



Sistema de
**Información Agroclimática
para el Regadío**

Noviembre 2025

Manual aplicación móvil SiAR



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	2
2	APLICACIÓN MÓVIL SIAR	2
2.1	ACCESO	2
2.2	CREACIÓN DE CULTIVOS PERSONALIZADA	3
2.2.1.	<i>Ubicación de la parcela</i>	3
2.2.2.	<i>Selección del cultivo</i>	4
2.2.3.	<i>Características del cultivo</i>	5
2.2.4.	<i>Selección de unidades</i>	5
2.2.5.	<i>Selección del sistema de riego</i>	6
2.2.6.	<i>Selección del tipo de suelo</i>	6
2.2.7.	<i>Resumen cultivo configurado</i>	6
2.3	MIS CULTIVOS	7
2.4	GESTIÓN DE CULTIVOS	7
2.5	NECESIDADES DE RIEGO	8
2.6	ESTADO DEL CULTIVO	8
2.6.1.	<i>Configuración del sistema de riego</i>	10
2.6.2.	<i>Aportaciones de riego</i>	11
2.6.3.	<i>Aportaciones hídricas</i>	13
2.6.4.	<i>Gráficos</i>	14
2.6.5.	<i>Descarga de datos del estado del cultivo</i>	16
2.7	DATOS METEOROLÓGICOS	16
2.8	PREDICCIÓN METEOROLÓGICA	17
2.9	MI CULTIVO	18
2.10	IMÁGENES SATÉLITE	18
2.11	EDITAR CULTIVO	19
2.12	ELIMINAR CULTIVO	20
2.13	WIDGET	20
3	PARÁMETROS DE CÁLCULO	21
3.1	DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL SUELO	21
3.1.6.	<i>Agua disponible total (ADT)</i>	21
3.1.7.	<i>Agua fácilmente aprovechable (AFA)</i>	22
3.2	COEFICIENTE DE ESTRÉS HÍDRICO (KS)	23
3.3	BALANCE DE AGUA DEL SUELO	24
3.3.1.	<i>Límites de D_{rj}</i>	25
3.3.2.	<i>Agotamiento inicial</i>	25
3.3.3.	<i>Precipitación (P), Escurrimiento superficial (RO) y Riego (I)</i>	26
3.3.4.	<i>Ascenso capilar (CR)</i>	26
3.3.5.	<i>Evapotranspiración (ET_c)</i>	26
3.3.6.	<i>Percolación profunda</i>	26
3.4	PLANIFICACIÓN DEL RIEGO	26
3.5	EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO	27
3.6	CÁLCULO DE RIEGO APLICADO POR TIEMPO Y VOLUMEN	27
3.7	CÁLCULO DE NECESIDADES DE RIEGO PARA CULTIVOS LEÑOSOS	28
4	DEFINICIONES	29

1 Introducción

En el siguiente manual se describirá tanto el funcionamiento de la aplicación móvil SiAR como los cálculos realizados para el cálculo de las necesidades de riego de los cultivos.

2 Aplicación Móvil SiAR

La aplicación móvil SiAR, diseñada para plataformas de Android e iOS, permite la gestión de un programa de riegos mediante el cálculo de necesidades hídricas y dosis de riego necesarias de los cultivos, tomando como evapotranspiración de referencia la calculada a través de los datos suministrados por la red de estaciones SiAR.

2.1 Acceso

El acceso a la aplicación SiAR se realizará mediante usuario y contraseña, esto se hace necesario para que el sistema pueda gestionar los cultivos de cada usuario.

La primera vez que se accede a la aplicación será necesario darse de alta, para ello se pulsará en el botón “Registrarse” e introduciremos un correo electrónico y contraseña, posteriormente pulsaremos registrarse.

Los usuarios ya registrados accederán mediante el botón “Entrar” e introducirán su correo electrónico y contraseña. En caso de olvidar la contraseña, esta puede recuperarse mediante el botón “Olvidé mi contraseña”, esta será enviada al email introducido.




Una vez se haya accedido a la aplicación, el usuario se quedará logado, no siendo necesario introducir los datos de registro cada vez que se accede, permitiéndose en cualquier momento deslogarse de la aplicación.

2.2 Creación de cultivos personalizada

La primera vez que se accede a la aplicación será necesario configurar el cultivo o cultivos de los cuales se quiere recibir información de las necesidades de riego. Para ello pulsaremos sobre “añadir nuevo cultivo”



2.2.1. Ubicación de la parcela


El primer paso para la configuración del cultivo es la localización de la parcela donde se encuentra, para ello la aplicación georeferenciará al usuario mostrando su posición en un mapa, dando la posibilidad de navegar por el mapa hasta localizar la ubicación de la parcela. Para seleccionar una ubicación se pulsará una vez sobre el mapa. Existe un botón de búsqueda  que facilita la localización de la ubicación.

Nota: únicamente se podrán seleccionar ubicaciones dentro de las Comunidades Autónomas pertenecientes a la red SiAR.

Una vez seleccionada una ubicación, en la parte inferior de la pantalla aparecerá la siguiente información:

- Municipio
- Estación más cercana y distancia

En caso de no existir una estación en un radio de 40 km de la ubicación seleccionada, la aplicación dará un aviso para que el usuario sea conocedor de este hecho.

A través del botón  es posible seleccionar manualmente la estación asignada a la parcela.



2.2.2. Selección del cultivo

El segundo paso es la selección del cultivo, para ello se mostrarán los cinco cultivos más predominantes (según encuesta ESYRCE) para la Comunidad Autónoma donde está localizada la parcela.

En caso de que el cultivo no se encuentre entre los más representativos, se pueden seleccionar más cultivos mediante el botón “todos”, en el que aparecerán los cultivos desglosados en distintos grupos:

- Cereal
- Forrajeras
- Frutales cítricos
- Frutales no cítricos
- Hortalizas
- Industrial
- Leguminosas
- Olivar
- Prados
- Tubérculos
- Viñedo



Los cultivos seleccionables serán aquellos que aparezcan en la encuesta ESYRCE, para la Comunidad Autónoma donde se ubique la parcela, y se disponga de datos de Kc.

2.2.3. Características del cultivo

El siguiente paso para la configuración del cultivo es la introducción de las características del cultivo:

En caso de cultivos herbáceos:

- Fecha de siembra
- Etapas de desarrollo: por defecto aparecerán las etapas de desarrollo publicadas en FAO 56, permitiendo al usuario poder modificar estas etapas.

Sistema de Información Agrodinámica para el Regadío

nuevo cultivo configuración

fecha de siembra

12-4-2016

seleccione fecha

etapas de desarrollo (días)

inicio 20
desarrollo 30
medio 70
fin 40

aceptar paso 3 de 7

En caso de cultivos leñosos:

- Superficie (m²)
- Distancia entre filas (m)
- Distancia entre columnas (m)
- Diámetro de copa (m)

Sistema de Información Agrodinámica para el Regadío

nuevo cultivo configuración para leñosos (superficie y marco de plantación)

Superficie (m²):

Distancia entre filas (m):

Distancia entre columnas (m):

Diámetro de copa (m):

aceptar paso 3 de 7

2.2.4. Selección de unidades

Selección de las unidades en las que queremos que la aplicación nos muestre los resultados, podemos modificar las siguientes unidades:

- Volumen
 - l/m²
 - m³/ha
 - l / árbol
- Superficie
 - m²
 - ha
- Caudal
 - l/s
 - l/h

Sistema de Información Agrodinámica para el Regadío

nuevo cultivo seleccione unidades

volumen

l/m²
m³/ha
l/árbol

superficie

m²
ha

caudal

l/s
l/h

aceptar paso 6 de 7

2.2.5. Selección del sistema de riego

Selección del sistema de riego entre las siguientes opciones:

- Aspersión - Microaspersión
- Goteo
- Superficial



2.2.6. Selección del tipo de suelo

Selección del tipo de suelo, para ello seleccionaremos entre las siguientes opciones:

- Arenoso
- Franco
- Limoso
- Arcilloso




2.2.7. Resumen cultivo configurado

Para finalizar la configuración aparecerá una pantalla con el resumen de los datos del cultivo configurado:

- Municipio
- Comarca
- Estación asignada
- Cultivo
- Fecha de siembra (herbáceos)
- Tipo de riego
- Tipo de suelo
- Superficie (leñosos)
- Marco de plantación (leñosos)
- Diámetro de copa (leñosos)



Por defecto la aplicación pondrá el nombre del cultivo seleccionado, el usuario podrá modificar este nombre mediante el botón .

En caso de querer modificar alguno de los datos del cultivo pulsaremos el botón “modificar”.

Una vez finalizado pulsaremos el botón “crear cultivo”.

2.3 Mis cultivos

En la pantalla Mis cultivos, aparecerán todos los cultivos configurados por el usuario, divididos en cultivos activos (Actuales), que aparecen por defecto y cultivos que han finalizado su ciclo de cultivo (Históricos).

Para gestionar un cultivo, se pulsará sobre el nombre del cultivo y se accederá a las distintas opciones.

Para añadir un nuevo cultivo a mis cultivos, se pulsará sobre el botón “añadir cultivo”.



2.4 Gestión de cultivos

Desde esta pantalla se podrá acceder a los distintos módulos de la aplicación:

- Necesidades de riego
- Estado del cultivo
- Datos meteo
- Predicción meteorológica
- Mi cultivo
- Imágenes satélite
- Editar cultivo
- Eliminar cultivo



En los cultivos históricos, las opciones a las que se pueden acceder son:

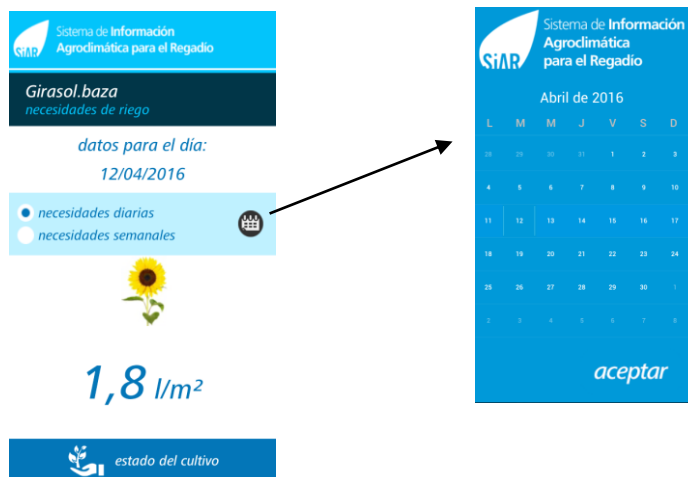
- Información del cultivo
- Localización del cultivo
- Aportaciones hídricas
- Gráficas
- Descarga de datos a través del correo electrónico
- Eliminar cultivo



2.5 Necesidades de riego

Permite consultar las necesidades de riego tanto diarias como semanales, calculadas mediante la diferencia entre las necesidades del cultivo del día con las del día anterior.

Por defecto aparecen las necesidades hídricas del día actual, pudiendo consultar las necesidades de cualquier otro día o semana desde que se creó el cultivo, a través del calendario.



Los datos de las necesidades de riego se calculan durante la madrugada y se consolidan a las 10:00 AM tras los procesos de validación de datos.

En caso de no disponer datos de la estación asignada, las necesidades se calcularán con los datos de la siguiente estación más cercana.

2.6 Estado del cultivo

Módulo que permite gestionar su parcela. Permite consultar las necesidades de riego del cultivo seleccionado teniendo en cuenta el estado del suelo a lo largo del tiempo, precipitaciones y los riegos

aportados. También permite gestionar el riego y realizar consultas gráficas del estado del cultivo y las aportaciones hídricas realizadas.

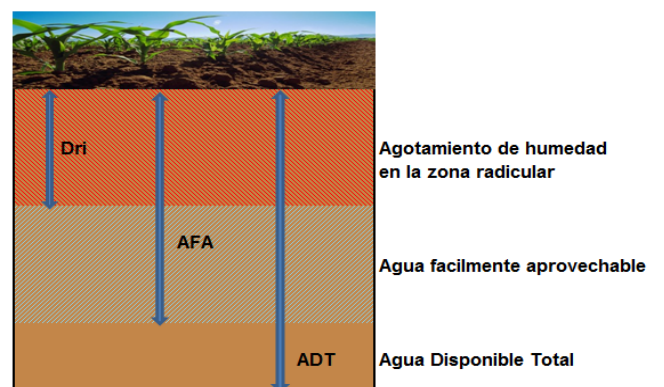
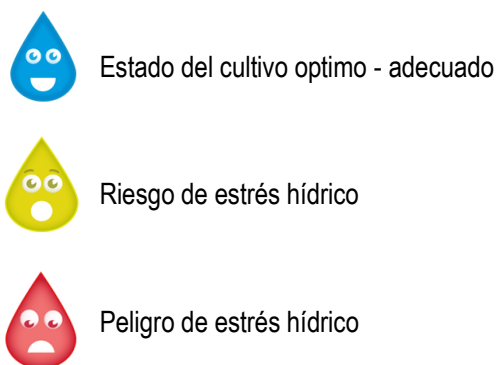
El suelo se considera que se encuentra en tempero en el momento de creación del cultivo. El tiempo de riego necesario se mostrará siempre y cuando se haya configurado el riego para el cultivo seleccionado.

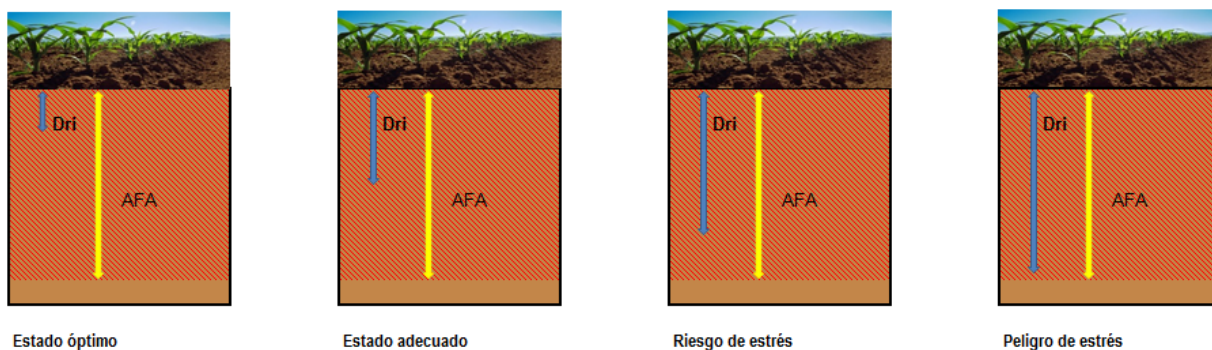


El estado de humedad del suelo se muestra en forma de porcentaje y representa la relación entre el agua disponible total ADT y agotamiento de agua Dri. La programación se hará observando el valor del Dri y comparandolo con el valor AFA. El estado hídrico del cultivo se muestra en forma de color y representa el nivel de agotamiento porcentual mediante la relación entre el Dri y el AFA.

El estado del riesgo hídrico del cultivo se muestra en forma de color, y representa la relación entre el Dri y el AFA.

- Estado óptimo (gota azul): entre 0% y 25%
- Estado adecuado (gota azul): entre 25% y 50%
- Riesgo de estrés (gota amarilla): entre 50% y 85%
- Peligro de estrés (gota roja): > 85%





La aplicación permite al usuario poder activar un aviso en su terminal cuando el cultivo varíe su estado de riesgo hídrico.

Cuando el agotamiento de humedad en la zona radicular es mayor que el agua fácilmente aprovechable, aparecerá un mensaje avisando al usuario que es recomendable regar.

A través de esta pantalla se podrá también:

- Configurar el sistema de riego
- Introducir los riegos aportados al cultivo
- Ver y modificar las aportaciones de lluvia y riegos, acumulados desde la siembra del cultivo.
- Visualizar gráficas del estado del suelo, aportaciones hídricas

2.6.1. Configuración del sistema de riego

En el caso de cultivos herbáceos se configurará:

- Caudal
- Superficie

Para los cultivos leñosos con riego por goteo o micro aspersión, se configurará:

- Caudal por gotero o micro aspersor
- Nº de goteros o micro aspersores por planta

En el caso de riego por superficie únicamente se configurará el caudal.



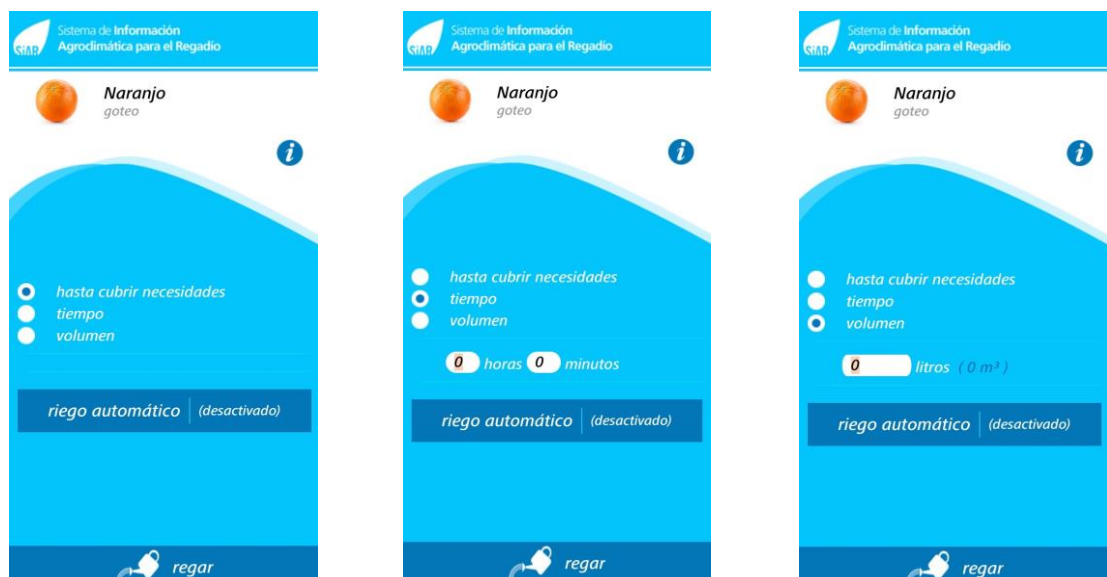
Una vez configurado el sistema de riego, a través del botón “Ver info riego” podemos ver las características del riego, además de aparecer el tiempo de riego necesario en la pantalla principal del módulo “Estado del cultivo”.


2.6.2. Aportaciones de riego

Las aportaciones de riego aportadas al cultivo por el usuario, se introducirán mediante el botón “regar”.

Existen tres opciones de riego:

- Hasta cubrir necesidades: la cantidad de riego aportado corresponde con las necesidades hídricas del cultivo
- Por tiempo: introducción de las horas y minutos de riego
- Por volumen: litros de agua aportados



Pulsando sobre el botón  se obtendrá información sobre el volumen o tiempo necesario de riego.

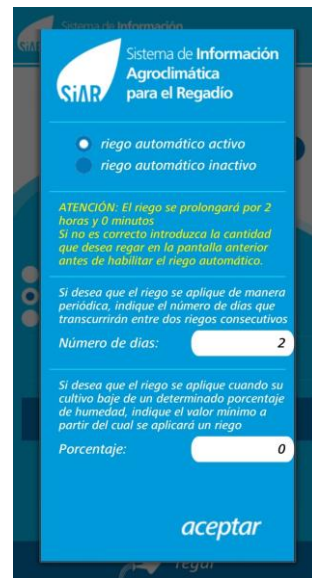
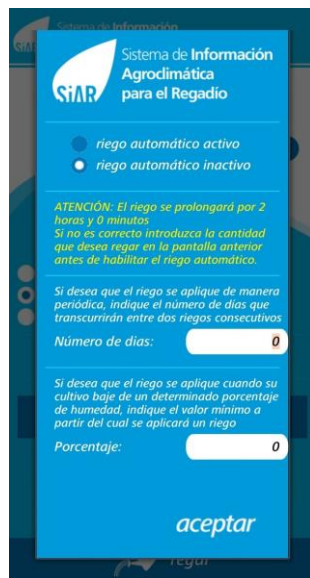
Para poder introducir los riegos aportados por tiempo o volumen, previamente será necesario configurar el tipo de riego.

La eliminación de riegos introducidos por error se podrá realizar en la sección “Aportaciones hídricas acumuladas”.

La aplicación permite también configurar el riego de forma automática, para ello se pulsará en el botón:



La configuración del riego automático, tomará los datos de la pantalla principal “Regar”, una vez introducidos estos datos, podremos seleccionar la frecuencia con la que se quiere regar el cultivo o bien el porcentaje de humedad a partir del cual se regará el cultivo.




En este ejemplo, se regará automáticamente el cultivo de naranja, durante un periodo de dos horas cada dos días.

2.6.3. Aportaciones hídricas

En esta sección el usuario puede consultar y modificar las aportaciones hídricas tanto acumuladas, como semanales y diarias de lluvia efectiva y riegos aportados, desde el inicio del cultivo. Para consultar las aportaciones semanales o diarias será necesario seleccionar, a través del calendario, una fecha concreta.


Eliminación de riegos introducidos


Para la eliminación de un riego introducido será necesario seleccionar el día en el que se ha introducido el riego y pulsaremos sobre el botón eliminar . Una vez eliminado el riego aportado, se recalcularán las necesidades de riego para el cultivo.

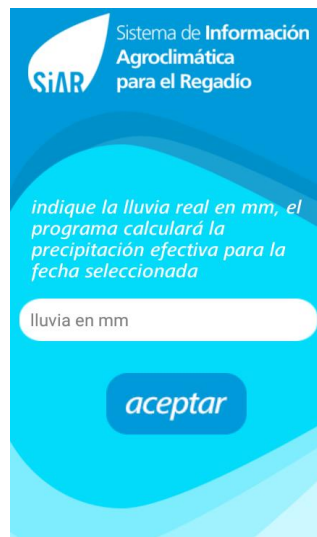


Modificación de la lluvia efectiva

Con el fin de personalizar aún más el cálculo de las necesidades de riego, la lluvia registrada por la estación asociada a una parcela puede ser modificada por el usuario, ya que en ocasiones el fenómeno de la lluvia es muy localizado.

Para modificar los datos de lluvia, se seleccionará el día en el cual queremos realizar la modificación, siempre y cuando se encuentre dentro de los últimos 15 días, y pulsaremos sobre el botón , posteriormente se introducirá la lluvia real en milímetros, que se ha producido en la parcela. La aplicación calculará la lluvia efectiva a partir del dato introducido y recalculará las necesidades de riego del cultivo.

Para deshacer la lluvia introducida por el usuario y volver a la lluvia efectiva aportada por la estación SiAR, para un día en concreto, se pulsará sobre el botón eliminar lluvia efectiva .



2.6.4. Gráficos

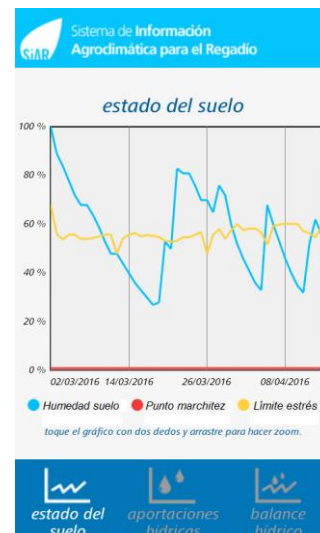
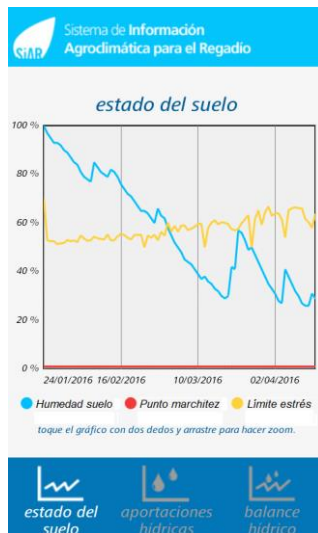
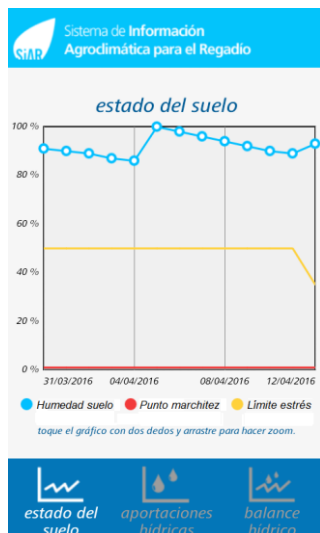
Los gráficos que se pueden consultar son:

- Estado del suelo
- Aportaciones hídricas
- Estado y aportaciones

Todos los gráficos son interactivos, pudiendo hacer zoom sobre ellos.

Estado del suelo

Representa el contenido de humedad del suelo, el límite de estrés del cultivo y el punto de marchitez del cultivo.



El agua disponible total (ADT) se encuentra representada entre el 0 y el 100%.

El agua fácilmente aprovechable (AFA) se corresponde con la línea de límite de estrés (amarilla)

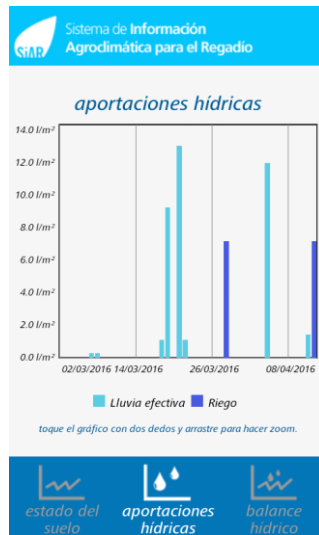
El agotamiento de humedad en la zona radicular, representado por la línea de humedad suelo (azul), muestra cómo se agota el agua desde la capacidad de campo (100%).

El porcentaje 0% es el punto de marchitez del cultivo.

Siempre que el contenido de humedad se encuentre por debajo del límite de estrés, es necesario regar el cultivo.

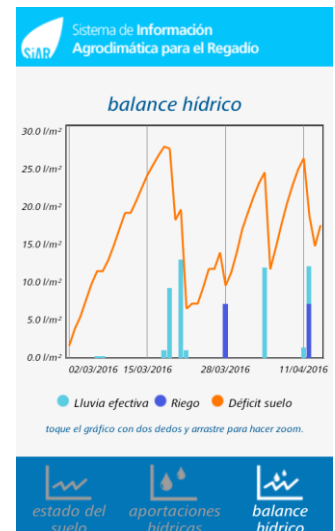
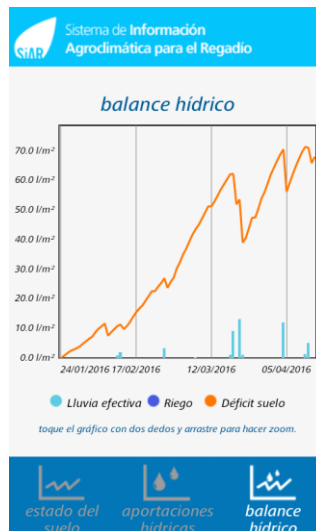
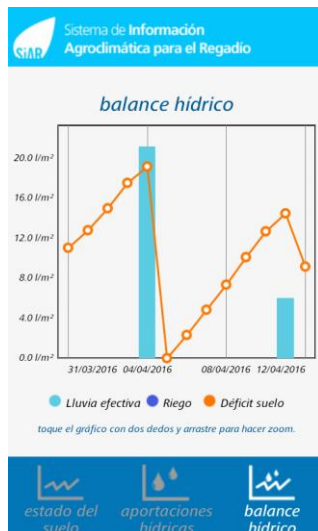
Aportaciones

Representa las aportaciones de agua que se han realizado al suelo, tanto por riego como por lluvia efectiva.




Balance hídrico

Representa el déficit de agua del suelo junto con la precipitación efectiva y los riegos aportados.



2.6.5. Descarga de datos del estado del cultivo

SiAR app permite la descarga, a través del correo electrónico facilitado en el alta de usuario, de los datos del balance hídrico del cultivo, en formato Excel.

Para realizar la descarga de datos se pulsará sobre el botón  y una vez confirmado el envío, se recibirá un correo electrónico con el archivo de datos adjunto, desde que se dio de alta el cultivo.

2.7 Datos meteorológicos

Muestra el último dato medio horario, registrado por la estación asignada a la parcela, y permite la consulta de datos diarios.

Las variables meteorológicas medio horarias mostradas son:

- Temperatura del aire
- Humedad del aire
- Velocidad de viento
- Radiación
- Pluviometría actual y acumulada del día



Para facilitar la comprensión de los datos por parte de los usuarios, estos se mostrarán en hora local.

Las variables meteorológicas diarias mostradas son:

- Temperatura máxima
- Temperatura mínima
- Pluviometría
- Velocidad de viento



Para consultar los datos diarios, de la estación asignada, se seleccionará el día que se desea consultar a través del calendario.

2.8 Predicción meteorológica

Acceso a la predicción meteorológica facilitada por AEMET para los siguientes 5 días, los datos de predicción ofrecidos son:

- Probabilidad de lluvia
- Temperatura máxima
- Temperatura mínima
- Velocidad del viento



La aplicación permite al usuario poder activar avisos meteorológicos basados en la predicción meteorológica, pudiendo configurar los límites, superior o inferior de las distintas variables, a partir de los cuales se activarán los avisos.

Sistema de Información Agroclimática para el Regadío

avisos meteorológicos configuración

probabilidad de lluvia superior a: 80 %

temperatura máxima superior a: 30 °C

temperatura mínima inferior a: 10 °C

velocidad del viento superior a: 3 m/s

guardar avisos

2.9 Mi cultivo

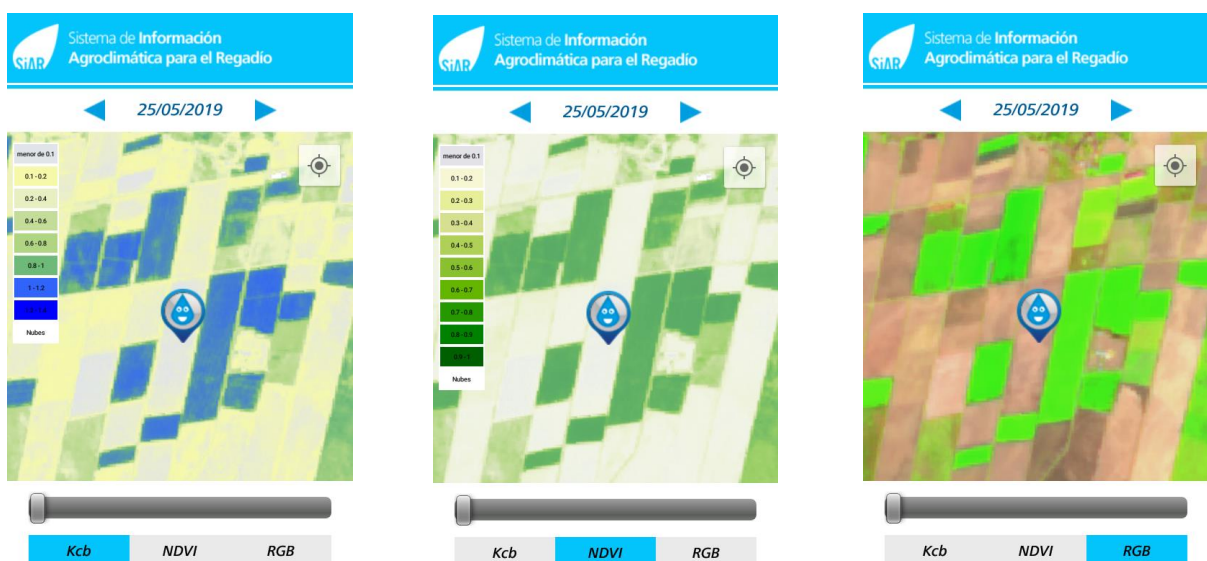
Muestra un resumen con las características configuradas para el cultivo junto con un mapa de situación de la parcela.



2.10 Imágenes satélite

Acceso a las imágenes proporcionadas por los satélites Sentinel 2A y 2B donde se podrán visualizar los productos Kcb, NDVI y RGB para la parcela donde se encuentra el cultivo.

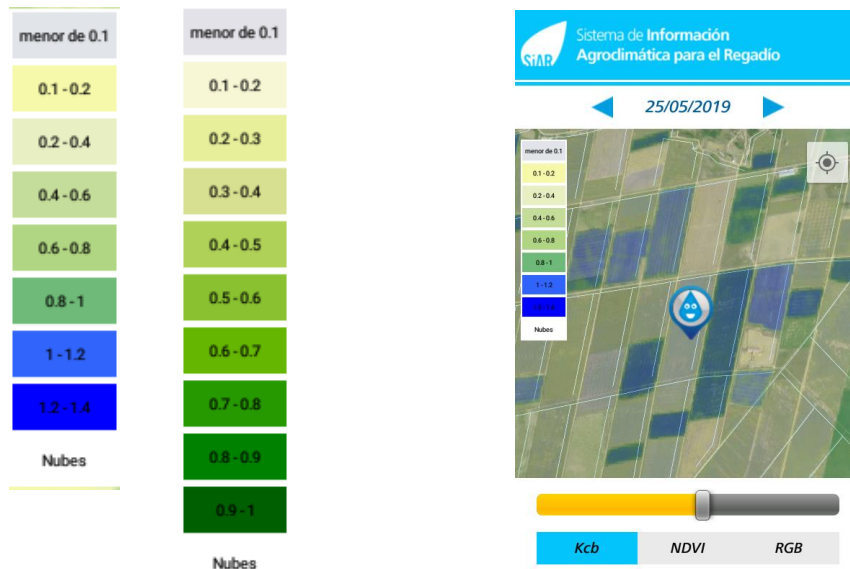
- Kcb: Coeficiente basal del cultivo
- NDVI: Índice de vegetación de diferencia normalizada
- RGB: Imagen satélite en falso color



A través de las flechas, se podrá navegar por las distintas fechas donde existan imágenes.



En la parte izquierda de la pantalla se podrá ver la leyenda de colores para las imágenes de Kcb y NDVI.



Mediante la barra de control de transparencia podremos aumentar o disminuir la transparencia de las imágenes.

2.11 Editar cultivo

Permite editar algunas de las características configuradas del cultivo.

Las características editables son las siguientes:

- Nombre del cultivo
- Tipo de riego
- Tipo de suelo
- Unidades de medida
- Etapa de desarrollo (herbáceos)
- Superficie (leñosos)
- Marco de plantación (leñosos)
- Diámetro de copa (leñosos)

The screenshot shows two crop cards. The first card is for 'Girasol' (sunflower) and the second is for 'manzano' (apple). Both cards show the following information:

- Nombre del cultivo: Girasol / manzano
- Tipo de riego: goteo
- Tipo de suelo: franco
- Unidades de medida: volumen l/m², superficie m², caudal l/s
- Etapas de desarrollo (días): inicio 25, desarrollo 35, medio 45, fin 25
- Configuración cultivo: Superficie: 10000, Marco de plantación (m²): 42, Diámetro de copa (m): 3,0
- Guardar cultivo button

Los cambios únicamente afectarán a partir del momento en el que se realicen, los datos calculados anteriores se mantendrán.

2.12 Eliminar cultivo

Elimina el cultivo del perfil del usuario.

2.13 Widget

La aplicación dispone de un Widget para consultar de una manera rápida y sencilla el estado de los cultivos del usuario.

Mediante las flechas, el usuario puede navegar por los distintos cultivos dados de alta, mostrándose el estado de la parcela y la gota que indica el riesgo de estrés.



3 Parámetros de cálculo

En campos bien manejados, las condiciones reales generalmente se asemejan a las condiciones estándar. El valor de ET_c calculado hasta ahora representa la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar de campo.

En los casos donde las condiciones encontradas en el campo difieran de las condiciones estándar se requerirá de correcciones del valor de ET_c . Condiciones de falta de agua en el suelo pueden reducir la absorción del agua y limitar la evapotranspiración del cultivo.

Los efectos ambientales se incorporan a través del coeficiente de estrés y ajustando el valor de K_c a las condiciones de campo.

Cuando se producen limitaciones debido a la disponibilidad de agua en el suelo, $K_s < 1$. Cuando no existan condiciones de estrés por falta de humedad del suelo, $K_s = 1$.

El coeficiente K_s describe el efecto del estrés hídrico en la transpiración del cultivo. Cuando se utiliza el coeficiente único del cultivo, el efecto del estrés hídrico se incorpora en el valor de K_c de la siguiente forma:

$$ET_{caj} = K_s \cdot K_c \cdot ET_o$$

Para cultivos herbáceos, la aplicación utiliza los coeficientes de K_c procedentes de la guía FAO 56 e integran los efectos de la transpiración y la evaporación en el tiempo. El efecto de esta integración en el tiempo representa una frecuencia de humedecimiento promedio para un cultivo estándar bajo condiciones típicas de desarrollo bajo riego. Estos valores generales de K_c consideran un manejo típico del riego y humedecimiento del suelo (K_c ini) y un clima sub-húmedo con una humedad relativa mínima promedio HR_{min} de alrededor 45 % y con velocidades del viento suaves a moderadas, promediando 2 m s⁻¹ (K_c med, K_c fin).

Para cultivos leñosos, la aplicación utiliza valores de K_c mensuales ajustados por comarca agraria.

Los valores de ET_o son calculados mediante la ecuación de Penman-Monteith a través de los datos obtenidos por las estaciones de la red SiAR, para más información consulte www.siar.es

3.1 Disponibilidad de agua en el suelo

3.1.6. Agua disponible total (ADT)

La disponibilidad de agua en el suelo se refiere a la capacidad de un suelo de retener el agua disponible para las plantas. Después de una lluvia importante o riego, el suelo comenzará a drenar agua hasta alcanzar la capacidad de campo.

Debido a que contenidos de humedad por encima de la capacidad de campo no pueden ser retenidos en contra de las fuerzas de gravedad y son drenados, y debido a que contenidos de humedad por debajo del punto de marchitez permanente no pueden ser extraídos por las raíces de las plantas, el total de agua disponible en la zona radicular será la diferencia entre los contenidos de humedad a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente:

$$ADT = 1000 \cdot (\theta_{FC} - \theta_{WP}) \cdot Z_r$$

Donde:

ADT: total de agua disponible en la zona radicular del suelo (mm)

θ_{FC} : contenido de humedad volumétrica a capacidad de campo ($m^3 m^{-3}$)

θ_{WP} : contenido de humedad volumétrica en el punto de marchitez permanente ($m^3 m^{-3}$)

Z_r : profundidad de raíces (m)

La lámina ADT representa la cantidad de agua que un cultivo puede extraer de su zona radicular y cuya magnitud depende del tipo de suelo y la profundidad radicular. En el Cuadro 19 publicado en la Guía FAO 56 se presentan valores típicos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente para varias texturas de suelos.

En el Cuadro 22 se presentan valores máximos de la profundidad radicular para varios cultivos. Hay varios métodos de interpolación para determinar la profundidad de raíz en cada momento, pero, dado que los parámetros de K_{cb} y J_{inicio} y $J_{máx}$ no van a ser utilizados en estos cálculos, se debe asumir que la profundidad mínima es de 0,15 m, la máxima es la reflejada en el Cuadro y que se realiza interpolación entre estos valores desde la etapa de cultivo inicial hasta la etapa de mediados de temporada (no incluida).

3.1.7. Agua fácilmente aprovechable (AFA)

A pesar de que en teoría existe agua disponible hasta alcanzar el punto de marchitez permanente, la cantidad de agua extraída por el cultivo se reducirá significativamente antes de alcanzar el punto de marchitez permanente. Cuando el suelo contiene suficiente humedad, el mismo es capaz de suministrar el agua con suficiente velocidad para satisfacer la demanda atmosférica al cultivo, por lo que la extracción del agua será igual a la ET_c . A medida que disminuya la cantidad de humedad en el suelo, el agua será retenida más fuertemente a la matriz del suelo y será más difícil de extraer.

Cuando el contenido de humedad del suelo esté por debajo de cierto valor umbral, el agua del suelo no podrá ser transportada hacia las raíces con la velocidad suficiente para satisfacer la demanda transpiratoria y el cultivo comenzará a sufrir de estrés. La fracción de ADT que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin experimentar estrés hídrico es denominada agua fácilmente aprovechable en el suelo:

$$AFA = p \cdot ADT$$

Donde:

AFA: agua fácilmente aprovechable (extraíble) de la zona radicular del suelo (mm)

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 (0 – 1)

En el Cuadro 22 (FAO 56) se presentan los valores de p. El factor p varía de un cultivo a otro. El factor p varía normalmente entre 0,30 para plantas de raíces poco profundas, a tasas altas de ETc (> 8 mm d-1), hasta 0,70 para plantas de raíces profundas y tasas bajas de ETc (< 3 mm d-1). Un valor de 0,50 para p es utilizado comúnmente para una gran variedad de cultivos.

Generalmente se utiliza un valor constante de p para cada período específico de desarrollo, en lugar de variar su valor para cada día. Una aproximación numérica para ajustar el valor de p de acuerdo a la tasa de ETc es $p = p_{\text{Cuadro 22}} + 0,04 (5 - ETc)$ donde el valor ajustado de p es limitado a $0,1 \leq p \leq 0,8$ y el valor de ETc es en mm día-1.

En general, se puede establecer que para suelos de textura fina (arcilla) los valores de p indicados en el Cuadro 22 pueden ser reducidos en un 5-10%, mientras para suelos de textura más pesada (arenosos), estos pueden incrementarse en un 5-10%.

3.2 Coeficiente de estrés hídrico (Ks)

Los efectos del estrés hídrico sobre el valor de la ET del cultivo se reflejan mediante la reducción del valor del coeficiente del cultivo. Esto se logra al multiplicar el valor del coeficiente del cultivo por el coeficiente de estrés hídrico Ks.

El contenido de humedad en la zona radicular puede ser expresado en función del agotamiento de humedad en la zona radicular, Dr, es decir la cantidad de agua faltante con respecto a la capacidad de campo. En capacidad de campo, el agotamiento en la zona radicular es igual a cero (Dr= 0). Cuando se produce la extracción del agua a través de la evapotranspiración, aumentará el agotamiento de humedad y se iniciarán las situaciones de estrés cuando el valor de Dr sea igual a AFA. Después de que el agotamiento en la zona radicular exceda a AFA, el agotamiento del agua será lo suficientemente alto como para limitar la evapotranspiración a valores menores que su potencial, por lo que la evapotranspiración del cultivo comenzará a disminuir en proporción a la cantidad de agua remanente en la zona radicular.

Para $D_r > AFA$, Ks es calculado como:

$$K_s = \frac{ADT - D_r}{ADT - AFA} = \frac{ADT - D_r}{(1 - p) \cdot ADT}$$

Donde:

K_s: coeficiente de estrés hídrico, factor adimensional. Su valor oscila entre 0 y 1.

D_r: agotamiento de humedad en la zona radicular (mm)

ADT: agua disponible total en la zona radicular del suelo (mm)

p: fracción de la ADT que en un cultivo puede extraer de la zona radicular sin sufrir estrés hídrico (-)

Después de calcular el valor de K_s, se calcula la evapotranspiración ajustada del cultivo en condiciones no estándar ET_{c aj}, dependiendo de los coeficientes utilizados para determinar la evapotranspiración. Cuando el agotamiento en la zona radicular sea menor que AFA, K_s = 1.

3.3 Balance de agua del suelo

La estimación de K_s requiere del cálculo de un balance diario de humedad para la zona radicular del suelo. La lluvia, el riego y el ascenso capilar del agua subterránea hacia la zona radicular son procesos que añaden agua a la zona radicular y disminuyen el agotamiento de humedad en la zona radicular.

Por otra parte, los procesos de evaporación, transpiración del cultivo y las pérdidas por percolación remueven agua de la zona radicular y aumentan el agotamiento de la humedad del suelo. El balance diario del agua en la zona radicular del suelo, expresado en términos de agotamiento al final del día, es por lo tanto:

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P - RO)_i - I_i - CR_i + ET_{c,i} + DP_i$$

Donde:

D_{r,i}: agotamiento de humedad en la zona radicular del suelo al final del día i (mm)

D_{r,i-1}: contenido de humedad en la zona radicular al final del día anterior, i-1 (mm)

P_i: precipitación en el día (mm)

RO_i: escurrimiento superficial en el día i (mm)

I_i: lamina neta de riego en el día i que infiltra en el suelo (mm)

CR_i: ascenso capilar proveniente de la masa de agua subterránea en el día i (mm)

ET_{c,i}: evapotranspiración del cultivo en el día i (mm)

DP_i: pérdidas de agua en la zona radicular por percolación profunda en el día i (mm)

3.3.1. Límites de $D_{r,i}$

Aunque el contenido de humedad pudiera estar temporalmente por encima de la capacidad de campo, después de una lluvia intensa o riego, se asume que la totalidad del agua por encima de capacidad de campo se pierde el mismo día a través de percolación profunda, después de descontar cualquier ET que ocurra durante el día. Se asume que cuando el suelo está a capacidad de campo, después de una lluvia significativa o riego, el valor mínimo del agotamiento es igual a cero.

Como resultado de la evapotranspiración, el contenido de humedad comenzará a disminuir gradualmente por lo que comenzará a aumentar el agotamiento del agua en la zona radicular. Si no se presenta otro evento de humedecimiento, el contenido de humedad alcanzará gradualmente el valor correspondiente al punto de marchitamiento θ_{wp} . En ese momento no existirá agua disponible para evapotranspiración en la zona radicular, el valor de K_s será igual a cero, y se alcanzará el valor máximo del agotamiento de humedad en la zona radicular, o sea ADT. Por lo tanto, los límites de $D_{r,i}$ serán los siguientes:

$$0 \leq D_{r,i} \leq ADT$$

3.3.2. Agotamiento inicial

Para iniciar el balance de humedad, es necesario estimar el agotamiento inicial $D_{r,i-1}$. El agotamiento inicial puede ser estimado a través de mediciones del contenido de humedad del suelo de la siguiente forma:

$$D_{r,i-1} = 1000 \cdot (\theta_{FC} - \theta_{i-1}) \cdot Z_r$$

Dónde $D_{r,i-1}$ es el contenido de humedad promedio en la profundidad efectiva de la zona radicular. Después de una lluvia intensa o riego, el usuario puede asumir que el contenido de humedad en la zona radicular está cerca de la capacidad de campo, o sea, $D_{r,i-1} \approx 0$.

En el caso de la APP SiAR el inicio del balance se hace partiendo de la idea que el suelo está húmedo y en capacidad de campo. No obstante, para evitar que el valor inicial sea cero se contempla que el valor inicial sea el de ETc (como el suelo está a CC el $K_s=1$)

Se asume que el riego y la lluvia ocurren temprano en el día, por tanto:

$$D_{r,i \text{ ini}} = \text{Max}(D_{r,i-1 \text{ final}} - I - (P-RO), \text{ ó } 0)$$

3.3.3. Precipitación (P), Escurrimiento superficial (RO) y Riego (I)

La precipitación efectiva se ha calculado mediante el método elaborado por el Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura de Estados Unidos. Para más información consulte www.siar.es

La cantidad de precipitación que se pierde por escurrimiento superficial (RO) ya es tomada en cuenta en el valor facilitado de precipitación efectiva.

3.3.4. Ascenso capilar (CR)

La cantidad de agua que se mueve hacia arriba por ascenso capilar, desde la capa freática hacia la zona radicular, dependerá del tipo de suelo, la profundidad del nivel freático y el contenido de humedad en la zona radicular. Se asume normalmente que el valor de CR es igual a cero cuando el nivel freático se encuentra a más de 1 m por debajo de la zona radicular. En los cálculos aquí descritos se determina que no hay aportes por ascenso capilar, lo que supone una capa freática a suficiente profundidad.

3.3.5. Evapotranspiración (ET_c)

Cuando el agotamiento del agua del suelo sea menor que AFA, la evapotranspiración del cultivo será:

$$ET_c = K_c \cdot ET_0$$

En el momento que el Dr_i sea mayor que el AFA, la evapotranspiración del cultivo se verá reducida y la ET_c puede ser estimada a través de la ecuación que incorpora el coeficiente de estrés hídrico.

3.3.6. Percolación profunda

Después de una lluvia intensa o riego, el contenido de humedad en la zona radicular puede exceder la capacidad de campo. De acuerdo a este procedimiento sencillo, se asume que el contenido de humedad en el suelo será el de capacidad de campo durante el mismo día que ocurra el evento de humedecimiento, por lo que el agotamiento Dr_i será igual a cero. Por lo tanto, después de una lluvia intensa o riego:

$$DP_i = (P_i - RO_i) + I_i - ET_{c,i} - D_{r,i-1} \geq 0$$

En el momento que el contenido de humedad en la zona radicular se encuentre por debajo de capacidad de campo (es decir, $Dr_i > 0$), no existirá drenaje en el suelo y $DP_i = 0$.

3.4 Planificación del riego

Se requiere del riego cuando la cantidad de lluvia sea insuficiente para compensar las pérdidas de agua por evapotranspiración. El objetivo principal del riego es la aplicación del agua en el momento preciso y con la cantidad de agua necesaria. Mediante el cálculo del balance diario del agua presente en

la zona radicular del suelo, se pueden planificar las láminas y los momentos de aplicación del riego. Para evitar el estrés hídrico se debe aplicar el riego antes, o **en el momento**, de agotarse la lámina de agua fácilmente extraíble del suelo ($Dr_i \geq AFA$). Por otra parte, para evitar pérdidas por percolación que puedan producir el lavado de importantes nutrientes de la zona radicular, la lamina neta de riego deberá ser menor o **igual** que el agotamiento de humedad en la zona radicular del suelo ($li \leq Dr_i$).

Nota: El procedimiento usado para determinar el calendario de riego y las consideraciones asumidas podrían no ser siempre apropiadas, dependiendo de las condiciones locales. Por esto el usuario debe modificar el procedimiento de asignación de las fechas de riego para sus propias condiciones, así como los distintos valores necesarios para los cálculos tabulados que pueden ser modificados por el usuario.

3.5 Eficiencia del sistema de riego

No toda el agua que se aporta al suelo con un riego es aprovechada por las raíces del cultivo, sino que parte se pierde por escorrentía y/o filtración profunda. La eficiencia de aplicación del riego (E_a), es precisamente el porcentaje de agua que las raíces aprovechan respecto del total aplicada. Su valor es diferente para cada método de riego (superficie, aspersión y localizado) y dentro de cada uno de ellos, según cada sistema. Sin embargo, se pueden dar algunos valores orientativos como los siguientes:

Sistema de riego	Eficiencia
Goteo	90%
Micro aspersión	85%
Aspersión	80%
Superficial	65%

Por lo tanto, conociendo la eficiencia de aplicación se pueden determinar las necesidades brutas de riego (N_b), o sea, la cantidad real de agua que ha de aplicarse durante el riego para satisfacer las necesidades netas de riego. Se calculan utilizando la siguiente fórmula:

$$Nec.Brutas _ Riego = \frac{Nec.Netas _ Riego}{Eficiencia _ aplicación}$$

3.6 Cálculo de riego aplicado por tiempo y volumen

Las fórmulas utilizadas para el cálculo del riego por tiempo y por volumen son las siguientes:

$$Riego (l / m^2) = \frac{Caudal (l / s) \cdot tiempo (s)}{Superficie (m^2)}$$

$$\text{Riego (l / m}^2\text{)} = \frac{\text{Volumen (l)}}{\text{Superficie (m}^2\text{)}}$$

3.7 Cálculo de necesidades de riego para cultivos leñosos

$$ET_c = ET_o \cdot K_c \cdot K_r$$

El valor de K_r depende de la superficie de suelo cubierta por la copa de los árboles. El coeficiente de sombreo K_r toma valores comprendidos entre 0 (plantación joven) y 1 (plantación adulta).

$$K_r = \frac{2 \cdot S_c}{100}$$

Como K_r no puede superar el valor de la unidad, la expresión anterior solo es aplicable para valores de S_c inferiores al 50 %.

El porcentaje de suelo cubierto (S_c) se calcula en función del diámetro medio de la copa de los árboles a regar (D en metros) y de la densidad de plantación (N árboles/ha), aplicando la expresión:

$$S_c = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot N}{400}$$

4 Definiciones

Evapotranspiración de referencia. ET_0 (mm)

Tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia correspondiente a un cultivo hipotético de pasto con características específicas, que ocurre sin restricciones de agua.

Debido a que hay una abundante disponibilidad de agua en la superficie de evapotranspiración de referencia, los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre evapotranspiración. El relacionar la evapotranspiración a una superficie específica permite contar con una referencia a la cual se puede relacionar la evapotranspiración de otras superficies.

Los únicos factores que afectan a la ET_0 son los parámetros climáticos. Por lo tanto, la ET_0 es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. La ET_0 expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo.

Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar. ET_c (mm)

Evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes.

Coefficiente de cultivo. K_c

El coeficiente de cultivo se utiliza para relacionar la ET_c a la ET_0 , representa las diferencias físicas y fisiológicas entre los cultivos y la definición de cultivo de referencia.

Debido a variaciones en las características del cultivo durante los diferentes periodos de crecimiento, para un determinado cultivo, K_c cambia desde la siembra hasta la cosecha.

Coefficiente de estrés hídrico. K_s

Coefficiente que refleja los efectos del estrés hídrico sobre el valor de la evapotranspiración del cultivo.

Precipitación efectiva. P_e (mm)

Fracción de la precipitación total utilizada para satisfacer las necesidades de agua del cultivo; quedan por tanto excluidas la infiltración profunda, la escorrentía superficial y la evaporación de la superficie del suelo.

Agua disponible total. ADT (mm)

Agua disponible total en la zona radicular del suelo. Representa la cantidad de agua que un cultivo puede extraer de su zona radicular y cuya magnitud depende del tipo de suelo y la profundidad radicular.

Agua fácilmente aprovechable. AFA (mm)

Se denomina agua fácilmente aprovechable en el suelo a la fracción de agua disponible total que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin experimentar estrés hídrico.

Agotamiento inicial. Dri ini (mm)

Agotamiento de la humedad en la zona radicular al inicio del día. Al inicio del balance hídrico se considera que el suelo se encuentra en tempero, es decir con un agotamiento inicial igual a cero.

Agotamiento final. Dri final (mm)

Agotamiento de la humedad en la zona radicular al final del día, tras realizar el balance hídrico del suelo.

Necesidades de riego día. Nec Día (l/m²)

Cantidad de agua que es necesario aportar para compensar las pérdidas de agua que se han producido en el suelo a lo largo del día, teniendo en cuenta la eficiencia del sistema de riego utilizado.

Necesidades de riego del cultivo. Estado del cultivo. Nec Cultivo (l/m²)

Cantidad de agua que es necesario aportar para compensar las pérdidas de agua que se han producido en el suelo a lo largo de todo el ciclo de cultivo, teniendo en cuenta precipitaciones y riegos aportados, con el fin de evitar el estrés hídrico del mismo, teniendo en cuenta la eficiencia del sistema de riego utilizado.

Porcentaje de humedad del suelo. Hum Suelo (%)

Agotamiento de la humedad del suelo, expresada en porcentaje, siendo 100% el suelo en capacidad de campo y 0% el punto de marchitez del cultivo.

Límite de estrés hídrico. Lim. Estrés (%)

Agotamiento de la lámina de agua fácilmente extraíble del suelo, expresada en porcentaje. Para evitar que el cultivo entre en estado de estrés hídrico, se recomienda regar siempre que la humedad del suelo se encuentre por debajo del límite de estrés hídrico.