



**cajamar**  
CAJA RURAL



## Parte práctica

Criterios para la instalación de los sensores en suelo.  
Establecimientos de límites para el manejo del riego.  
Toma de muestras.



- Principales herramientas para el manejo o seguimiento de la fertirrigación en los cultivos.
- Consideraciones previas a la instalación.
- Instalación de sondas de succión y sensores.
- Tratamiento de la información.
- Visualización e interpretación de datos.
- Establecimiento de límites para el manejo del riego.
- Requisitos para la toma de muestras.



- Principales herramientas para el manejo o seguimiento de la fertirrigación en los cultivos.
  - Sondas de succión
  - Sensores



# Principales herramientas para el manejo o seguimiento de la fertirrigación en los cultivos

- Tensiómetros. Analógicos, digitales, semi-permanentes.

Potencial matricial [kPa]



- Sondas de succión: extracción manual o automática

Nutrientes en la solución del suelo.



- Sensores capacitivas (FDR): Puntuales y de perfil, Semipermanentes e itinerantes.



+ VWC:

+ low cost:



+ de perfil:

Humedad volumétrica, [ $m^3.m^{-3}$  o %],  
 CE [ $dS.m^{-1}$ ],  
 T [ $^{\circ}C$ ]



+ VWC+EC+T:





- Consideraciones previas a la instalación de sondas y sensores:
  - Representatividad, n° sensores
  - Volumen medida del suelo
  - Características del sensor
  - Ubicación
  - Otras consideraciones

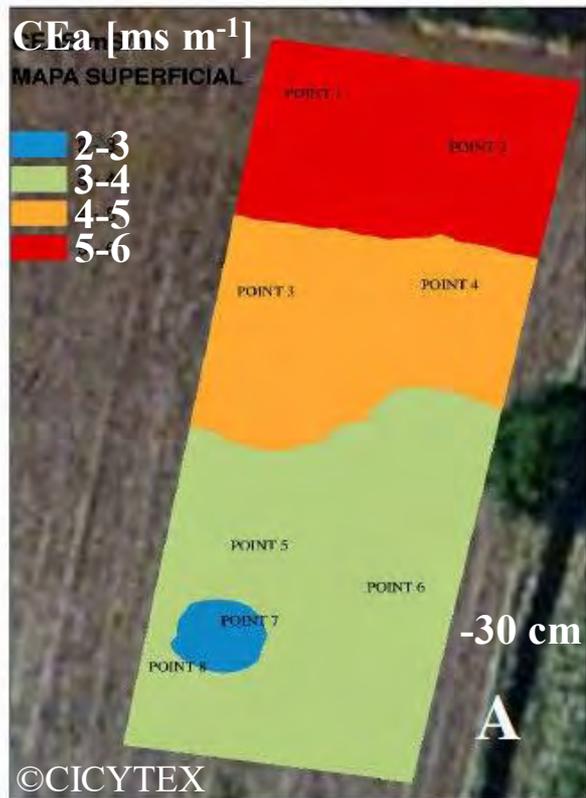
# Consideraciones previas a la instalación

## Representatividad

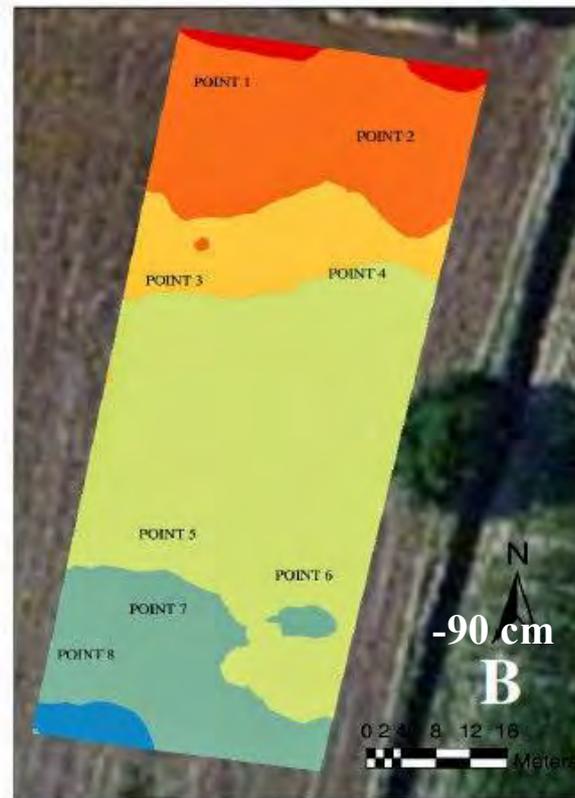


- Representatividad, ubicación de sensores en la parcela

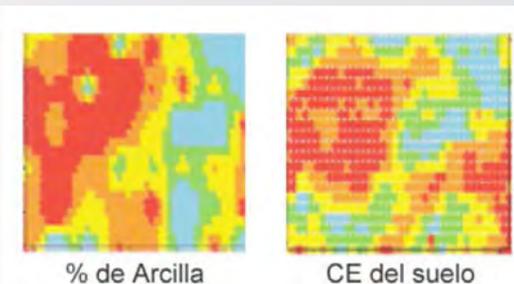
+Distribución espacial de sensores  
+Mapas de CEa aparente del suelo



**Profundidad: -30 cm**



**Profundidad: -90 cm**

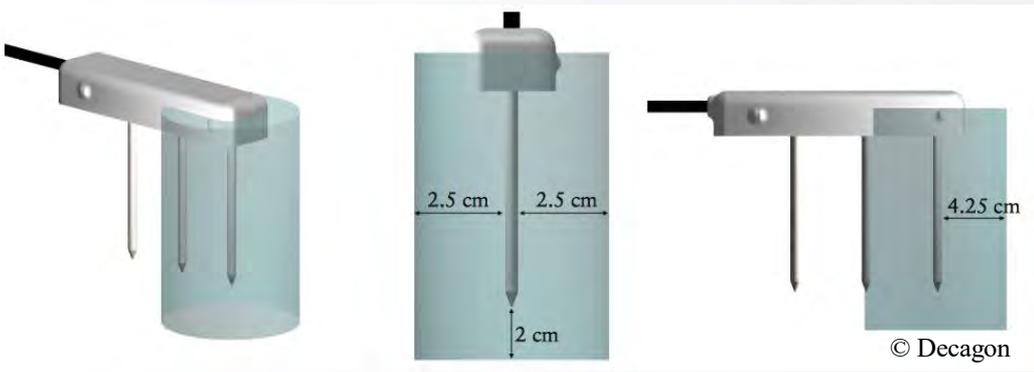
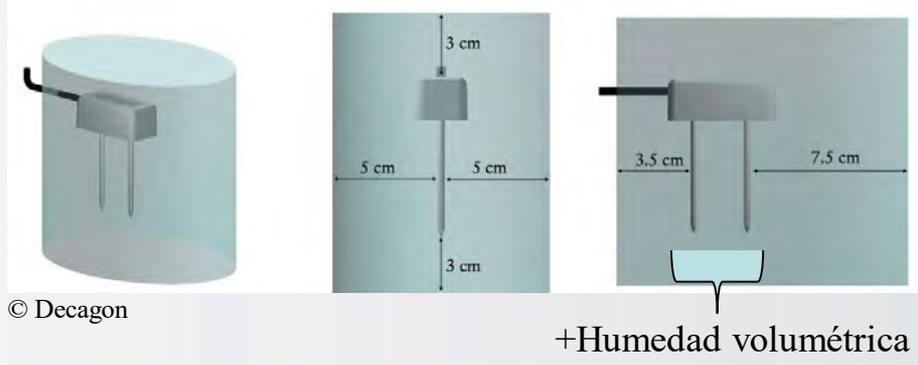
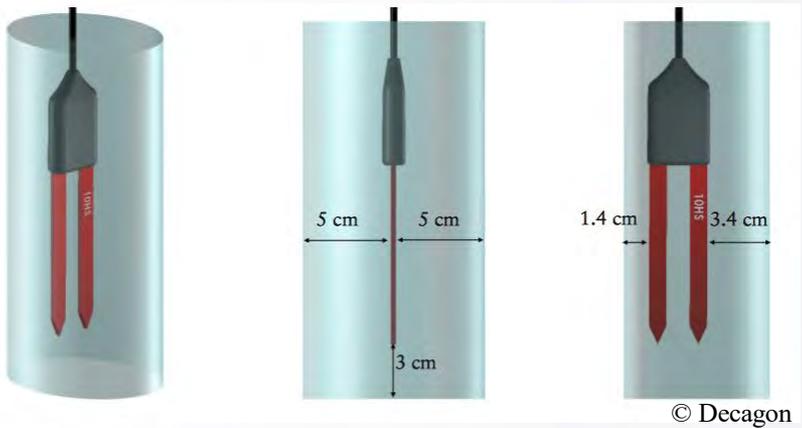


# Consideraciones previas a la instalación

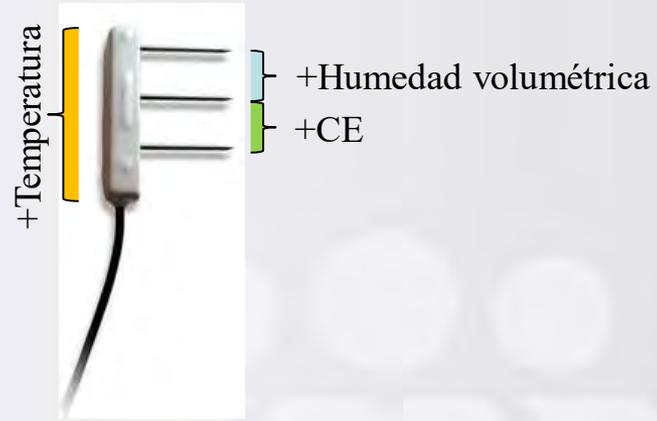


## Volumen de medida

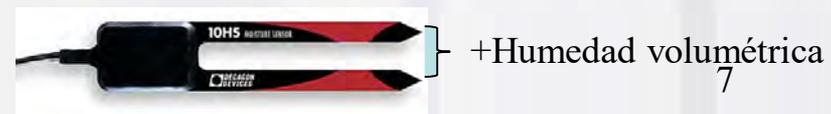
- Los **sensores** tienen un volumen de medida del suelo determinado



- Características sensor



- Las **sondas de succión** extraen la solución del suelo próxima a la cápsula porosa.

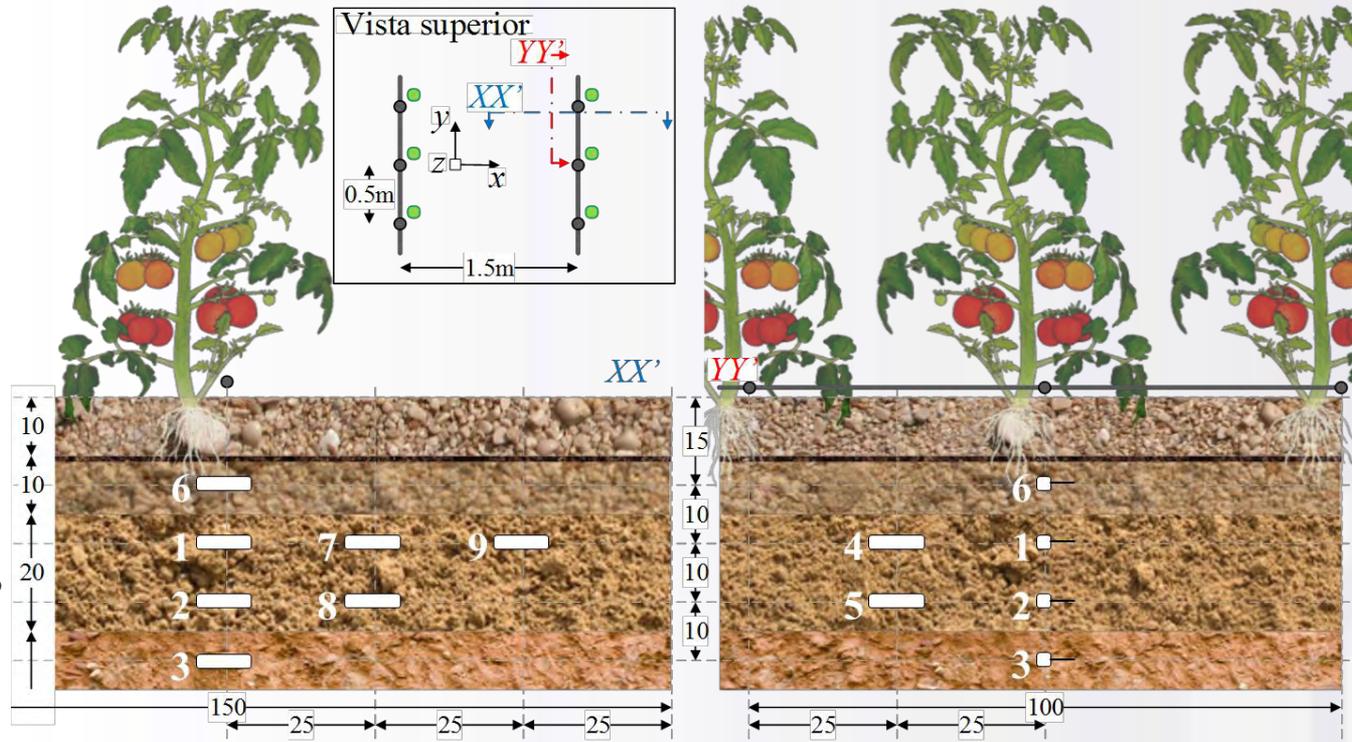


# Consideraciones previas a la instalación

## Ubicación



- Colocación: ¿vertical u horizontal?
- Posición en suelo:
  - +Profundidad, distancia a gotero, bulbo húmedo, ubicación raíces,...
  - +Tipo de suelo, perfiles,...



# Consideraciones previas a la instalación

## Otras consideraciones



- ¿Que queremos medir?:

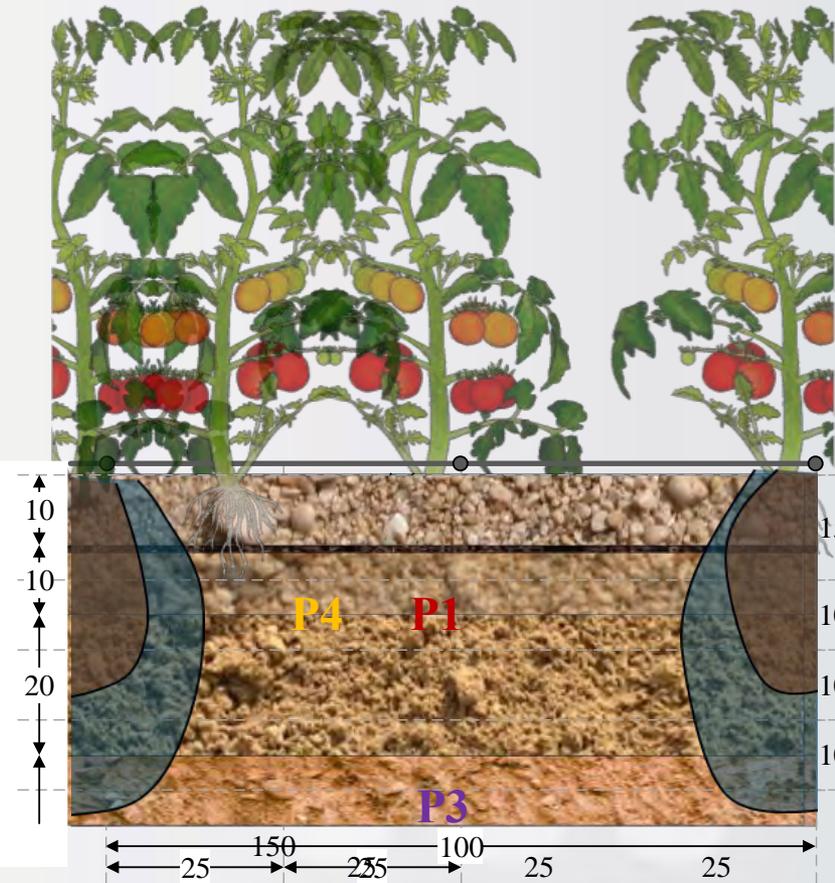
+**Estado hídrico cultivo** (medida humedad volumétrica ó potencial matricial, zona radicular). **P1**

+**Estado nutritivo cultivo** (medida de nutrientes de la solución del suelo extraída, zona radicular). **P1**

+**Acumulación de sales** (medida en zona radicular y/o frente salino húmedo). **P4**

+**Agua drenada** (medida volumétrica, a mayor profundidad)

+**Lavado de sales y Lixiviación de fertilizantes** (medida CE, a mayor profundidad). **P3**





- Instalación de sondas de succión y sensores:
  - Momento de instalación:
    - **Evitar** suelos saturados y muy húmedos
    - **Evitar** zonas no representativas
    - Dejar tiempo posterior de estabilización del suelo
  - Instalación de:
    - Sondas de succión y tensiómetros
    - Sensores capacitivos (FDR)

# Instalación de sondas de succión y sensores:

## Sondas de succión y tensiómetros



### 0. Preparaciones previas

+Humedecer capsulas en agua, ...

### 1. Barrena



### 2. Pasta de suelo



### 3. Inserción a presión



### 4. Sellado

+Evitar vías preferentes de agua cerca de gotero, ...

### 5. Vacío

+Purgar aire en tensiómetros

# Instalación de sondas de succión y sensores: Sondas de succión y tensiómetros



- [Video instalación Tensiómetros](#)



# Instalación de sondas de succión y sensores:

## Sensores capacitivos (FDR)



**cajamar**  
CAJA RURAL

- Métodos de instalación
  - Cata (agujero en suelo, lo mas pequeño posible).
  - Barrena: Vertical, horizontal o diagonal.
  - Mixto: Cata + Barrena.
- Consideraciones:
  - **Evitar** la formación de vías preferentes de agua.
  - **Evitar** destrucción de estructura original del suelo.
  - **Evitar** compactación del suelo.
  - **Evitar** destrucción de raíces activas.
  - **Evitar** la alteración del suelo próximo al sensor,...
  - **Evitar** doblar en exceso o forzar el sensor, roturas.
  - **Reconstruir** el suelo manteniendo estructura y capas originales
- Sensores capacitivos de perfil:
  - Barrena + Tubo de acceso (**Evitar** pasta).
- Sensores capacitivos puntuales:
  - Cata o barrena + inserción + relleno (**Evitar** pasta).

# Instalación de sondas de succión y sensores: Sensores capacitivos puntuales (FDR)



- Instalación con cata



# Instalación de sondas de succión y sensores: Sensores capacitivos puntuales (FDR)



- Instalación con barrena



# Instalación de sondas de succión y sensores: Sensores capacitivos puntuales (FDR)



- [Video instalación 10HS, GS3 y 5TE](#)

Trench Installations- Best for:

- Shallow depths
- Sensors installed horizontally

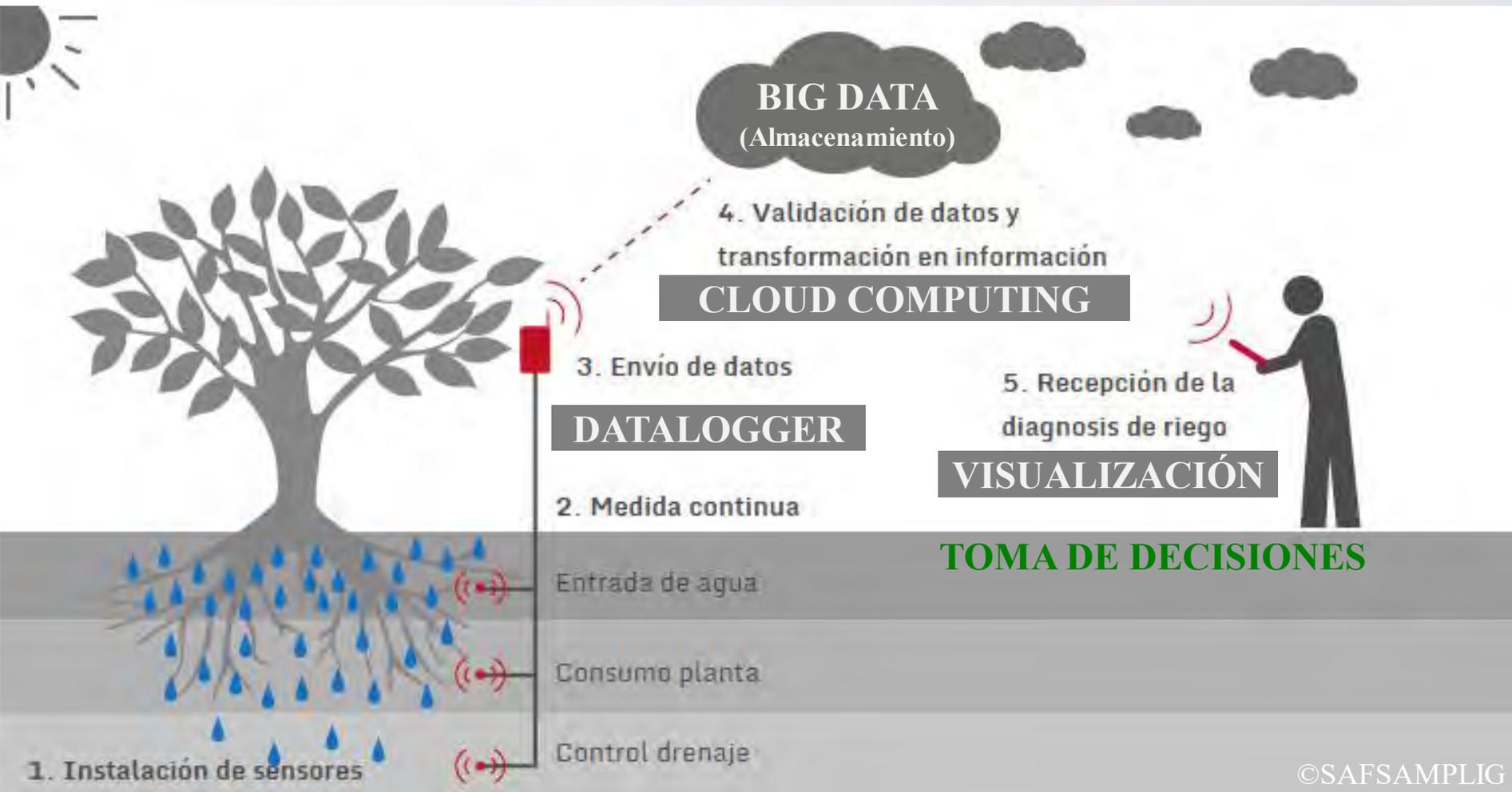


- Tratamiento de la información:
  - DataLoggers
  - Big data
  - Cloud computing
  - Visualización e interpretación de datos
  - Toma de decisiones
  
  - Soluciones disponibles en el mercado



# Tratamiento de la información

## Esquema de CLOUD COMPUTING





# Tratamiento de la información

## Soluciones disponibles en el mercado (1)



# SAF SAMPLING



# HIMARCAN

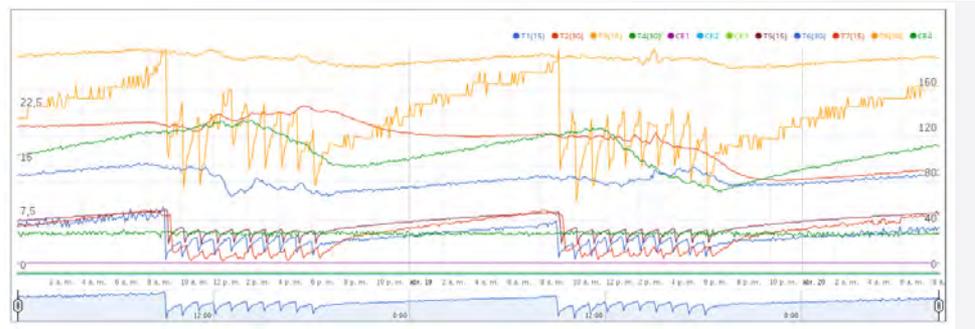
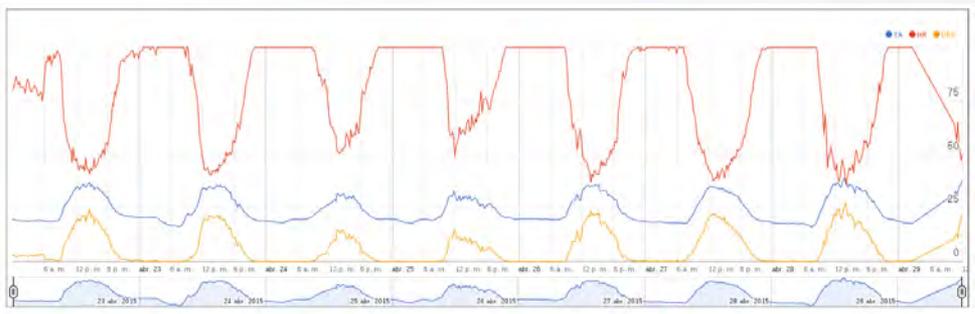
## TÉCNICA DEL AGUA Y CLIMA





# Tratamiento de la información

## Soluciones disponibles en el mercado (2)





# Tratamiento de la información

## Soluciones disponibles en el mercado (3)



# Parrot®





# Tratamiento de la información

## Soluciones disponibles en el mercado (4)



# BrioAgro

Technologies



Almería Níjar hdl

ALERTAS	RIEGO	DATA	MÓVIL
CONTROL MICROCLIMA	TEMP.	HUMEDAD	LUMINOSIDAD
CONTROL SUSTRATO	TEMP.	HUMEDAD	CONDUCTIVIDAD
CONTROL AMBIENTE	TEMP.	HUMEDAD	CONDUCTIVIDAD

15 cm SUELO

20 cm SUELO





- Visualización e interpretación de datos:
  - Errores en la medida
  - Comprobaciones tras la instalación
  - Variabilidad entre puntos de medida
  - Medidas de potencial matricial ( $\Psi$ ) en suelo
  - Medidas de humedad volumétrica (SWC) en suelo y sustrato
  - Medidas de CEa y CEss en suelo y sustrato

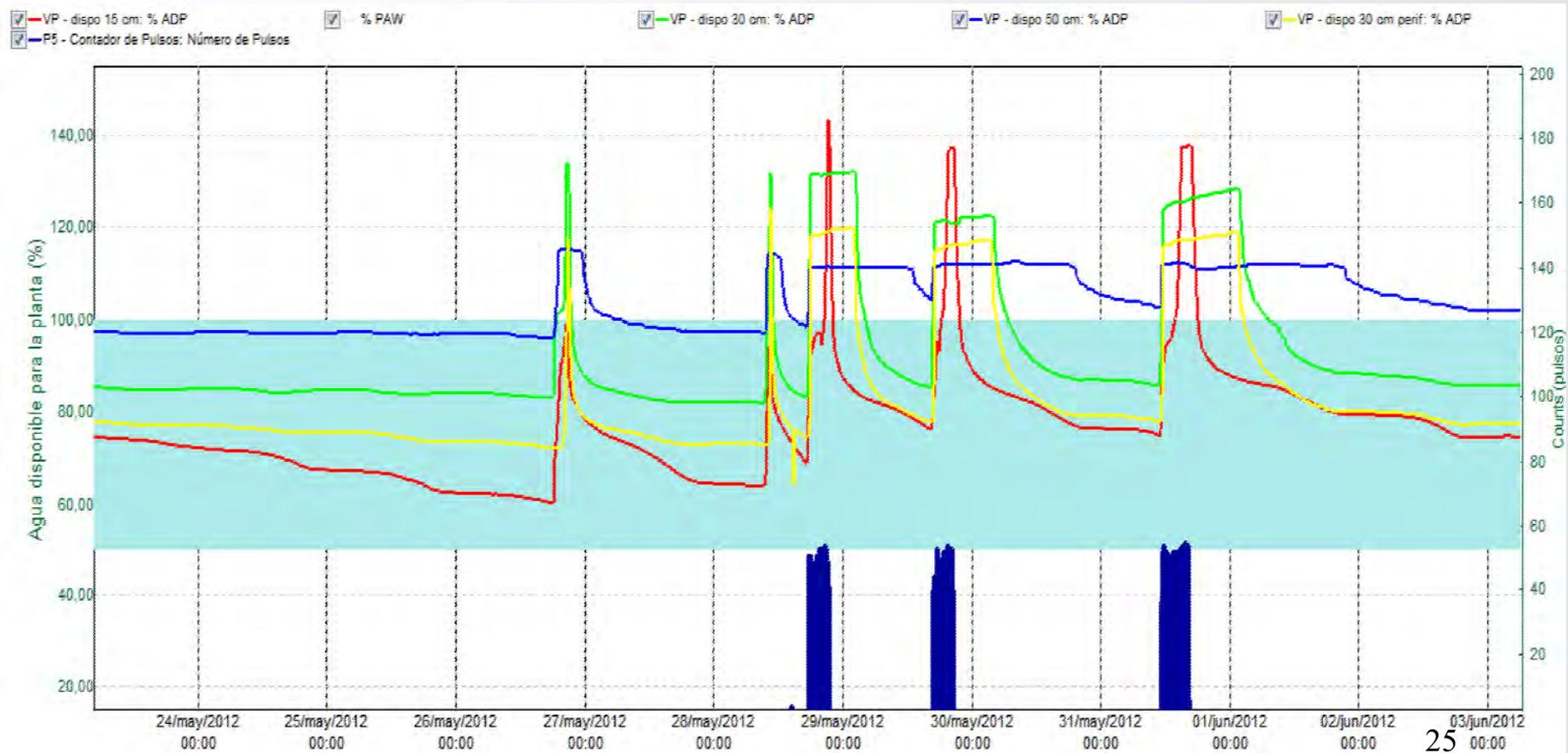
- Tipo de medida:
  - Humedad volumétrica, [ $\text{m}^3_{\text{AGUA}} \cdot \text{m}^{-3}_{\text{SUELO}}$ ]. Medidas afectadas por:
    - CEa, las sales afectan a la media de la permitividad dieléctrica del suelo, menor efecto en sensores que trabajan a elevadas frecuencias.
    - Temperatura, la permitividad del agua disminuye con la temperatura.
    - Variabilidad sensor-sensor.
    - A mayor humedad el error en la medida es menor.
  - CE, [ $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ]. Medidas afectadas por:
    - Humedad, influye en la solubilidad de sales (CE).
    - Temperatura, influye en la solubilidad de sales (CE).
    - Variabilidad sensor-sensor.
- Repetitibilidad sensor-sensor:
  - Todos los sensores deben proporcionar la misma medida.
  - Sensores analógicos tipo EC-5 y 10HS presentan una variación del 1%. Sensores digitales (5TE, 5TM, GS3, MPS-2) presentan una variabilidad inferior.
- Errores por: Precisión sensor (3%), densidad aparente (3%),  $\epsilon$  (2,5%),  $\epsilon_w$  (3%), mala instalación (10%).
- Menor error en sensores de calidad con certificado de calibración por el fabricante.

# Visualización e interpretación de datos

## Comprobaciones tras la instalación



- Representatividad
- Valores de referencia: Límite Inferior, Límite Superior
- Respuesta adecuada a los procesos





Subproyecto 3:

# AUTOMATIZACIÓN DEL RIEGO POR GOTEO EN CULTIVOS HORTÍCOLAS EN INVERNADERO Y EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS DE CONTROL DE LA FERTIRRIGACIÓN



Duración: 2014 a 2017

Investigador principal: Dr. Santiago Bonachela Castaño

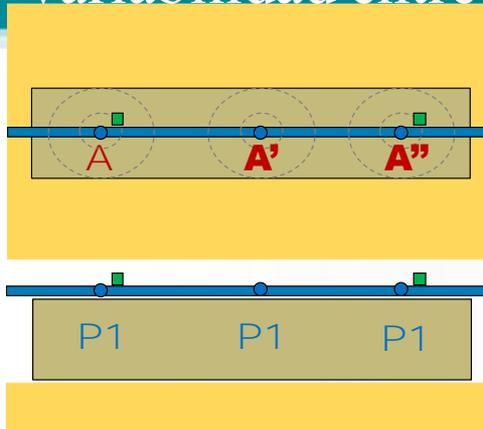
Entidad financiadora: MINECO/INIA



- Objetivos:
  - Mejorar el conocimiento de la dinámica del agua, nutrientes y sales del suelo en cultivos hortícolas en suelos enarenados para optimizar la instalación y el uso de sensores para automatizar el riego.
  - Evaluar la respuesta agronómica y ambiental de ciclos de cultivos hortícolas de invernadero representativos a la automatización del riego.
  - Evaluar equipos y herramientas de control y seguimiento de la fertirrigación (estado hídrico y concentración de sales y macronutrientes).

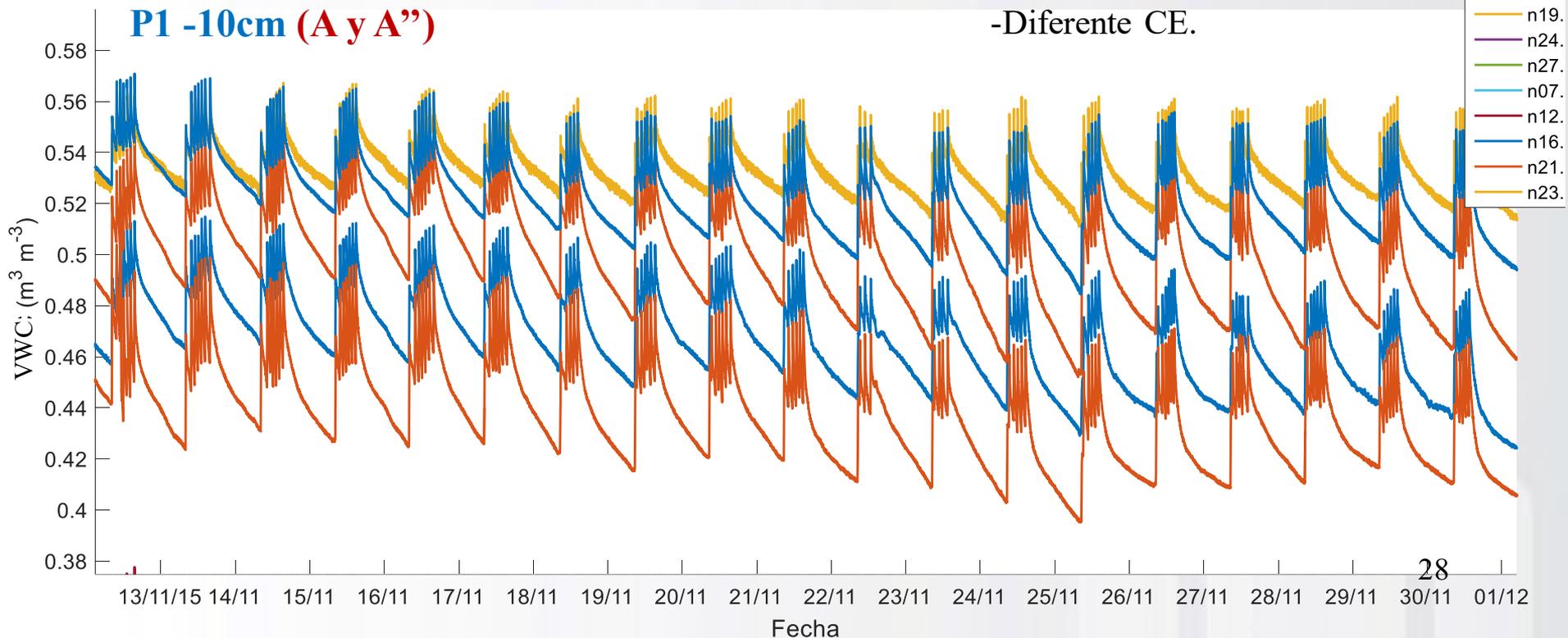
# Visualización e interpretación de datos

## Variabilidad entre puntos de medida



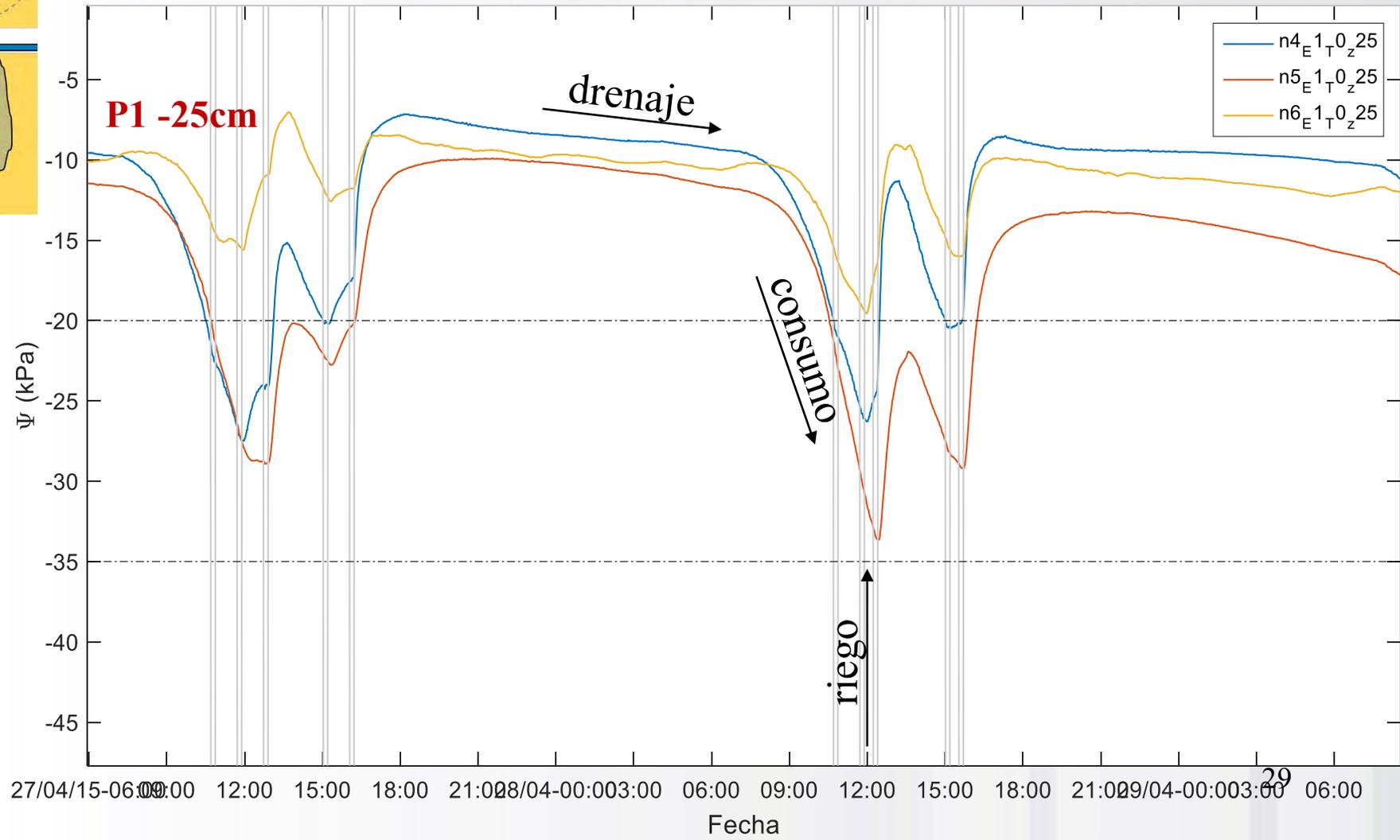
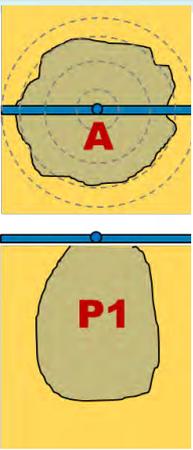
- + Sensores calibrados por fabricante.
- + Sustrato más homogéneo que suelo.
- + Siguen la misma tendencia.

- Diferentes concentración de raíces.
- Diferente humedad.
- Diferente densidad aparente.
- Diferente permitividad dieléctrica del suelo.
- Diferente CE.



# Visualización e interpretación de datos

## Medidas de potencial matricial en suelo [kPa]

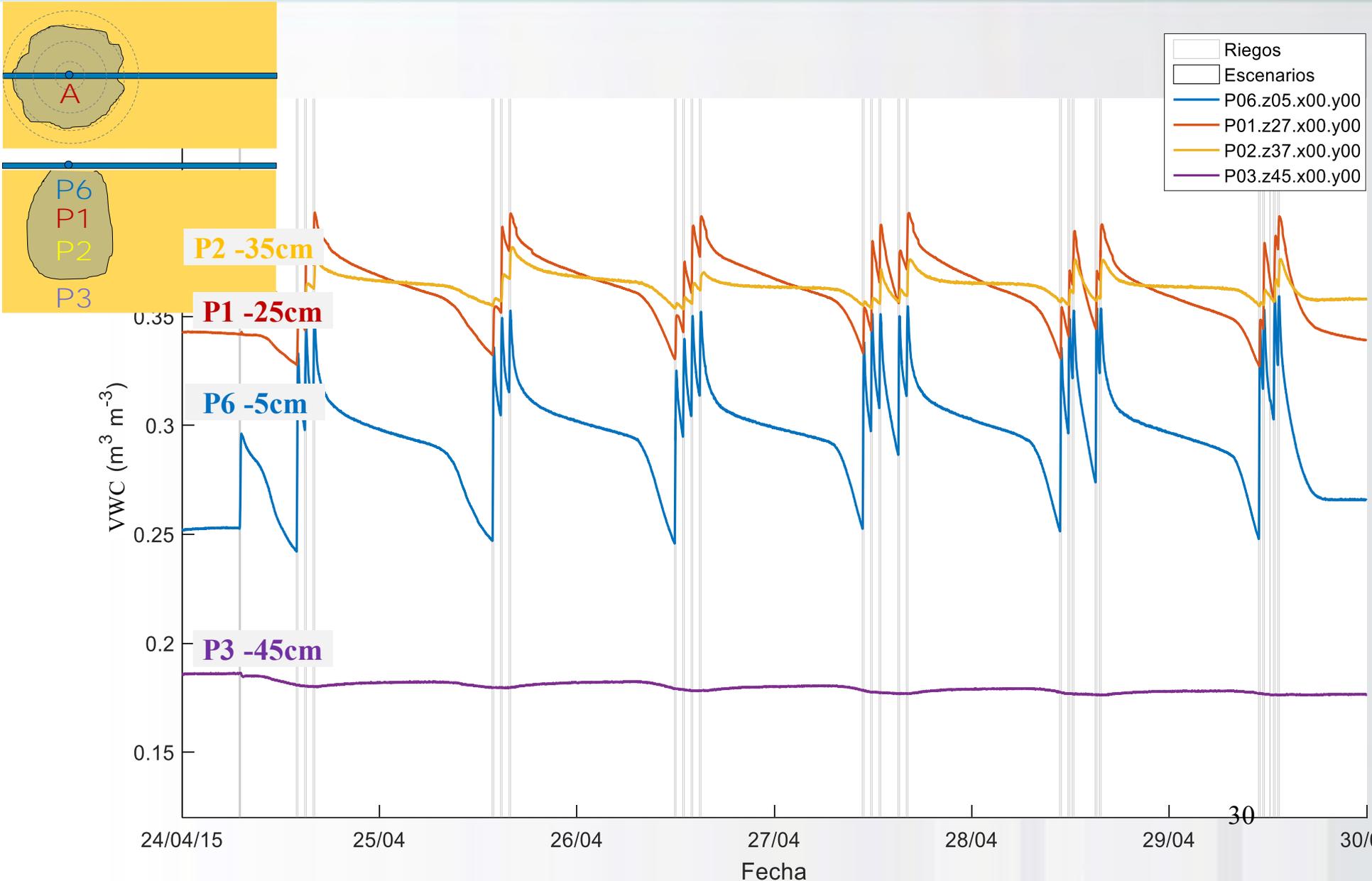


# Visualización e interpretación de datos

## Medidas de humedad volumétrica en suelo

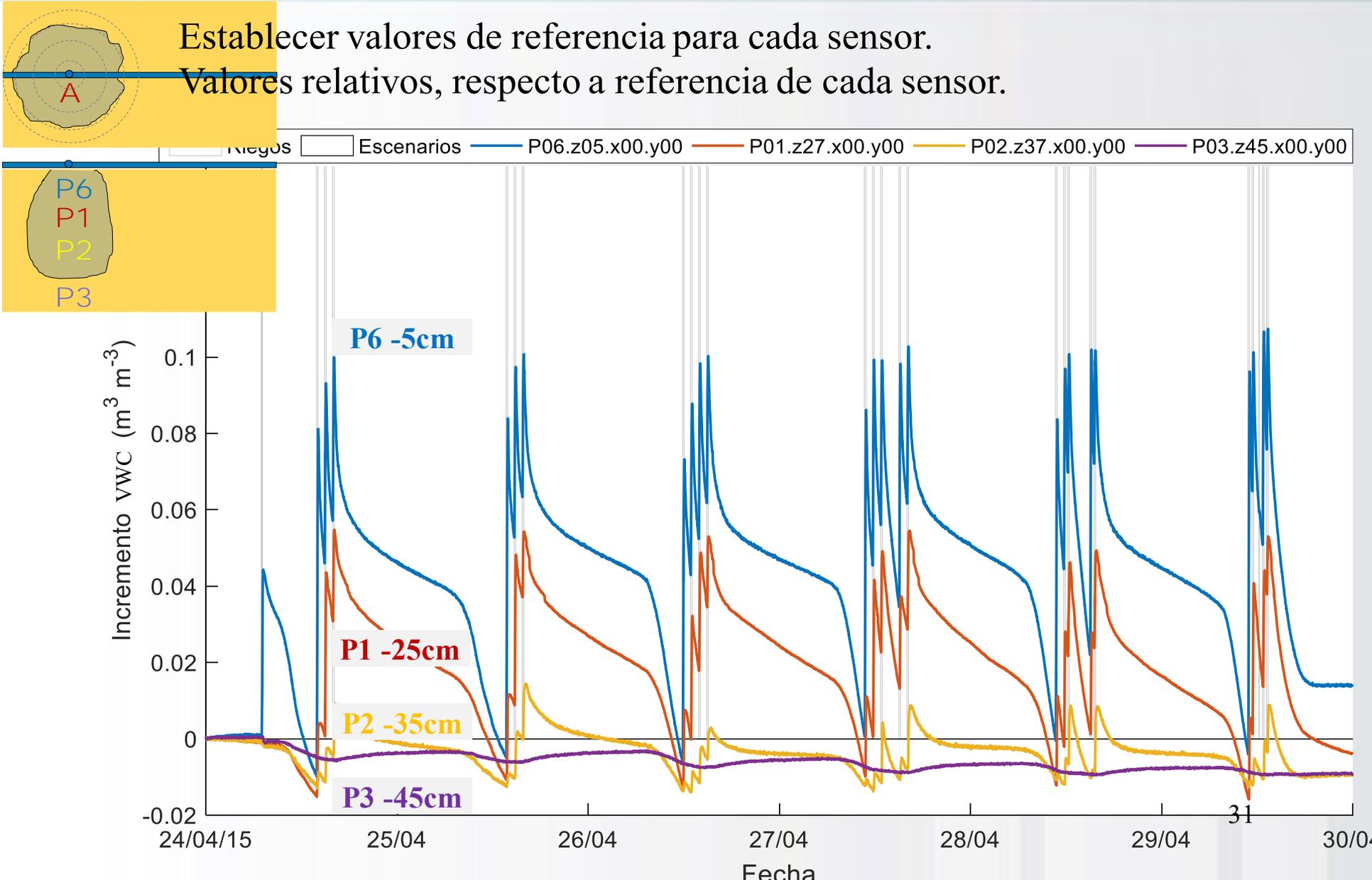


**cajamar**  
CAJA RURAL

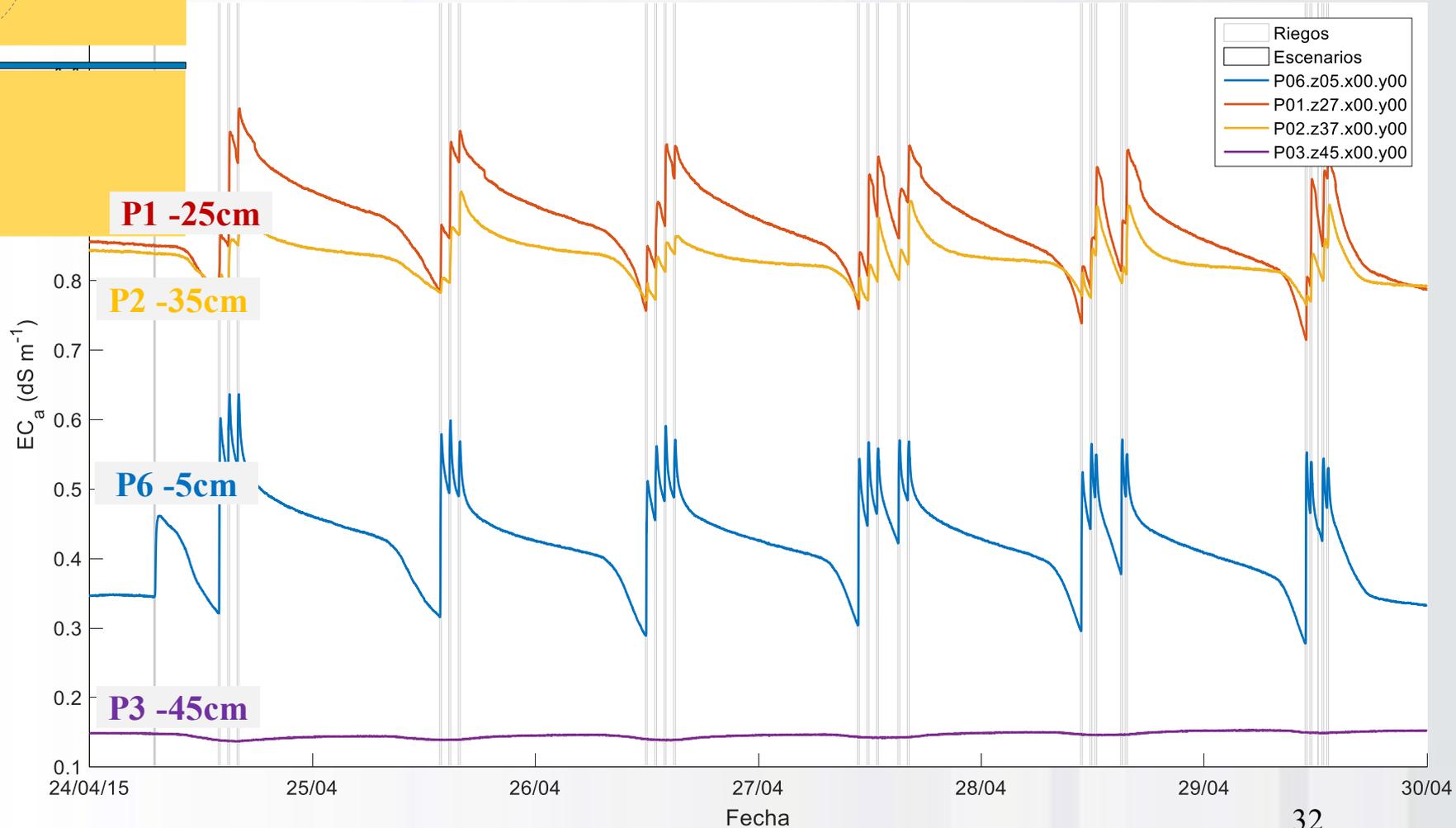
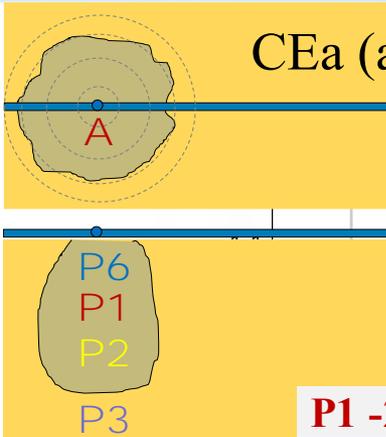


# Visualización e interpretación de datos

## Medidas de humedad volumétrica en suelo



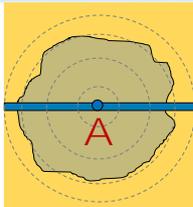
CEa (aparente), medida por los sensores. DIFÍCIL DE INTERPRETAR

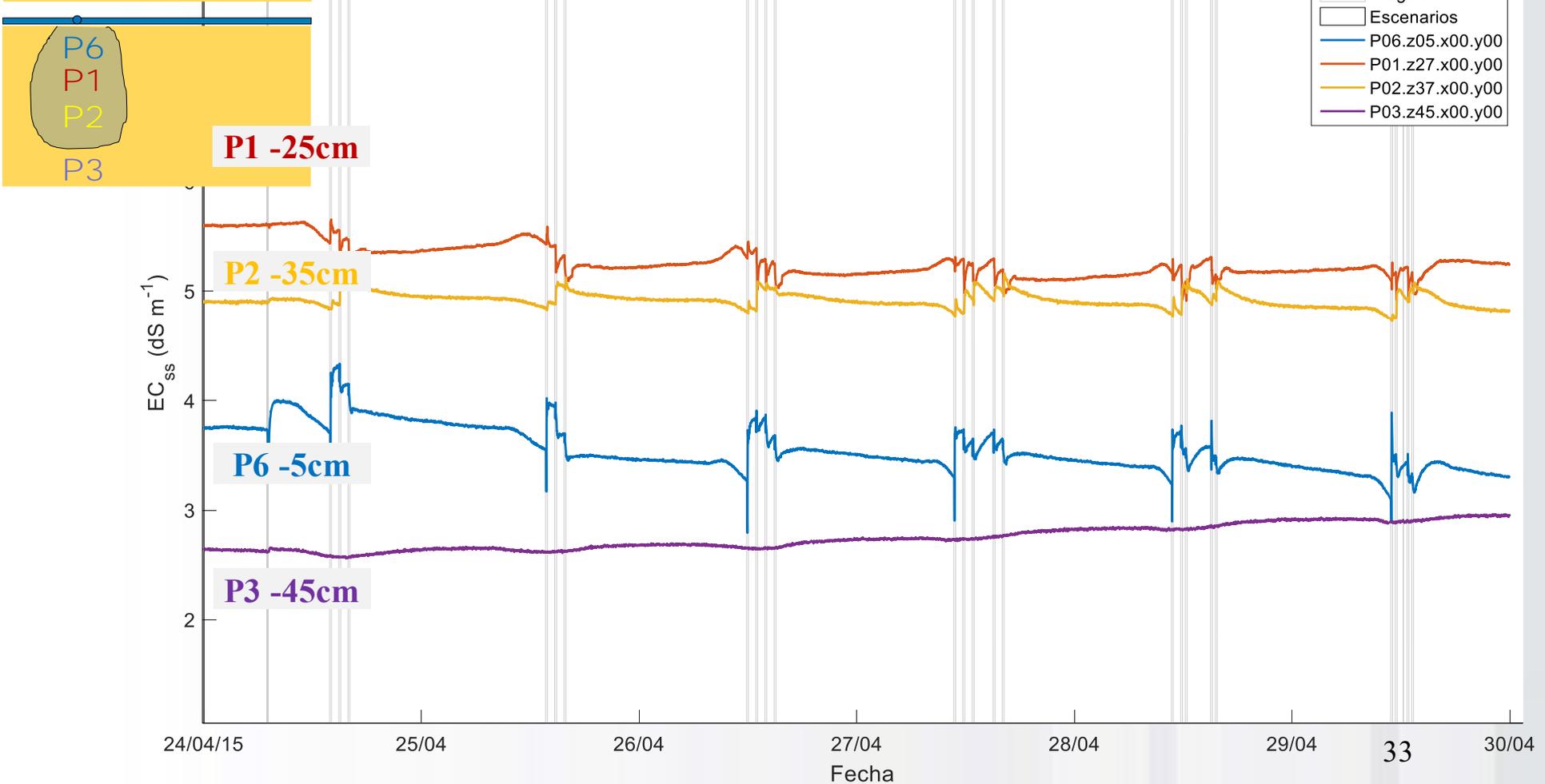


# Visualización e interpretación de datos



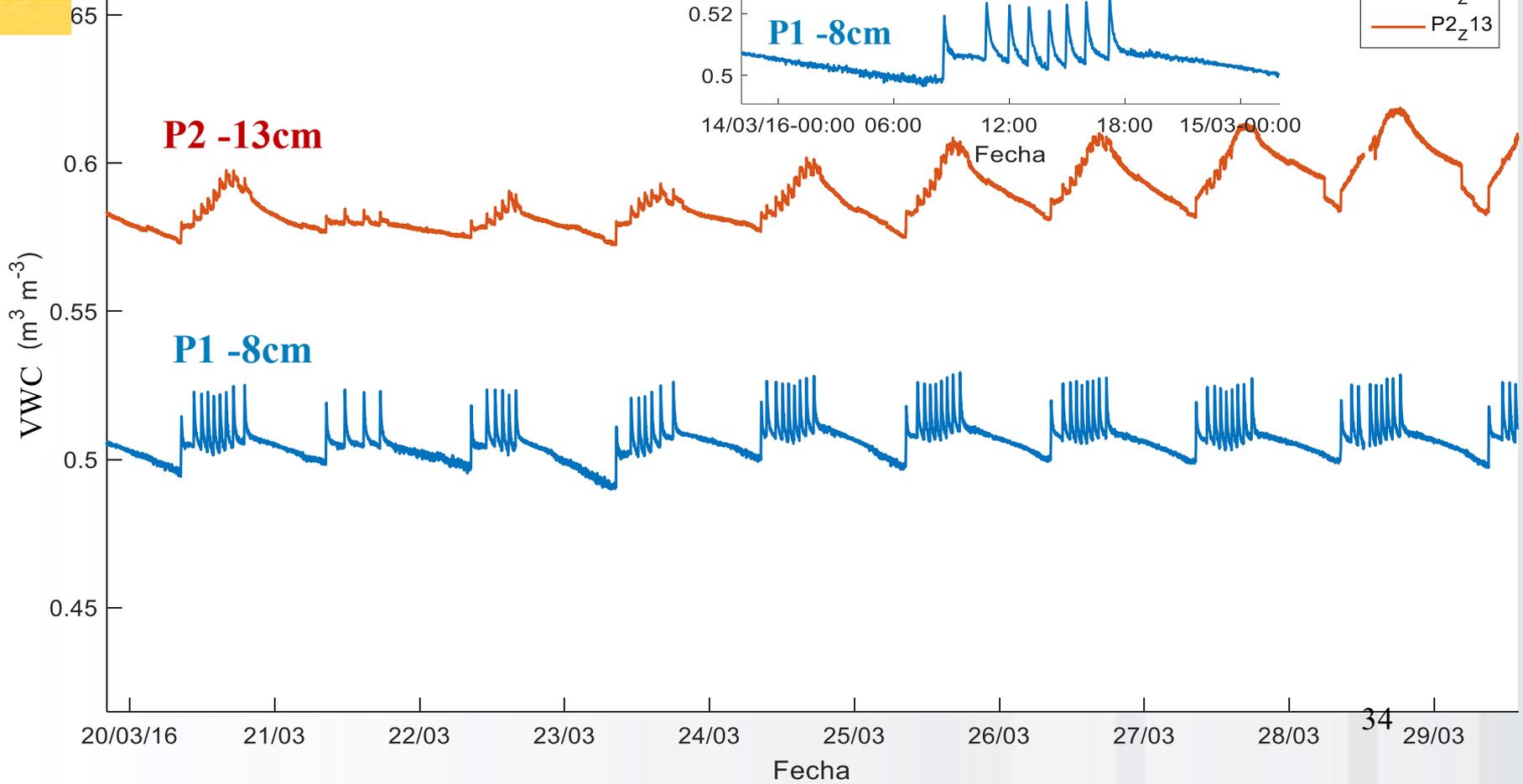
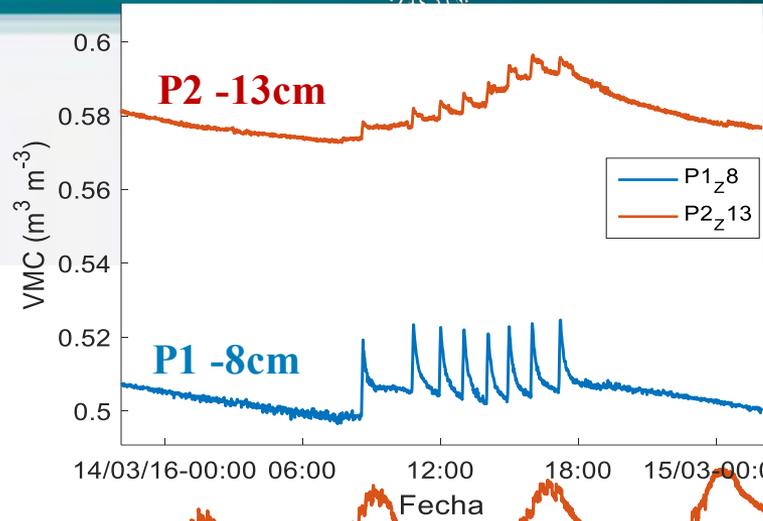
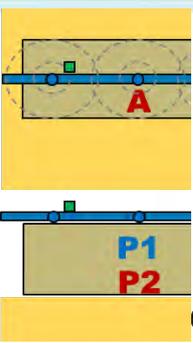
## Medidas de C<sub>Ess</sub> en suelo [dS.m<sup>-1</sup>]


 C<sub>Ess</sub> (solución del suelo), calculada empíricamente es equivalente CE de la solución extraída con sondas de succión. MÁS FÁCIL DE INTERPRETAR



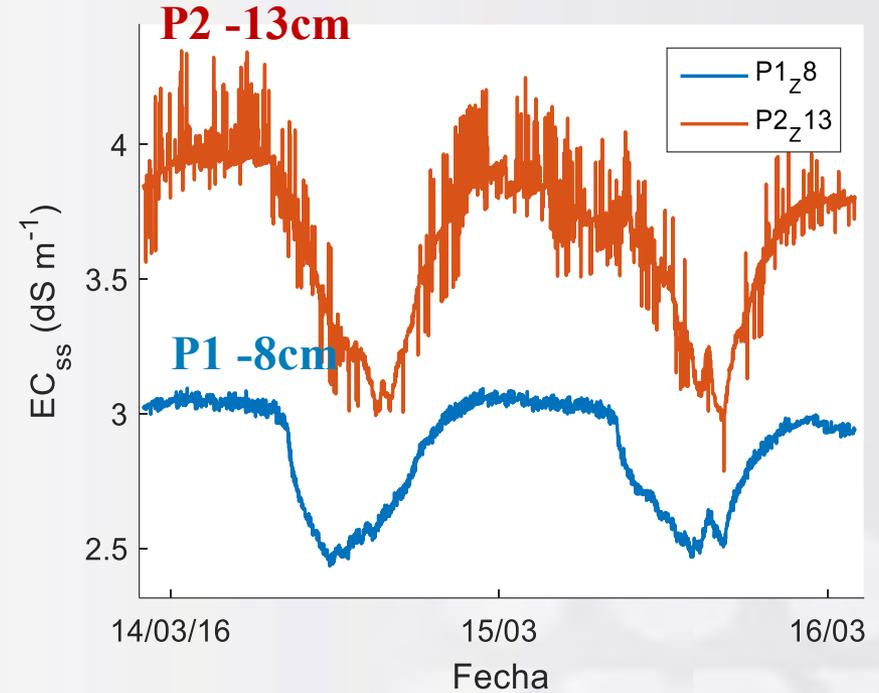
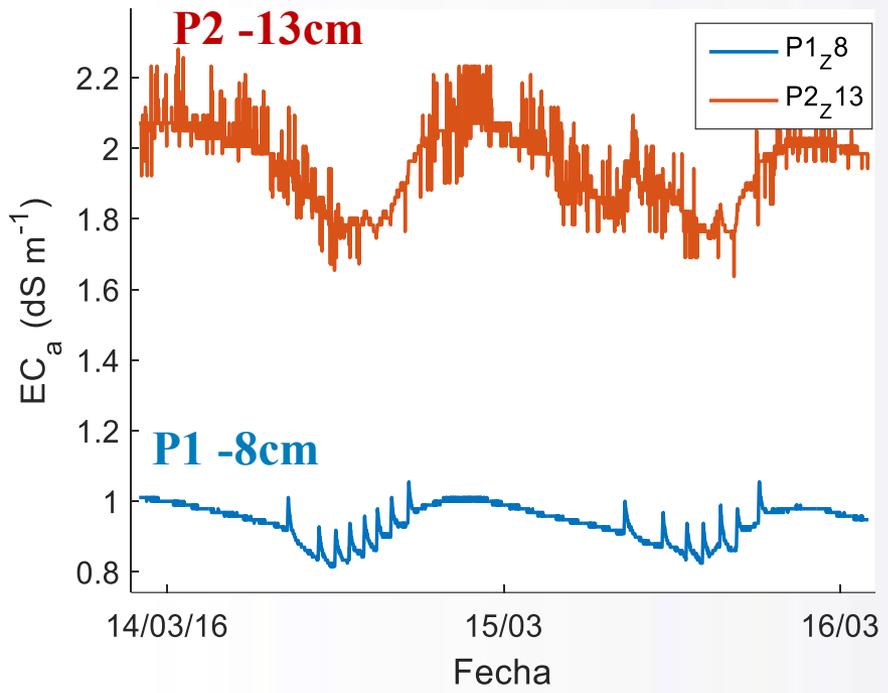
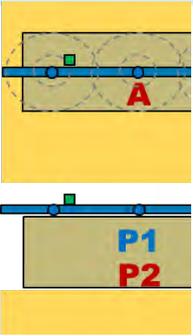
# Visualización e interpretación de datos

## Medidas de humedad volumétrica en sustrato



# Visualización e interpretación de datos

## Medidas de CEa aparente y CEss solución en sustrato

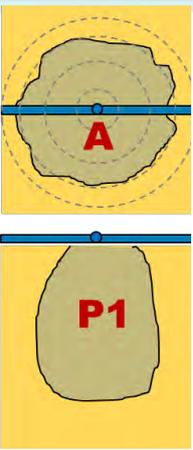




- Establecimiento de límites para el manejo del riego con sensores.
  - Potencial matricial
  - Humedad volumétrica

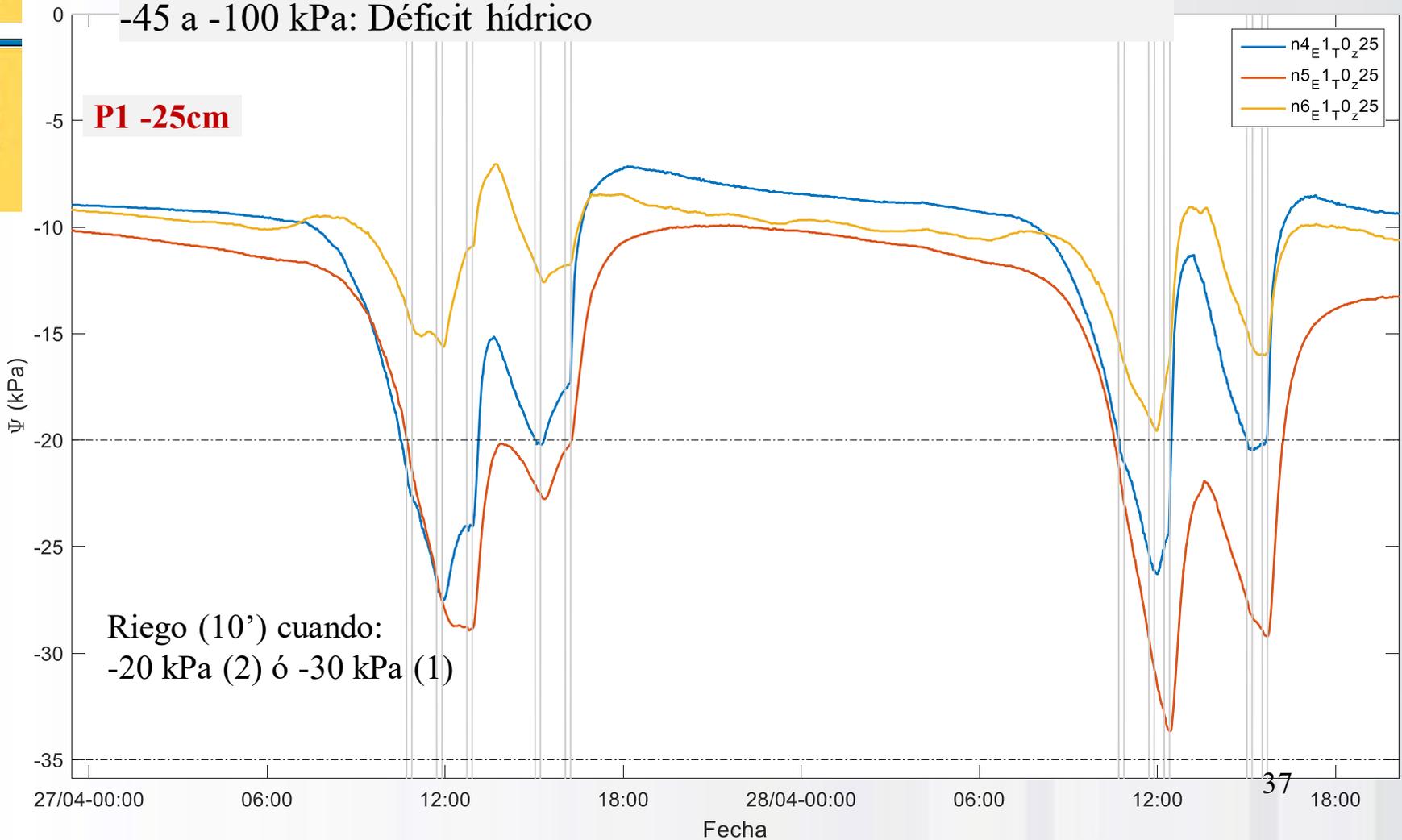
# Establecimiento de límites para el manejo del riego con sensores.

## Potencial matricial, $\Psi$ (Tensiómetros)



- 0 a -10 kPa: Suelo saturado
- 10 a -20 kPa: Capacidad de campo (suelos arenosos a arcillosos)
- 20 a -45 kPa: Intervalo de riego (suelos arenosos a arcillosos)
- 45 a -100 kPa: Déficit hídrico

**P1 -25cm**

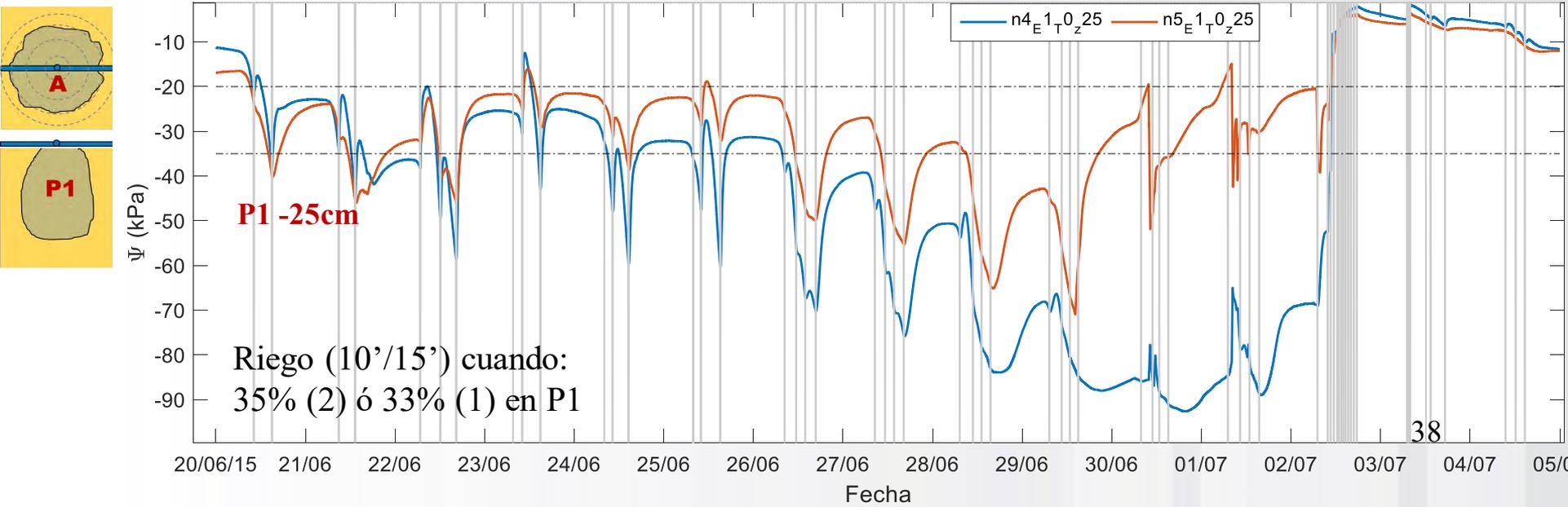
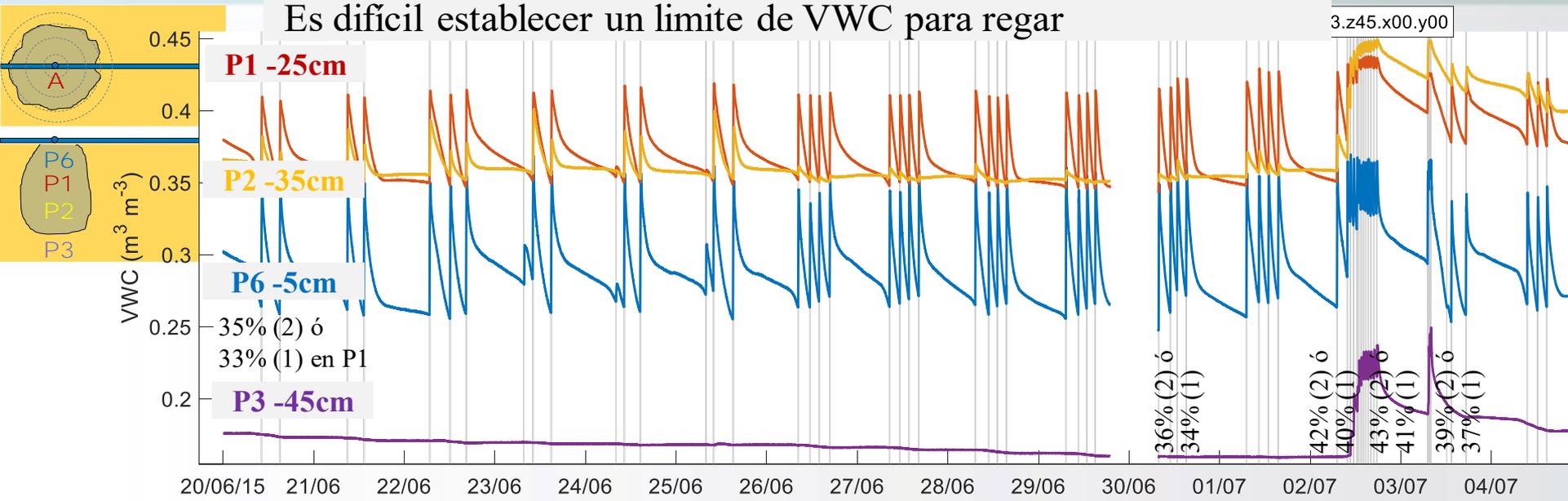


# Establecimiento de límites para el manejo del riego con sensores.

## Humedad volumétrica, VWC (GS3)



Es difícil establecer un límite de VWC para regar





- Toma de muestras.

# Toma de muestras

- Con **sondas de succión** es necesario la extracción de solución del suelo y posterior medida de iones para conocer el estado nutritivo del suelo, metodología:
  1. Aplicar riego
  2. Esperar drenaje e intercambio catiónico (Suelo-SN)
  3. Realizar vacío
  4. Recoger solución extraída
  5. Medida de nutrientes y CE<sub>ss</sub>
- Los **sensores** miden la CE<sub>a</sub> continuamente.





**cajamar**  
CAJA RURAL



Muchas Gracias