Francia e Italia.



Mecanización y robotización



Optimización de la mano de obra

En cultivo en invernadero la mano de obra representa un porcentaje muy importante del coste de producción. Por ello resulta fundamental su optimización. En invernaderos sofisticados se utilizan desde hace tiempo sistemas para el gestión del personal y las tareas. Estos equipos permiten:

- Automatizar el control y la asistencia de operarios.
- Cronometrar el tiempo que cada trabajador tarda en ejecutar una determinada tarea o el estado de ejecución de la misma.
- Registro de información: trabajo en sector/parcela determinada, verificación de trabajos, tareas pendientes/tareas abiertas, productividad individualizada de operarios, ranking de trabajadores, salario de los trabajadores, coste total por sector y por tarea.



Carros para trabajo en altura

Para cultivos que se desarrollan en altura (tomate con descuelgue) es necesario utilizar carros de trabajo, que permiten que el trabajador se sitúe a la altura del emparrillado.



Pulverización

En la actualidad existen equipos para la pulverización de los cultivos disponibles comercialmente que son conducidos por el operario especialmente adaptados para los invernaderos, permitiendo realizar el trabajo de manera más eficiente y con menor riesgo.



<http://www.carretillasamate.com/maquinaria/38-tizona-35.html>

Robot pulverizador (Fitorobot)

La Universidad de Almería ha desarrollado un vehículo capaz de desplazarse de forma autónoma/teleoperada dentro del invernadero y de pulverizar el cultivo. El equipo dispone de los siguientes sensores: sensores de distancias (Siemens, Bero III), los cuales permiten detectar la distancia a la que se encuentran las plantas/obstáculos, una brújula magnética (KVH, C100) para obtener la orientación del vehículo, codificadores incrementales (Sick, DRS61) y radar (LH Agro, Compact II) utilizados para obtener la velocidad a la que se mueve el robot, dos cámaras de visión (Logitech Quickcam) para determinar la posición del vehículo, y sensores de seguridad o bordes sensibles (SafeWork, SKL25-40), que permiten dar un nivel de seguridad mayor al vehículo, en caso de chocar contra obstáculos no detectados por los anteriores sensores. Por último, también se ha instalado un sensor de presión (WIKA, ECO-1), para su utilización por parte del controlador del sistema de pulverización. Para la calibración de sistema de localización del robot se ha añadido un sistema GPS diferencial (Hemisphere, R100).



Sistema de detección por ultrasonidos de bajo coste para la aplicación de técnicas de pulverización selectiva en invernadero (Páez y Hermosilla, 2016)

Se ha determinado la viabilidad técnica inicial de un prototipo de sistema de detección por ultrasonidos de bajo coste para la aplicación de técnicas de pulverización selectiva en invernadero, persiguiendo el objetivo de aplicar sólo en aquellas zonas donde haya presencia de masa vegetal, desactivando automáticamente la pulverización en ausencia de la misma.



1. Sensor de ultrasonidos
2. Módulo de control
3. Electroválvula
4. Barra pulverizadora

Robot móvil (Proyecto INVERSOS)

La Fundación Cajamar coordinó este proyecto CTA, en el que, entre otros logros, se desarrolló un vehículo capaz de desplazarse de forma autónoma/teleoperada dentro del invernadero. El chasis se caracteriza por ser una estructura diáfana con dos guías laterales que permite el acoplamiento de diferentes implementos, lo que le da versatilidad y polivalencia para la realización de diversas operaciones.

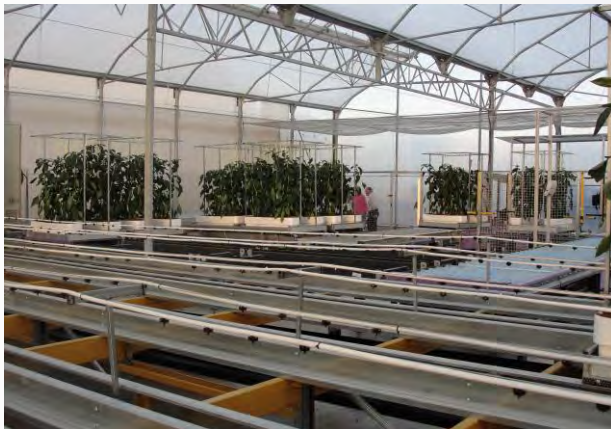
El sistema de guiado del robot móvil polivalente para trabajos en invernadero está compuesto por una arquitectura de navegación reactiva. En esta arquitectura existe una capa superior que se encarga de generar las consignas de velocidad apropiadas a las ruedas del vehículo. Para generar estas consignas de velocidad se utiliza la información proporcionada por un conjunto de cámaras de visión y un conjunto de fotodetectores. Para el guiado se utilizan emisores láser. La idea de esta técnica es similar a la de usar guías monorraíles o guías magnéticas.



Desarrollos en automatización dentro del proyecto CENIT MEDIODÍA

La Fundación Cajamar participó como socio en este proyecto CENIT, en el que, entre otros logros, se desarrolló un sistema de desplazamiento automático de las unidades de cultivo para la realización centralizada de las operaciones culturales. Asimismo, se desarrolló un sistema automático para la selección de frutos de pimiento por color y su envasado en flowpack tricolor.

Sistema de desplazamiento y trazabilidad



Sistema de selección y empaquetado



Clasificación de productos hortícolas basada en un sistema de visión de bajo coste (Cantón *et al.*, 2016)

Este desarrollo de la Universidad de Almería puede ser aplicado en la clasificación de tomates en base al tamaño y el color en la propia explotación.



Máquina clasificadora



Célula de visión

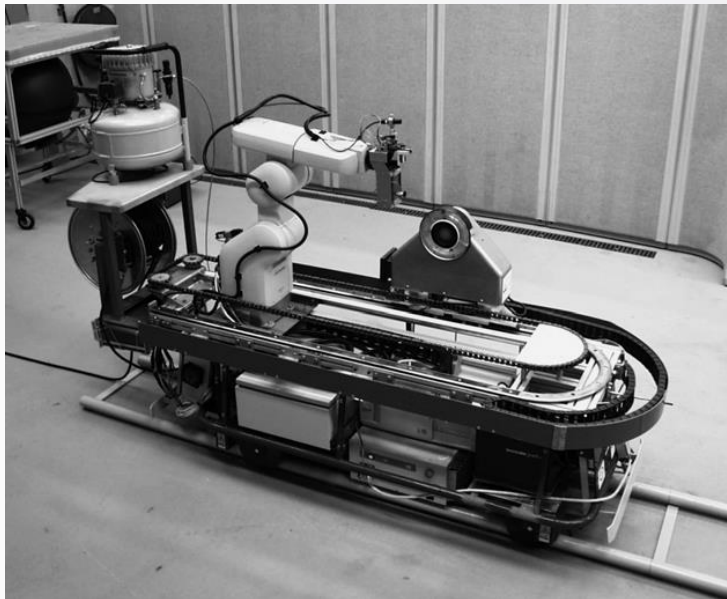


Web cam

Prototipos de robots para su uso en invernaderos

Se trabaja en el desarrollo de robots para la realización de distintas operaciones culturales. Actualmente existen prototipos para diversas aplicaciones:

- Deshojadora de tomate Kompano (Priva) (<https://www.youtube.com/watch?v=mZpL264-rm8>)
- Deshojado de pepino (<https://www.youtube.com/watch?v=5jBm9azpBBo>)
- Recolección de fresas (<https://www.youtube.com/watch?v=RKT351pQHfl>)
- Recolección de pepino (<https://www.youtube.com/watch?v=EiQG4zhMHLM>)
- Recolección de pimiento (<https://www.youtube.com/watch?v=UlaNDm88yZo>)



Robot autónomo para el cosechado de pepinos (Van Henten *et al.*, 2002)

Agradecimientos

- Juan Carlos López, María Dolores Fernández, Mónica González y David Meca, Fundación Cajamar
- Rodney Thompson, Marisa Gallardo y Francisco Padilla, grupo de investigación de Sistemas de Cultivo Hortícolas Intensivos, Universidad de Almería
- Jorge Sánchez y Francisco Rodríguez, grupo de investigación de Automática, Robótica y Mecatrónica, Universidad de Almería
- Julián Sánchez, grupo de investigación de Tecnología de la Producción Agraria en Zonas Semiáridas, Universidad de Almería
- Jaume Casadesus, departamento Uso Eficiente del Agua, IRTA-Lleida
- Francisco Alonso, HortiMaX España
- Francesc Ferrer, LabFerrer





Muchas Gracias