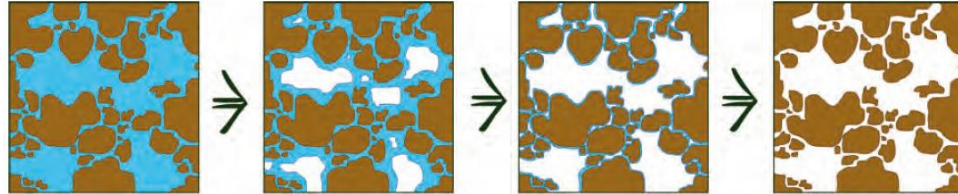




# PROGRAMACIÓN DE RIEGOS EN PARCELA BASADO EN LA UTILIZACIÓN DE SENSORES CAPACITIVOS DE MEDIDA DE AGUA EN EL SUELO

*PROGRAMA DE FORMACIÓN PARA REGANTES*

## Contenido de agua en el suelo



SUELO SATURADO

SUELO en CAPACIDAD de CAMPO

SUELO en PUNTO de MARCHITEZ PERMANENTE

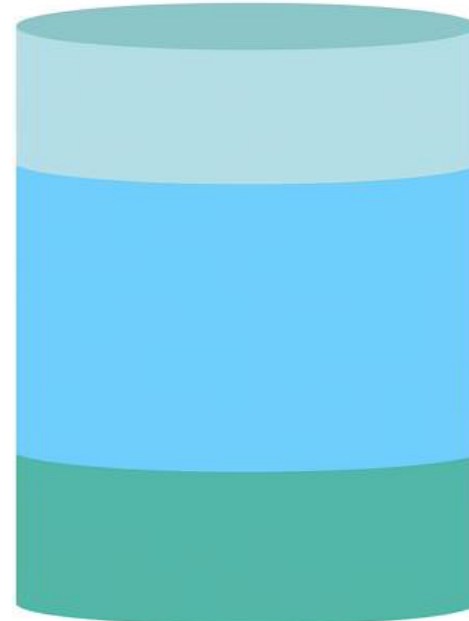
SUELO SECO

Suelo saturado

Suelo en CC

Suelo en PMP

Suelo seco



Incremento de la retención de agua

Agua sobrante  
(se pierde por drenaje)

Agua disponible  
(es la que queda entre el CC y el PMP)

Agua no disponible  
(retenida en el suelo)

## Disponibilidad de agua en el suelo

El agua útil para las plantas depende de las condiciones atmosféricas y del nivel de humedad del suelo.

## Potencial hídrico del suelo

- esfuerzo que hacen las plantas para extraer agua del suelo (estado energético del agua)
- unidades de presión en negativo

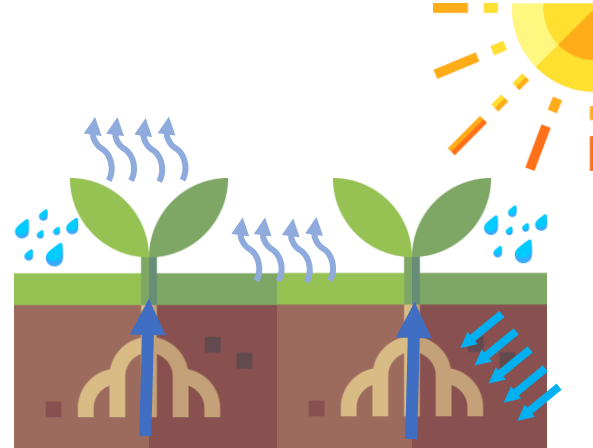
**SENSORES  
MEDICIÓN AGUA  
EN EL SUELO**

## Demanda hídrica de los cultivos: EVAPOTRANSPIRACIÓN

### Factores climáticos

$E_{t_0}$

- Radiación solar
- Temperatura
- Humedad relativa
- Viento

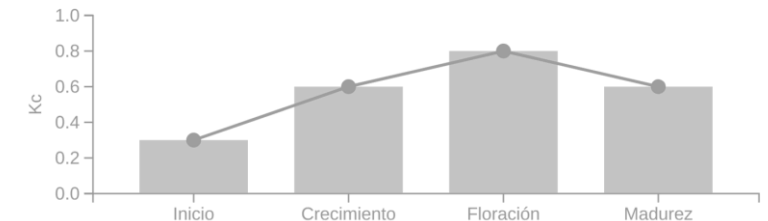


$K_c$

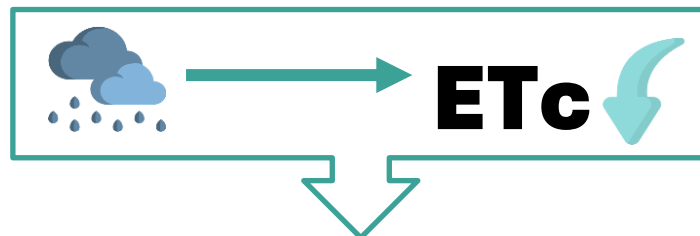
### Desarrollo y tipo de cultivo

- Fase fenológica
- Área foliar
- Estructura sistema radicular

Ejemplo de Variación del  $K_c$  durante la Temporada



$$ET_c = ET_0 \times K_c$$



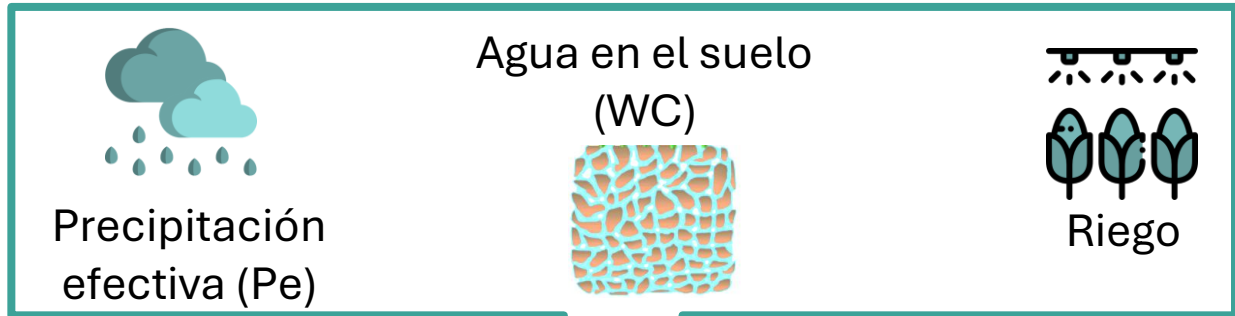
**Disminución dosis de riego**



**Augmento dosis de riego**

¿cuánta agua hay que reponer con riego para mantener el cultivo sano?

## Fuentes de agua para el cultivo

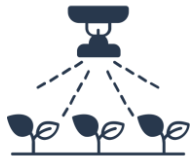


$$\text{Dosis de riego} = \frac{ET_c - P_e}{Eff} \pm \Delta SWC$$

$Eff$  = eficiencia del sistema de riego



0,9



0,8



0,6

$\Delta SWC$  = sobrante (-) o déficit (+) del evento de humectación anterior.

- Textura del suelo
- Tipo cultivo
- Sistema de riego
- Densidad de plantación

**SENSORES  
MEDICIÓN AGUA  
EN EL SUELO**

# ARQUITECTURA DE UNA INSTALACIÓN

Interreg  
Sudoe



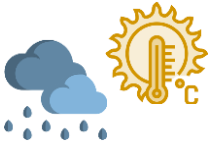
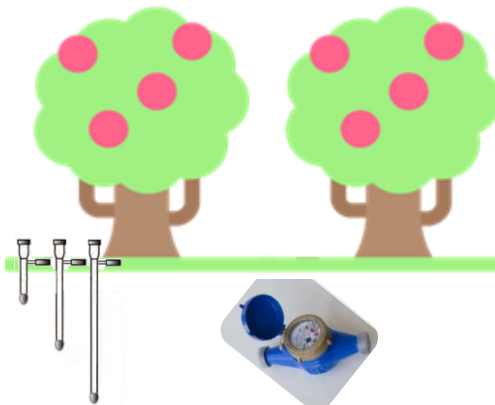
Co-funded by  
the European Union

SMART GREEN  
WATER

| Tecnología | Velocidad | Alcance | Batería | Uso Ideal       |
|------------|-----------|---------|---------|-----------------|
| NB-IoT     | ⚡ ⚡       | 🟢 10km  | 🟢 Años  | Sensores fijos  |
| LTE-M      | ⚡ ⚡ ⚡     | 🟢 10km  | 🟡 Meses | Equipos móviles |
| LoRa       | ⚡         | 🟢 15km  | 🟢 Años  | Grandes fincas  |
| WiFi       | ⚡ ⚡ ⚡ ⚡   | 🔴 100m  | 🔴 Días  | Cámaras/video   |
| BLE        | ⚡         | 🔴 10m   | 🟢 Años  | Invernaderos    |



IoT



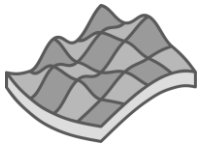
# TIPOLOGÍA DE SENSORES

| Tecnología                                              | Principio de funcionamiento                                                  | Ventajas                                                          | Desventajas                                                                           |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>FDR</b><br>( <i>Frequency Domain Reflectometry</i> ) | Mide la constante dieléctrica del suelo mediante señales de alta frecuencia  | Rápido y preciso<br>Buena sensibilidad<br>Bajo consumo energético | Requiere calibración específica por tipo de suelo<br>Puede ser afectado por salinidad |
| <b>TDR</b><br>( <i>Time Domain Reflectometry</i> )      | Mide el tiempo que tarda un pulso electromagnético en reflejarse en el suelo | Alta precisión<br>Independiente de la salinidad<br>Muy estable    | Costoso<br>Equipos más complejos y delicados                                          |
| <b>Capacitivos</b>                                      | Similar a FDR, miden la capacitancia que cambia con el contenido de agua     | Económicos<br>Fácil instalación<br>Bajo consumo energético        | Menos precisos que TDR<br>Afectados por tipo de suelo y salinidad                     |



# CLAVES PARA LA INSTALACIÓN

## ELECCIÓN DE LA UBICACIÓN



### **Variabilidad del terreno:**

- Suelos homogéneos → pocos sensores.
- Suelos heterogéneos → más sensores por finca/sector.



### **Conocimiento del agricultor**

Es clave para elegir los mejores puntos.



### **Análisis del suelo**

- Muestras para determinar textura y comportamiento hidráulico.
- Ajuste de parámetros: CC, PMP, curvas características



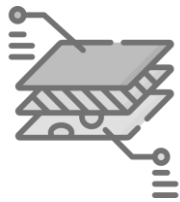
### **Selección del punto representativo**

- Uso de imágenes satelitales para identificar zonas clave.
- Orografía de la finca.
- Punto con cultivos homogéneos y buen vigor.
- Verificar uniformidad del riego para evitar errores.

# CLAVES PARA LA INSTALACIÓN



## SENSORES EN EL PERFIL DEL SUELO



### Profundidad de instalación:

- Según cultivo (sistema radicular superficial (hortícolas) o profundo (frutales))
- Textura del suelo

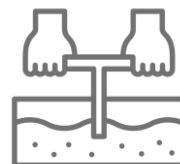


### Posicionamiento (riego por goteo y aspersión)

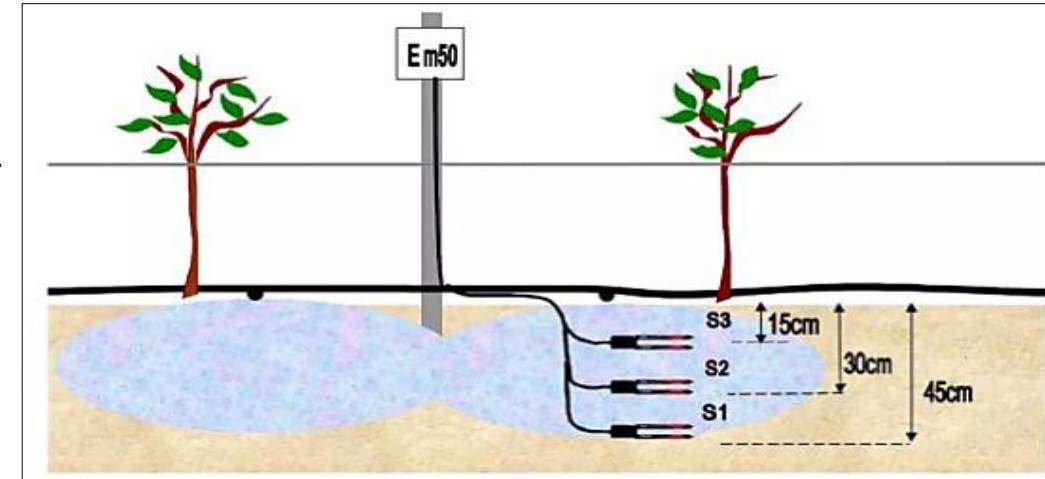
- Instalación en la zona intermedia entre la vertical de un gotero y el límite de área húmeda en superficie
- Bulbo húmedo

### Recomendaciones

- Instalación con suelo húmedo, sin cultivo activo
- Buen contacto con el suelo y sin alterar estructura



- Evitar zonas pedregosas y vacíos de aire
- Proteger cableado
- Mantener verticalidad



# ACTIVACIÓN PUNTOS DE CONTROL



- Verificación del funcionamiento
- Test inicial de comunicación

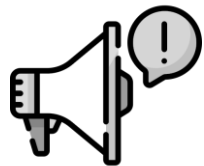
Riego abundante inicial o evento de lluvia



Determinación del valor CC y PMP



**CALIBRACIÓN  
SENSORES**



Cada sensor deberá ser calibrado  
con su valor de referencia

# ACCESO Y VISUALIZACIÓN DE DATOS

Interreg  
Sudoe



Co-funded by  
the European Union

SMART GREEN  
WATER

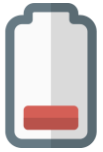
## Suscripción anual a plataforma de visualización y almacenamiento de datos

Mapa con la ubicación de los sensores



Visualización de datos en tiempo real y visor de gráficas de contenido volumétrico de agua en el suelo

# MANTENIMIENTO Y PRECAUCIONES



Alimentación y  
baterías



Calibración periódica de  
los sensores



Actualizaciones  
de software



Verificaciones de  
funcionamiento



Protección y  
señalización de  
la instalación



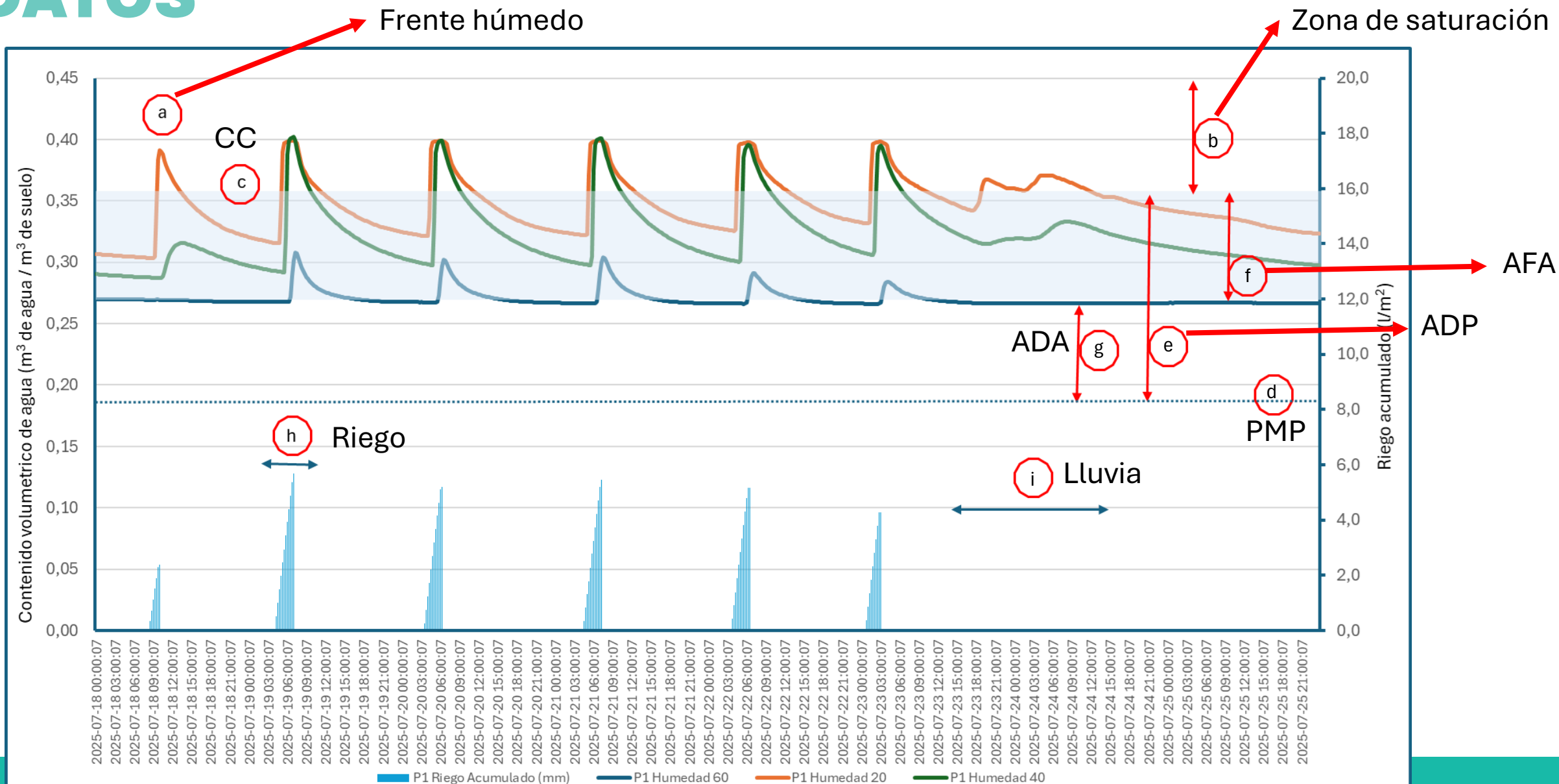
# INTERPRETACIÓN DE DATOS

Interreg  
Sudoe

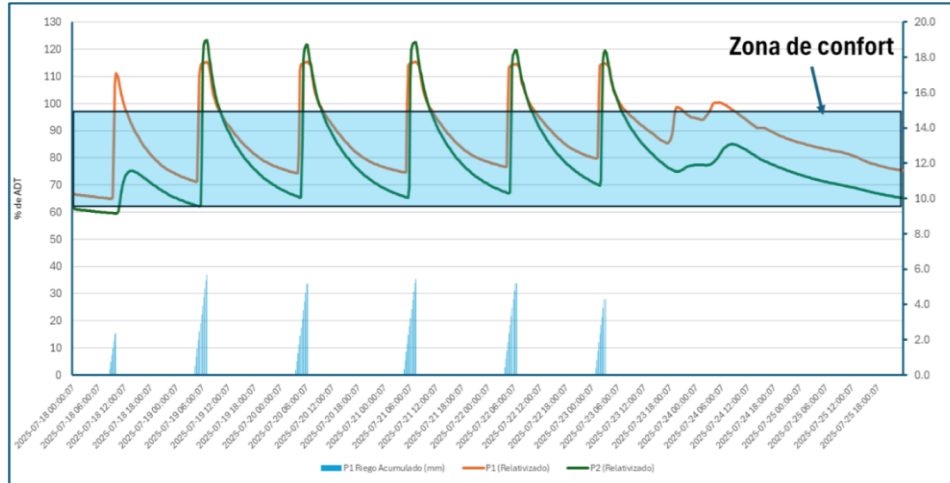


Co-funded by  
the European Union

SMART GREEN  
WATER



# INTERPRETACIÓN DE DATOS



**Objetivo** del riego basado en sensores:

- **Mantener** sensor representativo de la zona radicular dentro de la zona de confort hídrico.
- **Evitar:**
  - Saturación: percolación profunda
  - Estrés hídrico: valores por debajo zona confort

Sensor superficial = detecta eventos de lluvia o riegos

Sensor intermedio = zona radicular → clave para decidir cuándo regar

Sensor profundo = detecta pérdidas por drenaje o percolación profunda



**Otros objetivos:**

Salinidad: provocar drenaje profundo para lavar sales

Aplicación de riegos deficitarios controlados

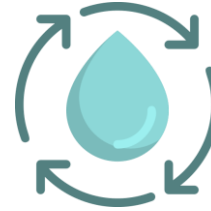
# VENTAJAS DEL RIEGO CON SENSORES

Interreg  
Sudoe



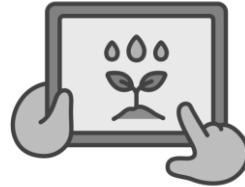
Co-funded by  
the European Union

SMART GREEN  
WATER



Sostenibilidad y resiliencia

Conocimiento preciso y en tiempo real del estado hídrico del suelo



Alertas tempranas de problemas en el sistema

Mejora de la salud del cultivo y su rendimiento



Eficiencia en el uso del agua



Programación y comodidad.