



**Telemetría de Suelos Agrícolas  
para Sistemas de Riego Presurizado**

**Objetivo:**  
*Optimizar Uso  
Agua Riego*

**Servicio:**

- *Monitoreo del Contenido de Humedad Volumétrica o Tensión de agua en Suelo de turnos de riego*

---

**Cientes:**

- *Agroindustrias*
- *Invernaderos*
- *Facultades Agrarias*



# CONCEPTOS

RIEGO PRECISO

RETOS RIEGO TECNIFICADO  
TECNOLOGÍAS RIEGO  
PRECISO  
CONTENIDO HUMEDAD  
TENSIÓN HÍDRICA SUELO  
PARÁMETROS HIDROFÍSICOS  
AGUA DISPONIBLE PLANTA  
POTENCIAL HÍDRICO  
TURNO RIEGO  
UNIDAD MANEJO  
AGRONÓMICO

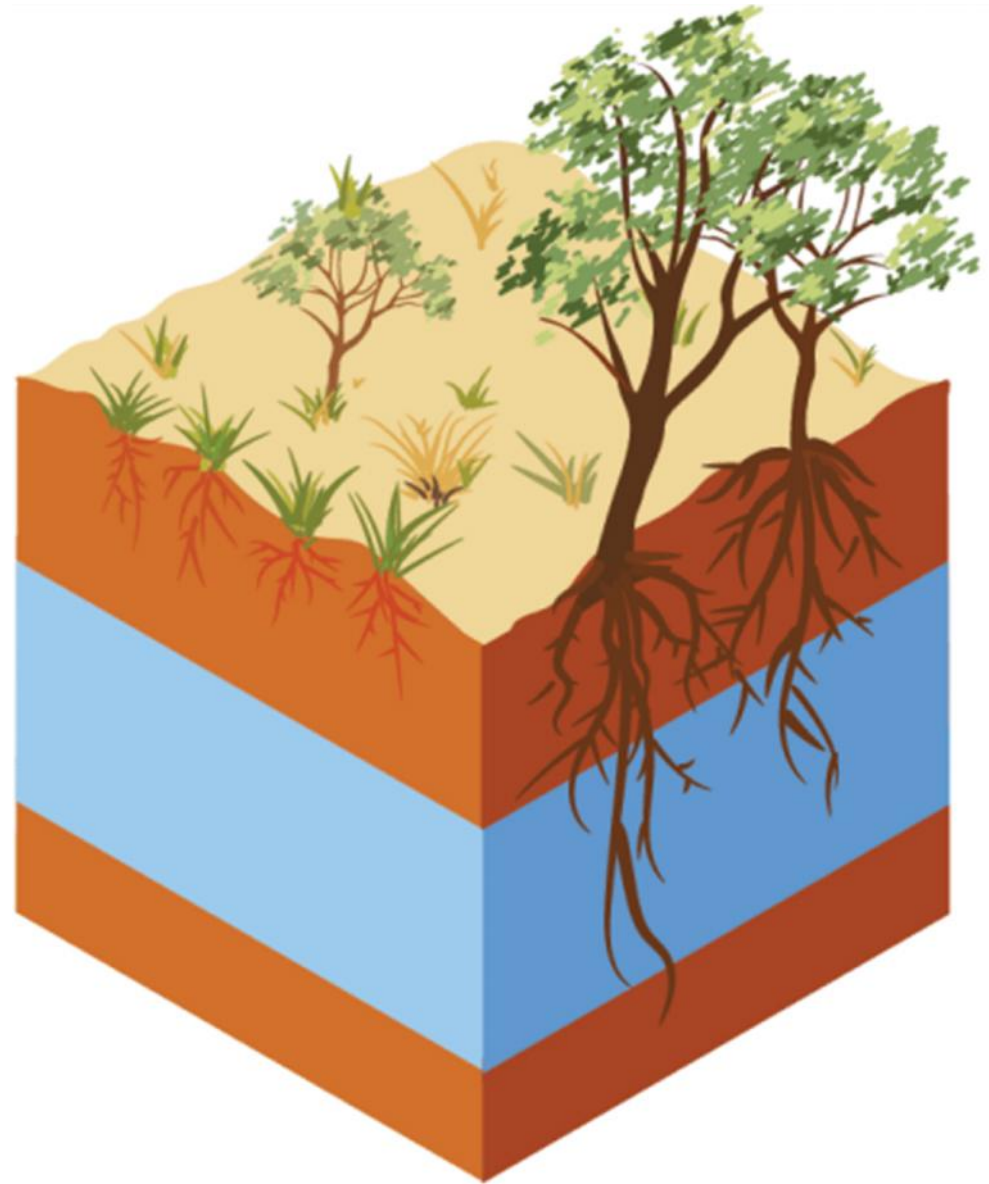
---

# Desafíos Riego Tecnificado

---

## Maximizar la Producción

manteniendo la planta  
transpirando, pero sin  
asfixiar las raíces.



# Desafíos Riego Tecnificado

---

Optimizar el consumo de agua para regar más campos con la dotación disponible y reducir costos de operación



# Agricultura de Precisión

# Riego Preciso

*Para evitar que la agricultura no quede al margen de la tecnología debemos asesorar al agricultor de la mejor manera*

*¿Cuál es la tecnología que más se aproxima a la información que desea obtener, teniendo en cuenta el coste de inversión/mantenimiento, y el nivel tecnológico necesario?*

Fuente: <https://www.iagua.es/blogs/ignasi-servia-goixart/matar-moscas-canonazos-no-es-smart>

# Tecnologías de Riego Preciso

## Series temporales de **Imágenes de satélite.**

Resolución 10x10 cada 5 días para poder realizar un seguimiento de la cubierta vegetal.

**Punto Fuerte.** El satélite está constantemente tomando imágenes de la tierra. A partir de sensores hiperespectrales se puede tener información de la variabilidad del cultivo a un *precio razonable*, y disponer de un histórico de fotos de una determinada parcela.

**Punto Débil:** La *resolución espacial es menor*. Esto puede parecer un inconveniente, pero se debe tener en cuenta la resolución de gestión de la explotación.

Fuente: <https://www.iagua.es/blogs/ignasi-servia-goixart/matar-moscas-canonazos-no-es-smart>



# Tecnologías de Riego Preciso

**Imágenes** de alta definición obtenidas mediante **Aeronaves** que pueden ser tripuladas (avionetas) o no tripuladas (**drones**).

**Punto Fuerte:** La principal característica es la *resolución espacial* y la posibilidad de *combinar sensores hiperspectrales y cámaras térmicas*. Esto permite realizar análisis estrés hídrico a nivel de planta, detección de malas hierbas, daños de cosecha, etc.

**Punto Débil:** Al tratarse de vuelos específicos, evitan el problema de días con nubes, pero se *incrementa el precio del vuelo*.

Fuente: <https://www.iagua.es/blogs/ignasi-servia-goixart/matar-moscas-canonazos-no-es-smart>





# Tecnologías de Riego Preciso

**Sondas de humedad del suelo** informan del contenido de humedad en el suelo.

**Punto Fuerte:** Tener información del contenido del agua a diferentes profundidades con *alta resolución temporal* (lecturas con varias lecturas por hora).

**Punto Débil:** La sonda *solo es representativa de suelos similares al que está colocada la sonda*.

Fuente: <https://www.iagua.es/blogs/ignasi-servia-goixart/matar-moscas-canonazos-no-es-smart>



# Contenido de Humedad o Tensión hídrica ?

Necesito conocer cuánta agua está almacenada en el suelo?

Necesito conocer como el agua se mueve en el suelo?

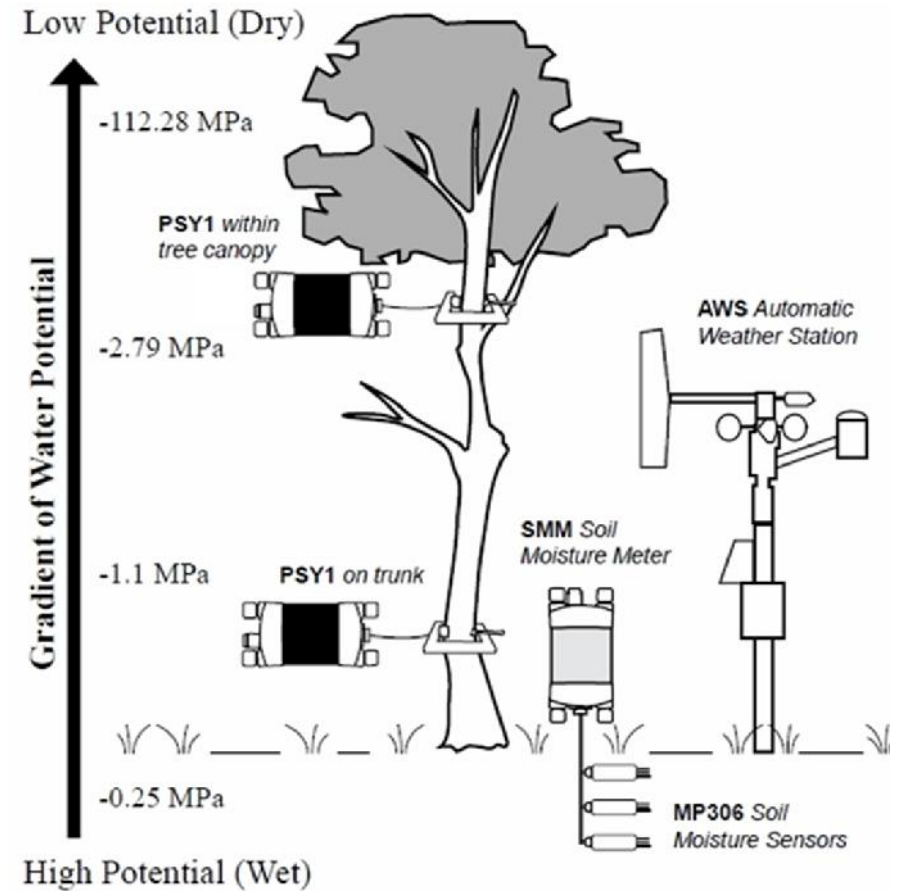
Necesito conocer si mis plantas pueden conseguir agua del suelo?

Necesito conocer cuánta agua hay en el suelo para mis plantas?

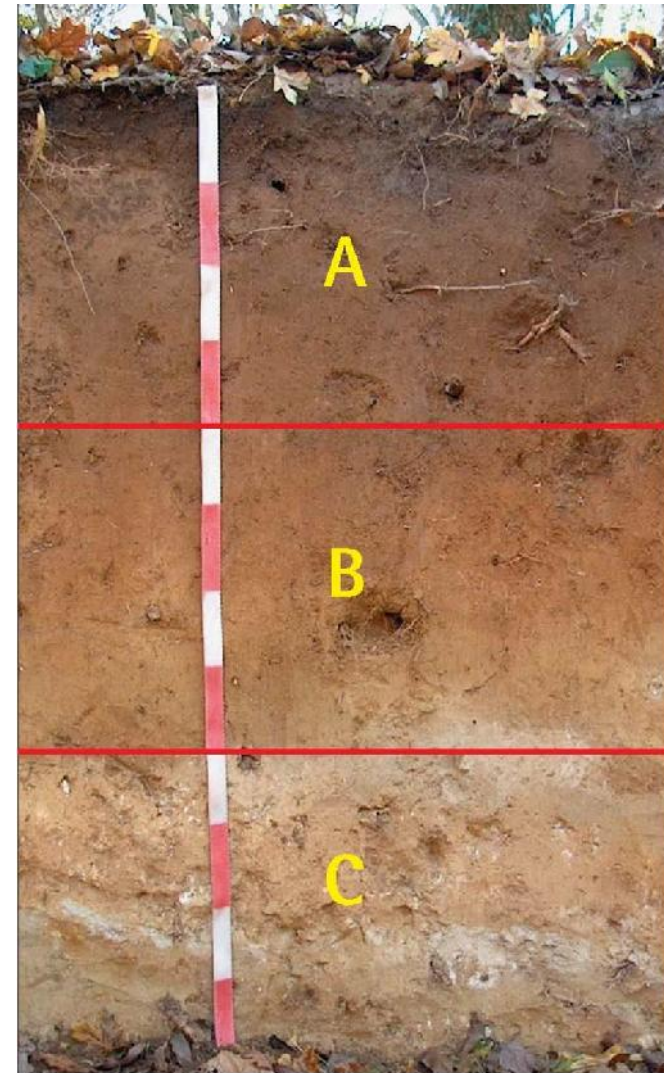
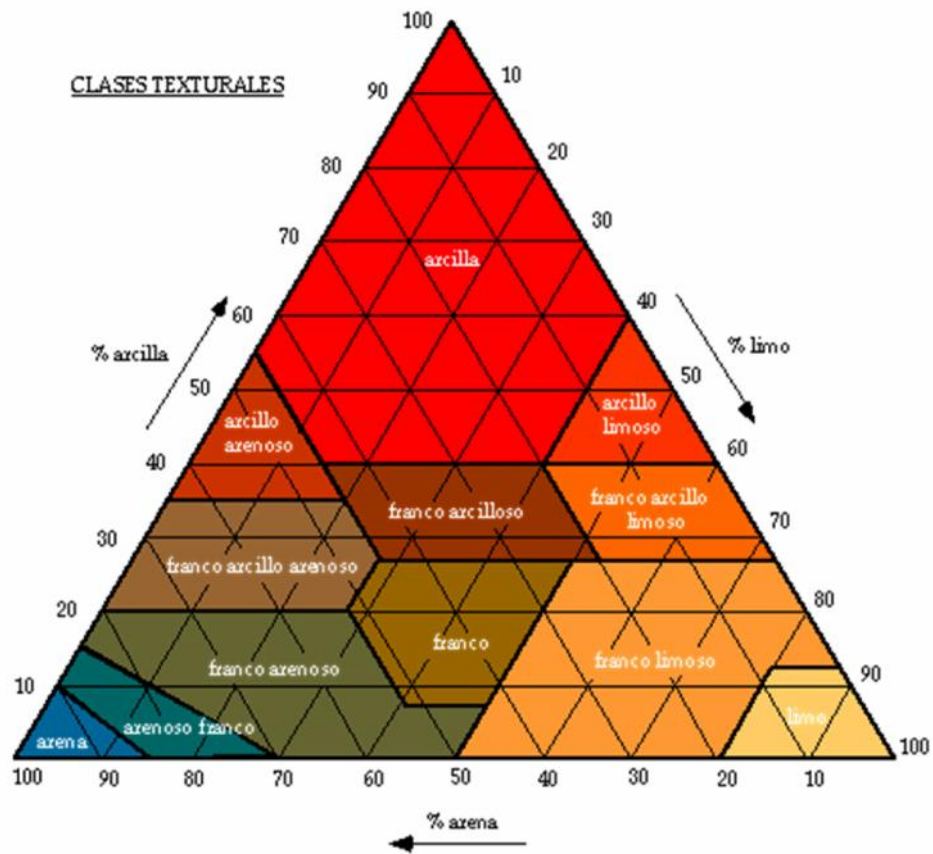
---

# Potencial Hídrico

## Continuo Suelo-Planta-Atmósfera

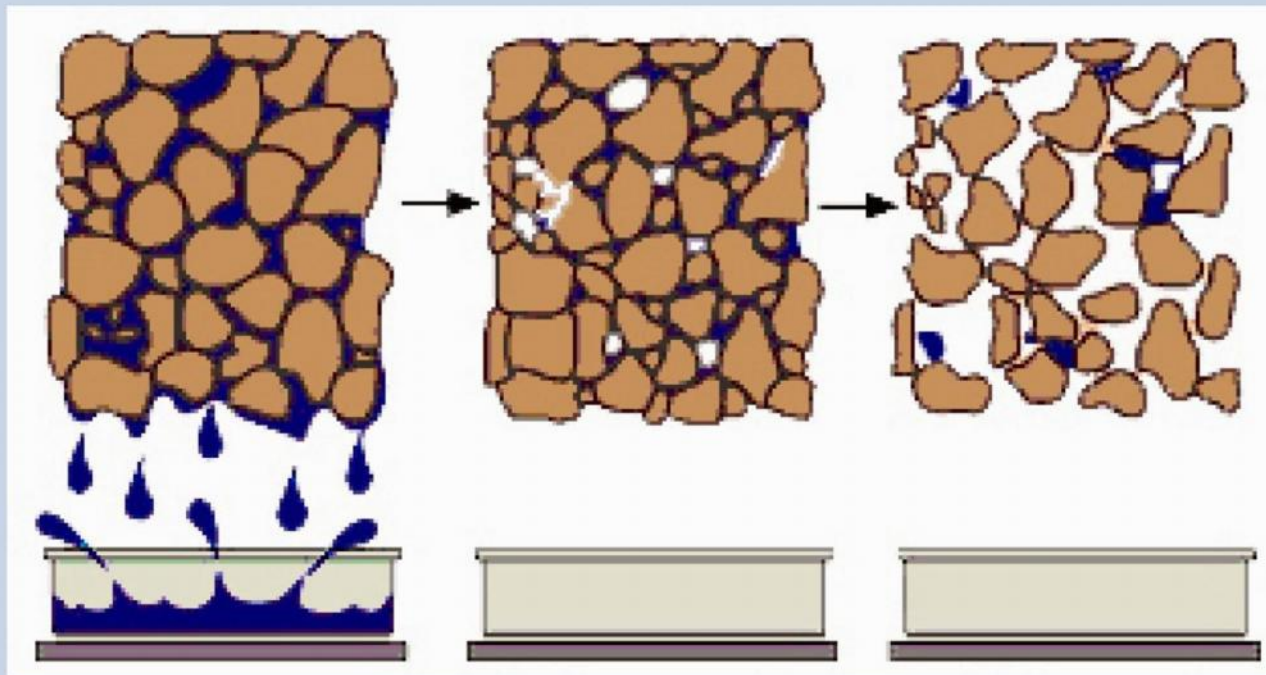


# Tipos de Suelo





# Parámetros Hidrofísicos

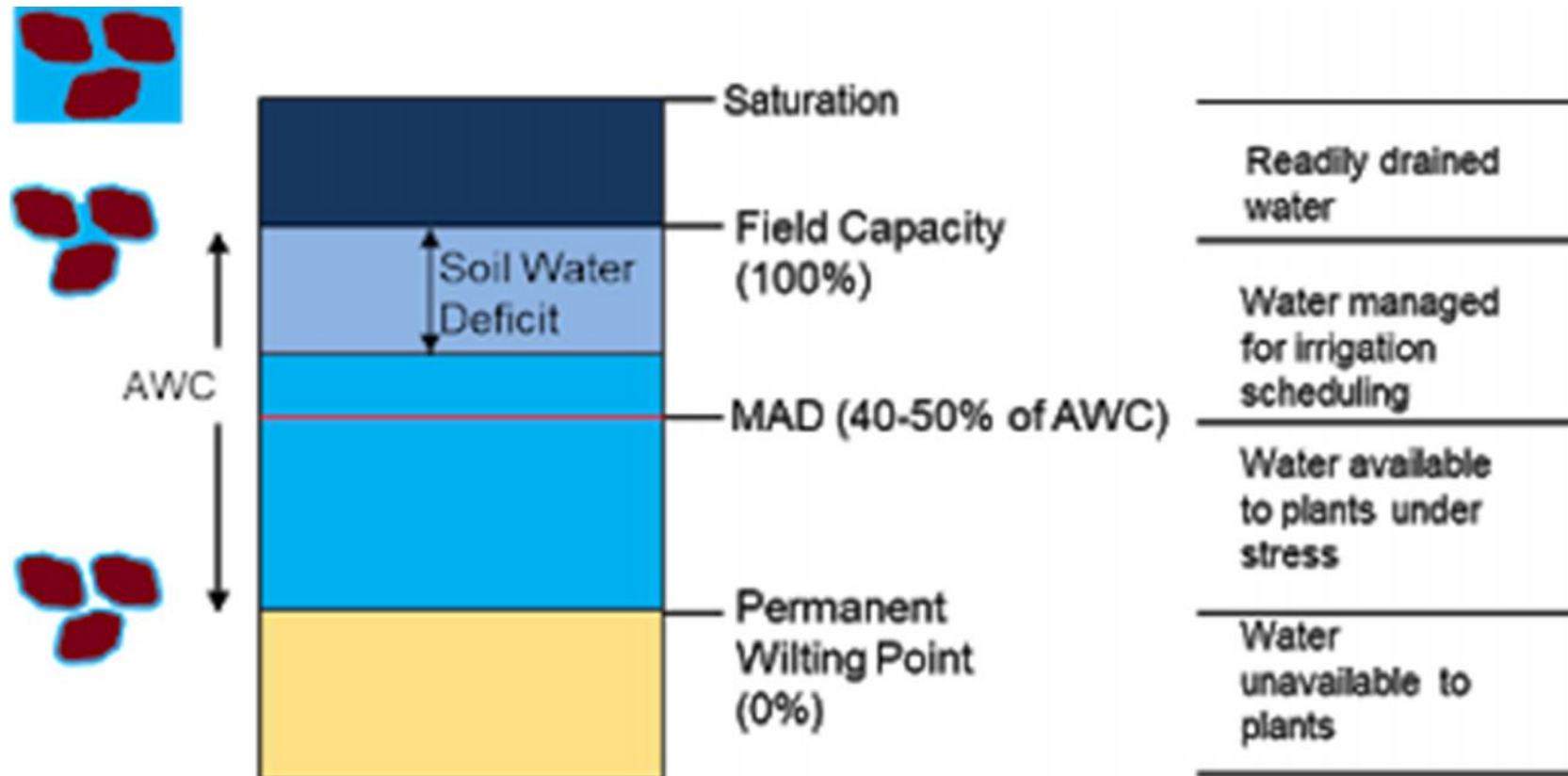


**SATURATION**  
All pores are full of water. Gravitational water is lost.

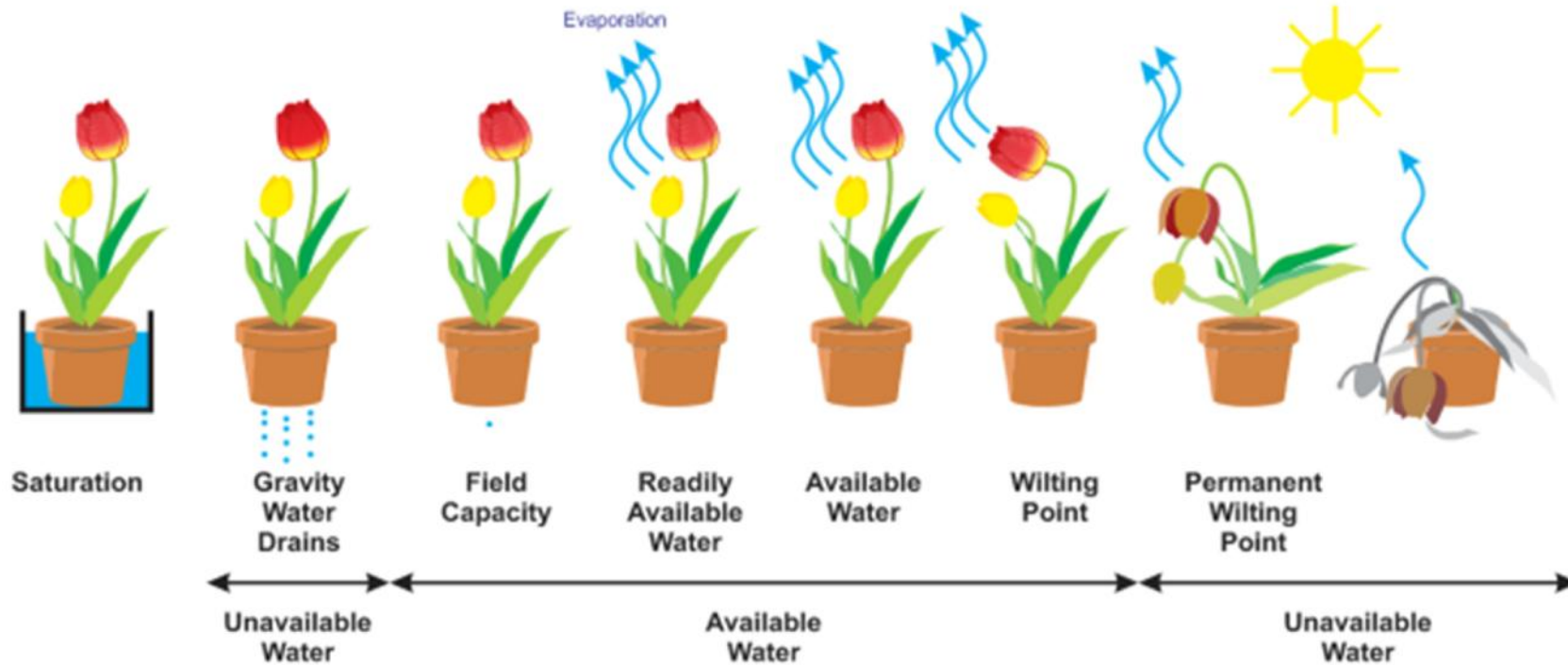
**FIELD CAPACITY**  
Available water for plant growth.

**WILTING POINT**  
No more water is available to plants.

# Capacidad de Campo



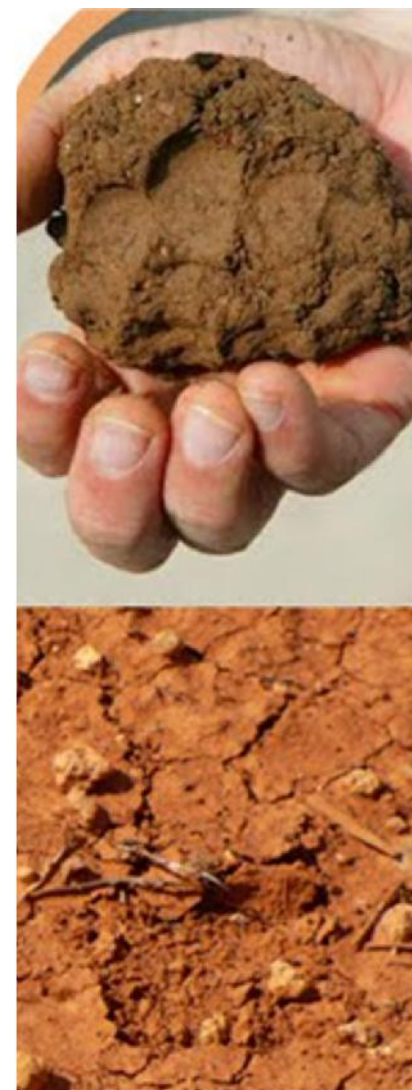
# Punto de Marchitez Permanente



# Tipos de Suelo

## Estimaciones de C.C y P.M

Textura	Capacidad de campo (CC)	Marchitez permanente (PMP)	Humedad aprovechable (CC-PMP)
Arenoso	9	4	5
Franco arenoso	14	6	8
Franco	22	10	12
Franco arcilloso	27	13	14
Arcillo arenoso	31	15	16
Arcilloso	35	17	18





# LA HUMEDAD DEL SUELO

CGA: Contenido Gravimétrico de Agua ( $\omega, g/g$ )  
Estufa a 105 °C, Pérdida de masa por desecación

CVA: Contenido Volumétrico del Agua ( $\theta, m^3/m^3$ )  
 $\theta = \omega \cdot DA$ , donde DA es la Densidad Aparente del suelo ( $Mg.m^{-3}$ )  
Sonda Capacitiva de Humedad del Suelo

POTENCIAL HÍDRICO (kPa):  $\psi_m + \psi_o + \psi_g$

$\psi_m$  Tensiómetro

$\psi_o$  Sonda CE o análisis CE Suelo

$\psi_g$  Profundidad (1kPa = 10 cm.)

# Contenido Volumétrico de Agua en el Suelo - CVA

El  $\theta_x$  ( $m^3$  agua /  $m^3$  suelo) de CVA lo registra la Sonda Capacitiva de Humedad del Suelo

Este valor se compara con los valores de

Capacidad de Campo =  $\theta_{cc}\%$

Punto de Marchitez Permanente =  $\theta_{pmp}\%$

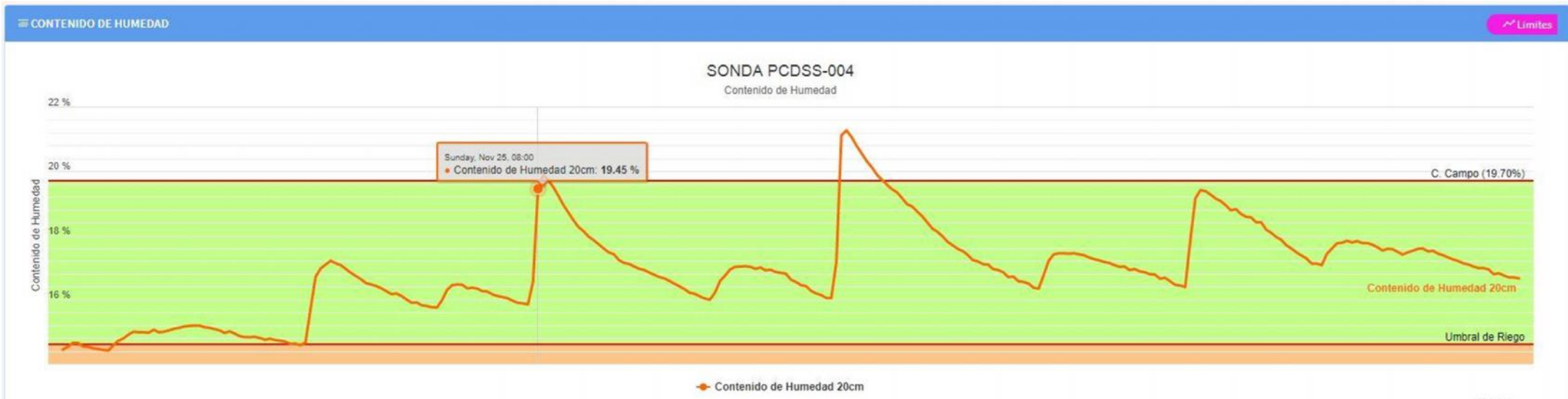
W (mm/l.m<sup>2</sup>) Lámina de Agua

$$W = \theta(m^3/m^3) \cdot Z. (1000 \text{ l/m}^3)$$

Sin embargo para una mejor comprensión, generamos el gráfico de Agua Disponible para la Planta (ADP)

*Fuente: "Monitorización de humedad de suelo en experimentos de campo - Autor: Lab Ferrer  
"Evapotranspiración del cultivo, Manual 56 - Autor: Food and Agriculture Organization (FAO)*

# Análisis Hidrofísico



# Gráfico de Análisis de Agua Disponible para Planta (ADP)

1. Límites Superior: *Capacidad de Campo* =  $\theta_{cc}$  % equivale a  $\theta_{cc_{ADP}}$  % = 100.00 %
2. *Contenido de Humedad* % ( $\theta$ ) expresado en *% ( $\theta$ ) ADP* =  $100 \cdot (\theta - \theta_{pmp}) / (\theta_{cc} - \theta_{pmp})$
3. *Umbral de Riego: Límite Inferior del AFA* (Agua Fácilmente Aprovechable) = p.ADT

p: Fracción promedio del total de agua disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular antes de presentarse estrés hídrico. Este valor varía *según cultivo y estado fenológico* de este.

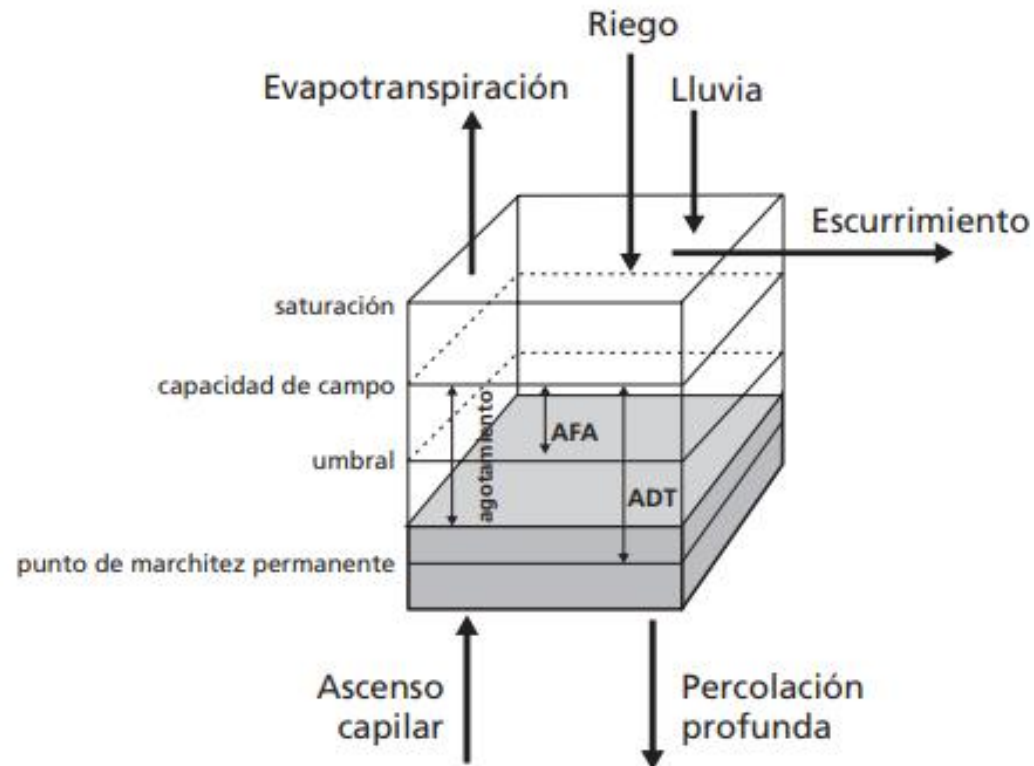
4. Límite Inferior *Punto de Marchitez Permanente* =  $\theta_{pmp}$  % equivale a  $\theta_{pmp_{ADT}}$  % = 0.00 %

Fuente: "Monitorización de humedad de suelo en experimentos de campo - Autor: Lab Ferrer  
"Evapotranspiración del cultivo, Manual 56 - Autor: Food and Agriculture Organization (FAO)



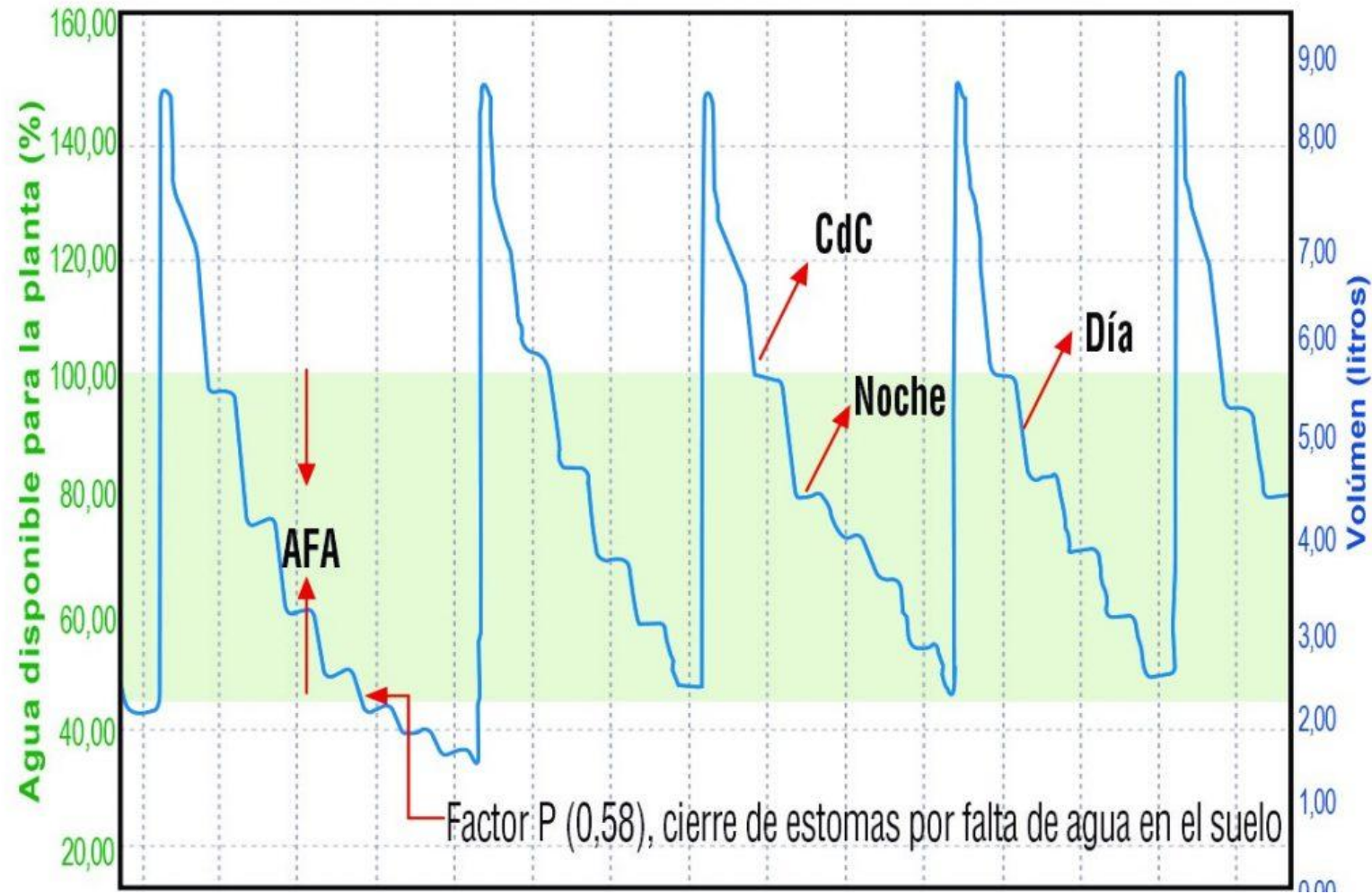
# Lámina de Riego (Según Gráfico ADP)

FIGURA 43  
Balance de agua en la zona radicular



Fuente: "Monitorización de humedad de suelo en experimentos de campo - Autor: Lab Ferrer  
"Evapotranspiración del cultivo, Manual 56 - Autor: Food and Agriculture Organization (FAO)

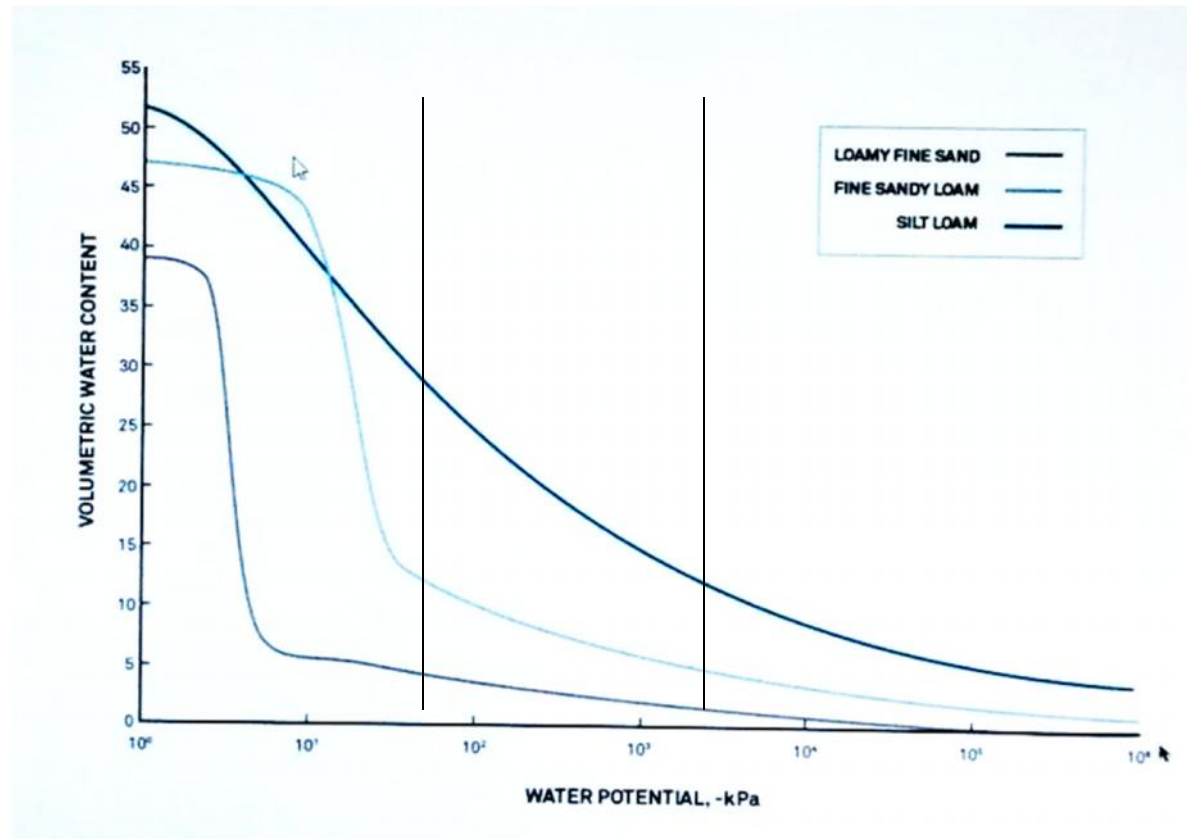
# Lámina de Riego (Según Gráfico ADP)



Fuente: "Monitorización de humedad de suelo en experimentos de campo - Autor: Lab Ferrer  
"Evapotranspiración del cultivo, Manual 56 - Autor: Food and Agriculture Organization (FAO)

# Tipos de Suelo

## Curva Retención Agua en Suelo



# Turno de Riego

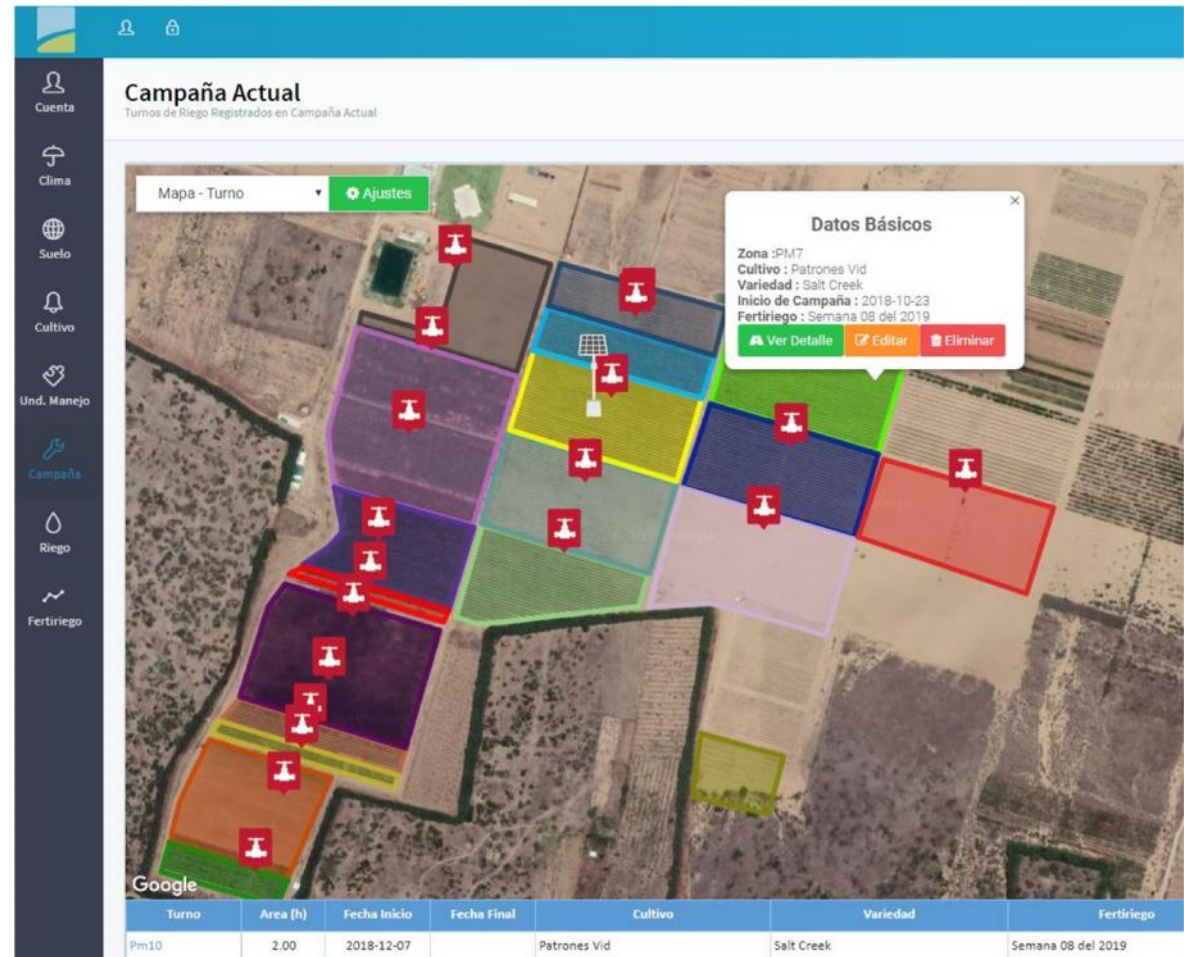
Se diferencia en:

*Fecha de siembra*

*Variedad de cultivo*

*Tipo de suelo*

Esto determina la necesidad de un riego diferenciado por turno.





# Unidad de Manejo Agronómico

En riego presurizado la Unidad Mínima de Manejo Agronómico es el *Turno de riego*.

Aplicar agua de modo diferenciado sobre áreas menores al turno, no suele ser práctico ni continuo en el tiempo.



# TELEMETRÍA DE SUELOS AGRÍCOLAS EN RIEGO PRESURIZADO

RIEGO PRECISO

SENSORES DE SUELO

DATALOGGER

SOFTWARE WEB ACCESO DATOS

ANÁLISIS HIDROFÍSICOS

SINCRONIZACIÓN DE DATOS  
SUELO-RIEGO-CULTIVO POR  
TURNO DE RIEGO

---

# Objetivos

## Monitoreo Contenido Humedad

- 1 Conocer los **niveles de contenido de humedad del suelo** de diversas unidades de manejo agrícola (turnos de riego) e identificar cómo estas variables, impactan en el desarrollo de diversas fases fenológicas de cultivos.
- 2 **Mantener** los niveles de **humedad** del suelo dentro del **rango óptimo** para el desarrollo radicular del cultivo.
- 3 **Gestionar estrategias diferenciadas de riego** del cultivo por etapa fenológica
- 4 Optimizar **tiempo de personal** al reducir inspecciones visuales del suelo.

# Servicio:

## Monitoreo Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera

**Hardware Suelo**

+

**Software**

+

**Sincronización**

### Estación de Suelo

(Sondas de Capacitancia FDR)  
(Datalogger Telemetría)  
(Sistema Energía Solar)

### Software Web

Algoritmos Balance Agua en Suelo  
Análisis Espacio-Temporales de Riego  
Análisis Multicapas  
Análisis Campaña  
Análisis Láminas de Riego

### Sincronización Datos Riego Clima-Suelo-Planta desde PC a Servidor

**Datos de Riego** (Talgil/Galcon)  
**Datos de Suelo** (Tensiómetros-Sondas)  
**Datos de Clima** (Estación Meteorológica)  
**Datos de Cultivo** (Evaluaciones Fenológicas)  
**Datos de Monitoreo Fertiriego** (SGS/Cerper)

**Visita Técnica Inicial**

+

**Visita Técnica Final**

### Visita Técnica

Instalación de Estación Suelo  
Análisis Hidro-Físico del Suelo  
Capacitación Software a Equipo Técnico de Cliente  
Personalización de Módulo Cultivo según requisitos de Cliente

### Visita Técnica

Discusión de Resultados  
Lecciones Aprendidas



# TELEMETRÍA SUELO

## Hardware

Datos del suelo proporcionados por sensores son recolectados por equipos de telemetría

Utilizando tecnología de comunicación (GPRS,Wifi) envían los datos del suelo/clima hacia la nube donde es procesada en software de riego preciso.



# Variables Suelo

Contenido de Humedad Volumétrico (%) - **Medic. Directa**

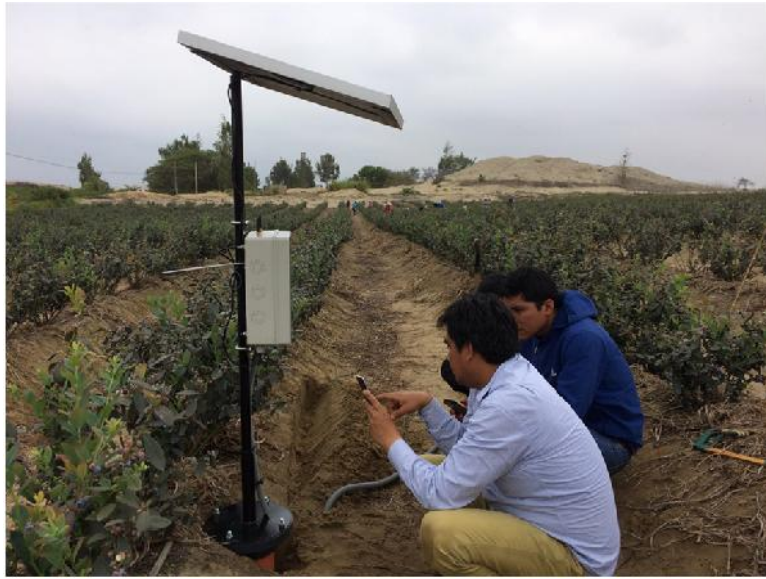
Temperatura del Suelo (°C) - **Medic. Directa**

Conductividad Eléctrica Suelo a Granel (dS/m) - **Medic. Directa**

Conductividad Eléctrica Agua en Poros \* (dS/m) - **Medic. Indirecta**

Conductividad Eléctrica Extracto Saturación \* (dS/m) - **Medic. Indirecta**







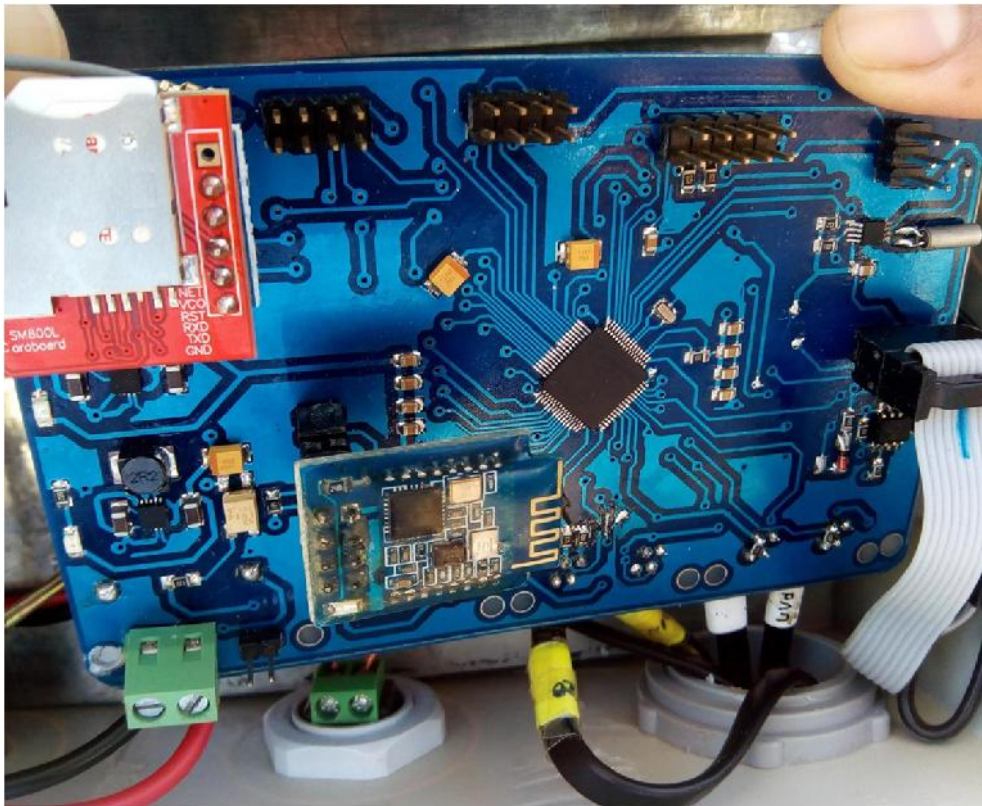




# Componentes Hardware - Datalogger



# Componentes Hardware - Datalogger



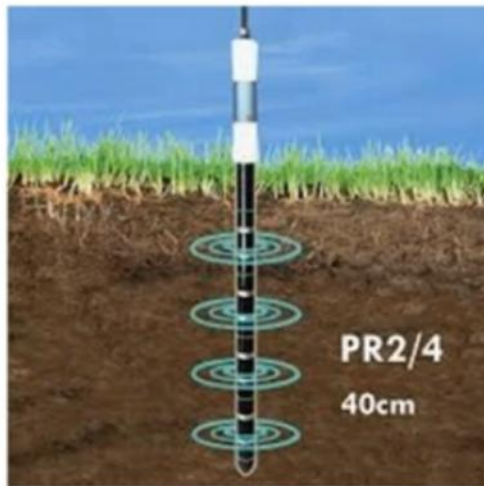


# Componentes Hardware - Sensor Suelo



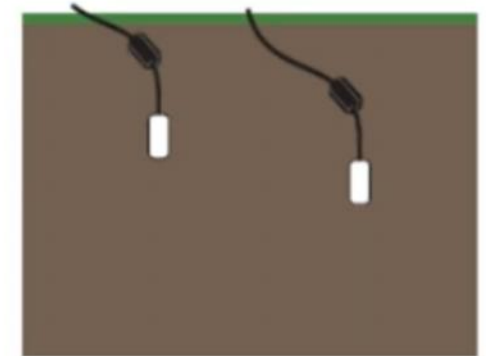
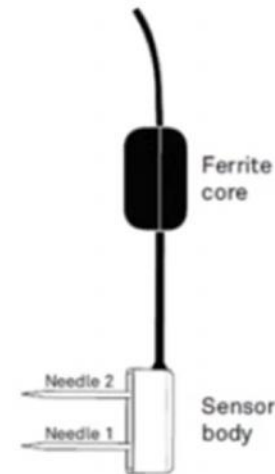
# SONDAS DE HUMEDAD CAPACITIVAS

## SONDAS DE PERFIL



DELTA-T

## SONDAS MODULARES



METER GROUP



# CURVA DE CALIBRACIÓN (CVA)

Ecuación de Topp (Topp *et al.*, 1980) :  $\varepsilon_a$  a CVA

Curva de calibración de fábrica (METER): RAW a CVA

**SONDA TEROS 10 – suelo mineral**

$$\Theta(m^3 / m^3) = 1.895 \times 10^{-10} \times RAW^3 - 1.222 \times 10^{-6} \times RAW^2 + 2.855 \times 10^{-3} \times RAW - 2.154$$

**SONDA TEROS 10 – perlita y turba**

$$\Theta(m^3 / m^3) = 2.137 \times 10^{-10} \times RAW^3 - 1.465 \times 10^{-6} \times RAW^2 + 3.566 \times 10^{-3} \times RAW - 2.683$$



# Componentes Hardware - Energía Solar





# Componentes Hardware - Comunicación

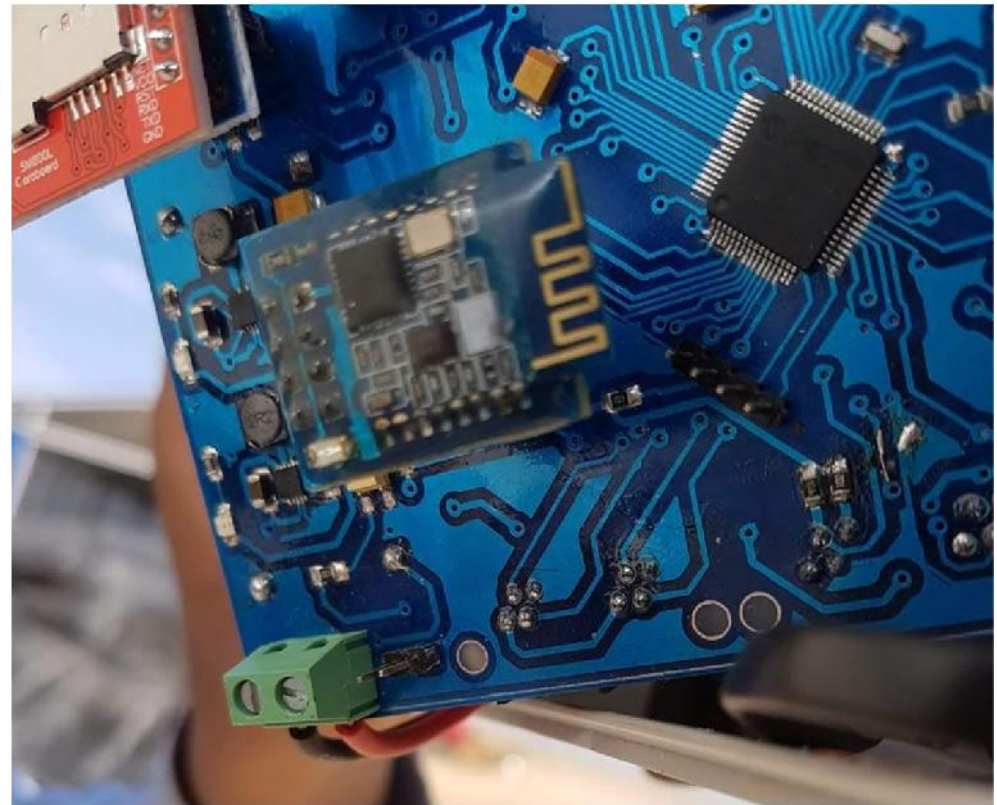
GPRS (2G - 3G)

Operadores:

Claro - Entel - Movistar

WIFI

BLUETOOTH



# Componentes Hardware - Pozo de Muestreo





# SOFTWARE RITEC

A través de algoritmos:

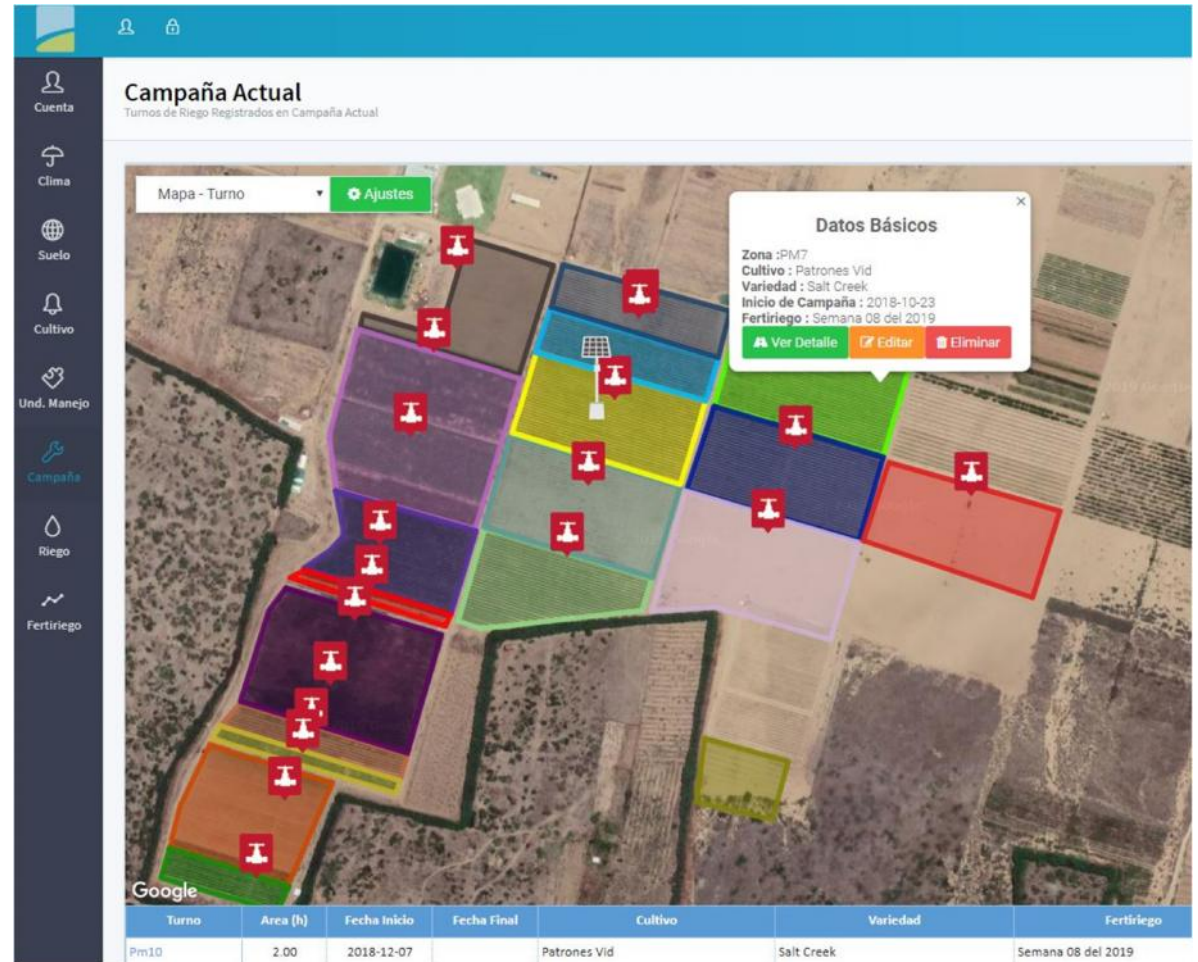
Balance de agua en el suelo

Evapotranspiración de cultivo

Datos del cultivo, suelo, clima y fenología.

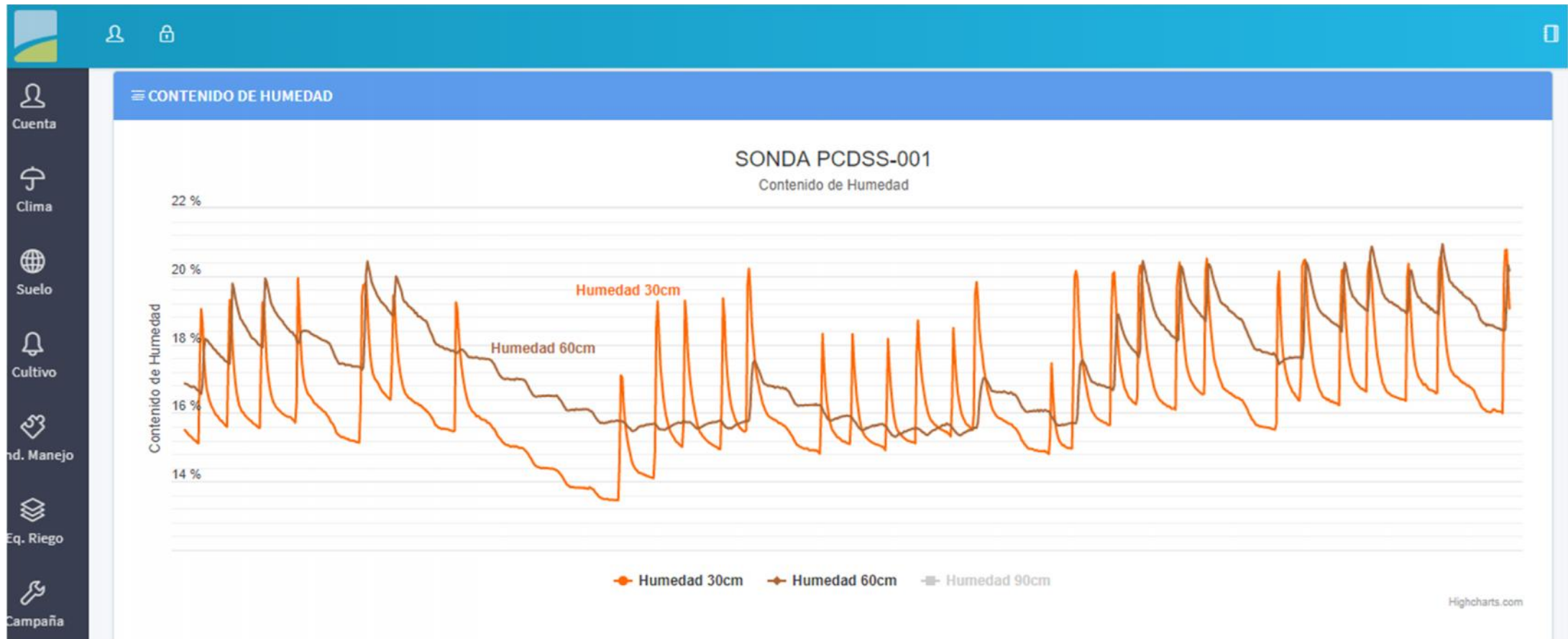
El software determina Láminas de riego requeridas por cada turno, para regresar la humedad del suelo a **capacidad de campo**.

Los jefes de riego e ingenieros de campo, acceden a esta información desde cualquier PC o dispositivo móvil



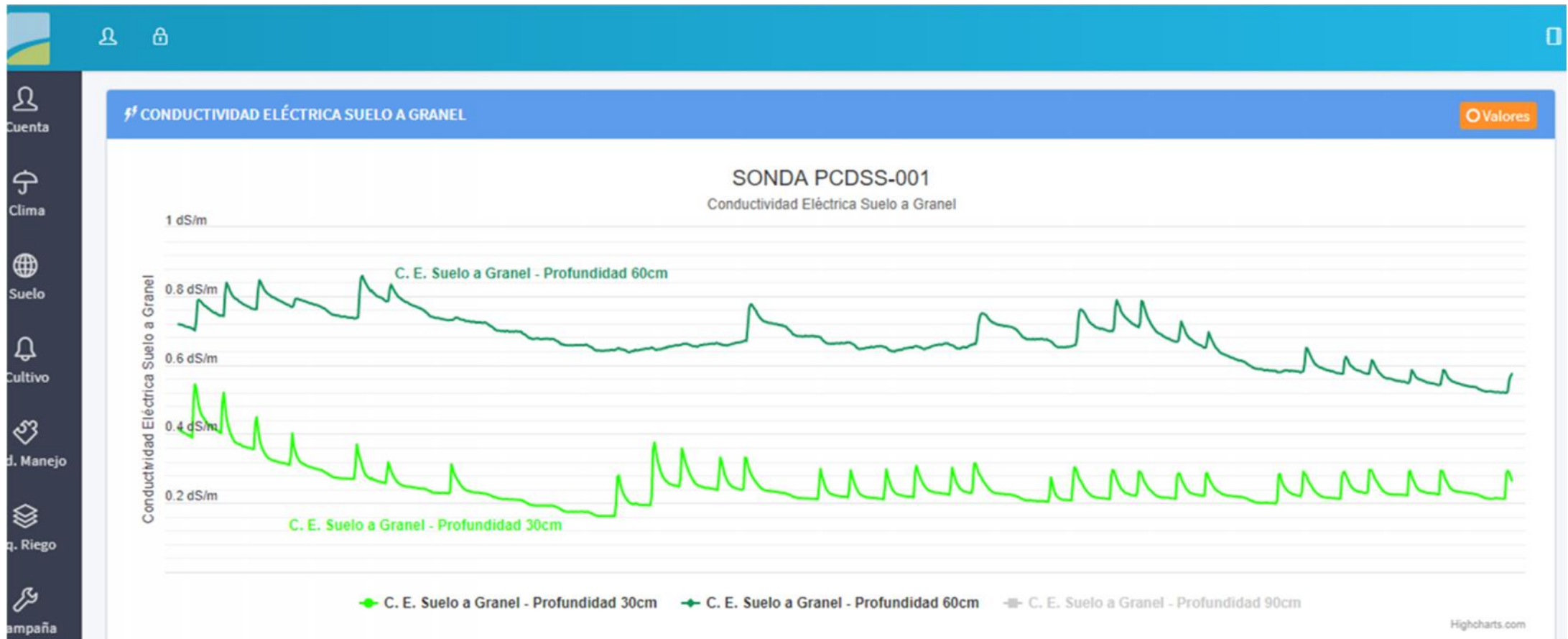
# Gráficos - Suelo

Suelo Tipo 1: Franco Arcilloso - Contenido de Humedad



# Gráficos - Suelo

Suelo Tipo 1: Franco Arcilloso - Ce Suelo Granel





# Análitica Datos-Riego

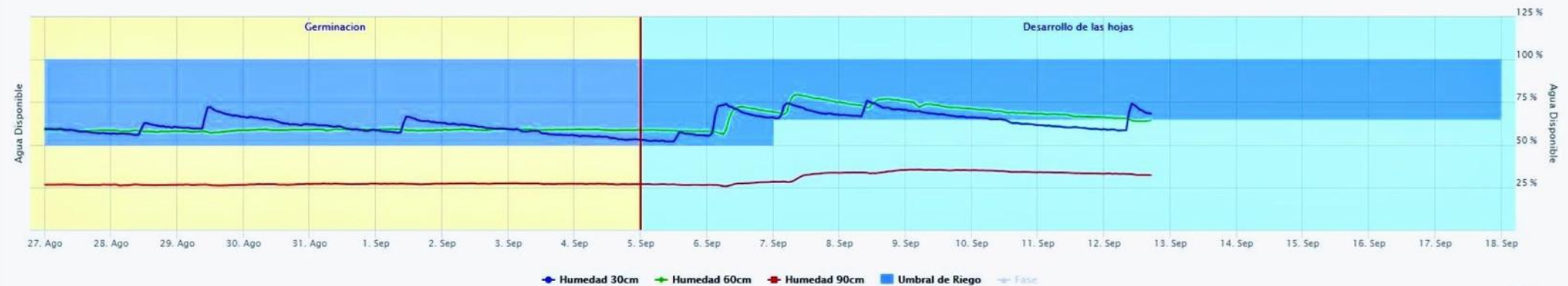
Fecha Inicio*	Duración*	Umbral de Riego*	Agregar
Fecha Inicio	Duración	Umbral de riego	

## Umbrales de Riego

Etapa	Fecha Inicio*	Duración*	Umbral*	Actualizar	Eliminar
ETAPA1	2017-08-27	10	50.00		
ETAPA2	2017-09-07	10	65.00		

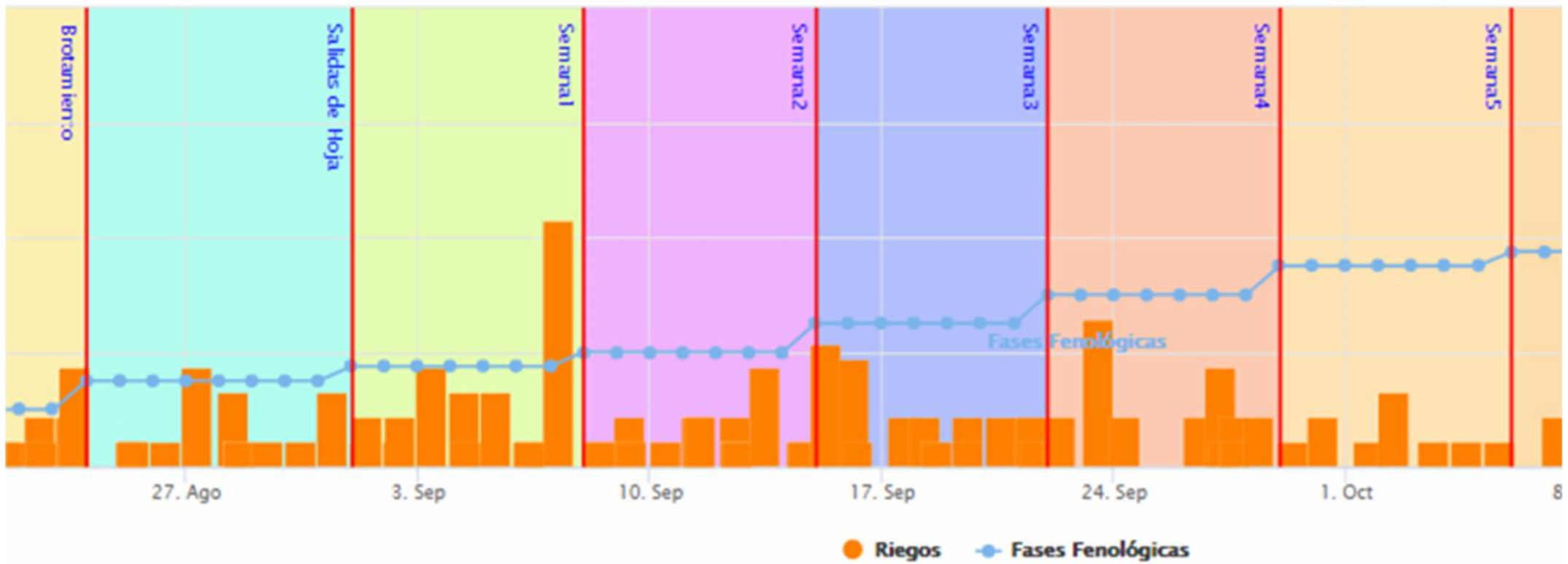
	<b>10días</b> GERMINACION	<b>15días</b> DESARROLLO DE LAS HOJAS	<b>15días</b> CRECIMIENTO LONGITUDINAL DEL TALLO	<b>12días</b> APARICION DEL ORGANO FLORAL	<b>10días</b> FLORACION	<b>18días</b> FORMACION DEL FRUTO	<b>30días</b> MADURACION DE FRUTOS Y SEMILLAS	<b>15días</b> COSECHA
--	------------------------------	--	---	--	----------------------------	--------------------------------------	--	--------------------------

## Análisis



# Análitica Datos-Riego

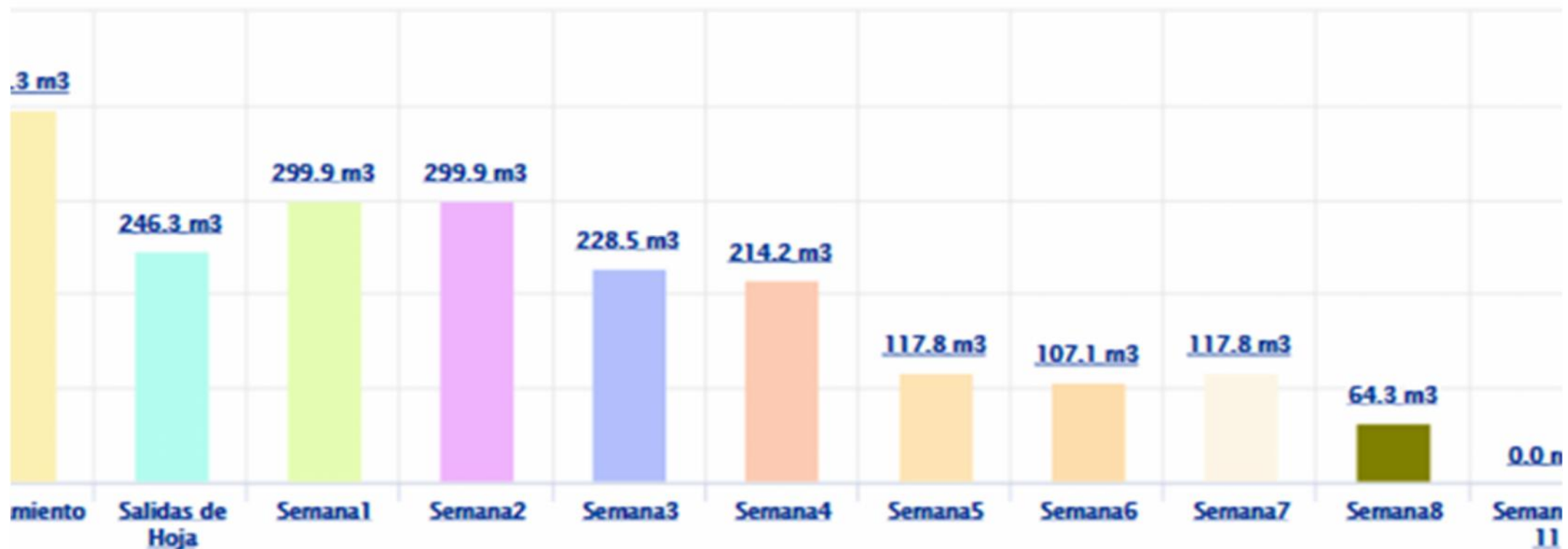
Fecha Inicio a Fecha Fin



# Análitica Datos-Riego

## Riegos Aplicado por Fase

Haga clic en las columnas para ver los r







# Beneficios Esperados

Reducir pérdida de agua por percolación.

Detección temprana de situaciones de estrés hídrico.

Identificar ritmo y profundidad de absorción de agua por las plantas.

Reducir problemas de infiltración o situaciones de saturación.

Acceso de múltiples usuarios al sistema con permisos diferenciados.

Transferencia de información de riego de campañas actuales e históricas.

# Usuarios



NATURAL  
PRODUCTS  
OF CHILE



COMITE DE SEMILLAS  
DE LAMBAYEQUE  
**CODESE**



*OBCitrus*



Soc. María Auxiliadora



Agronegocios Génesis



*Agroinversiones Olmos*





