



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA



Escuela Técnica Superior de  
Ingeniería Agronómica y de Montes

# Optimización en el uso del agua: El riego de precisión

Emilio Camacho Poyato. Catedrático de Ingeniería  
Hidráulica. Departamento de Agronomía  
Universidad de Córdoba

Córdoba 24 de abril de 2017

# Retos de la producción en explotaciones de regadío

- **Crecimiento a nivel mundial de la demanda de alimentos**

Para 2050 con 9000 millones de personas hay que aumentar un 70% la producción de alimentos

- **Mejora de la eficiencia y protección del medio ambiente**

Los recursos son limitados y hay que usarlos de forma eficiente

- **Innovación para ser más competitivos**

Integrar las nuevas tecnologías y los nuevos conocimientos

- **Calidad y seguridad alimentaria en la producción**

Exigencias de los mercados y de los usuarios



**Estrategia Europea H2020 para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador**

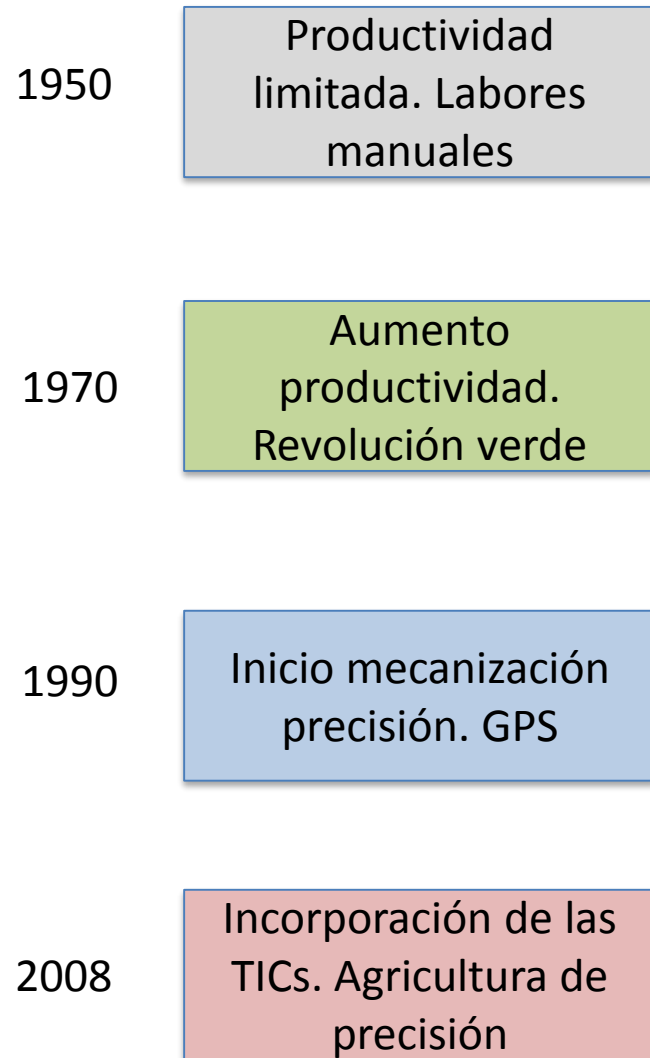
# Etapas en la agricultura

**Primera Generación**, es la agricultura de subsistencia y abarca desde la antigüedad hasta comienzos del siglo XX.

**Segunda Generación**, se inicia con la mecanización agraria e industrialización del campo.

**Tercera Generación**, es la incorporación de la tecnología a la agricultura para optimizar los recursos.

## Evolución de la agricultura



## Situación actual y futura de la agricultura

- Agricultura 4.0
- Sensorización ambiental
- Uso drones y teledetección
- Sistemas predictivos
- Inteligencia artificial
- Trazabilidad
- Big Data

# Como abordar los retos

Las TICs han propiciado un vertiginoso cambio en el mundo moderno

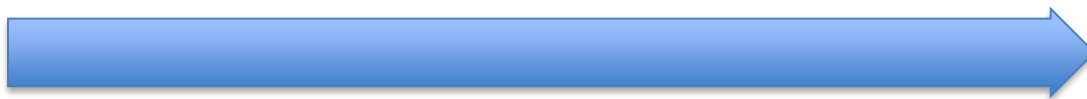


La agricultura no queda fuera de esta corriente innovadora dando origen a intensos cambios....

# Evolución de los teléfonos móviles



1998



2008



2016

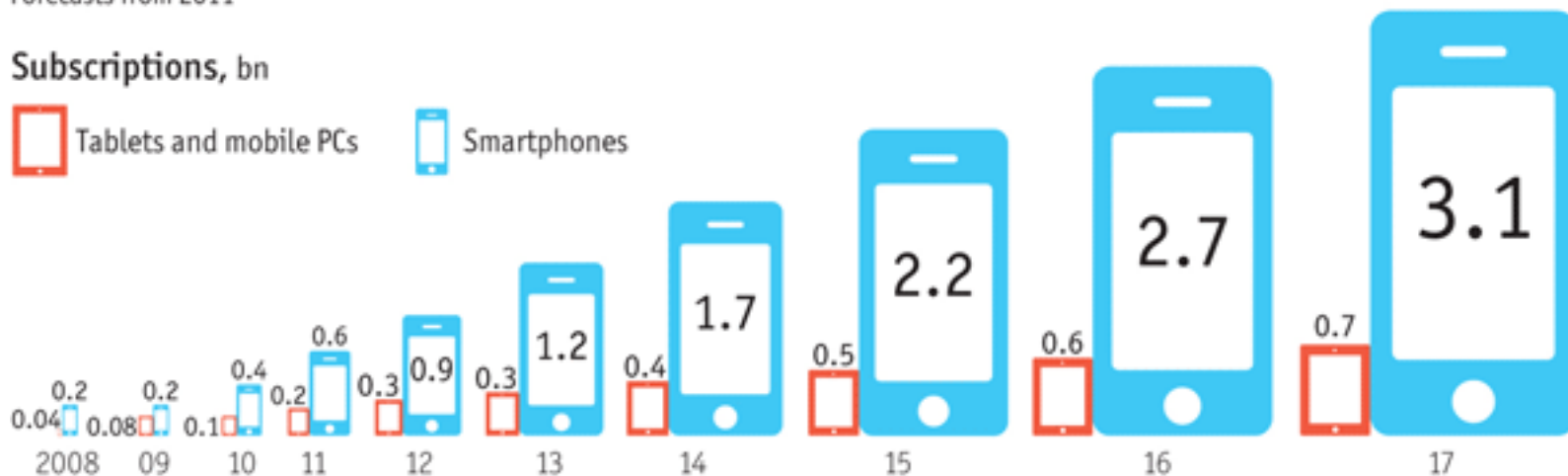
Smartphone

# The future is mobile

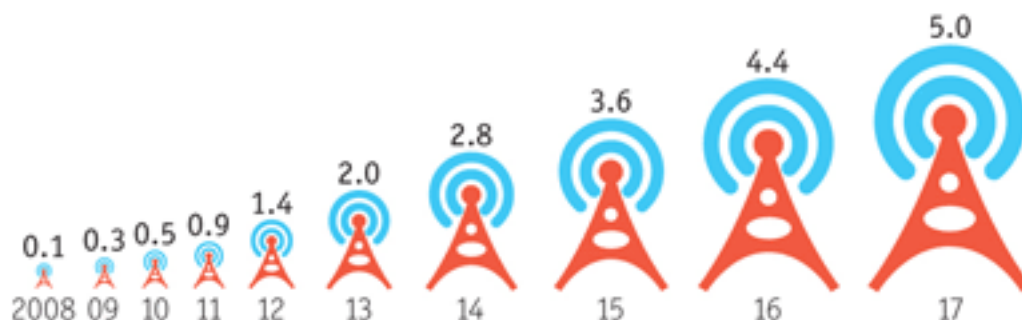
Forecasts from 2011

## Subscriptions, bn

□ Tablets and mobile PCs
 □ Smartphones

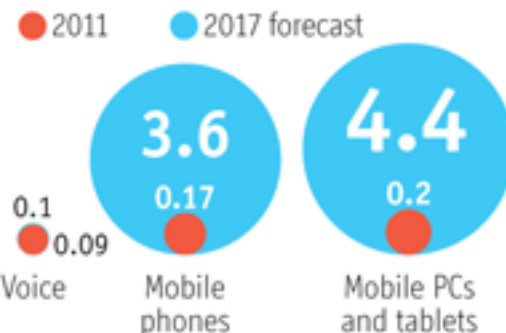


## Mobile broadband subscriptions, bn



Source: Ericsson

## Mobile traffic, monthly exabytes\*



\*10<sup>18</sup> bytes

# Las TICs y la toma de decisiones





# Las TICs en la agricultura

- Red de sensores inalámbricos
- Internet de las cosas (Internet of Things, IoT)
- Identificadores de radio frecuencia
- Cálculo en la nube
- Sensores remotos

# **Red de sensores inalámbricos para riego**

- **Sensor de humedad de suelo**
- **Sensor de conductividad**
- **Sensor de temperatura de suelo**
- **Sensor potencial del suelo**
- **Sensores climáticos**
  - Temperatura
  - Radiación
  - Humedad relativa
  - Déficit de vapor
  - Luminosidad

# Evolución del número de sensores vs número de explotaciones

● Explotaciones

● Sensores

520 M

2000 M

520 M

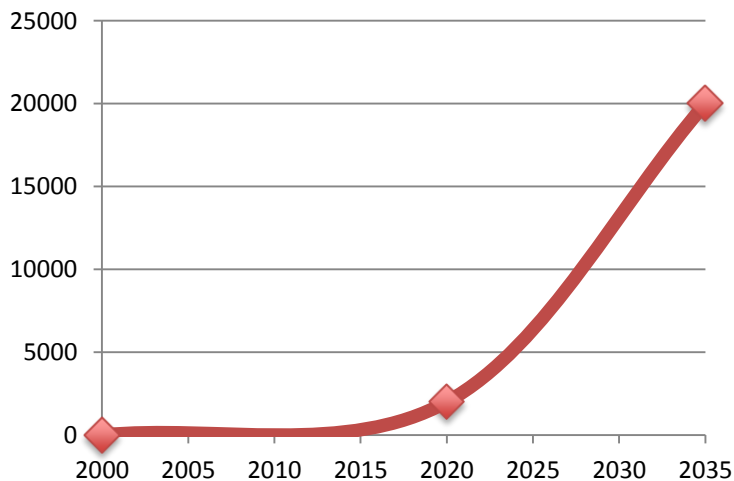
20000 M

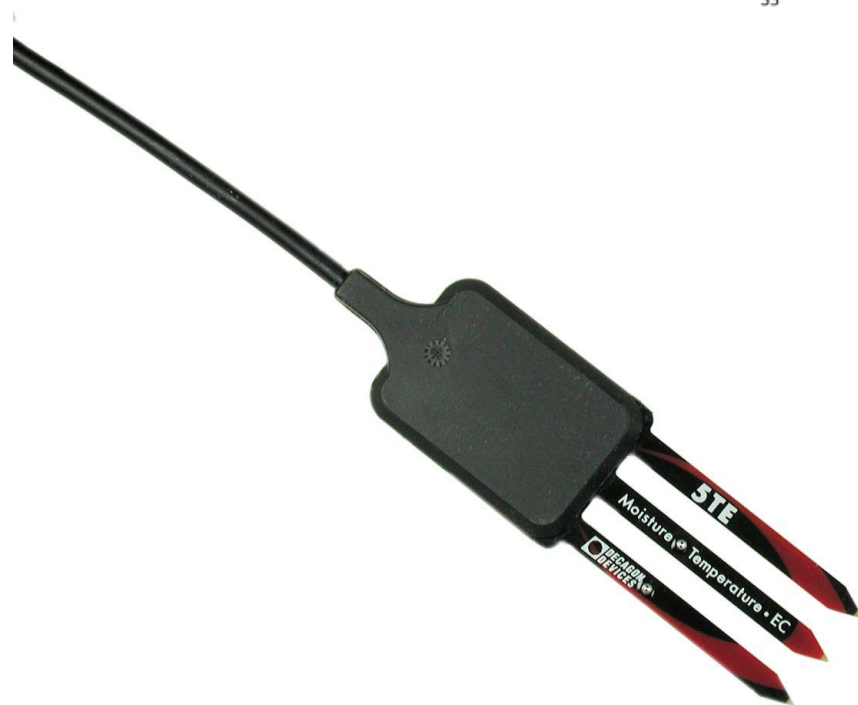
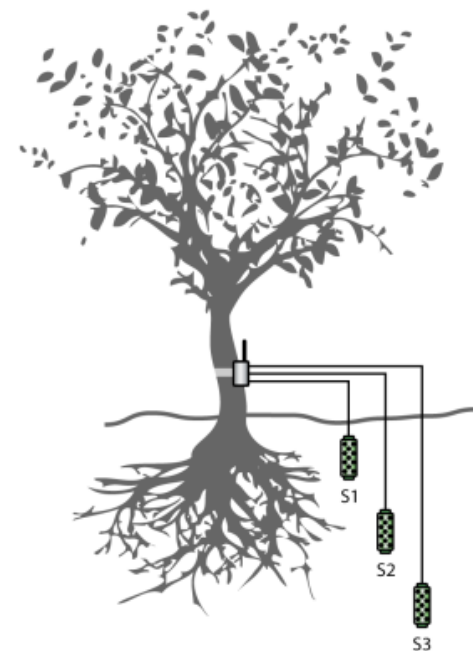
520 M

Año: 2000

2020

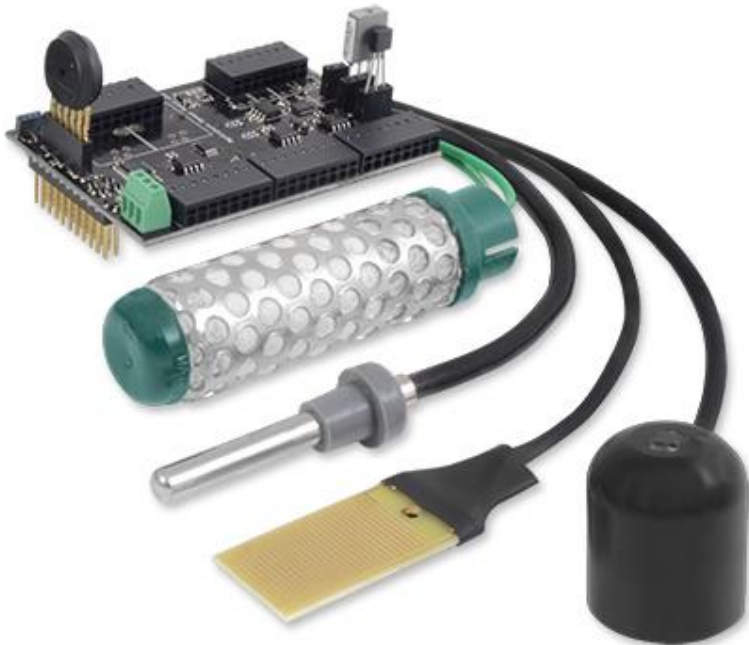
2035





# Gran cantidad de sensores muy baratos:

**Microcontroladores** basado en hardware libre (arduino, raspberry,..)

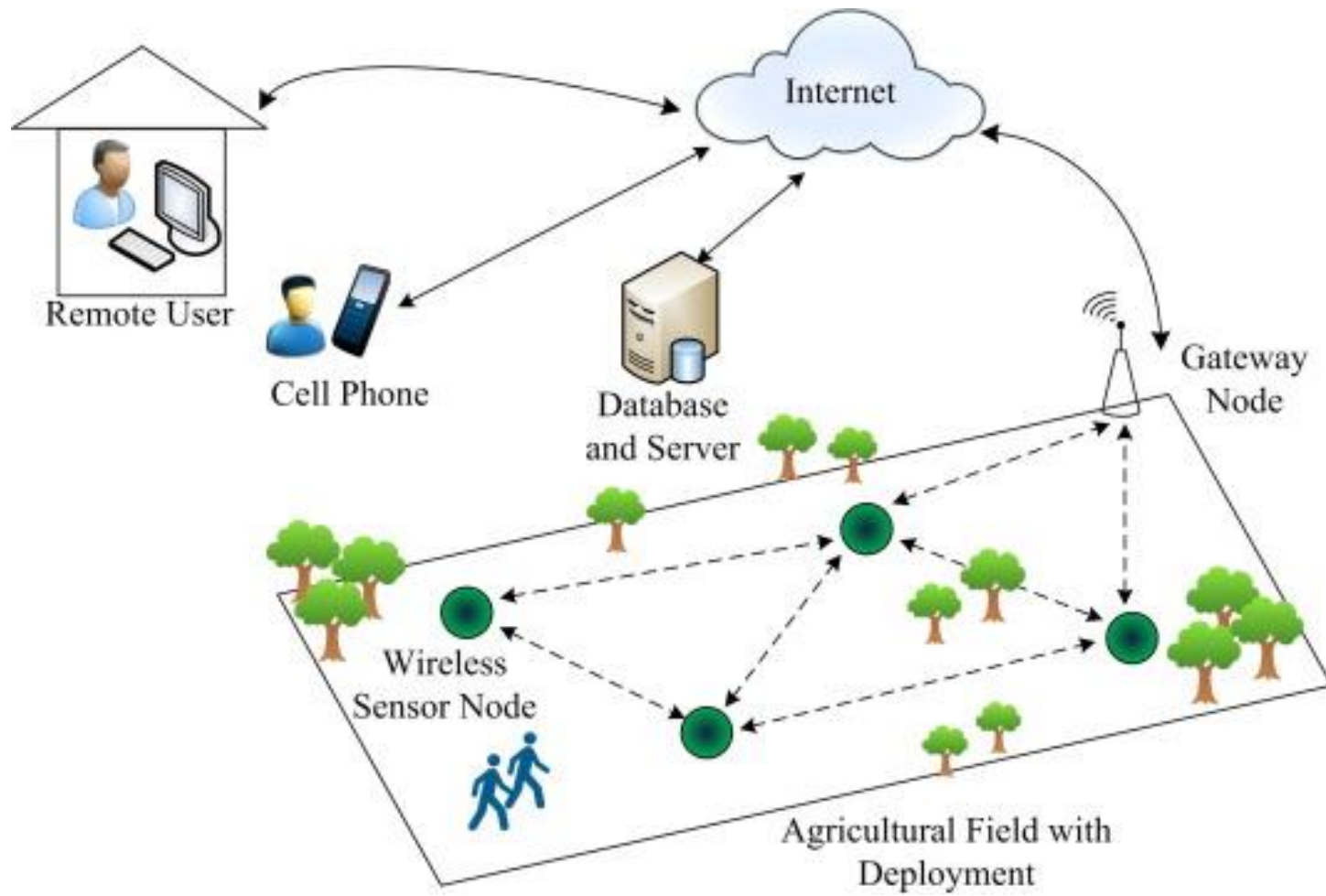


Unos 60 €

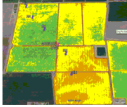


Unos 6 €

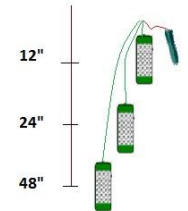
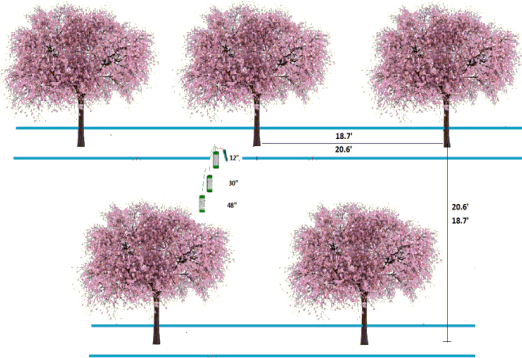
# Típica red de sensores inalámbricos en agricultura



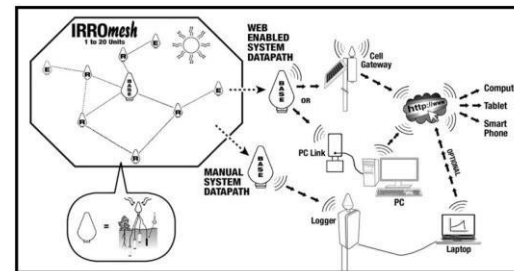
# Sensores: tensión del agua en el suelo



- Spacing:
- > 20.6'x18.7'
  - > 18.7'x20.6'
- SMS depths:
- > 12-18"
  - > 30-42"
  - > 48-60"



## Sistema de telecontrol, Irromesh.







# Internet de las cosas (IoT)

El principio de internet de las cosas es la **domótica**. Se trata de interactuar con las cosas de nuestra casa. Un paso más allá es dotar de inteligencia artificial a las cosas (**Computación Ubicua**)

Las redes de sensores dotados de cierta inteligencia distribuidas a lo largo del entorno revolucionarán las aplicaciones de ciencias tan diversas como la ingeniería civil, los procesos productivos, la seguridad, **la agricultura** y muchas otras áreas.

[https://youtu.be/H\\_gLVIYOI0w](https://youtu.be/H_gLVIYOI0w)

## Gran utilidad en el control de clima en invernaderos

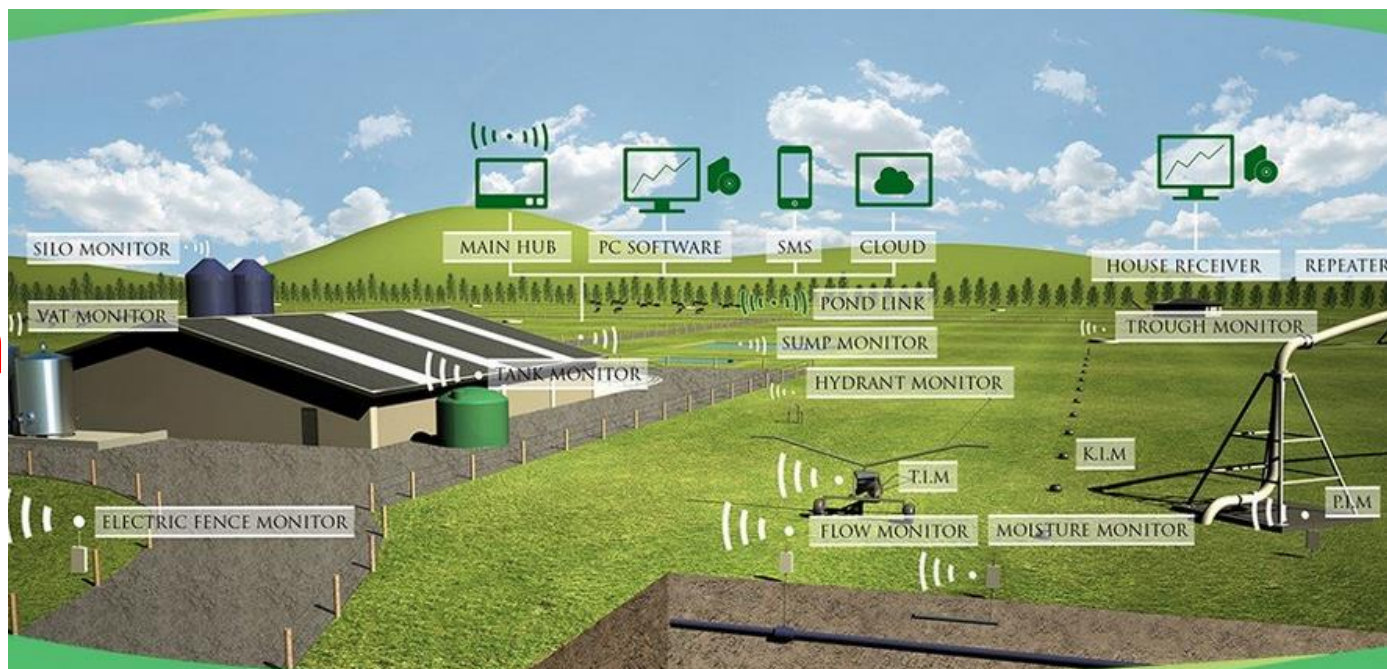


Coste 15 €

- sensor de humedad
- sensor de temperatura
- Módulo WIFI ESP8266

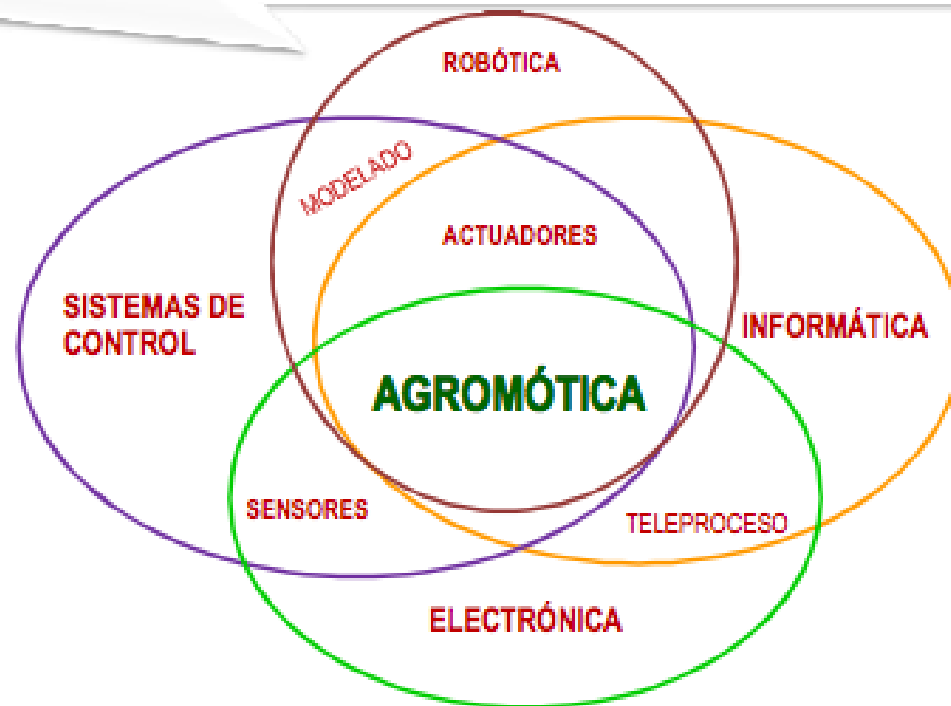


# Domótica



# Agromótica

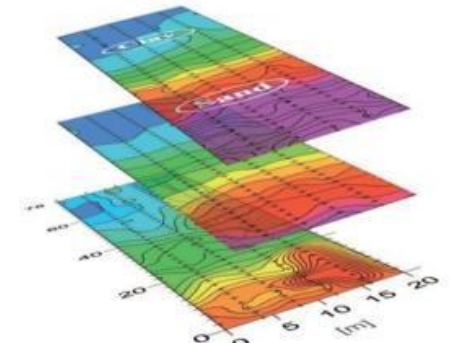
# **AGROMÓTICA** aplicación multidisciplinaria de las TICs al Sector Agrario



**Integra ámbitos de las TICs con conocimientos agronómicos específicos**

# Mapeo del suelo

Instrumentos de medición de conductividad electromagnética (Dual-EM)



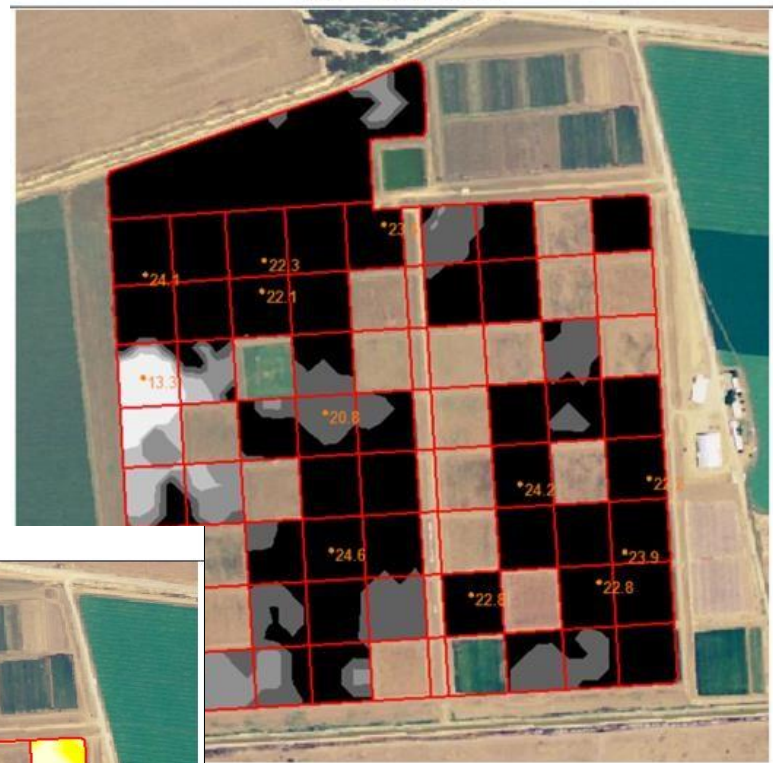
MULTI-DEPTH PROBES



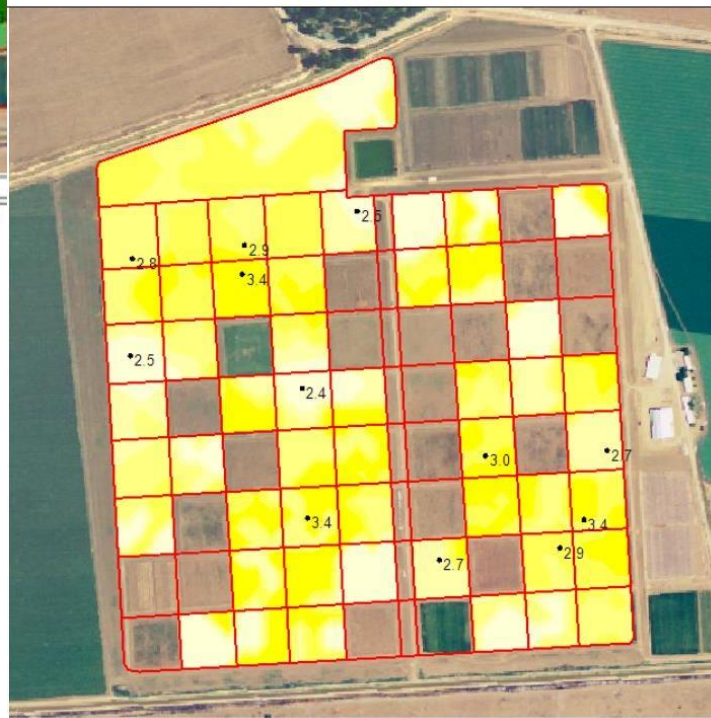
**pH - Soil Test**



**CEC - Soil Test**



**OM - Soil Test**



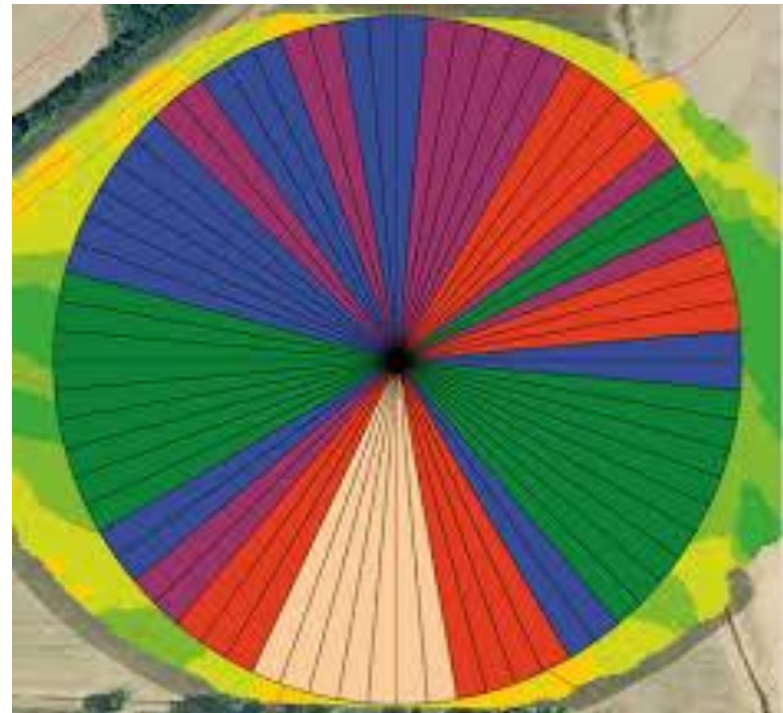
# Sistema de riego para Tomate





## Riego variable

<https://www.youtube.com/watch?v=dpgi1TDf6nY>





# Cálculo en la nube (Computing cloud)

En este tipo de cálculo todo lo que puede ofrecer un sistema informático se ofrece como servicio, de modo que los usuarios puedan acceder a los servicios disponibles "**en la nube de Internet**" sin conocimientos (o, al menos sin ser expertos) en la gestión de los recursos que usan.





tule

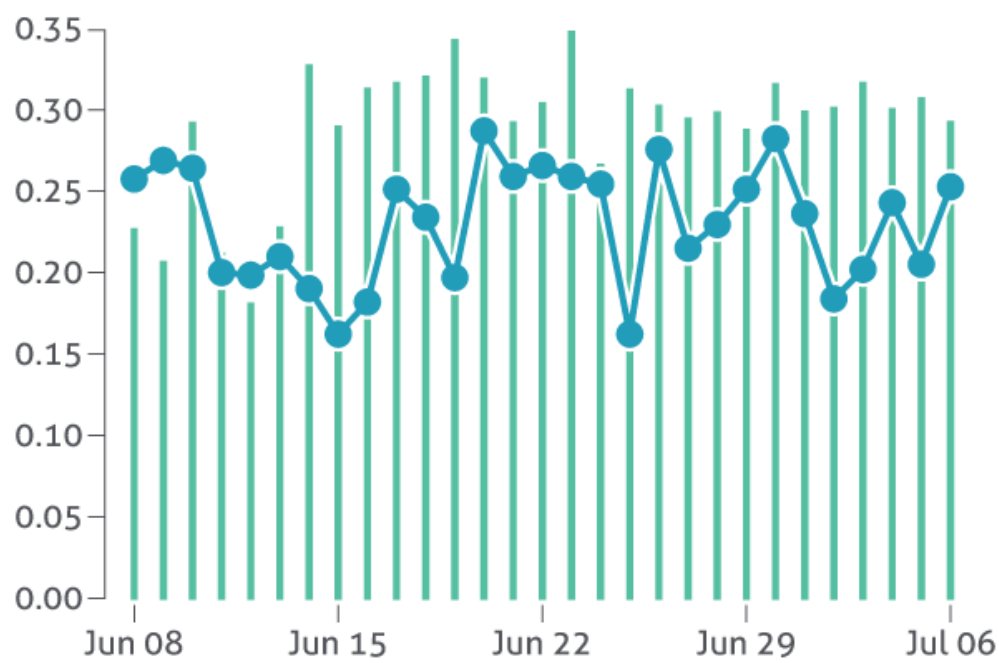
Evapotranspiration  
Sensor

(530) 574-0479

info@tuletechnologies.com

www.tuletechnologies.com

● ET    ■ Irrigation



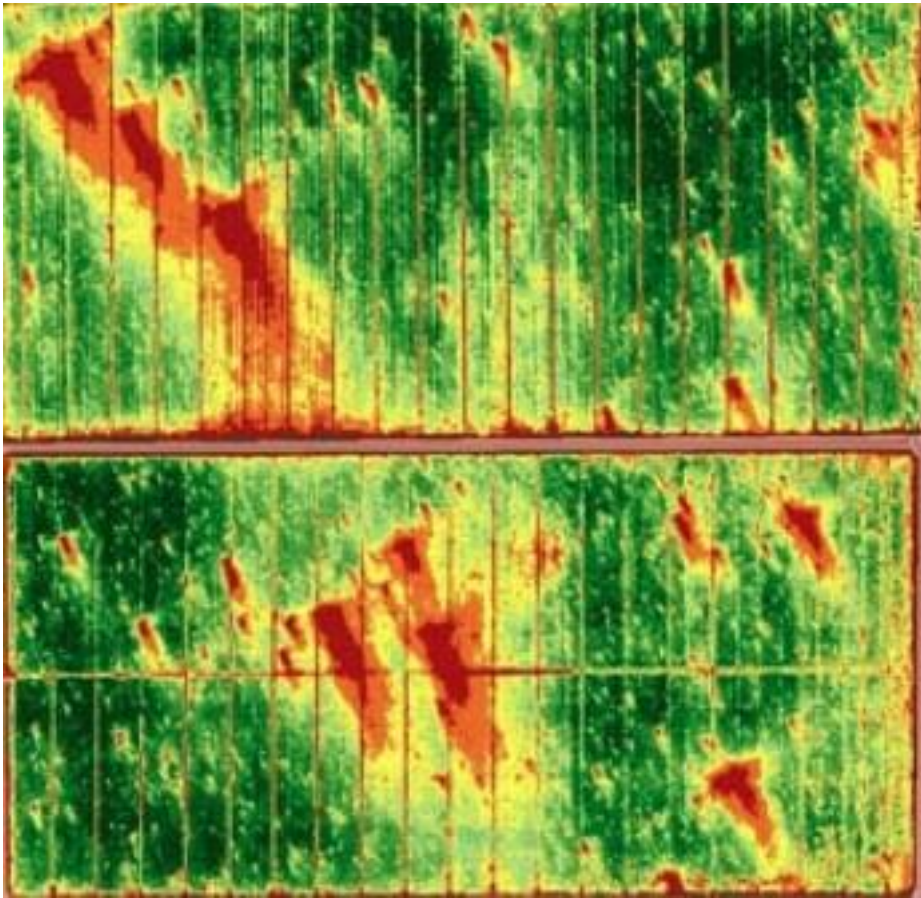
 % of actual ET: **80%**

 inches to apply: **1.28**

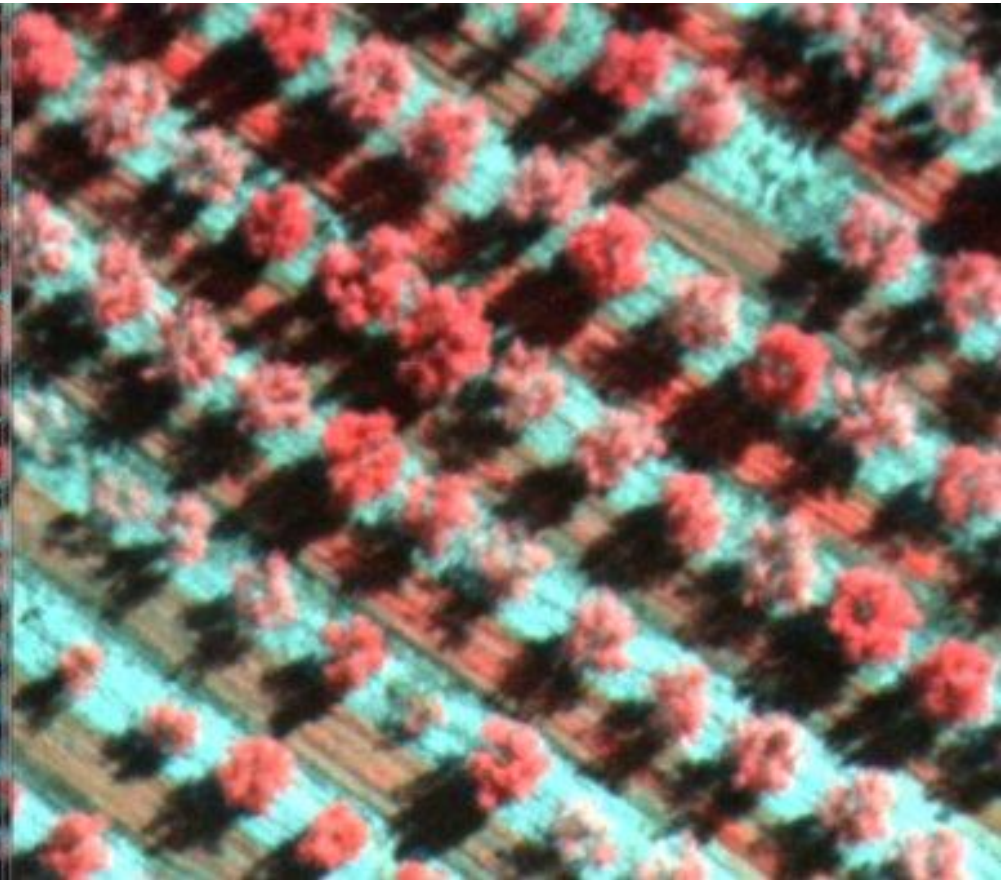
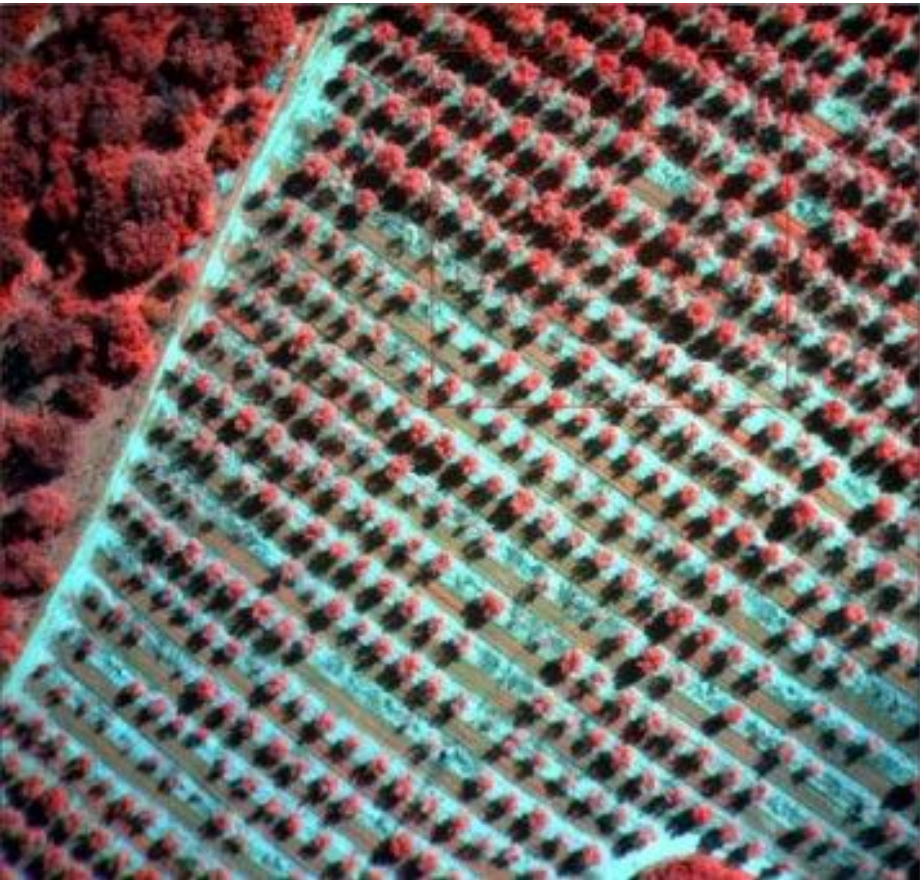
 atmospheric demand:

 **22%**  
compared to last week

# Monitorización mediante drones



- Los drones detectan:
- Estrés hídrico y mala uniformidad
  - Plagas
  - Enfermedades



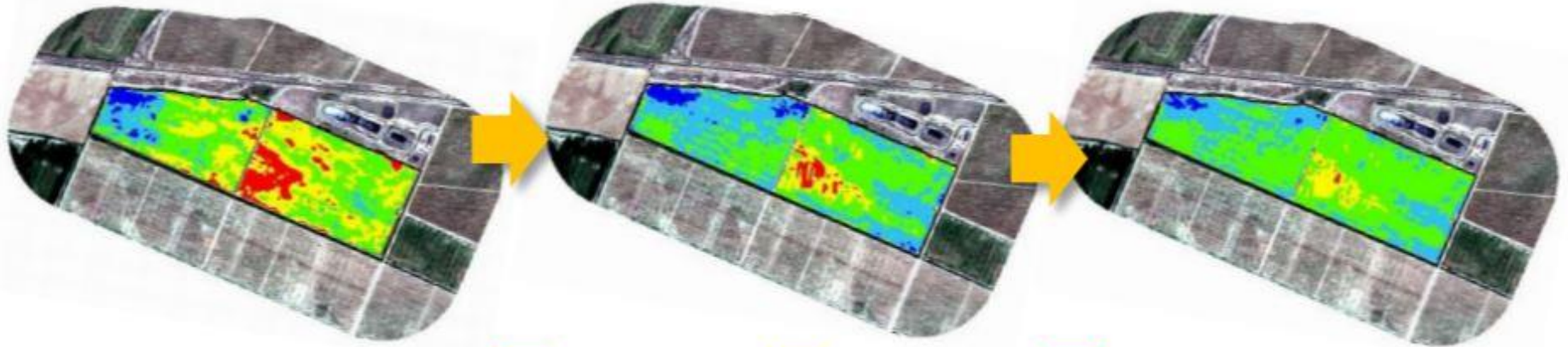


**Mapa de problemas estructurales** con recomendaciones relacionadas con el abonado, riego, poda, crecimiento, etc.

**AÑO 1**

**AÑO 2**

**AÑO 3**



**Producción:**



**Alta**



**Media**



**Baja**

# Mapas generados a través de un dron

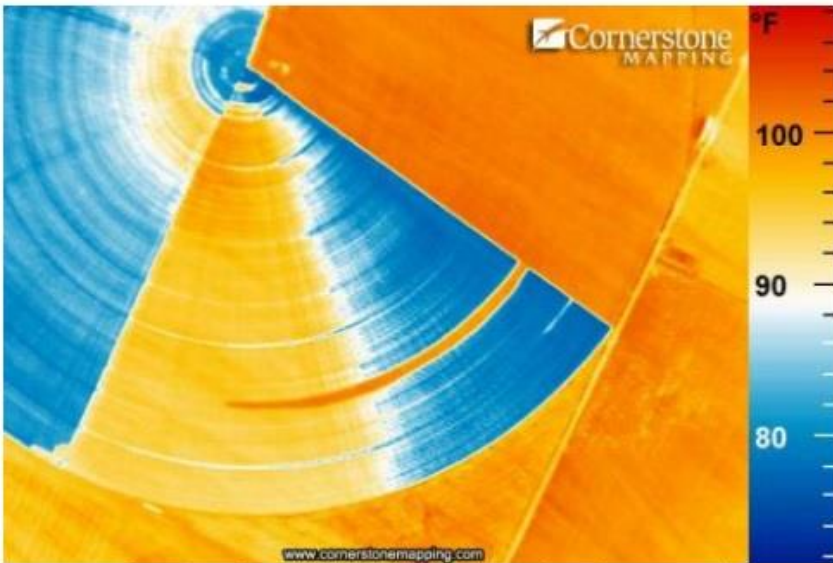
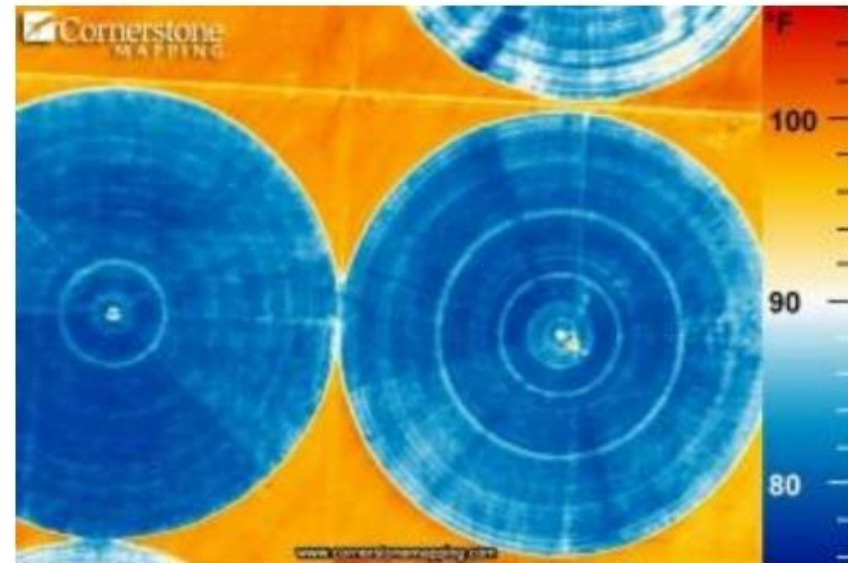
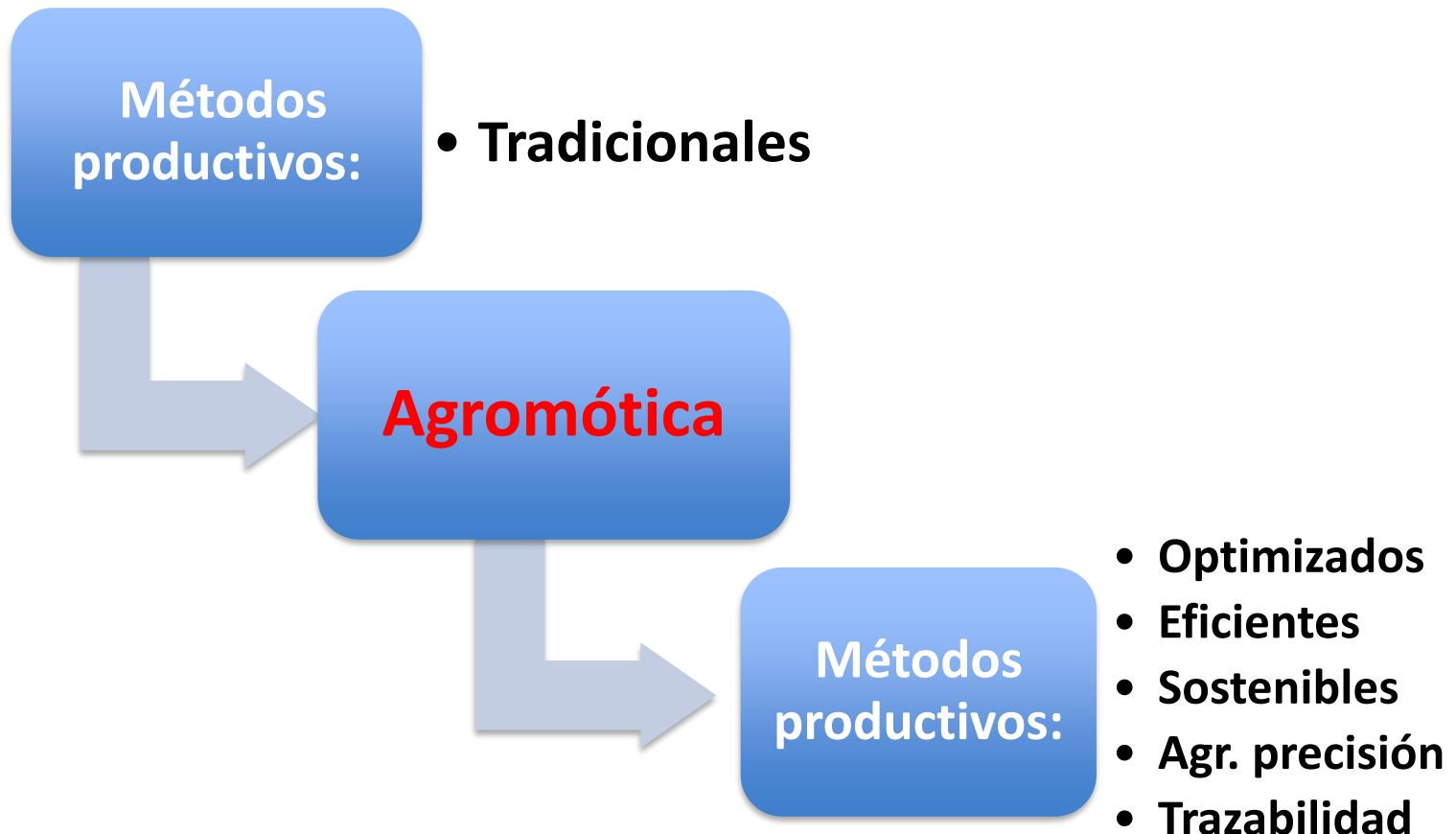


Imagen térmica de una obturación de la tobera y el riego tarde.



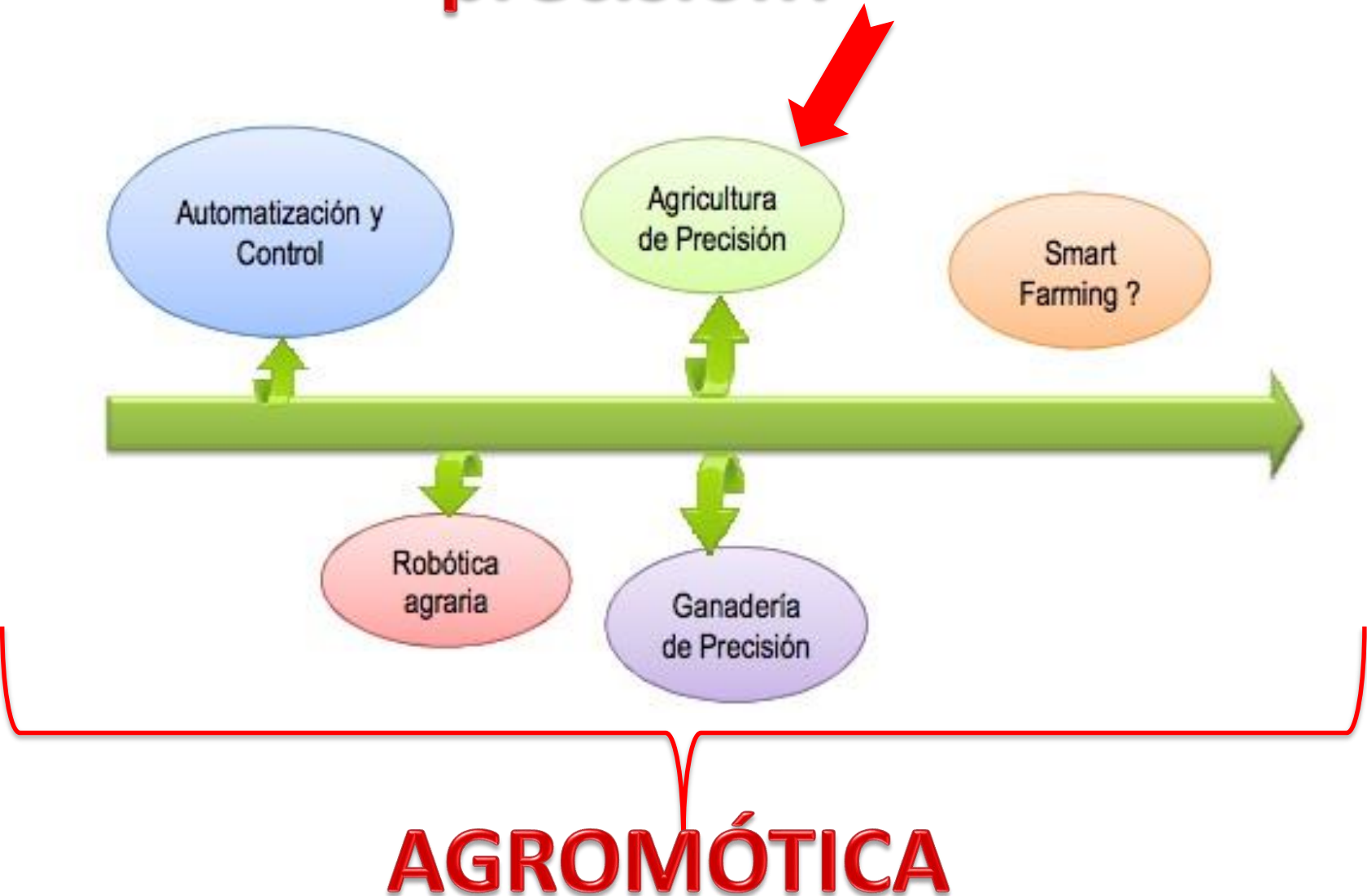
Anillos azul claro indican inyectores obstruidos.

# La agromótica y el sector agrario

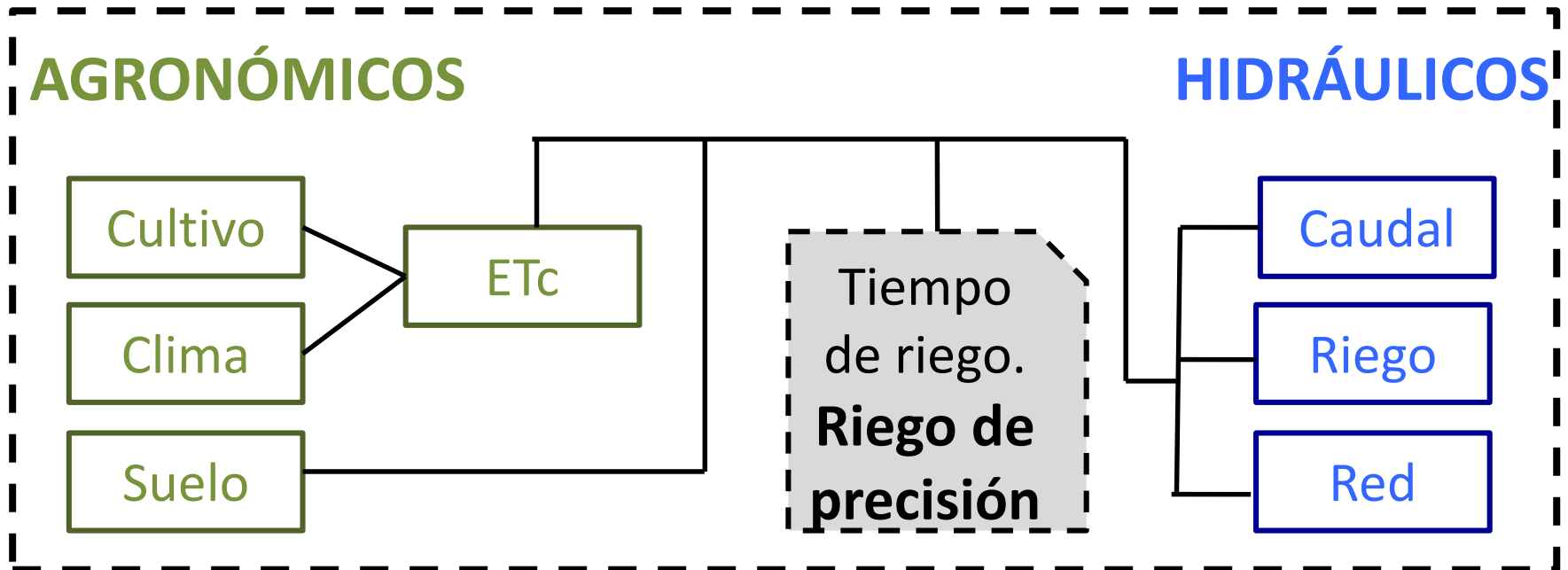




# ¿Cuál es el contexto del riego de precisión?



# Factores en un riego de precisión



# Arquitectura de un riego de precisión

## RED DE SENSORES



Sensores de humedad de suelo



Caudalímetros



Estaciones agroclimáticas



Drones

## COMUNICACIÓN



## CLOUD COMPUTING

BIG DATA



PC  
SMARTPHONE  
TABLET



## SERVICIOS DE CONTROL



Electroválvulas



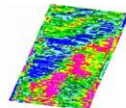
Programadores

## SOFTWARE Y APPs

Calendario de riego óptimo en tiempo real



Mapas de rendimientos de cultivos



Evaluación de sistemas de riego



Análisis y optimización e redes de riego

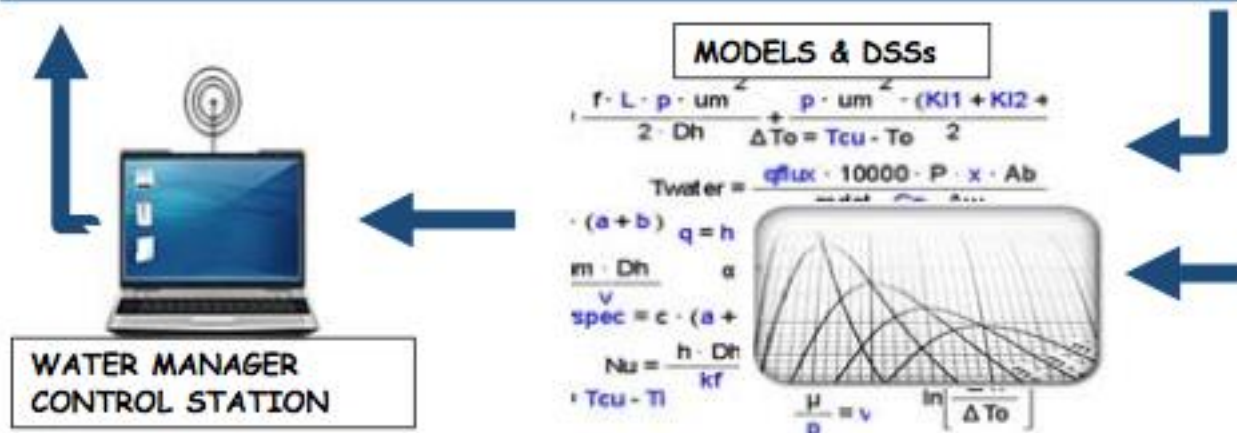
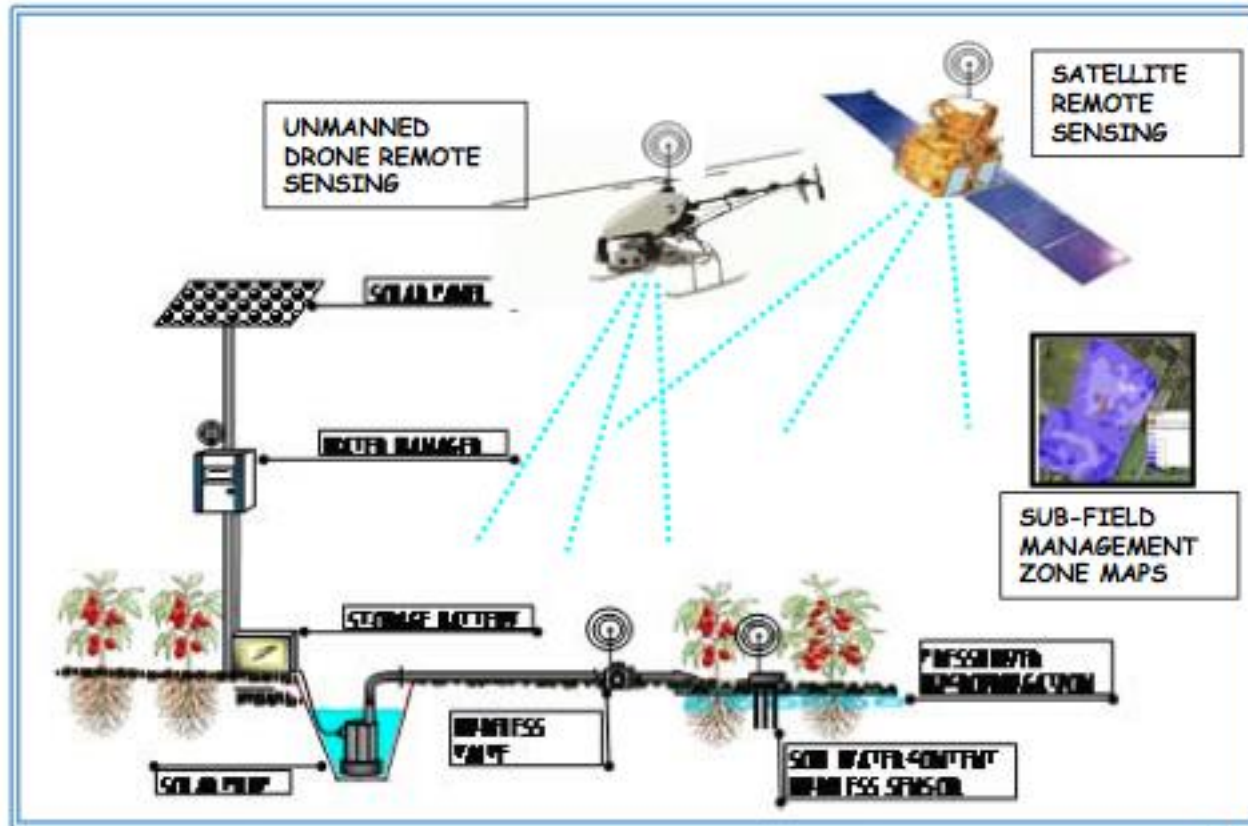


## ADQUISICIÓN DE DATOS

## PROCESAMIENTO DE DATOS Y OUTPUTS

## AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

# Plataformas basadas en el conocimiento



# Tradicional vs precisión

## Tradicional

**Toma de datos  
y control  
manual**

**Optimización  
basada en la  
observación**

**Toma de  
decisiones por  
método intuitivo**

## Precisión

**. Control automático  
. Adquisición automática de  
datos**

**. Modelización y  
optimización**

**Sistema de ayuda a la  
toma de decisiones (DSS)  
Sistemas predictivos**

# Riego de precisión: objetivos

- **Mejorar** la eficiencia y uniformidad del riego
- **Reducir** costes
- **Aumentar** la rentabilidad del cultivo
- **Reducir** los consumos energéticos
- **Usar** los recursos más **eficientemente**

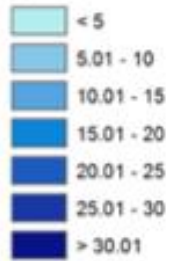


**Conventional irrigation**

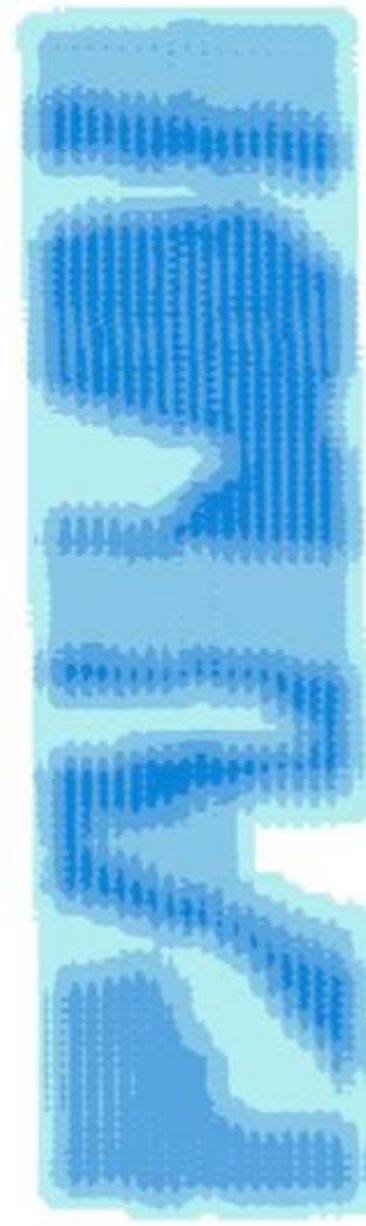
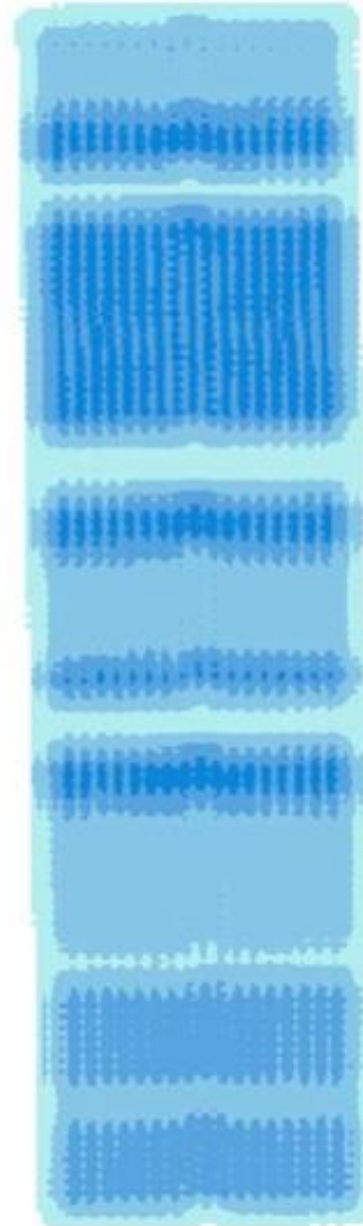
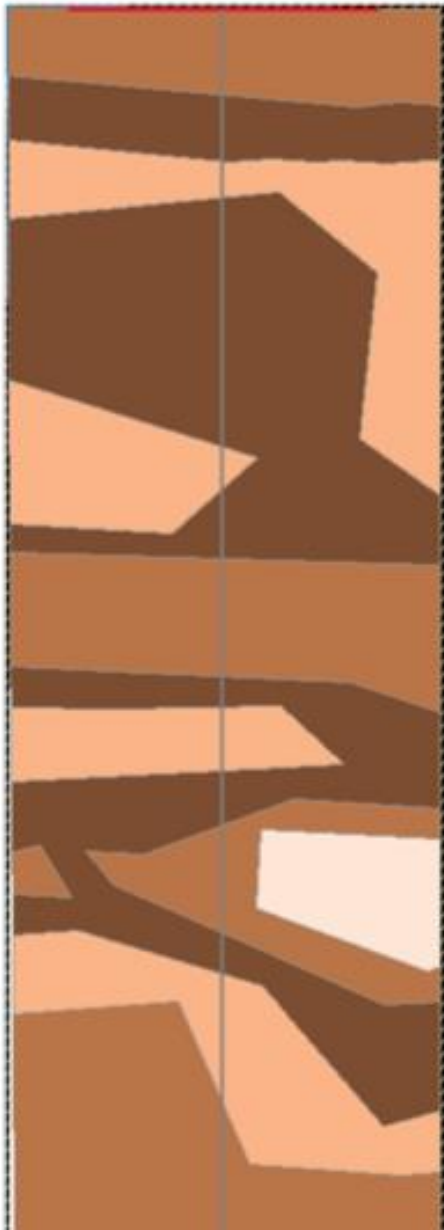
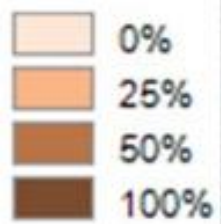
**variable pulling speed**

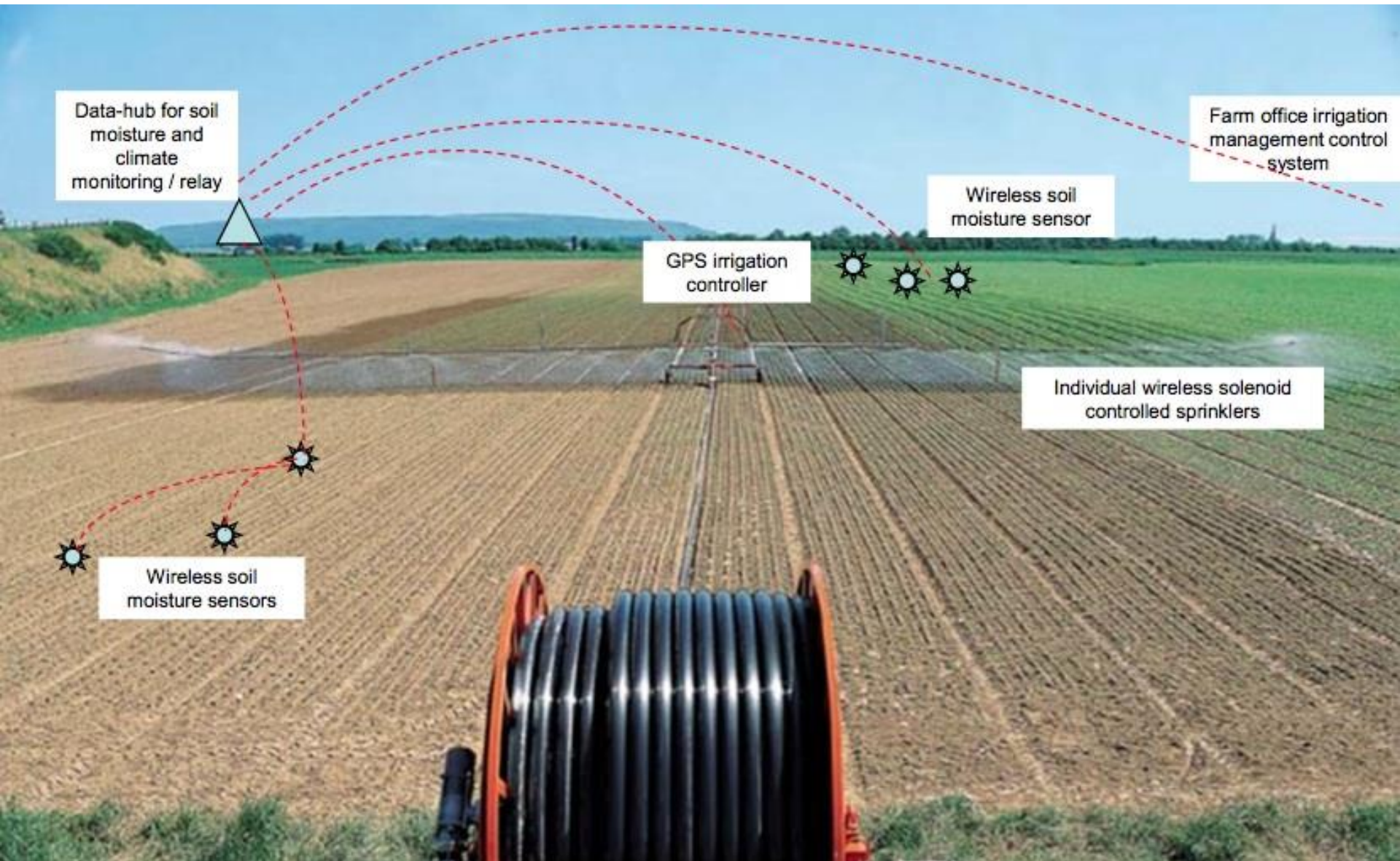
**Individually controlled sprinklers**

**Water applied (mm)**



**Water demand**





Data-hub for soil moisture and climate monitoring / relay



Farm office irrigation management control system

Wireless soil moisture sensor

GPS irrigation controller



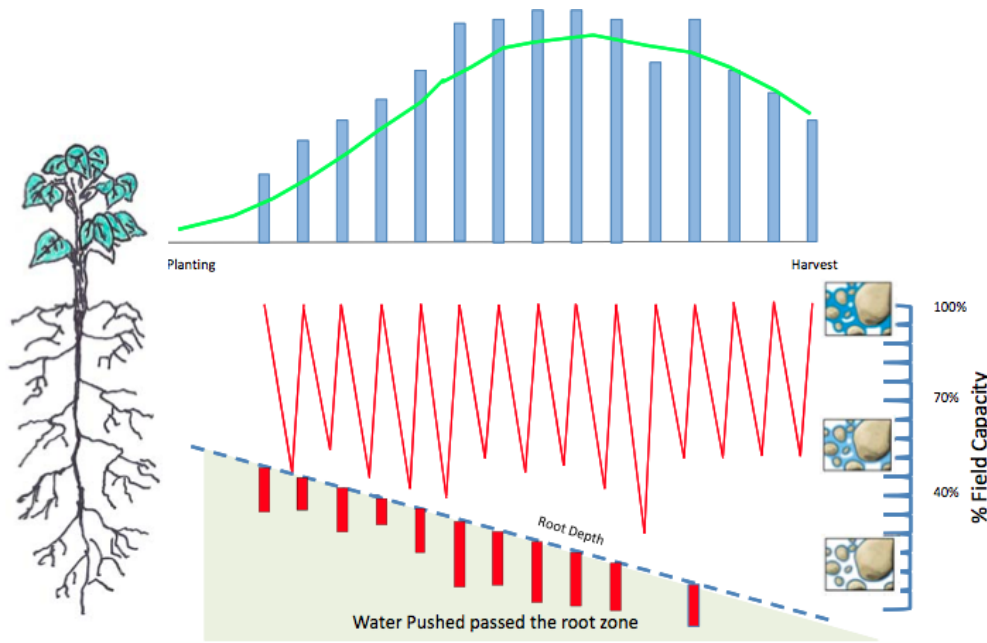
Individual wireless solenoid controlled sprinklers

Wireless soil moisture sensors

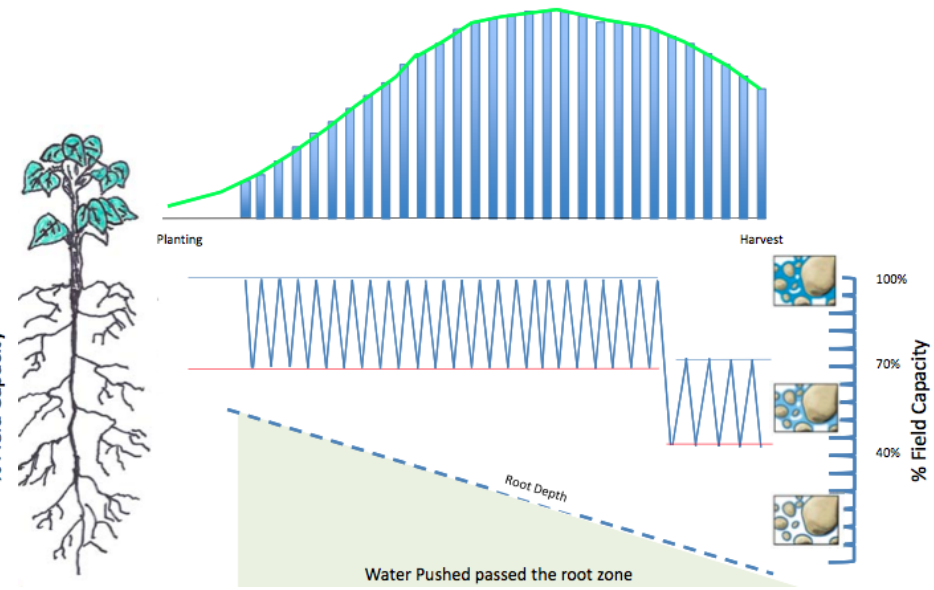




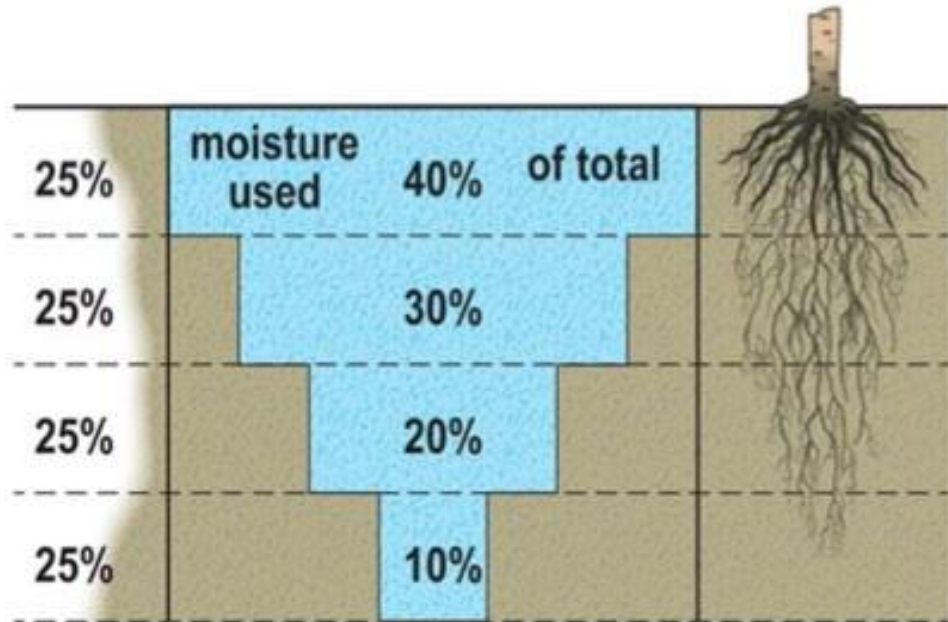
# Riego convencional



# Riego de precisión



El 70 % de la  
humedad es extraída  
de la primera mitad  
de las raíces



# Casos prácticos

1. Riego de la fresa
2. Riego en viña
3. Riego en olivar con energía fotovoltaica

# 1. Riego de la fresa

- **Programa de optimización del riego** que nos permite calcular los **tiempos de riego** de forma precisa, teniendo en cuenta:
  - Climatología.
  - Periodo de cultivo.
  - Configuración del sector de riego.
  - Caudal de la cinta de riego utilizada.

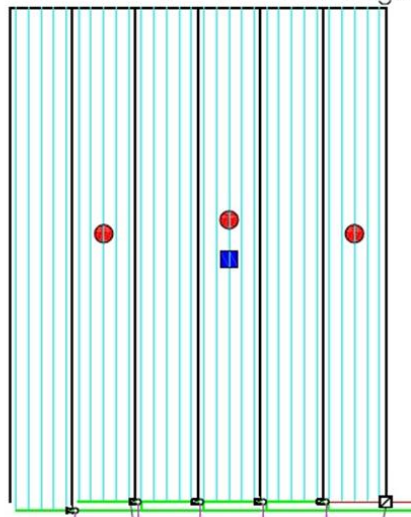
# El riego de precisión en la fresa

Ensayos de riego de precisión → determinación del tiempo de riego

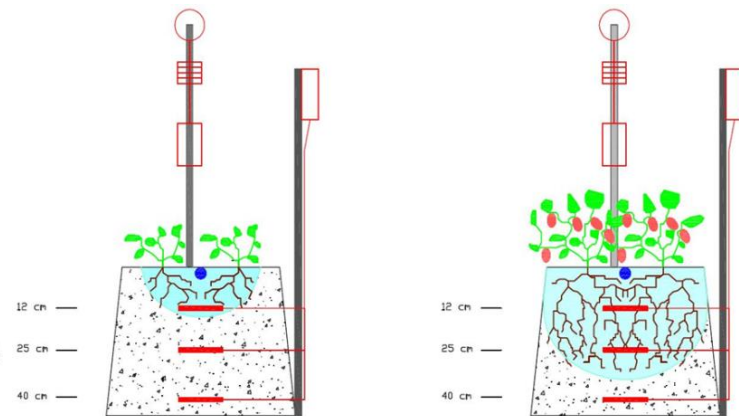
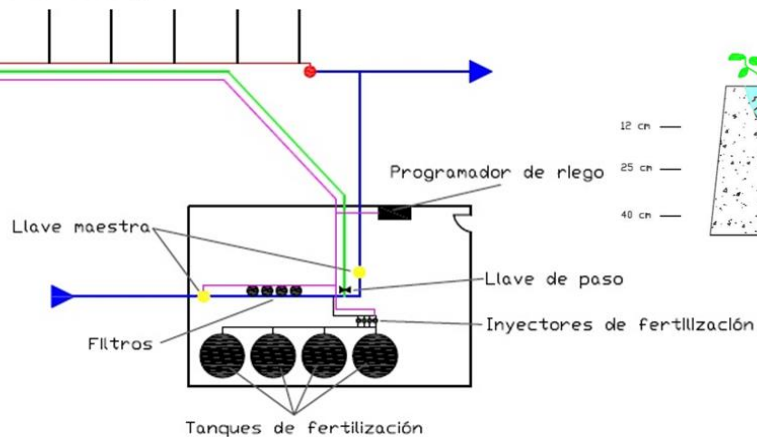
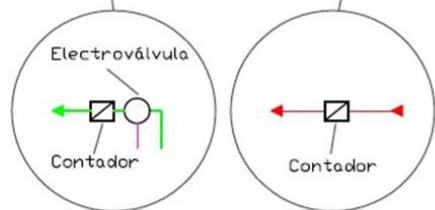
## Esquema parcela de ensayos

Túnel	Tipo de emisor	Presión de trabajo (bar)	Caudal del sector (l/h)
1	Streamline 16080fl 3.6C	0.85	758.96
2	Streamline 16080fl 5.25C	0.85	1121.7
3	Dripnet PC 16200	0.42	677.91
4	Amnon PC CNL	1.1	825.62
5	Uniram As 17012 Azud Premier Line PC AS	0.65	1205.41

5 4 3 2 1 Testigo



- Cable de conexión del programador a los elementos de control
- Tubería red principal
- Tubería PE32 63mm - Red de riego secundaria del agricultor
- Tubería PE32 40mm - Red de riego ensayos
- Emisores de riego
- ⊠ Electroválvula+Contador de los macrotúneles de ensayo
- ⊠ Contador en el macrotúnel testigo
- Sondas de humedad
- Estación meteorológica

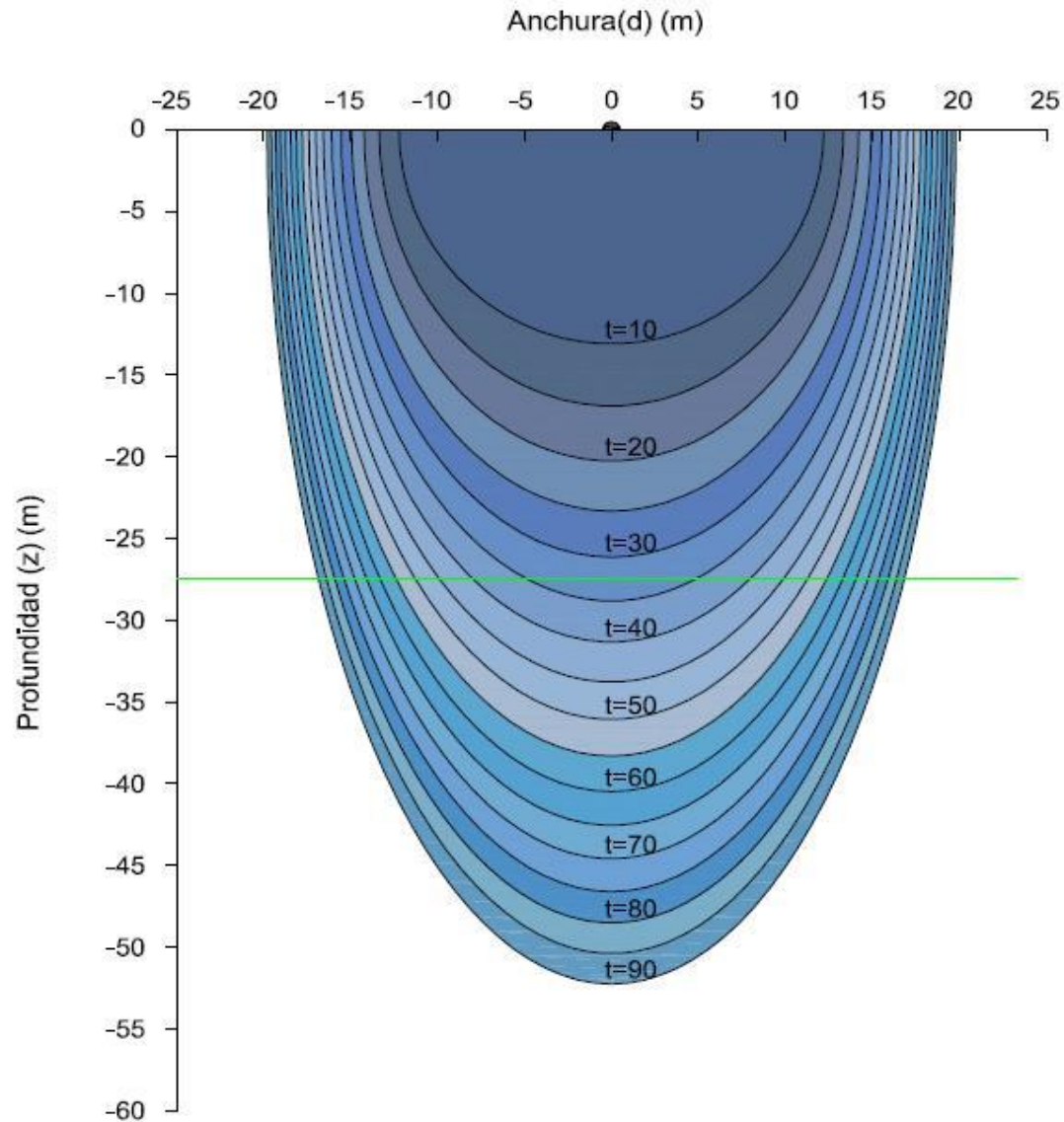


Proyecto financiado por la fundación Coca-Cola

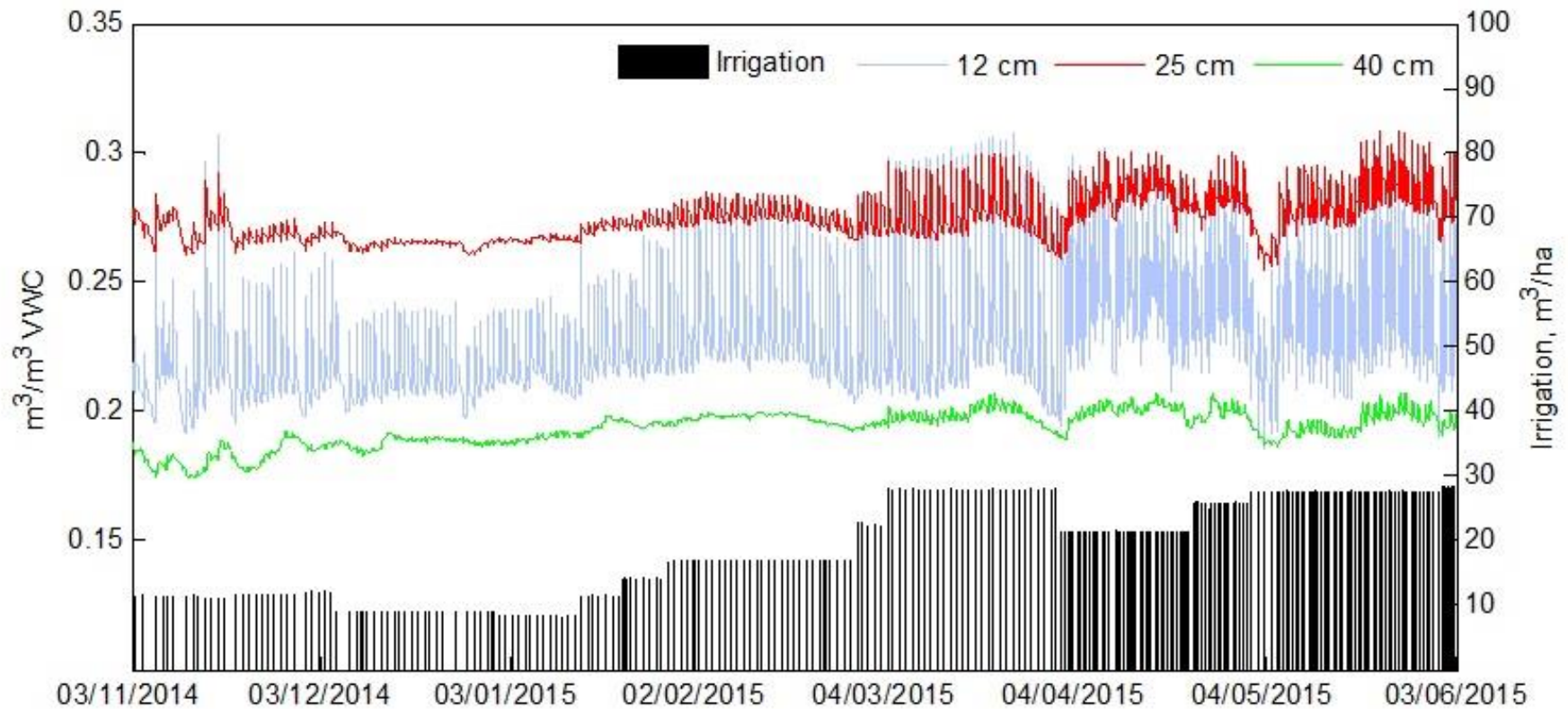
# IRRI-FRESA: APP



# Forma del bulbo húmedo en función del tiempo de riego

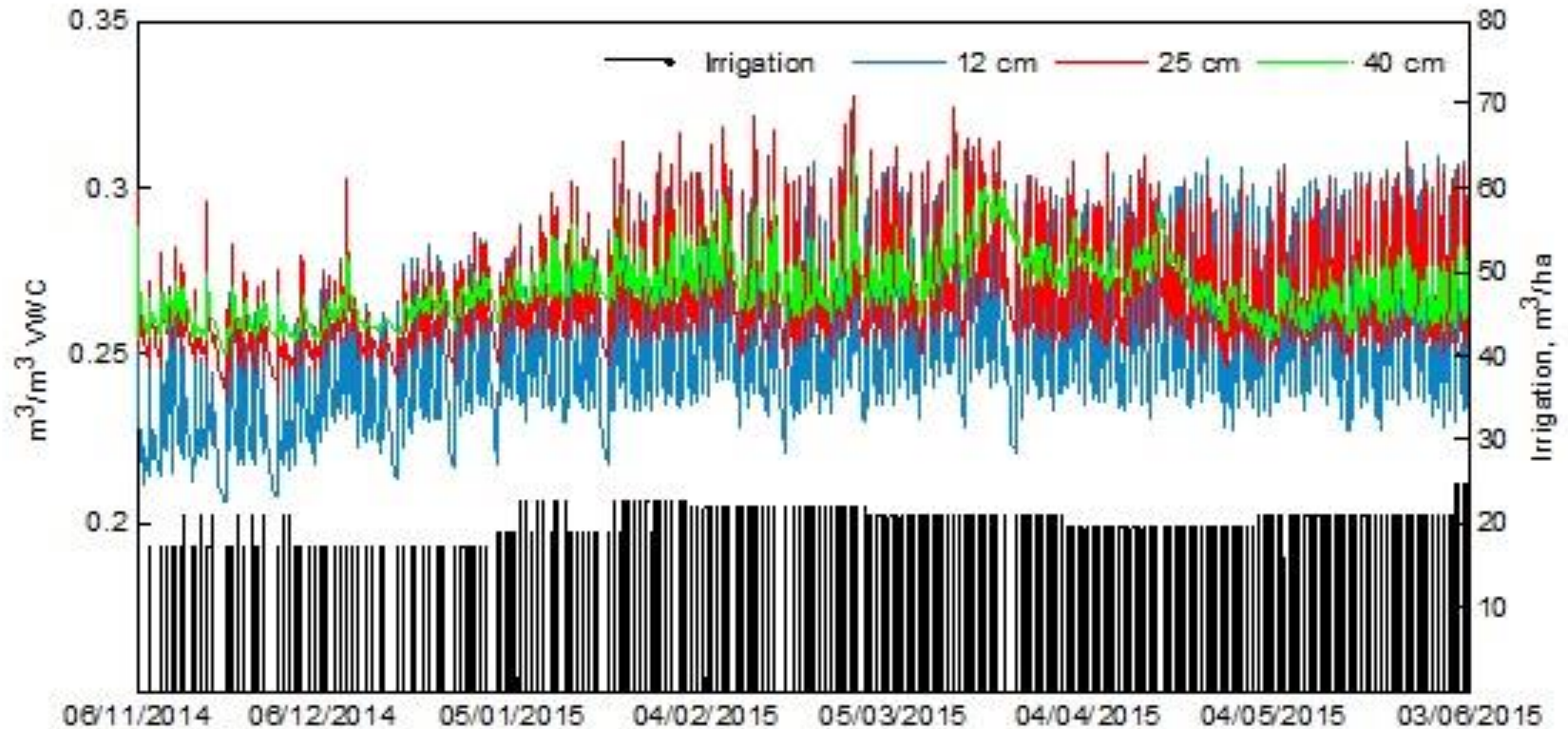


# Evolución de la humedad en el suelo a diferentes profundidades tras un riego de precisión en fresa





# Evolución de la humedad en el suelo a diferentes profundidades tras un riego no de precisión en fresa



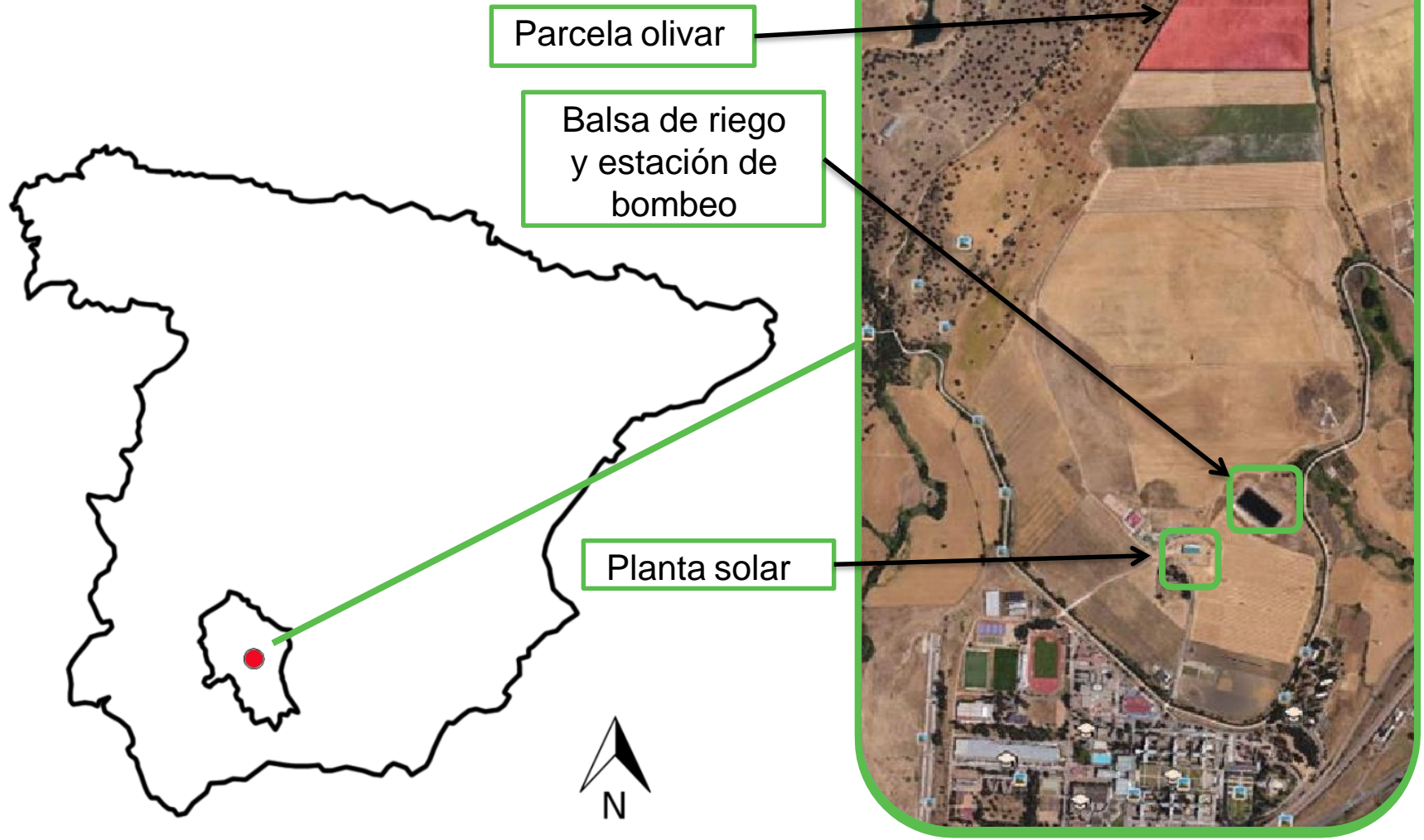
**Testigo**



**Control del riego**



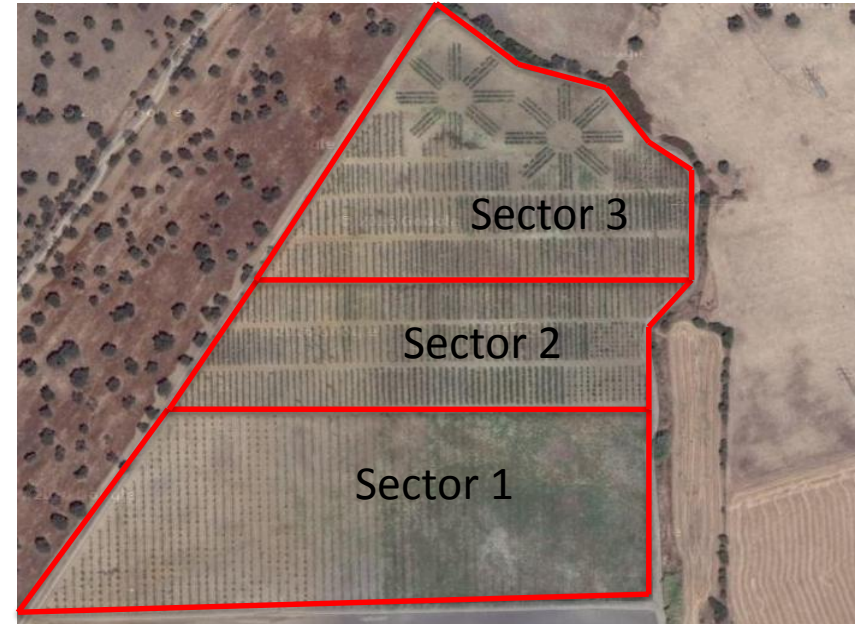
## 2. Riego en olivar



- Canal del Guadalmeñato
- Distancia a parcela: 1 km
- Cota bomba: 153,7 m



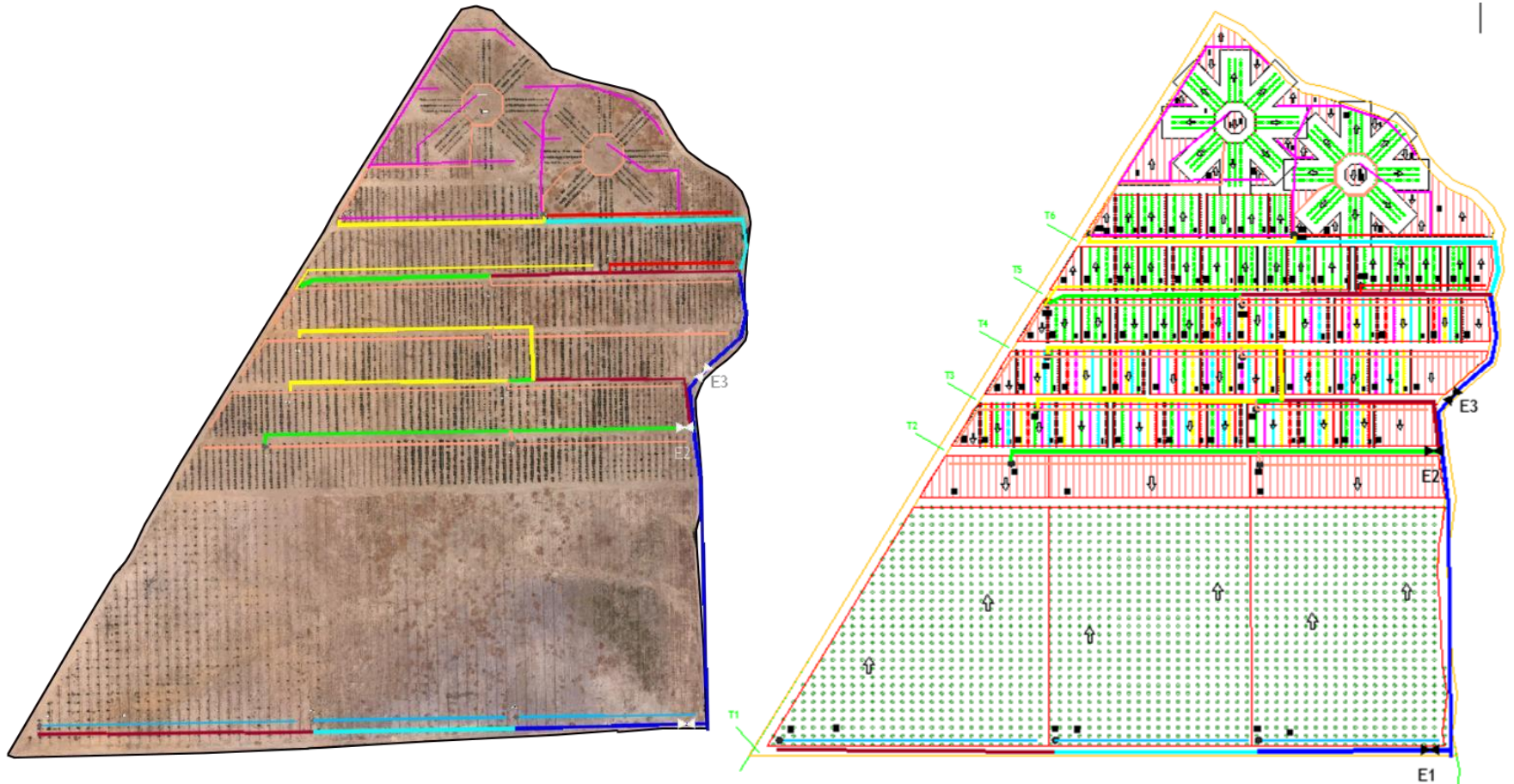
- Plantación joven de olivar
- Red de riego ya instalada
- Multitud de parcelas con diferentes ensayos



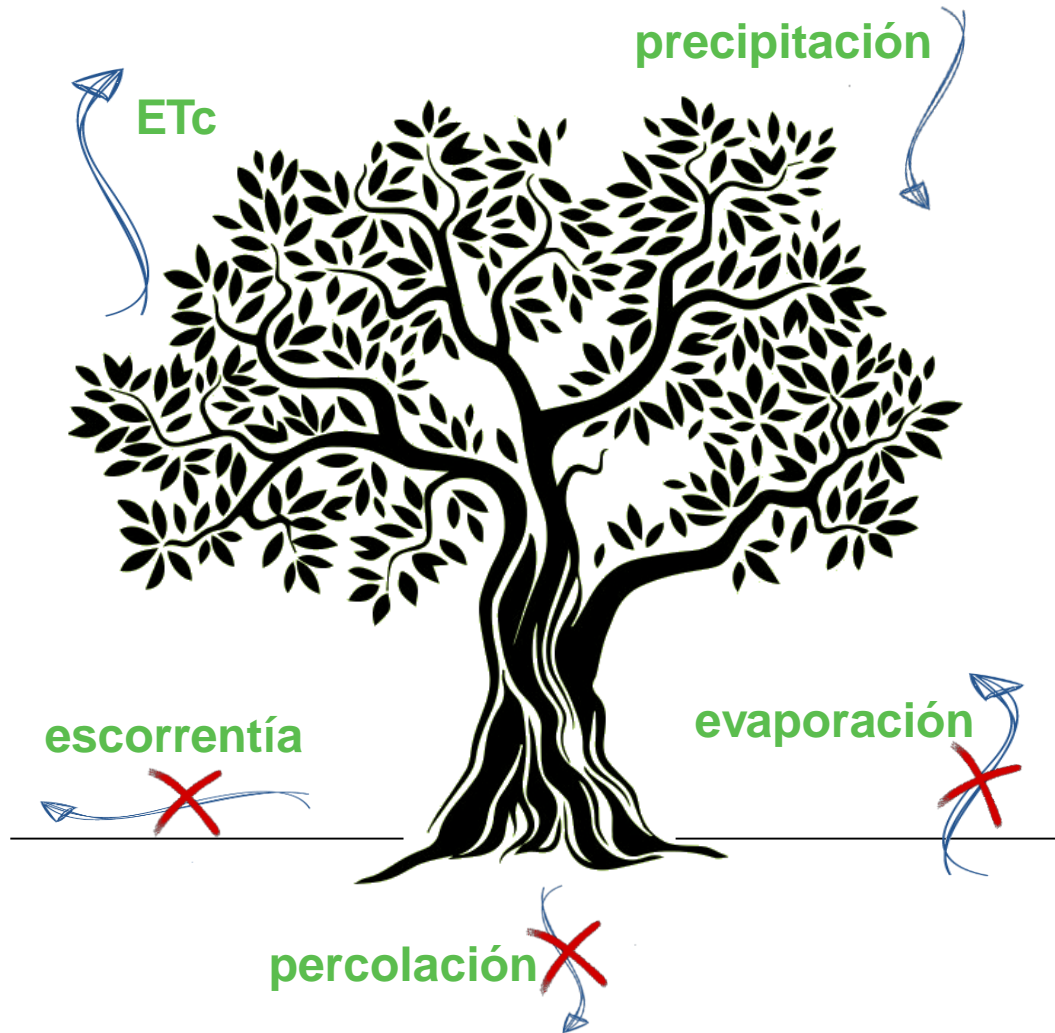
- 128 módulos
- Bloques de 16 módulos en serie
- Total de 8 bloques en paralelo
- **Potencia Instalada 15360 W**



# Caracterización hidráulica



## Determinación necesidades de riego.



**Evapotranspiración cultivo:**

$$Etc = Eto * kc * kr$$

**Necesidades Cultivo (Riego):**

$$NecRie = Etc - Peff$$

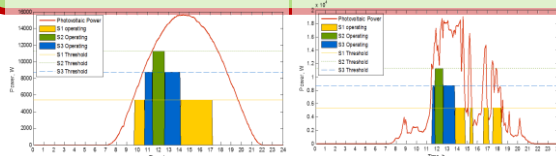
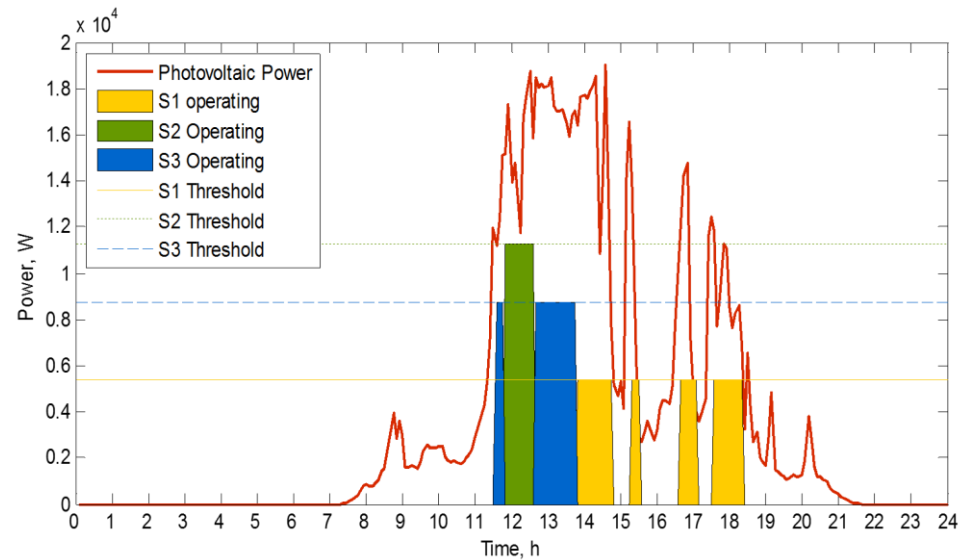
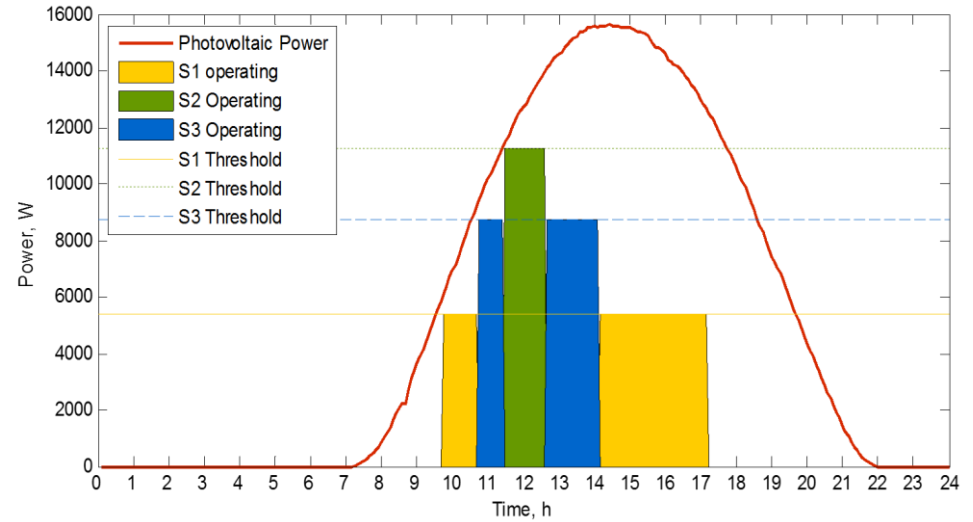
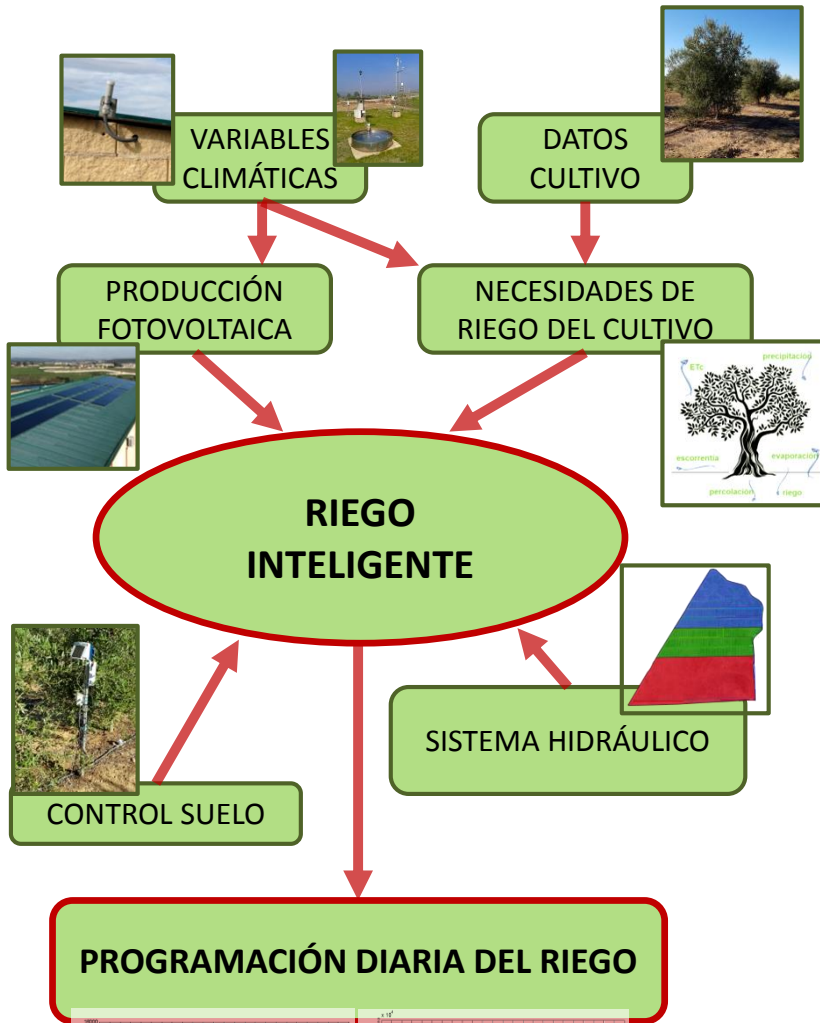
**Precipitación Efectiva:**

80% Prec. Registrada

**Coefficientes RDC:**

- cultivo
- etapa fenológica

# Sincronización

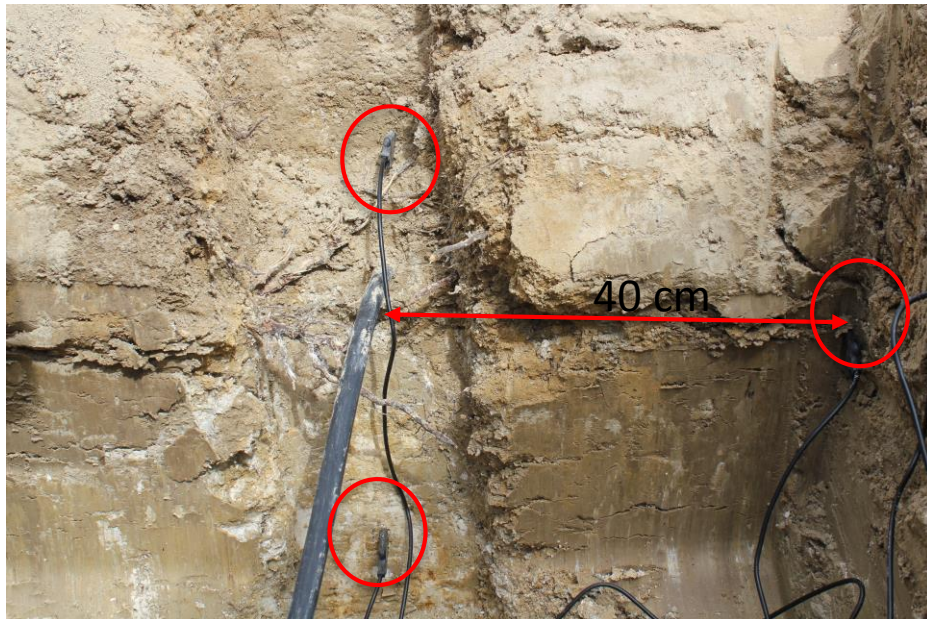


# 3. Riego en viña





## Sensor Decagon MPS-2

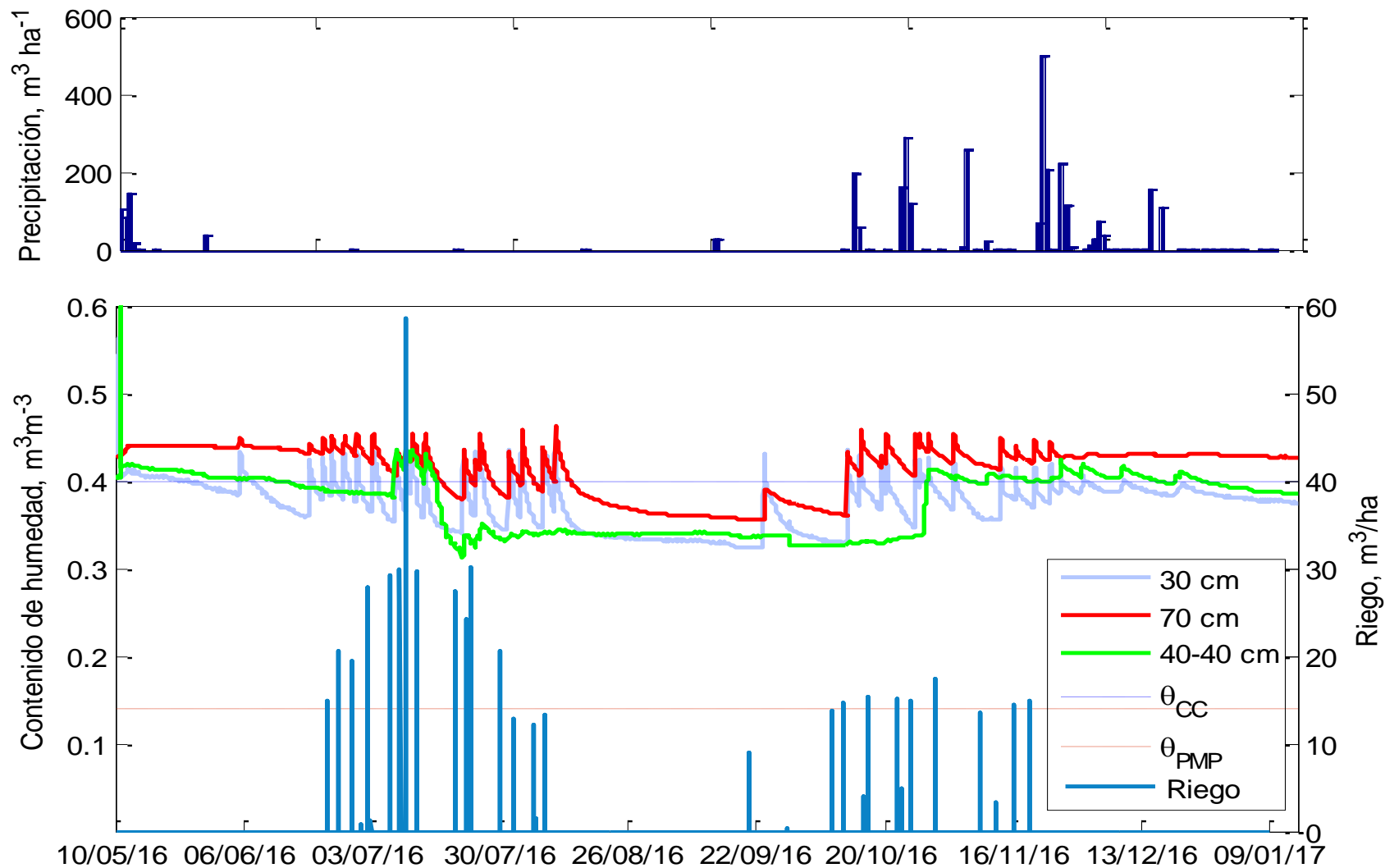


Sensores Decagon DH10S instalados a profundidades de 30 y 70 cm en la vertical del gotero y otro a 40 cm de profundidad y a 40 cm de separación del gotero

## Datalogger y antena GPRS



# Evolución de la humedad según sensores Decagon



# Conclusiones

- Las **tecnologías de riego** están lo suficientemente desarrolladas como para apoyar un manejo del riego preciso basado en un conocimiento del mismo.
- **Herramientas flexibles** y personalizados capaces de gestionar con eficacia los sistemas agrícolas
- El coste de la tecnología es con frecuencia para el agricultor demasiado marginal y resulta **económicamente viable**.
- La reducción de costes y la limitación del recurso agua están haciendo fundamental **maximizar la productividad** de cada gota
- El manejo de riego basado en el conocimiento ofrece una gran oportunidad para establecer en el regadío la **gestión sostenible** del agua a escala de cuenca hidrográfica.
- Las **plataformas de riego**, desarrollados por empresas y por centros de investigación, promueven una gestión sostenible del agua al analizar e integrar multitud de datos.

# Video de riego de precisión

<https://www.youtube.com/watch?v=x07ME-D5Vfc>

# Gracias por su atención

**Emilio Camacho Poyato**

**Tlf.:957218513**

**Email: [ecamacho@uco.es](mailto:ecamacho@uco.es)**

**Universidad de Córdoba**

**Campus de Rabanales. Edificio da Vinci**

**14071 Córdoba**