

**JORNADA: “USO DE BIG DATA,
SENSÓRICA Y TELEDETECCIÓN PARA EL
CÁLCULO DE LA DOSIS DE RIEGO”**

Uso de las TIC's para implementar sistemas de riego de precisión

Carmen María Flores Cayuela

g02flcac@uco.es

Departamento de Agronomía.

Área Ingeniería Hidráulica y riegos.

Universidad de Córdoba



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN

SECRETARÍA DE ESTADO
DE AGRICULTURA
Y ALIMENTACIÓN

DIRECCIÓN GENERAL
DE DESARROLLO RURAL, INNOVACIÓN
Y FORMACIÓN AGROALIMENTARIA

ÍNDICE

1) INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

2) CONCEPTOS BÁSICOS DE PROGRAMACIÓN DE RIEGO

3) TECNOLOGÍAS PARA EL RIEGO DE PRECISIÓN

4) MODELO DE RIEGO DE PRECISIÓN

5) EJEMPLO HERRAMIENTA DE RIEGO DE PRECISIÓN

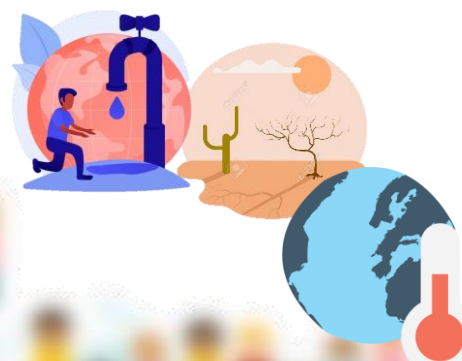
1.1) Retos de la agricultura de regadío

Incremento de la demanda global de agua



Aumento 20-30%

Contexto de escasez



- Reducción precipitación entre el 15 y 20%
- Aumento torrencialidad
- 20% de incremento en la demanda de agua de riego
- Mayor duración de la campaña de riego
- Aumento de la demanda punta en los meses de verano del 10%

9700 millones de personas para 2050



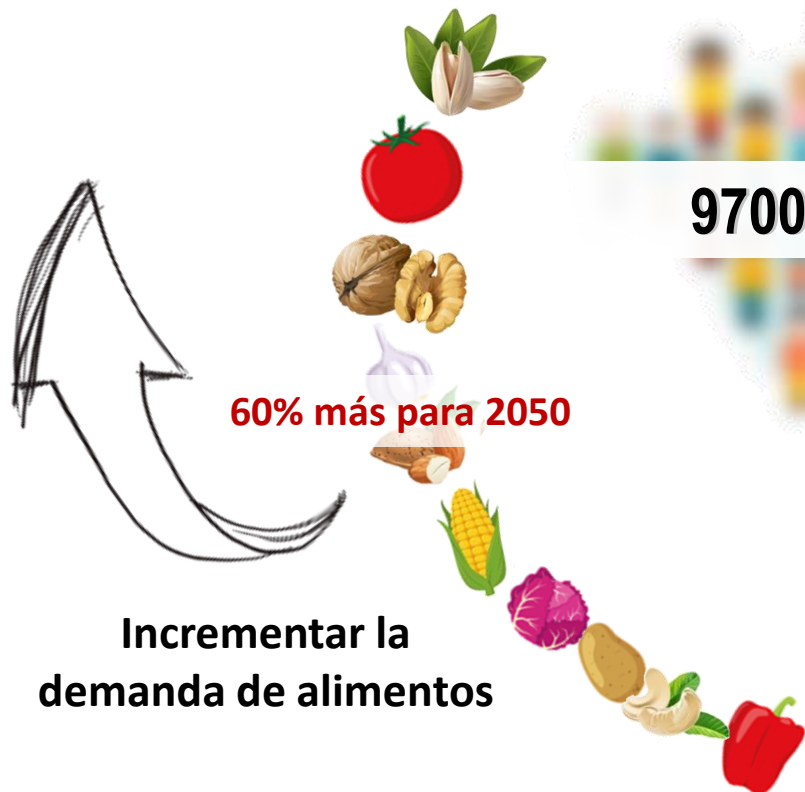
Degradación de recursos

Salinización, sobreexplotación y contaminación acuíferos, descenso caudal ecológico de los ríos...



60% más para 2050

Incrementar la demanda de alimentos



785 M tn CO₂ Agricultura (20%)
Aumento de la emisión de gases de efecto invernadero



Aumento de los costes de explotación

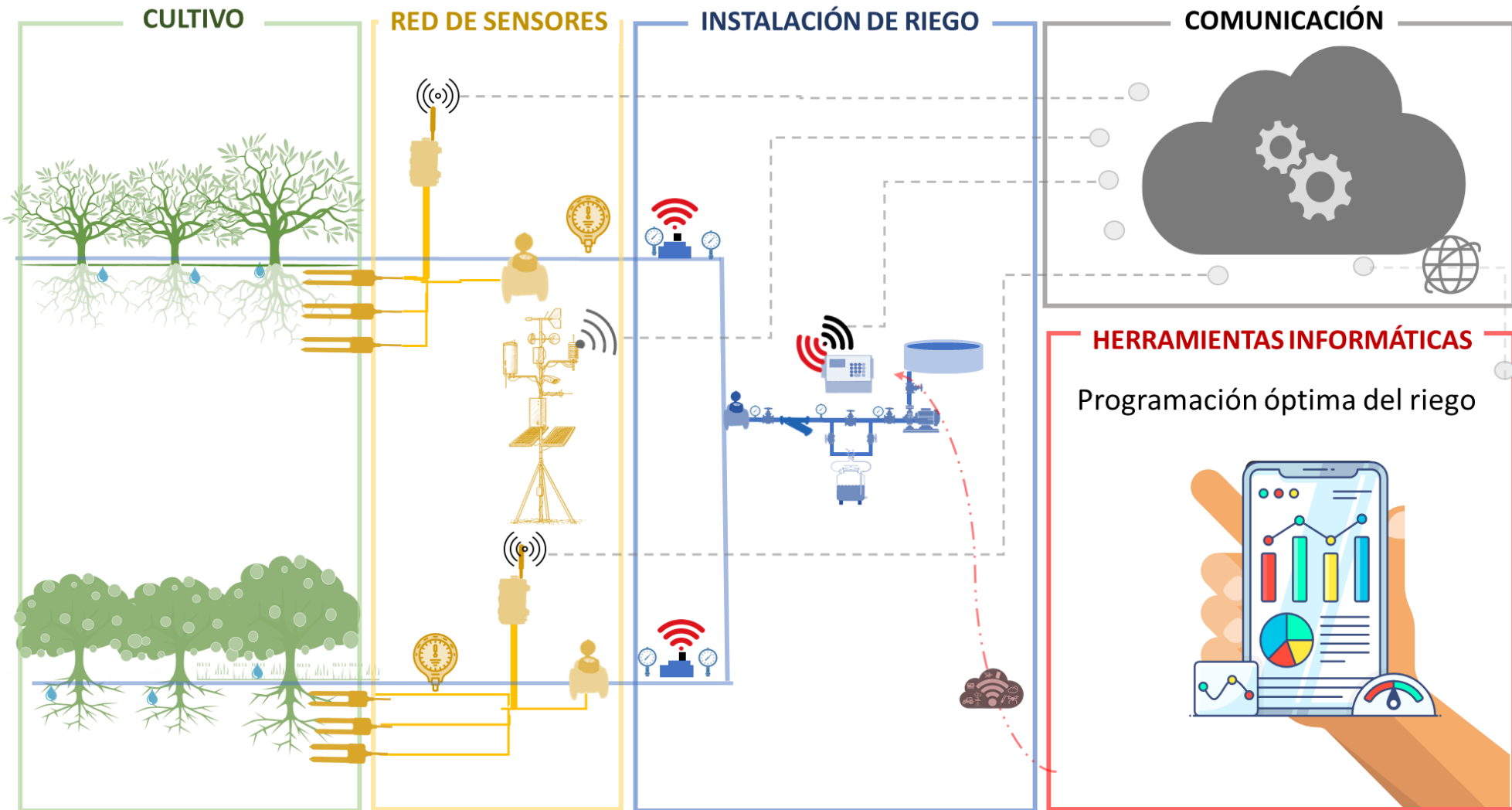
Aumento del precio de luz, combustibles, fertilizantes y abonos



1.2) Riego de precisión para afrontar desafíos de la agricultura

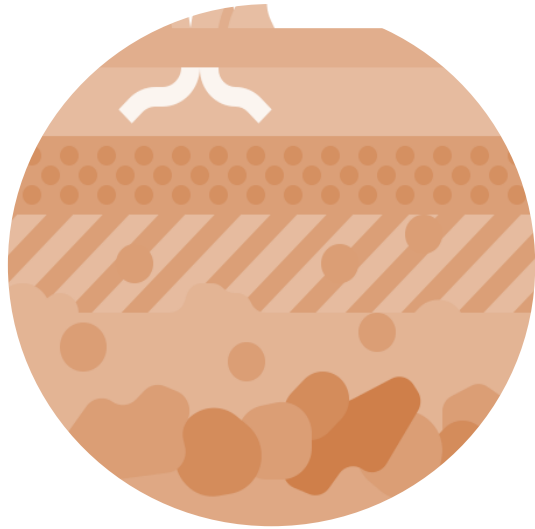


1.3) Arquitectura de riego de precisión

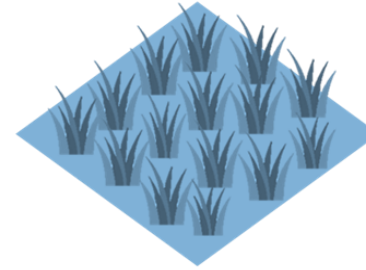


2.1) Factores a tener en cuenta en el cálculo de las necesidades de agua

- ✓ SATURACIÓN
- ✓ CAPACIDAD DE CAMPO
- ✓ PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE
- ✓ INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE
- ✓ AGUA FACILMENTE ASIMILABLE
- ✓ DÉFICIT DE AGUA EN EL SUELO



CLIMATOLOGÍA



CULTIVO DE REFERENCIA

Pradera de gramíneas, 10- 15 cm de altura, sin restricciones de agua ni nutrientes.



EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA

CLIMATOLOGÍA

Temperatura
Humedad relativa
Radiación solar
Velocidad del viento



PLANTA

Tipo de cultivo
Estado de desarrollo



SUELO

Textura (capacidad de almacenamiento y retención)

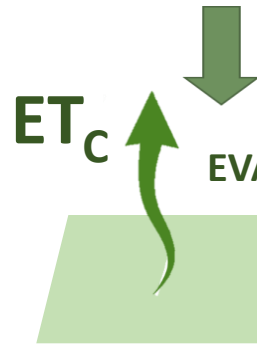


Bien regado y correcto estado sanitario y nutritivo.

Coefficiente K_C

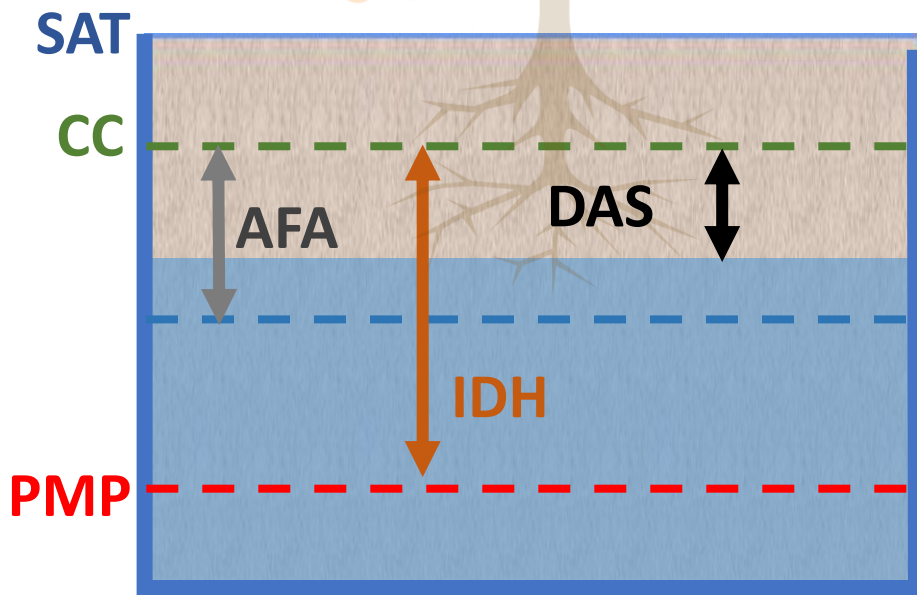
ET_C

EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO



2.2) Disponibilidad de agua en el suelo

- ✓ SATURACIÓN **SAT**
- ✓ CAPACIDAD DE CAMPO **CC**
- ✓ PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE **PMP**
- ✓ INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE **IDH**
- ✓ AGUA FACILMENTE ASIMILABLE **AFA**
- ✓ DÉFICIT DE AGUA EN EL SUELO **DAS**



¿Cómo conocer las características de humedad de cada tipo de suelo?

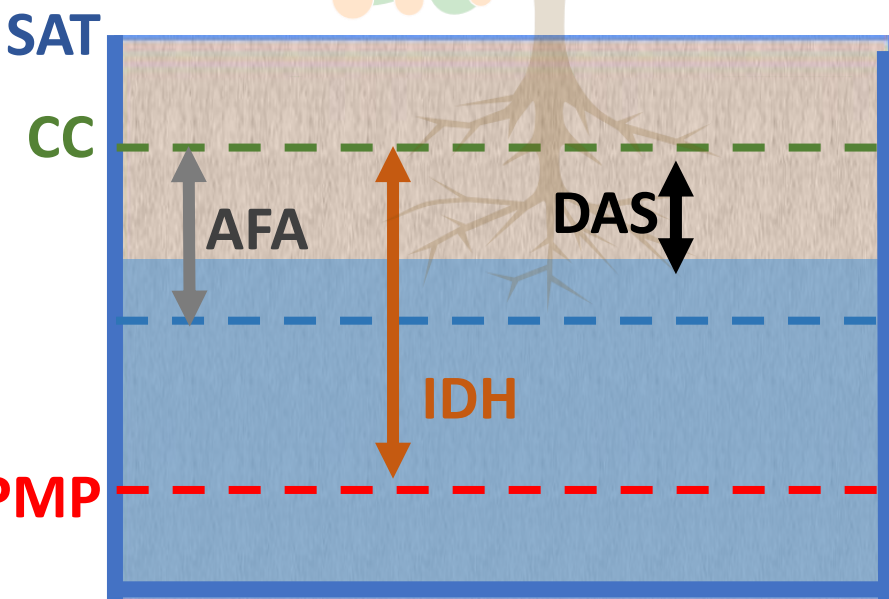
- ✓ Toma de muestras de suelo y análisis de textura en laboratorio y determinación de la curva característica de retención de agua del suelo.
- ✓ Valores tabulados según tipo de suelo <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>

Tipo de Suelo (Clasificación de la textura del Suelo del USDA)	Características de la humedad del suelo		
	θ_{CC}	θ_{PMP}	θ_{IHD}
	m^3/m^3	m^3/m^3	m^3/m^3
Arenoso	0,07 - 0,17	0,02 - 0,07	0,05 - 0,11
Arenoso Franco	0,11 - 0,19	0,03 - 0,10	0,06 - 0,12
Franco Arenoso	0,18 - 0,28	0,06 - 0,16	0,11 - 0,15
Franco	0,20 - 0,30	0,07 - 0,17	0,13 - 0,18
Franco Limoso	0,22 - 0,36	0,09 - 0,21	0,13 - 0,19
Limoso	0,28 - 0,36	0,12 - 0,22	0,16 - 0,20
Franco Arcillo Limoso	0,30 - 0,37	0,17 - 0,24	0,13 - 0,18
Arcillo Limoso	0,30 - 0,42	0,17 - 0,29	0,13 - 0,19
Arcilloso	0,32 - 0,40	0,20 - 0,24	0,12 - 0,20

2.2) Disponibilidad de agua en el suelo

* <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>

- ✓ SATURACIÓN **SAT**
- ✓ CAPACIDAD DE CAMPO **CC**
- ✓ PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE **PMP**
- ✓ INTERVALO DE HUMEDAD DISPONIBLE **IDH**
- ✓ AGUA FACILMENTE ASIMILABLE **AFA**
- ✓ DÉFICIT DE AGUA EN EL SUELO **DAS**



IHD: Cantidad de agua del suelo que teóricamente está a disposición para las plantas. Su valor varía en función de la textura del suelo y la profundidad radicular del cultivo.

$$IHD = 1000 (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) * Z_r$$

* Z_r = profundidad radicular cultivo (m)

θ_{CC} = Contenido volumétrico de humedad del suelo en capacidad de campo (m^3/m^3)

θ_{PMP} = Contenido volumétrico de humedad del suelo en el punto de marchitez permanente (m^3/m^3)

AFA: Nivel de humedad a partir del cual las raíces encuentran mayor dificultad para extraer el agua y se produce una disminución de la transpiración, que puede ir asociado a pérdidas de producción de biomasa

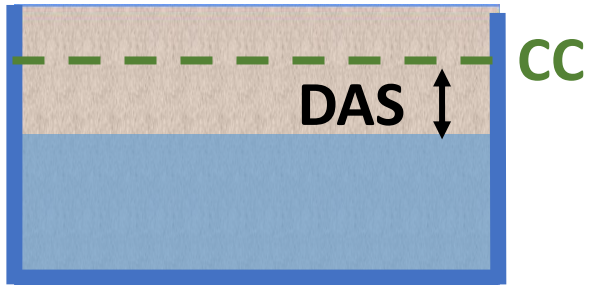
$$AFA = IHD * p$$

* p = fracción de agotamiento

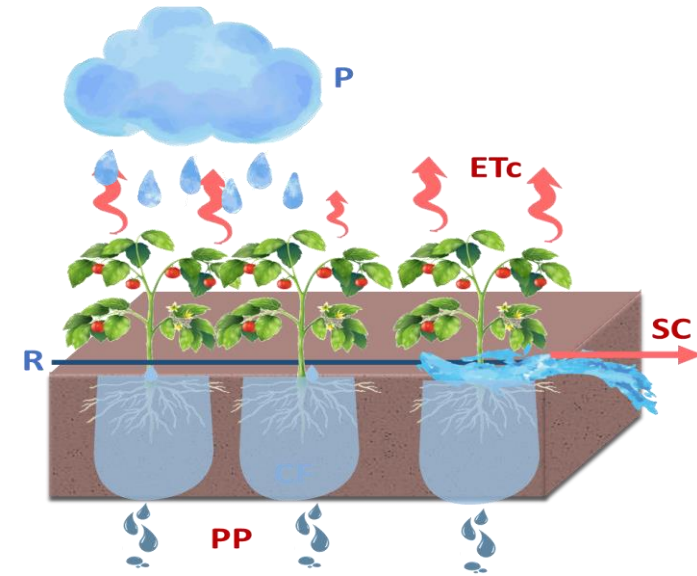
IHD = Intervalo de Humedad Disponible (mm)

Cultivo	Profundidad radicular máxima ¹ (m)	Fracción de agotamiento (para ET = 5 mm d _p)
a. Hortalizas Pequeñas		
Brócoli	0,4-0,6	0,45
Col de Bruselas	0,4-0,6	0,45
Repollo	0,5-0,8	0,45
Zanahorias	0,5-1,0	0,35
Coliflor	0,4-0,7	0,45

2.3) Déficit de agua en el suelo (DAS)



Es la cantidad de agua (mm) que hay que aplicar al suelo para restablecer el nivel de capacidad de campo.



DAS en el suelo en un determinado día “d”

$$DAS = 1000 (\theta_{CC} - \theta_i) * Z_r$$

Z_r = profundidad radicular cultivo (m)

θ_{CC} = Contenido volumétrico de humedad del suelo en capacidad de campo (m^3/m^3)

θ_i = Contenido volumétrico de humedad del suelo en un determinado instante (m^3/m^3)

$$DAS_d = DAS_{d-1} + ET_{Cd} + SC_d + PP_d - R_d - PE_d$$

DAS_{d-1} = Déficit de agua en el suelo el día anterior

ET_{Cd} = Evapotranspiración del cultivo

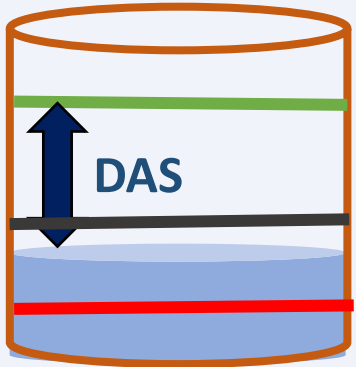
SC_d = Escorrentía

PP_d = Percolación profunda

R_d = Riego

PE_d = Precipitación efectiva

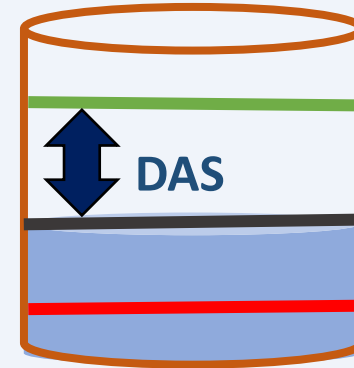
2.4) Determinación del momento de riego



CC
AFA
PMP

Quando DAS supera AFA (DAS > AFA)

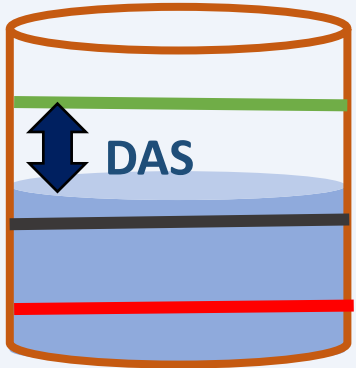
- Reducción de la ET, fotosíntesis y por tanto mermas en la producción.
- Necesaria en casos de limitación de agua para riego



CC
AFA
PMP

Quando DAS es igual que AFA (DAS = AFA)

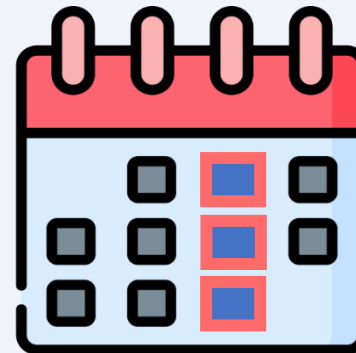
- Es el criterio general de aplicación de riego.
- Con esta estrategia se mantiene la ETc con un mínimo número de riegos.



CC
AFA
PMP

Antes de que DAS supere AFA (DAS < AFA)

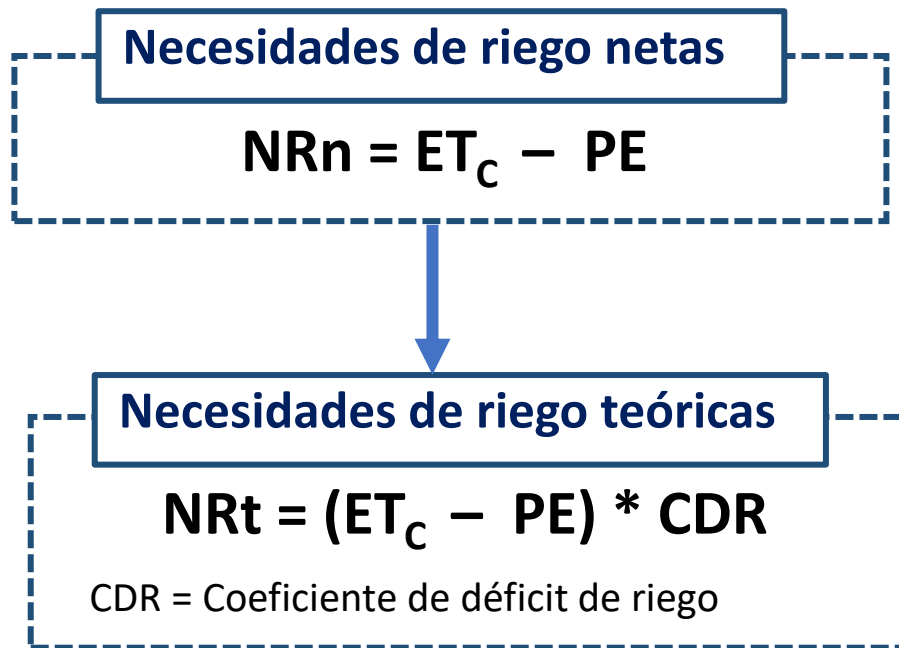
- Se mantienen niveles máximos de ETc pero aumenta la frecuencia de los riegos y por tanto el consumo de agua y los costes asociados al consumo energético.



Intervalo de tiempo fijo

- Esta estrategia suele emplearse en comunidades de regantes, donde la elección de momento de regar viene dada por unos turnos de riego establecidos por la propia CCRR

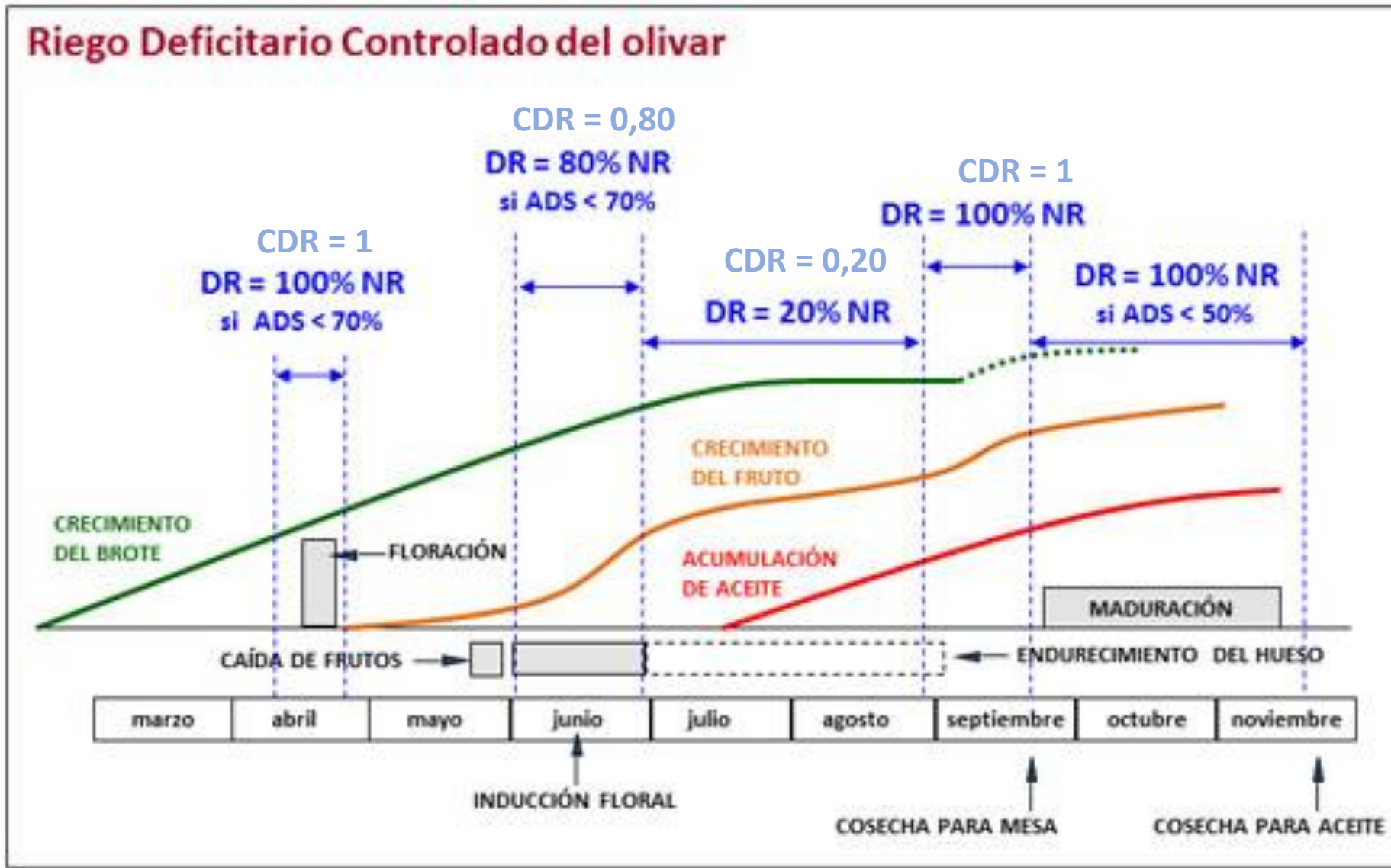
2.5) Dosis de riego



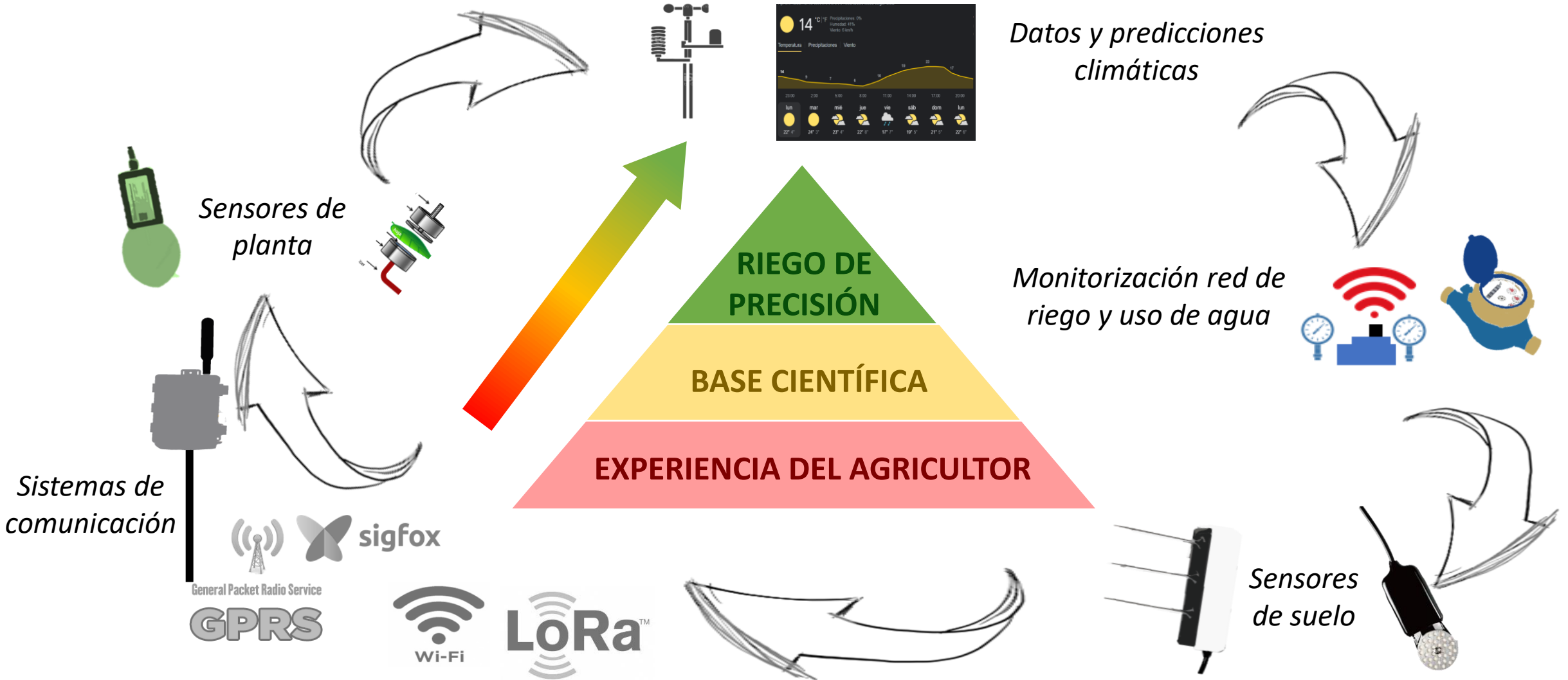
ESTRATEGIAS DE RIEGO

- ✓ **Necesidades Completas (NC):** Los eventos de riego se calculan para cubrir las necesidades completas del cultivo.
CDR = 1
- ✓ **Riego Deficitario Sostenido (RDS):** Se aplica un porcentaje del total de necesidades del cultivo igual a lo largo de toda la campaña de riego.
ejemplo = CDR = 0,6 durante todo el año
- ✓ **Riego Deficitario Controlado (RDC):** Se aplica un porcentaje del total de necesidades del cultivo variable a lo largo de la campaña de riego, adaptado al ciclo del cultivo.
ejemplo: CDR abril = 0,5
CDR agosto = 0,25

2.5) Dosis de riego



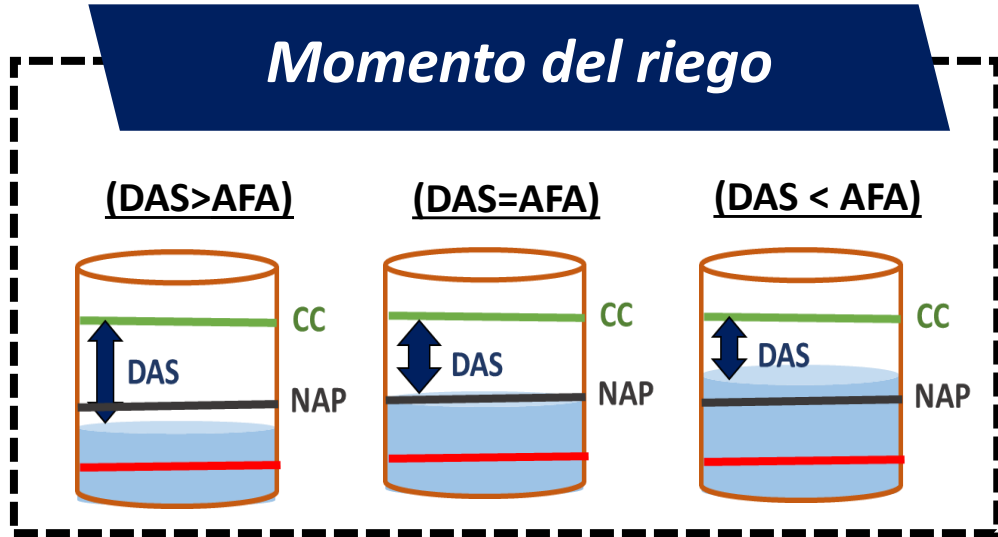
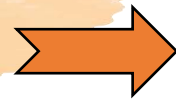
3) Tecnología para la gestión del riego



3.1) Sensores de humedad



Miden el contenido de agua en el suelo, expresado en términos volumétricos (m^3/m^3).



DÉFICIT DE AGUA EN EL SUELO

$$DAS = 1000 (\theta_{CC} - \theta_i) * Z_r$$

Z_r = profundidad radicular cultivo (m)

θ_{CC} = Contenido volumétrico de humedad del suelo en capacidad de campo (m^3/m^3)

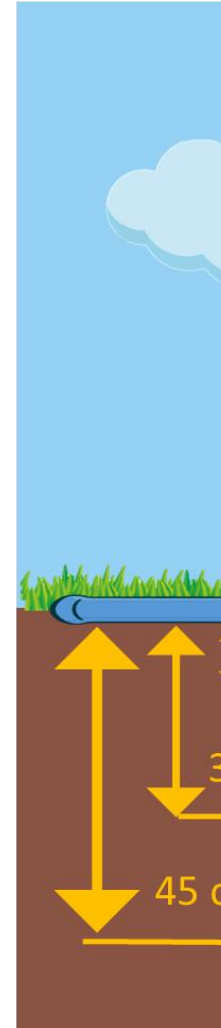
θ_i = Contenido volumétrico de humedad del suelo en un determinado instante (m^3/m^3)



3.1) Sensores de humedad

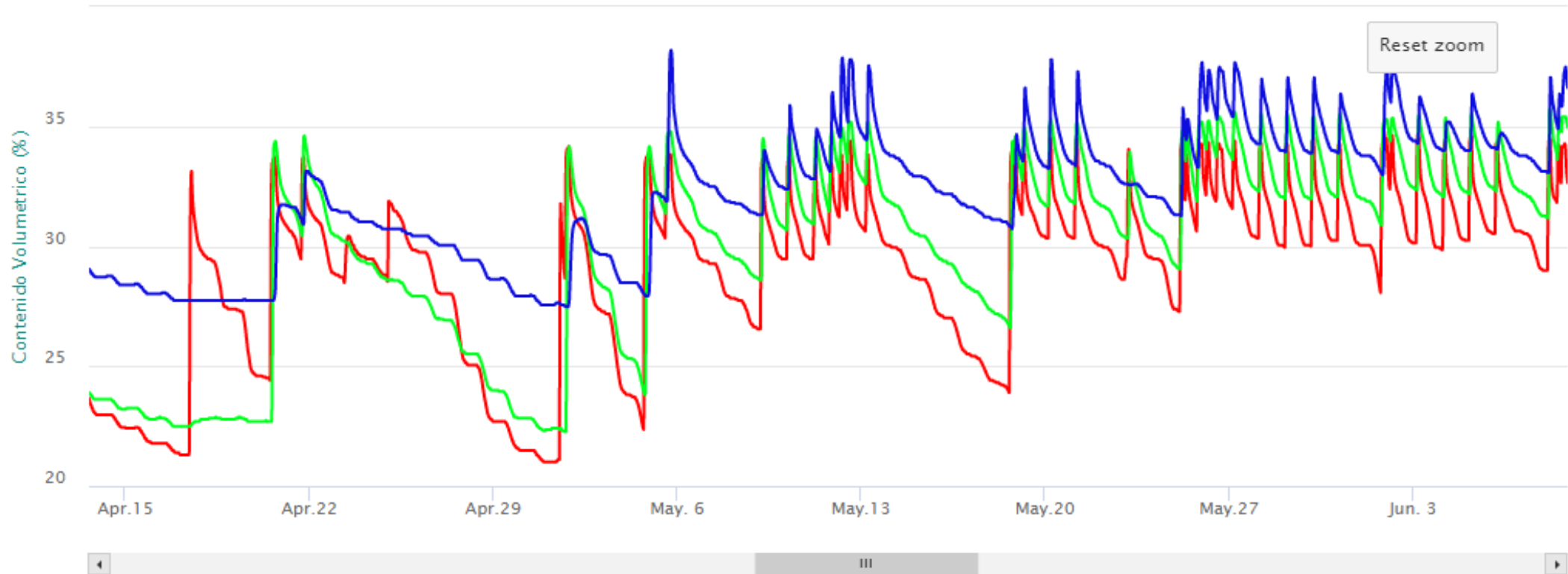
CRITERIOS DE INSTALACIÓN

- Bajo la vertical de un gotero para monitorizar correctamente el contenido de agua en el suelo tras los aportes de riego.
- En la zona de mayor volumen radicular del cultivo para detectar los cambios de humedad en el suelo debido a la absorción del cultivo. En cultivos leñosos ≈ 50 cm.
- A varias profundidades ($\approx 15, 30$ y 45 cm en leñosos).
 - 15 y 30 cm \rightarrow disponibilidad de agua para la planta.
 - 45 cm \rightarrow pérdidas por percolación
- Buen contacto con el suelo (proceso de instalación delicado).
- No alterar estructura del suelo.



3.1) Sensores de humedad

Contenido volumétrico de humedad (%)



¿Hay agua suficiente en el suelo?

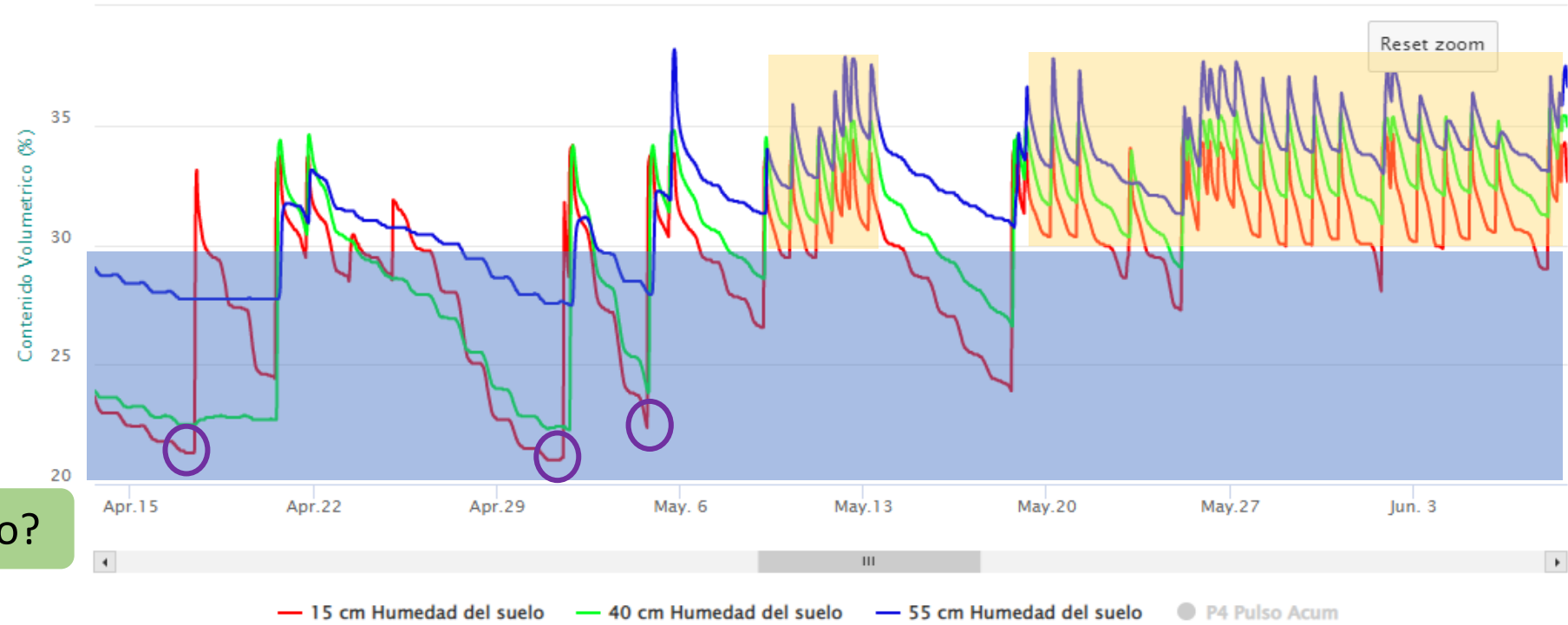
¿Qué contenido corresponde a capacidad de campo?

¿Qué contenido corresponde a Punto de Marchitez permanente?



3.1) Sensores de humedad

Textura	CC (m ³ /m ³)	PMP (m ³ /m ³)
Arenoso	0,17	0,07
Arenoso Franco	0,19	0,10
Franco Arenoso	0,28	0,16
Franco	0,30	0,17
Franco Limoso	0,36	0,21
Limoso	0,36	0,22
Franco Arcilloso	0,37	0,24
Arcillo Limoso	0,42	0,29
Arcilloso	0,40	0,24



¿Hay agua suficiente en el suelo?

- ☐ : Intervalo de humedad disponible (IHD)
- ☐ ○ : Muy próximo a PMP en 3 momentos.
- ☐ : Valores superiores a CC → riego no óptimo

¿Qué contenido corresponde a capacidad de campo?

0,30 m³/m³ = **30 %** Contenido volumétrico de humedad)

¿Qué contenido corresponde a Punto de Marchitez permanente?

0,17 m³/m³ = **17 %** Contenido volumétrico de humedad)

3.1) Sensores de humedad

Textura	CC (m ³ /m ³)	PMP (m ³ /m ³)
Arenoso	0,17	0,07
Arenoso Franco	0,19	0,10
Franco Arenoso	0,28	0,16
Franco	0,30	0,17
Franco Limoso	0,36	0,21
Limoso	0,36	0,22
Franco Arcilloso	0,37	0,24
Arcillo Limoso	0,42	0,29
Arcilloso	0,40	0,24

Datos:

Cultivo: Naranja

Profundidad de la raíz (Zr): 0,9 m

*Fracción de agotamiento (p) = 0,55

Suelo: Franco

IHD (Intervalo de humedad disponible)

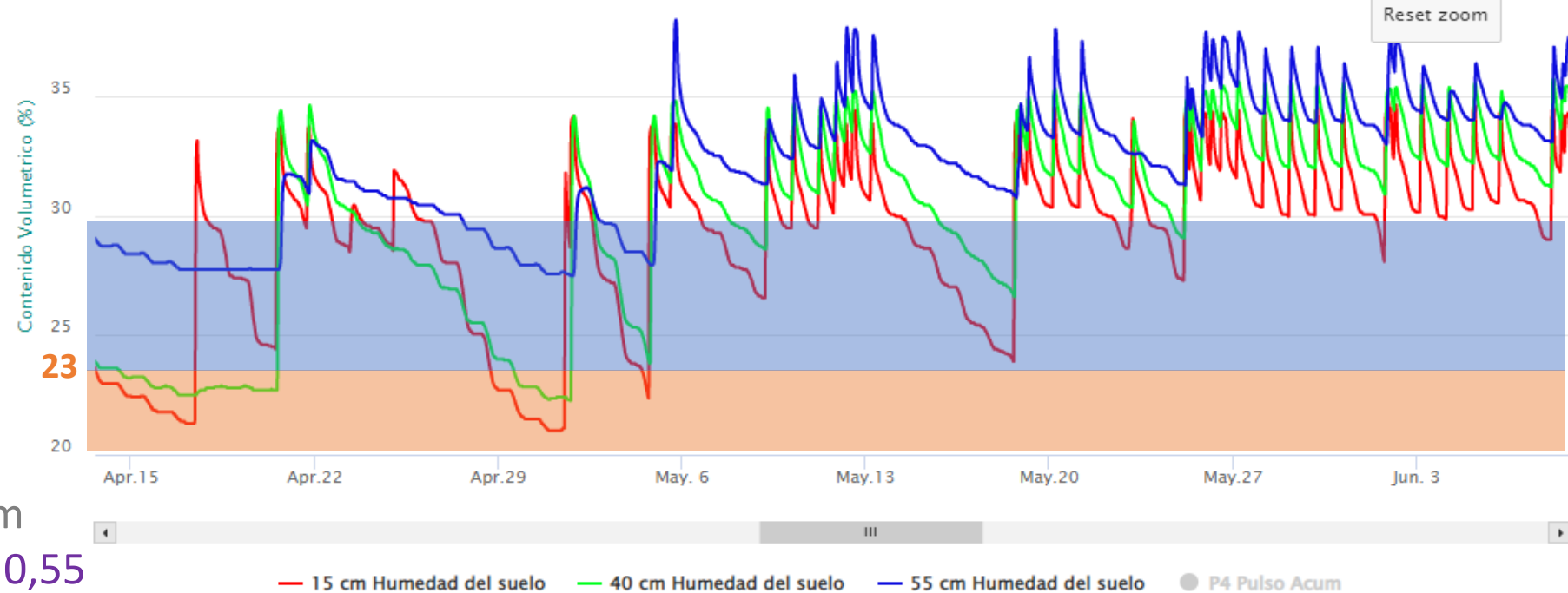
$$\text{IHD (mm)} = 1000 (0,30 \text{ m}^3/\text{m}^3 - 0,17 \text{ m}^3/\text{m}^3) * 0,9 \text{ m} = 117 \text{ mm}$$

AFA (Agua fácilmente asimilable)

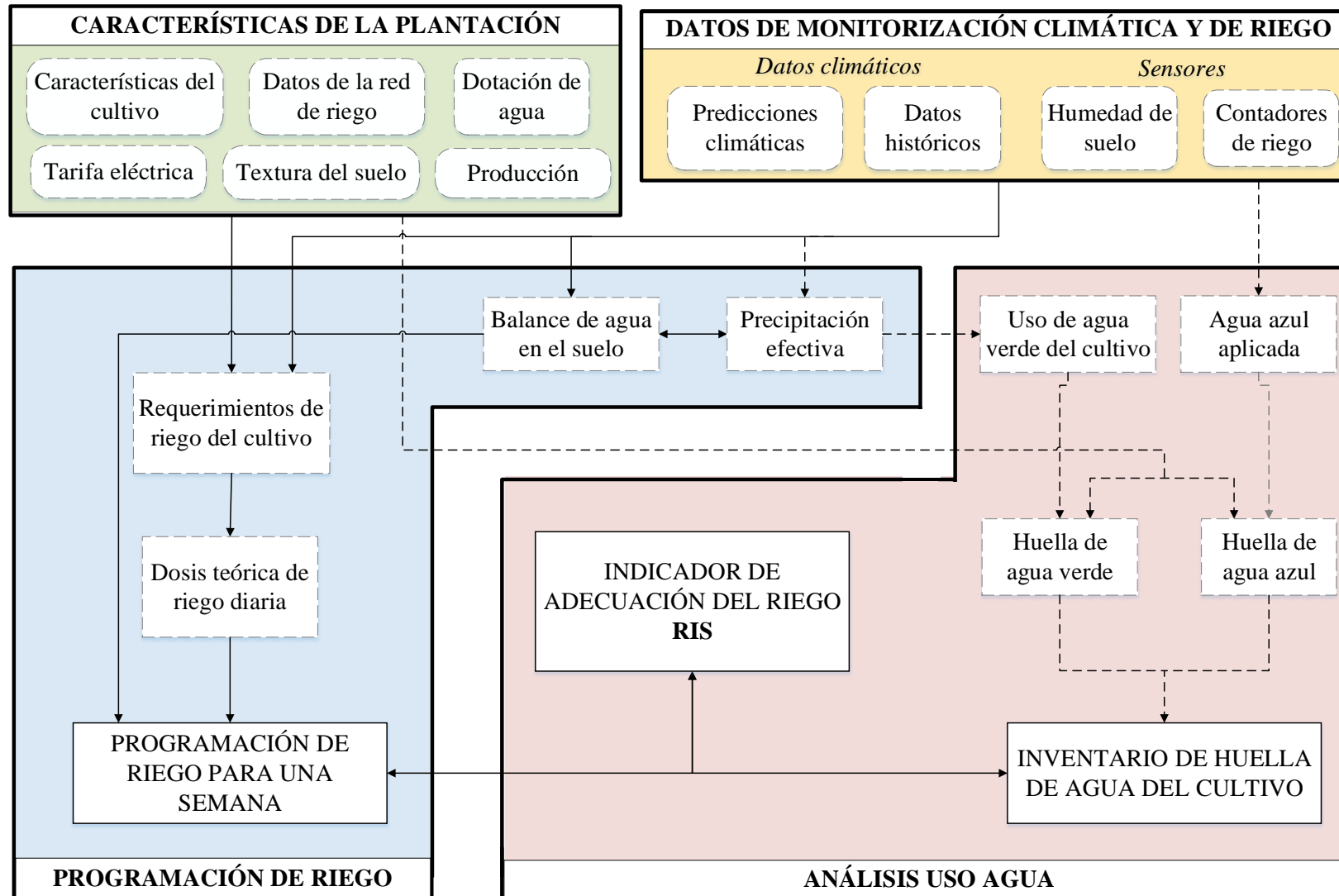
$$\text{AFA (mm)} = 0,55 * 117 \text{ mm} = 64,35 \text{ mm}$$

$$\theta_{\text{AFA}} = \theta_{\text{CC}} - \frac{\text{AFA (mm)}}{1000 * Zr \text{ (m)}} \rightarrow 0,30 \text{ m}^3/\text{m}^3 - \frac{64,35 \text{ mm}}{1000 * 0,9 \text{ m}} = 0,23 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

Contenido volumétrico de humedad (%)

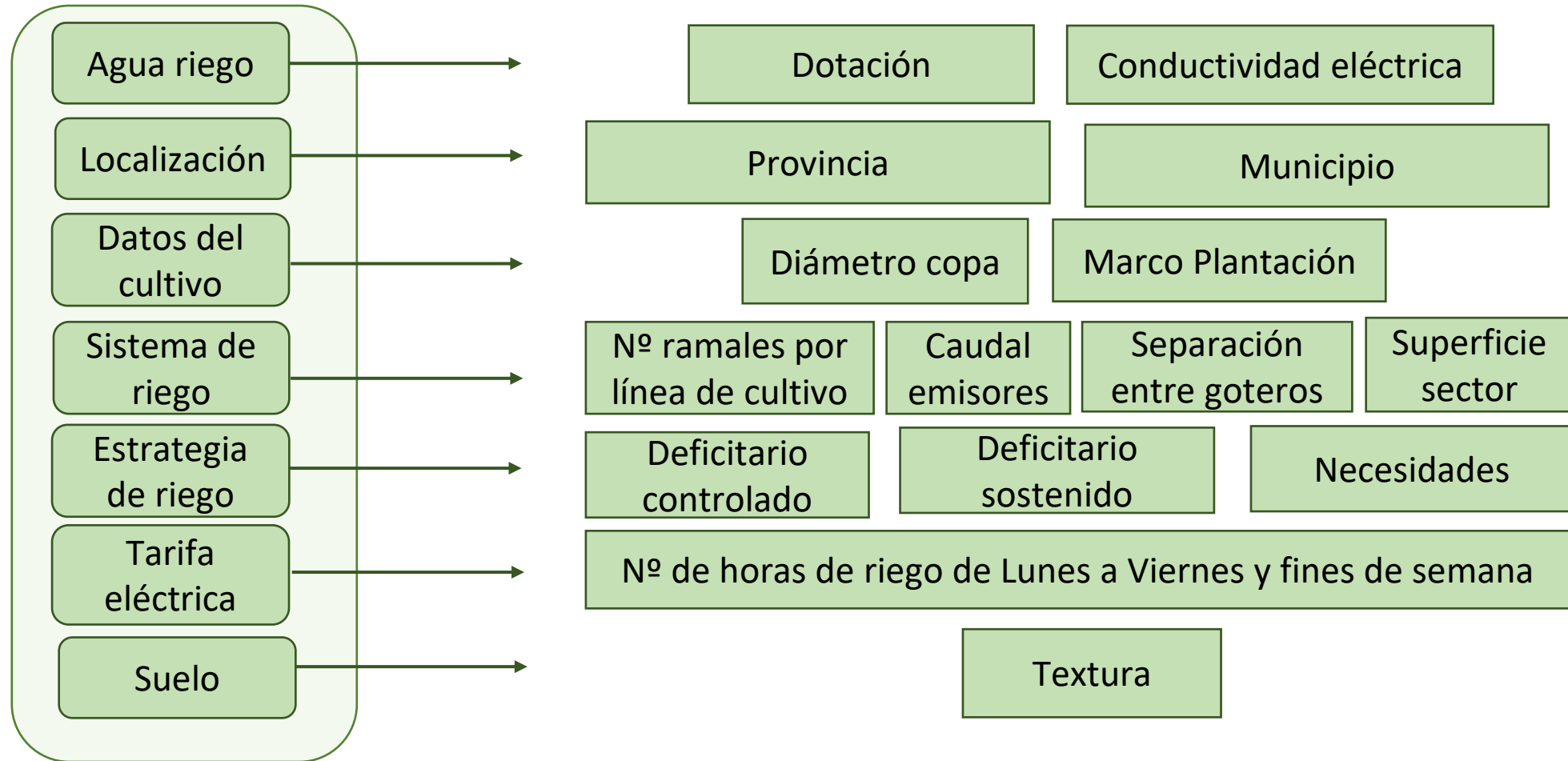


4.1) Esquema general modelo de riego de precisión

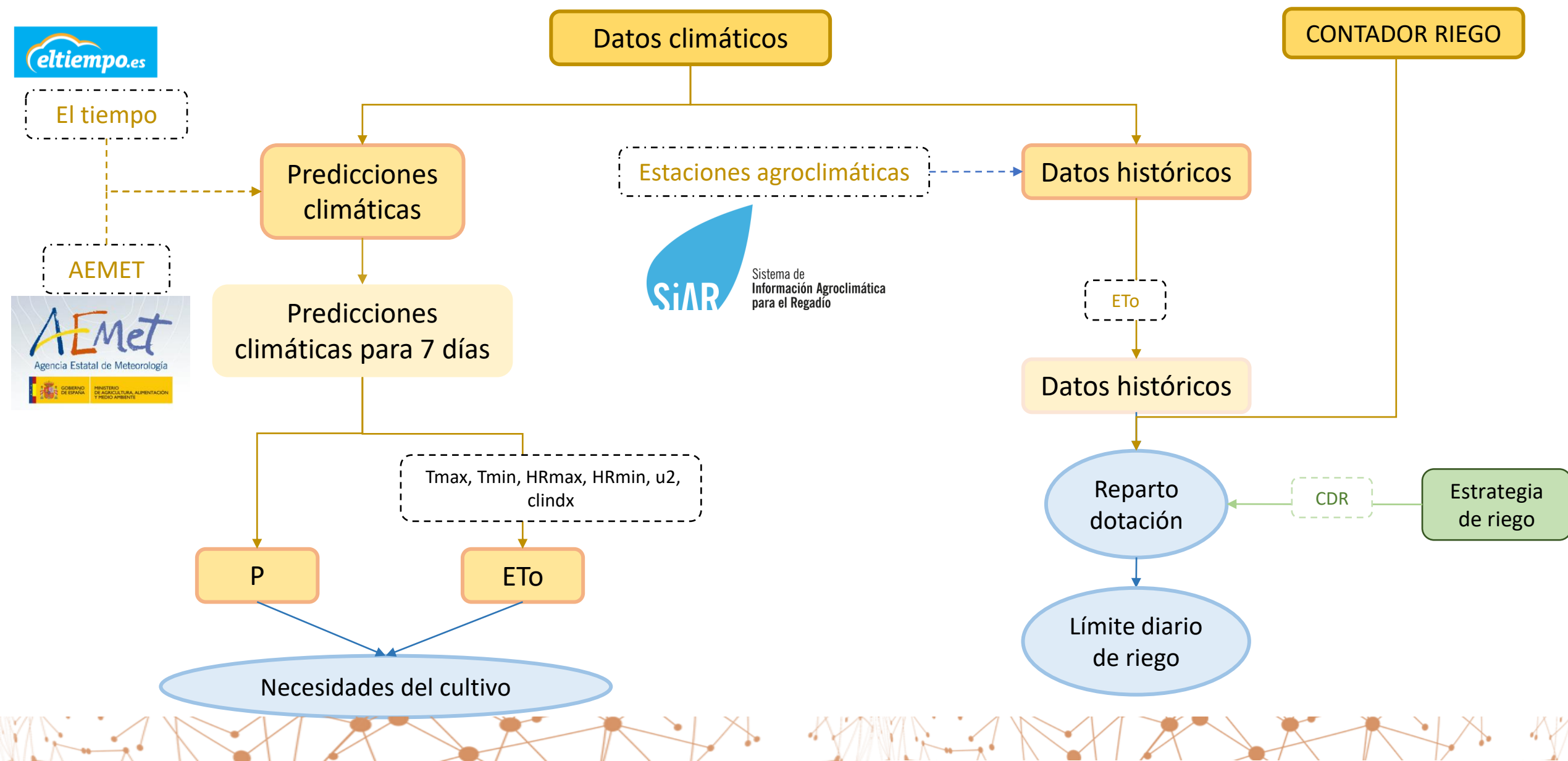


RIS – Relative Irrigation Supply

Módulo De Características De La Plantación



Módulo De Datos de Monitorización Climática y Riego



Módulo De Programación de Riego

Balace de agua en el suelo

Dr_n

Día actual

$$Dr_{real\ n} = 1000(\theta_{CC} - \theta_{Real\ n-1}) * Zr$$

$$\theta_{Real} = \frac{\theta P1 + \theta P2}{2}$$

$\theta P1$ = Contenido de humedad (m^3/m^3) medido por sensor más superficial al final del día anterior

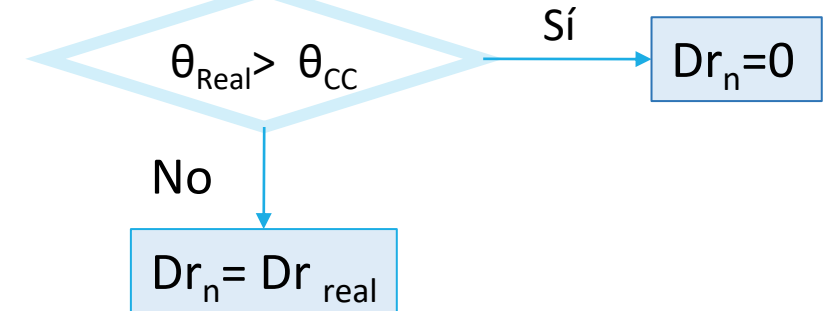
$\theta P2$ = Contenido de humedad (m^3/m^3) medido por el segundo sensor al final del día anterior

θ_{CC} = Contenido de humedad a capacidad de campo (m^3/m^3)

Zr = Profundidad de las raíces (m)

Sensores de humedad

θ_{Real}



PE_n

PE_n = precipitación efectiva

P_n = precipitación bruta (registrada o predicha)

Dr_{n-1} = Déficit de agua en el suelo el día anterior "n-1"

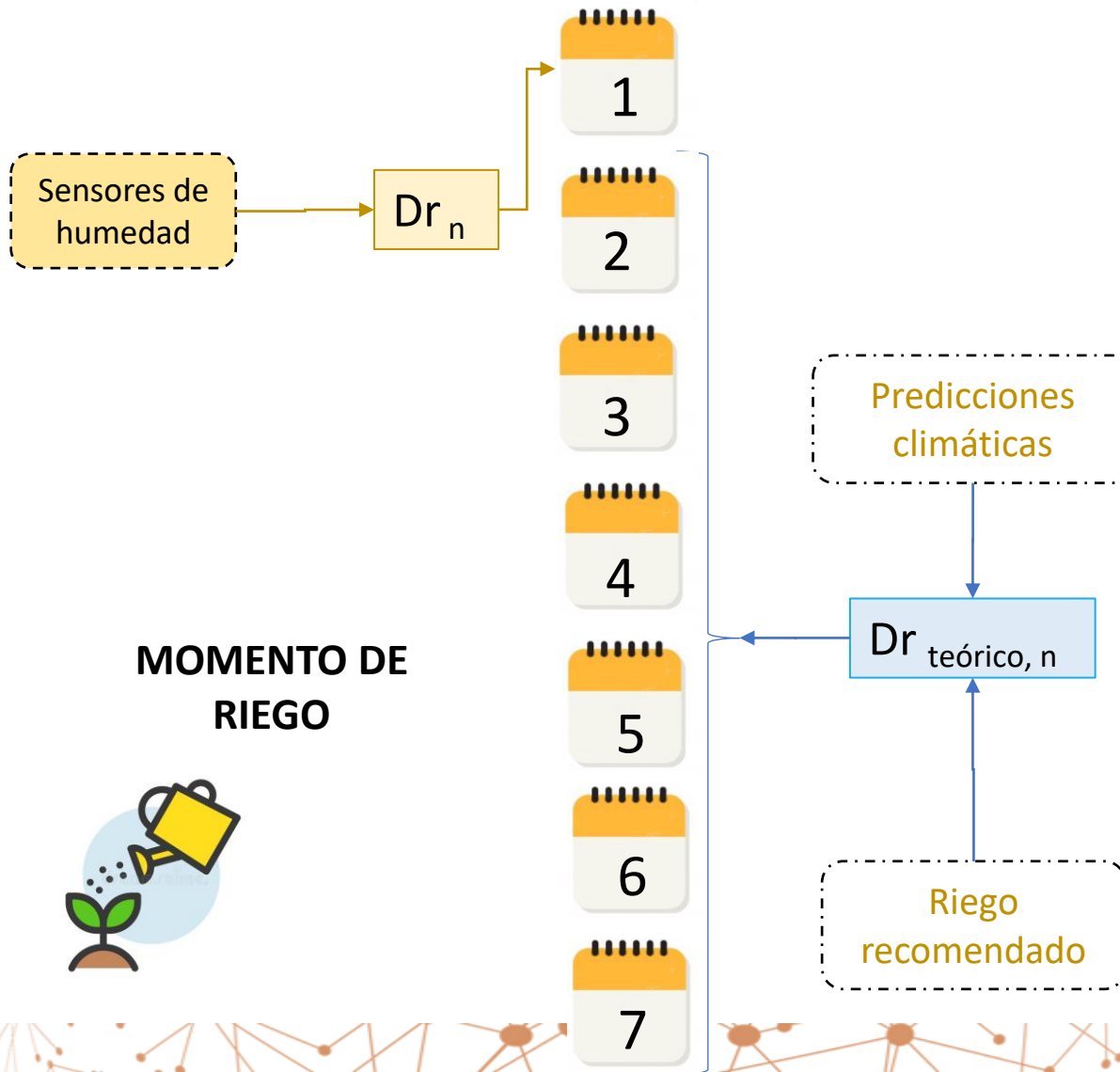
ET_{Cn} = Evapotranspiración cultivo (Predicción ET_o y datos históricos)

K_{s_n} = factor de reducción de la transpiración

$$PE_n = \min (Dr_{n-1} + (ET_{Cn} * K_{s_n}) ; P_n)$$

Módulo De Programación de Riego

Balace de agua en el suelo en cultivos al aire libre


 $Dr_{teórico, n}$

Próximos 6 días

$$Dr_{teórico, n} = Dr_{n-1} + (ET_{Cn} * K_{sn}) - R_n - PE_n$$

$Dr_{teórico, n}$ = Déficit de agua en el suelo un día "n"

Dr_{n-1} = Déficit de agua en el suelo el día anterior "n-1"

ET_{Cn} = Evapotranspiración del cultivo el día n
(Predicciones climáticas ETo)

R_n = Riego aplicado el día n (Riego recomendado)

PE_n = Precipitación efectiva el día n (Predicciones climáticas de P)

K_s = Factor de reducción de la transpiration

Módulo De Programación de Riego

Requerimientos diarios de agua y dosis teórica de riego del cultivo

Requerimientos diarios de agua

$$CIR_n = ((ET_{c_n} \cdot K_{s_n}) - PE_n) * f_{CE}$$

CIR= Requerimientos diarios de riego

n=día de la campaña de riego

ET_{c_n} = **Predicción** de evapotranspiración de cultivo

PE_n = **Predicción** de precipitación efectiva

K_{s_n} = factor de reducción de la transpiración.

f_{CE} =factor de corrección en función de la conductividad eléctrica (CE)

Dosis teórica diaria de riego

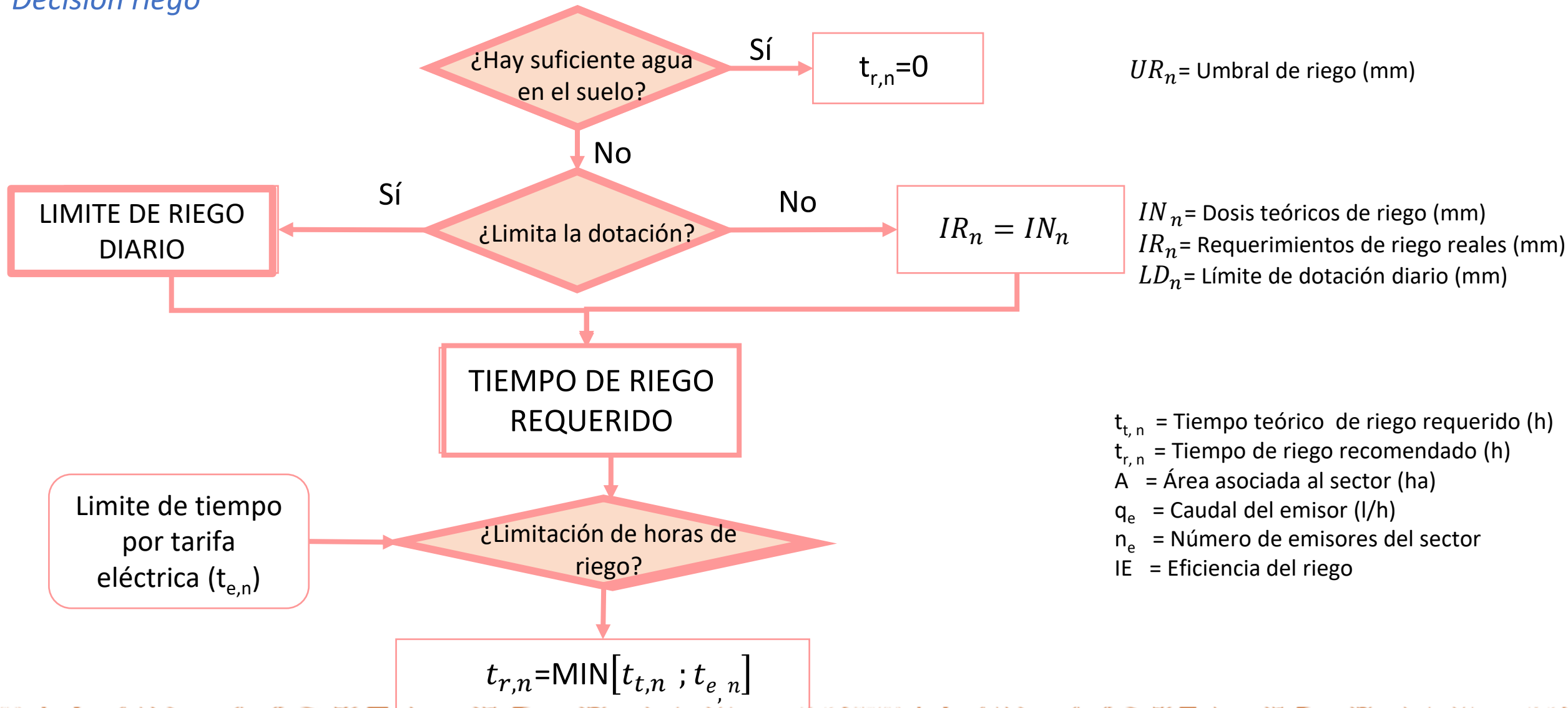
$$IN_n = CIR_n * CDR_n$$

IN_n = Dosis teórica de riego

CDR= Coeficientes de déficit de riego según la estrategia de riego seleccionada

Módulo De Programación de Riego

Decisión riego



Módulo análisis de uso de agua

HUELLA DE AGUA

Es un indicador cuantitativo del volumen de agua usado, directa o indirectamente, para producir una unidad de producto.



ADECUACIÓN DEL RIEGO

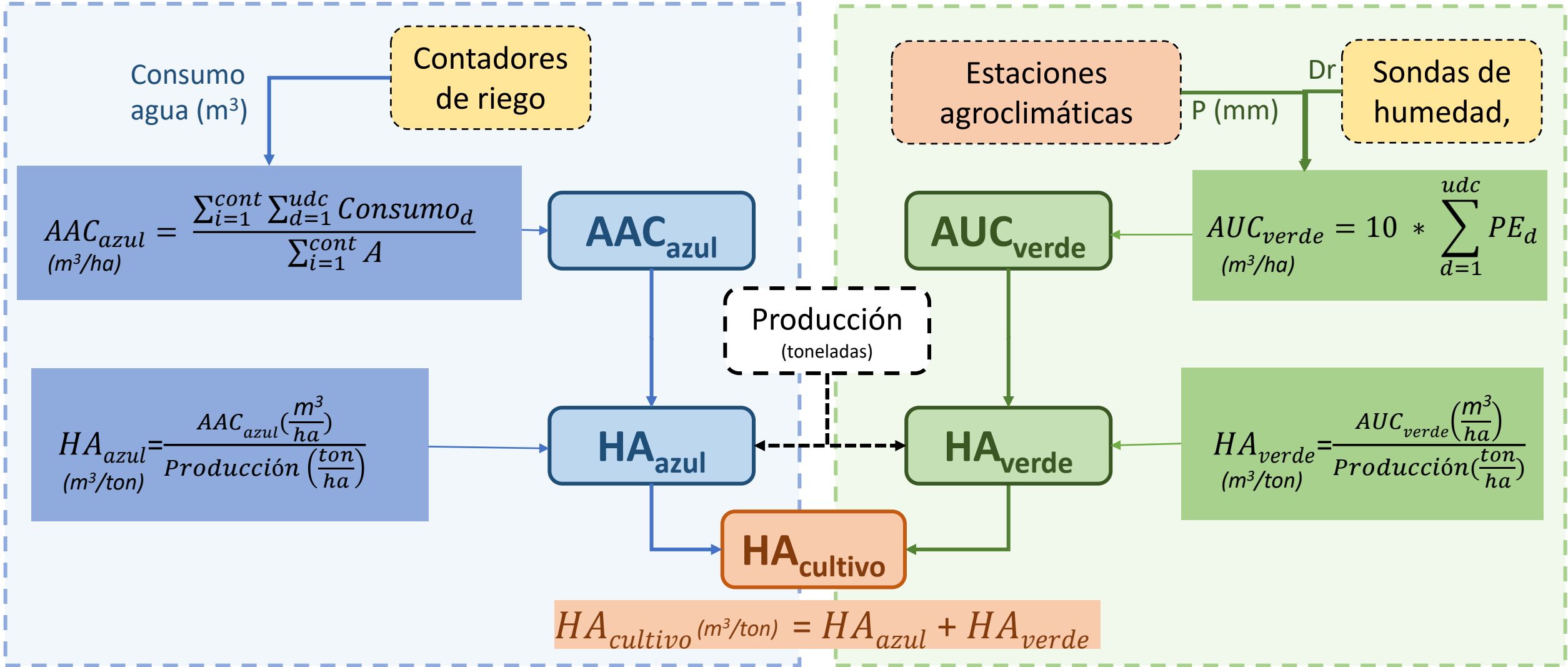
RIS (Relative Irrigation Supply)

Es un indicador de la adecuación del suministro de agua de riego, que compara el agua suministrada con la demanda real de agua de riego.



Módulo análisis de uso de agua

4.2) Huella de agua (HA)



AAC: Agua aplicada al cultivo // AUC= Agua usada por el cultivo// HA: Huella de agua // udc: último día de la campaña //d=1: inicio de campaña-plantación

Módulo análisis de uso de agua

4.2) Huella de agua (HA)

Uso de agua =

Producción +

Uso de agua =

Producción =

Menor Huella de Agua =

Uso más eficiente del agua +

Mayor beneficio económico +



480 l/kg

402 l/kg

¿Estoy realizando un buen manejo del riego?



Módulo análisis de uso de agua

4.3) Suministro Relativo de Riego (RIS)

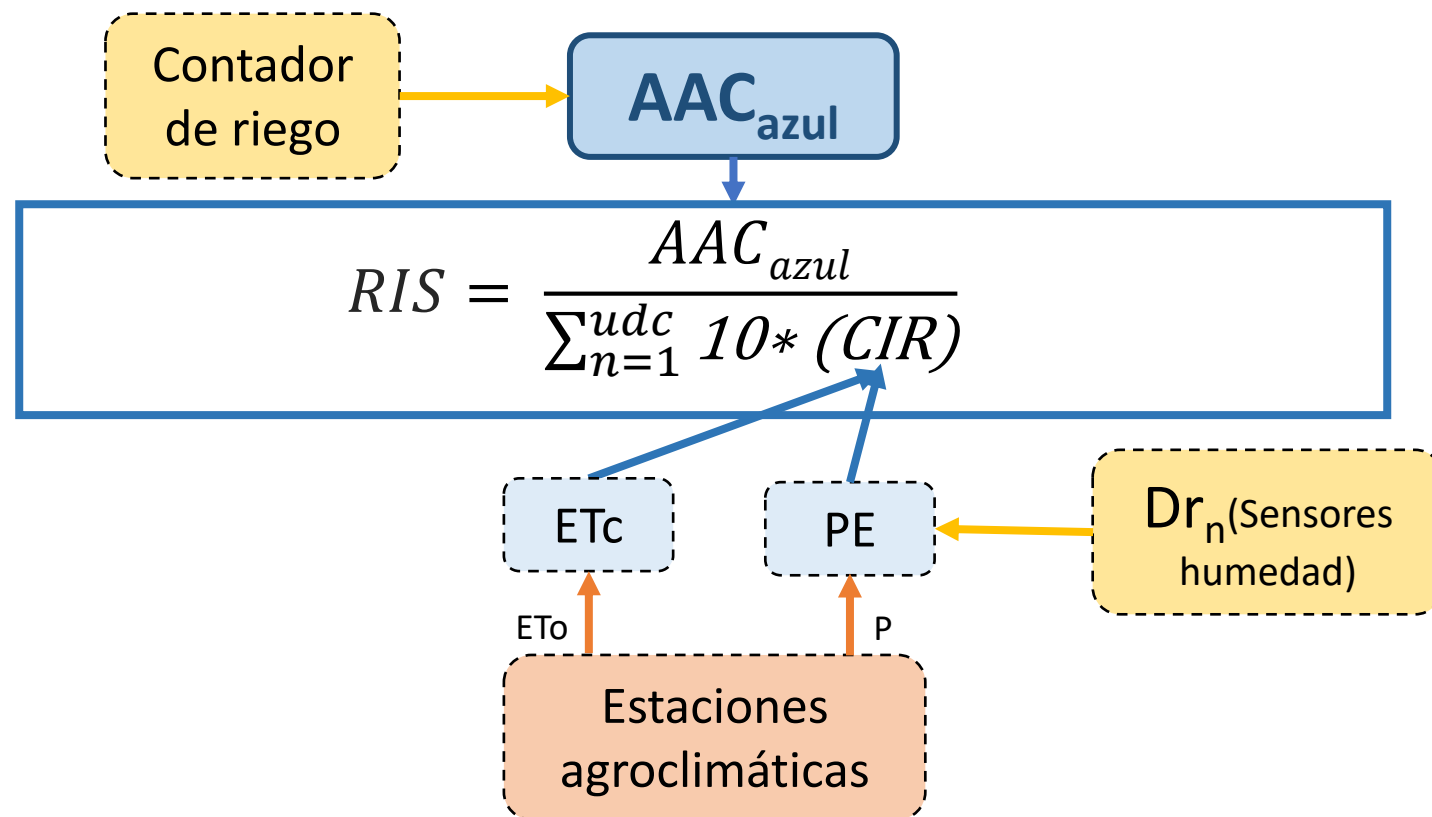
Este indicador relaciona la cantidad de agua aplicada (registrada en los contadores de agua) y el requerimiento teórico de agua del cultivo durante la campaña.

RIS < 1 = Déficit de riego

- Limitaciones de dotación de riego.
- Estrategias riego deficitario.

RIS > 1,2 = Exceso de riego

- Mala programación del riego.
- Ineficiencias en la red de riego



Ejemplo:



402 l/kg

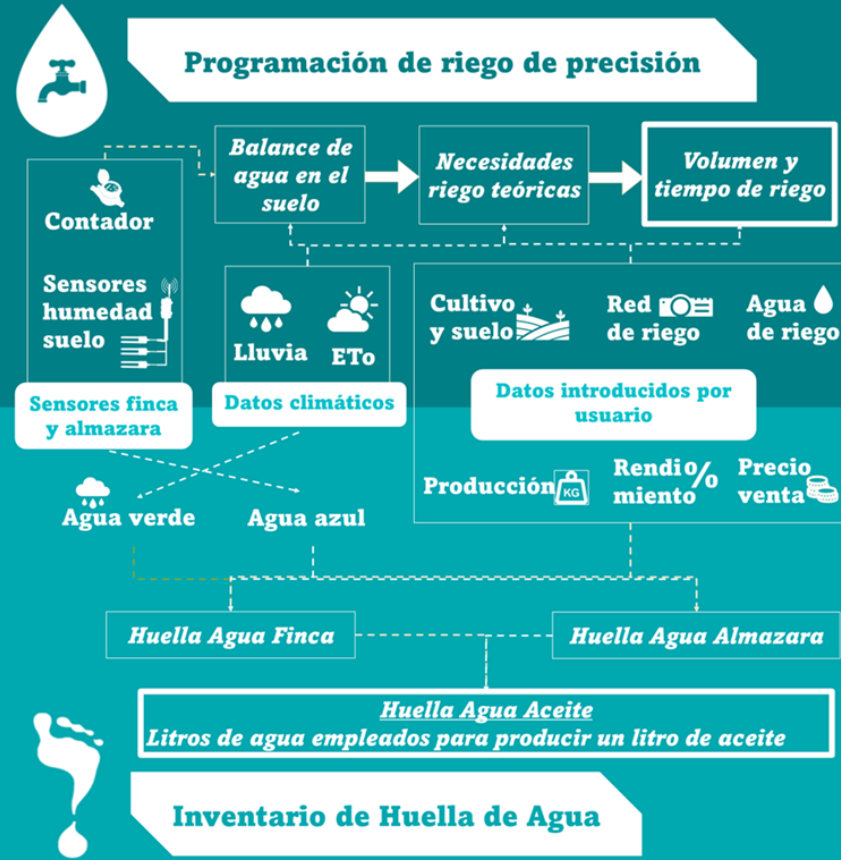


RIS = 1,5



Digitalización y Desarrollo herramienta informática TIC4BIO

Programación de riego de precisión



Riego

Huella de agua

Biodiversidad

Análisis de biodiversidad



SOCIOS:



FINANCIAN:



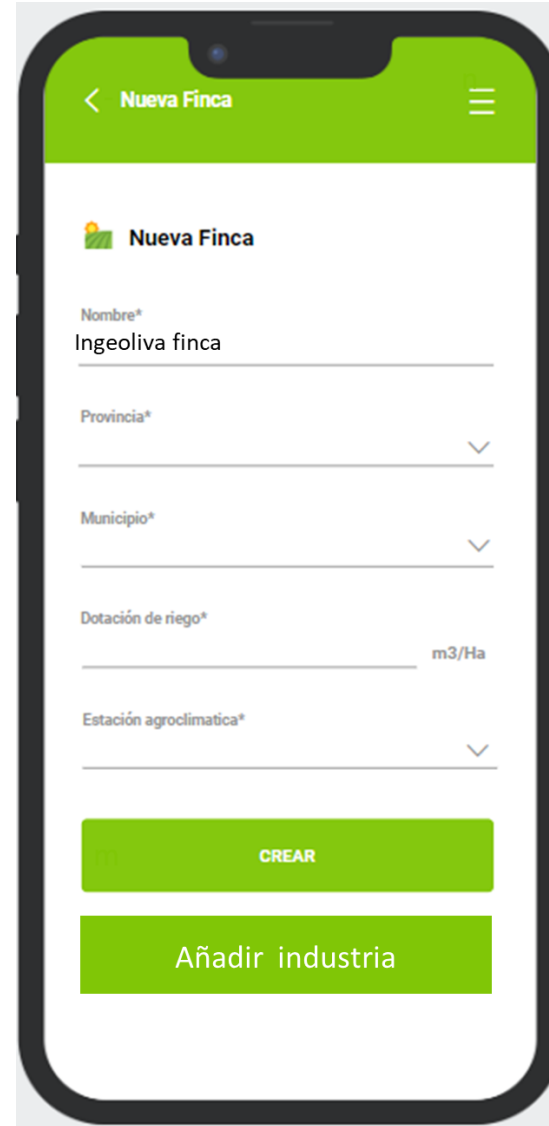
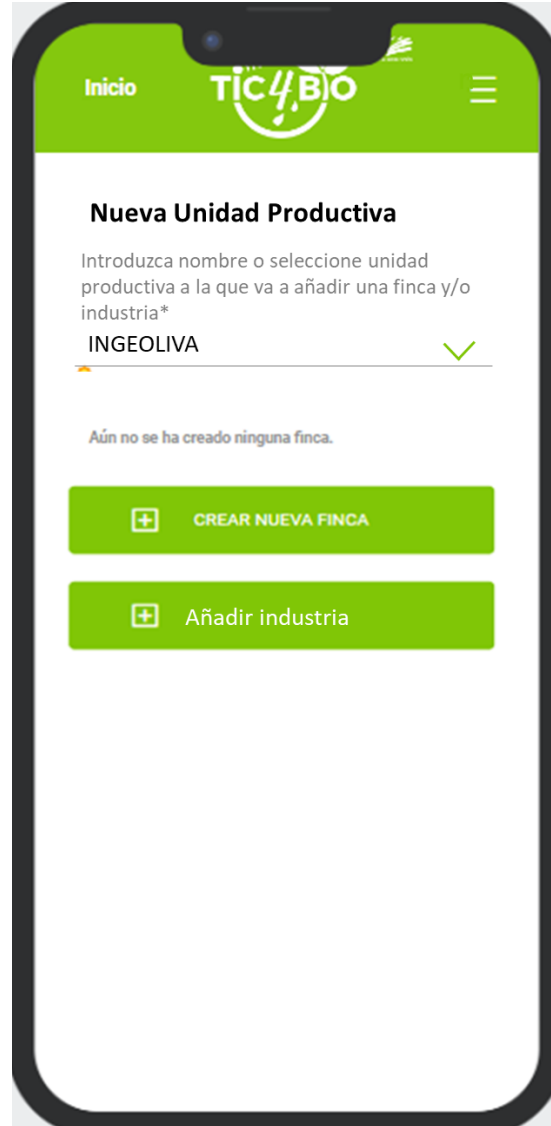
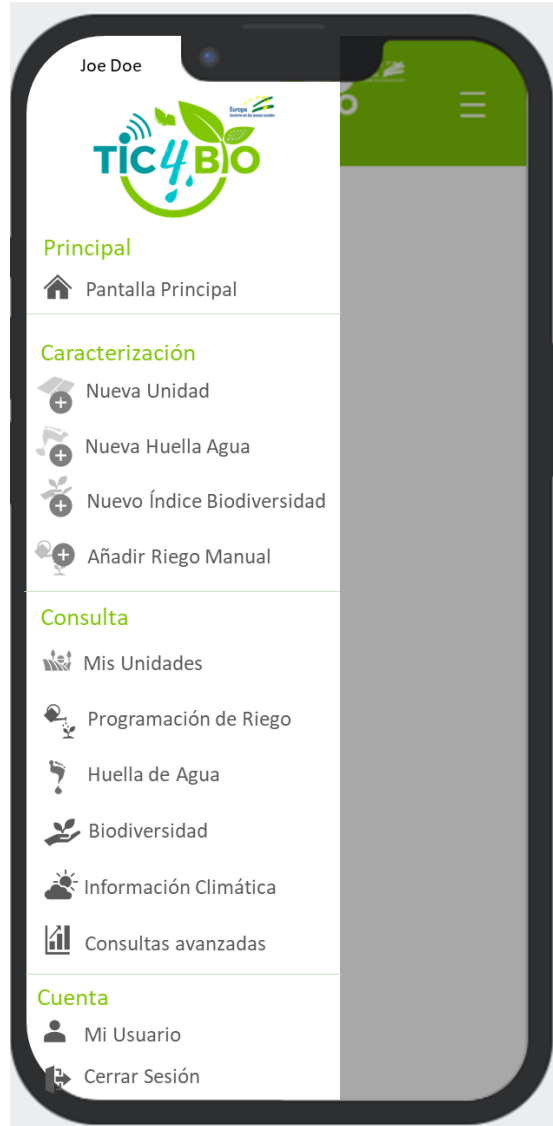
1) Introducción y contexto

2) Conceptos básicos para la programación de riego

3) Tecnologías para la gestión del riego

4) Modelo de riego de precisión

5) Ejemplo de herramienta de riego de precisión



1) Introducción y contexto

2) Conceptos básicos para la programación de riego

3) Tecnologías para la gestión del riego

4) Modelo de riego de precisión

5) Ejemplo de herramienta de riego de precisión



1) Introducción y contexto

2) Conceptos básicos para la programación de riego

3) Tecnologías para la gestión del riego

4) Modelo de riego de precisión

5) Ejemplo de herramienta de riego de precisión

Nuevo sector

0 Sector 1 Cultivo 2 Riego 3 Tarifa y agua 4 Suelo

Nuevo Sector

Nombre*

Sector seco o riego*

Riego **Secano**

Nivel de digitalización*

Usuario estándar **Usuario 4.0**

SIGUIENTE

Nuevo sector

0 Sector 1 Cultivo 2 Riego 3 Tarifa y agua 4 Suelo

Nuevo Sector

Nombre*

DATOS ACCESO USO SENSORES

Usuario

Clave

Código Estación

Añadir

SIGUIENTE

Nuevo sector

0 Sector 1 Cultivo 2 Riego 3 Tarifa y agua 4 Suelo

Características del cultivo

Cultivo*

Marco de plantación (Entre árbol)* m

Marco de plantación (Entre líneas)* m

Diámetro de copa* m

Seto*

ATRÁS **SIGUIENTE**



Nueva Finca

0 — 1 — 2 — 3 — 4
Cultivo — Riego — Tarifa y agua — Suelo

Características del sistema de riego

Caudal nominal goteros* _____ l/h

Superficie sector riego* _____ ha

Tipo de riego por goteo*

Goteros equidistantes en ramal

Goteros por árbol

Estrategia de riego*

Necesidades completas (NC)

Riego deficitario sostenido (RDS)

Riego deficitario Controlado (RDC) (recomendado)

ATRÁS **SIGUIENTE**

Nueva Finca

1 — 2 — 3 — 4
Cultivo — Riego — Tarifa y agua — Suelo

Tarifa eléctrica (límite de horas de riego)

Límite de horas de riego de Lunes a Viernes* _____

Límite de horas de riego de Sábado a Domingo* _____

ATRÁS **SIGUIENTE**

Nuevo sector

1 — 2 — 3 — 4
Cultivo — Riego — Tarifa y agua — Suelo

Caracterización del suelo

¿Cómo desea caracterizar el suelo?*

Manual

Introducir manualmente los valores de Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP) del suelo.

Seleccionar textura

Seleccionando textura del suelo: arenoso, arcilloso, franco-arenoso, ...

Análisis de suelo

Introducir las % de arena, limo y arcilla y opcionalmente la densidad aparente del suelo.

Estado inicial de humedad

Baja **Media**

Alta **Muy alta**

ATRÁS **CREAR**



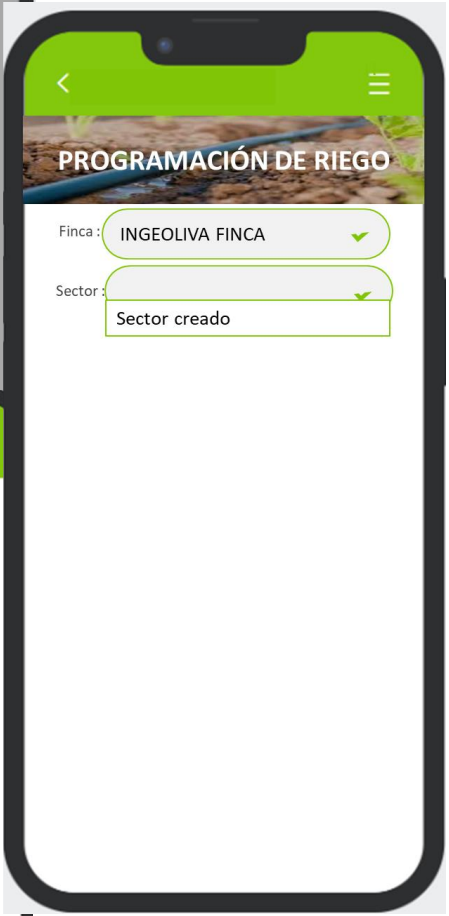
1) Introducción y contexto

2) Conceptos básicos para la programación de riego

3) Tecnologías para la gestión del riego

4) Modelo de riego de precisión

5) Ejemplo de herramienta de riego de precisión



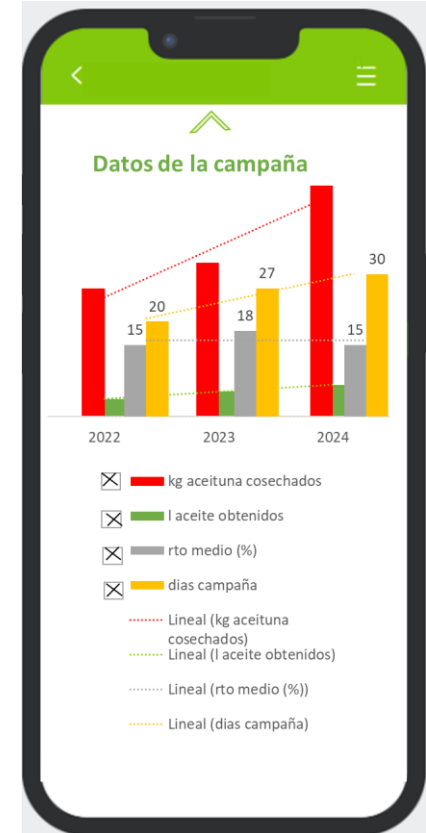
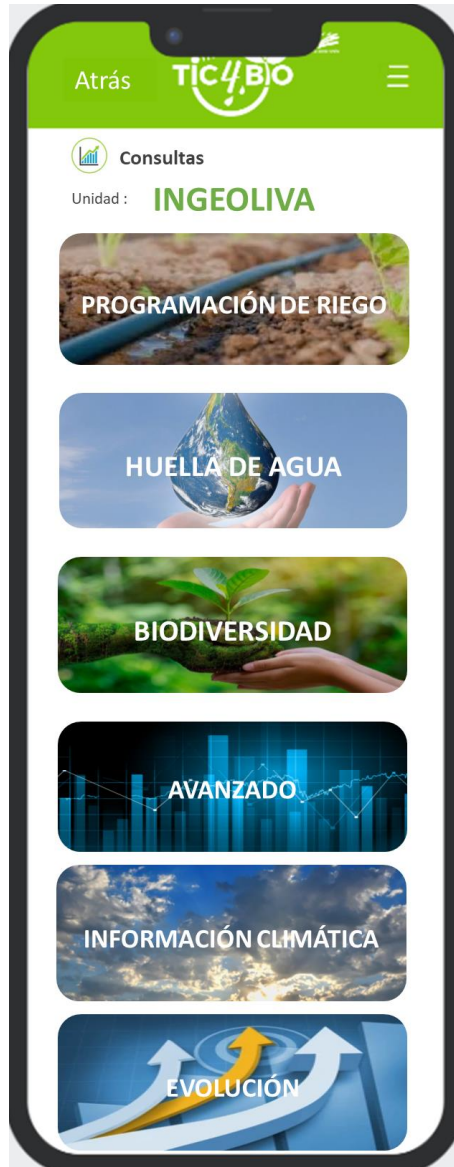
1) Introducción y contexto

2) Conceptos básicos para la programación de riego

3) Tecnologías para la gestión del riego

4) Modelo de riego de precisión

5) Ejemplo de herramienta de riego de precisión



MÁSTER UNIVERSITARIO EN OLIVICULTURA Y ELAIOTECNIA

Uso de las TIC's para implementar sistemas de riego de precisión

Carmen María Flores Cayuela

g02flcac@uco.es

Departamento de Agronomía. Área
Ingeniería Hidráulica. Universidad de
Córdoba



UNIVERSIDAD
DE
CÓRDOBA

