

# MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA WEB PARA EL CÁLCULO DEL AGUA DE RIEGO

Facundo Paez. Andrés Vidaurre.



Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco  
Desarrollo de Software



## Contenido

1 Visión del proyecto .....	2
1.1 Problemática a resolver.....	2
1.2 Alcance .....	2
1.3 Características funcionales del sistema.....	3
2 Funcionamiento del sistema.....	4
2.1 Acceso al sistema .....	4
2.2 Registro de usuario.....	5
2.3 Restablecimiento de la contraseña .....	5
2.4 Mecanismo de navegación del usuario .....	6
2.5 Mecanismo de navegación del administrador.....	7
3 Necesidad de agua de riego de un cultivo.....	8
3.1 Estados de un registro de plantación .....	8
3.2 Posibles valores de la necesidad de agua de riego de un registro de plantación.....	10
3.3 Cálculo de la necesidad de agua de riego de un cultivo.....	11
3.3.1 Atributos de un balance hídrico de suelo .....	12
3.3.2 Algoritmo del cálculo de la necesidad de agua de riego de un cultivo.....	16
3.3.3 Ejemplo de cálculo de la necesidad de agua de riego de un cultivo .....	19
3.4 Ubicación geográfica de una parcela .....	22
3.5 Creación de un registro de plantación .....	23



## 1 Visión del proyecto

### 1.1 Problemática a resolver

En el campo, la utilización del agua de riego es económicamente costosa y de muy poco acceso, con lo cual ante la necesidad de realizar el riego de los cultivos en las parcelas se necesita optimizar al máximo este recurso.

### 1.2 Alcance

El proyecto a desarrollar consistirá en un sistema web que le permitirá saber al usuario la necesidad o cantidad de agua de riego de un cultivo, medida en milímetros por día, en la fecha actual (es decir, hoy). Dicha necesidad será determinada en función de factores climáticos y terrestres. Los factores climáticos serán obtenidos de los informes climáticos publicados por un servicio meteorológico, mientras que los terrestres serán provistos por el usuario. Los primeros son la temperatura máxima, la temperatura mínima, la precipitación y la radiación solar, entre otros. Los segundos son el cultivo, la ubicación geográfica y el riego de un cultivo.

La necesidad o cantidad de agua para riego de un cultivo se determina a partir de la lámina de agua. La lámina se define como el espesor de la capa de agua con que queda cubierta una superficie luego de una lluvia o riego. En la agricultura la lámina se refiere al espesor de agua en una hectárea y está medida en milímetros. Por ejemplo, una lámina de 1 mm se da de la relación entre 10.000 litros de agua de lluvia o de riego que caen en 1 ha (10.000 m<sup>2</sup>). Por otro lado, la necesidad de agua de un cultivo se estima a partir de la evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>) y un coeficiente dado, específico para cada cultivo y etapa de crecimiento (K<sub>c</sub>). La evapotranspiración potencial se estima a partir de parámetros climatológicos con la ecuación de Hargreaves mientras que los valores de K<sub>c</sub> están dados por tablas. Toda la información para realizar las ecuaciones, así como los coeficientes específicos para cada uno de los cultivos y sus diferentes etapas de crecimiento está desarrollada y puesta a disposición en los manuales de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (manual N°56), abreviada como FAO (*Food and Agriculture Organization*, en inglés). Finalmente, la lámina de riego para cada cultivo se calcula a partir de la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) que surge del producto entre la ET<sub>o</sub> y el K<sub>c</sub> antes descritos.

El sistema proveerá al usuario la creación, la modificación y la eliminación (lógica) de parcelas, la creación, la modificación y la eliminación de registros de plantación, la creación, modificación y eliminación de registros de riego, y la creación, modificación y eliminación de registros climáticos, la generación y eliminación de informes estadísticos de parcelas, y la visualización de los cultivos y suelos registrados. En la creación y modificación de una parcela se brindará un mapa para que el usuario seleccione la ubicación geográfica de una parcela. La ubicación geográfica de una parcela es necesaria para obtener los parámetros meteorológicos a los cuales se encuentra sometida, los cuales son necesarios para calcular la necesidad de agua de riego de un cultivo sembrado en una parcela.

Un informe estadístico de una parcela será un gráfico de barras, el cual podrá ser generado para representar datos estadísticos como la cantidad de ciclos (plantaciones) por cultivo en un período definido por dos fechas y la cantidad de ciclos (plantaciones) por cultivo y año en un período definido por dos fechas, entre otros datos estadísticos que se pueden representar mediante un gráfico de barras.



El sistema tendrá inicio de sesión y registro de usuario, y podrá ser utilizado como administrador. El administrador podrá crear, modificar y eliminar (lógicamente) cultivos, regiones, tipos de cultivo y suelos.

### 1.3 Características funcionales del sistema

- Cálculo de la necesidad o cantidad de agua de riego [mm/día] de un cultivo en la fecha actual (es decir, hoy).
- Creación, modificación y eliminación (lógica) de parcelas.
- Creación, modificación y eliminación de registros de plantación.
- Creación, modificación y eliminación de registros de riego.
- Creación, modificación y eliminación de registros climáticos.
- Creación, modificación y eliminación (lógica) de cultivos.
- Creación, modificación y eliminación (lógica) de regiones.
- Creación, modificación y eliminación (lógica) de tipos de cultivo.
- Creación, modificación y eliminación (lógica) de suelos.
- Generación y eliminación de informes estadísticos de parcelas.
- Registro (*sign up* en inglés) e ingreso (*log in* en inglés) de usuario.
- Ingreso (*log in* en inglés) como administrador.



## 2 Funcionamiento del sistema

### 2.1 Acceso al sistema

Para iniciar sesión en el sistema se debe acceder a la página web del siguiente URL: <http://localhost:8080/swcar/#!/>. Cuando se accede a este URL se despliega una página web que tiene un campo para el nombre de usuario y un campo para la contraseña. La figura 2.1 muestra dichos campos. Para iniciar sesión el usuario debe ingresar su nombre de usuario y contraseña, y presionar el botón Iniciar sesión.

The image shows a login form with the following elements:

- A label "Nombre de usuario" above a text input field containing the placeholder text "Ej.: JaneDoe".
- A label "Contraseña" above a text input field containing the placeholder text "Contraseña ultra secreta".
- A green button labeled "Iniciar sesión" below the password field.
- A green button labeled "Recuperar contraseña" below the "Iniciar sesión" button.

**Figura 2.1** Página web de inicio de sesión

El sistema puede ser utilizado como administrador. Para iniciar sesión en el sistema como administrador se debe acceder a la página web del siguiente URL: <http://localhost:8080/swcar/#!/admin>. Cuando se accede a este URL se despliega una página web que tiene un campo para el nombre de usuario y un campo para la contraseña. Cuando el usuario ingresa su nombre de usuario y su contraseña, y presiona el botón Iniciar sesión, el sistema verifica si el usuario tiene permiso de administrador. Si el usuario tiene permiso de administrador, el sistema permite el acceso. De lo contrario, deniega el acceso.



## 2.2 Registro de usuario

El sistema tiene un formulario para el registro (*sign up* en inglés) de usuario. La figura 2.2 muestra dicho formulario. Para que un usuario pueda registrarse debe presionar el botón Registrarse de la barra superior de la página web del URL [http://localhost:8080/swcar/#!/. Al realizar esta acción se despliega la página web que se muestra a continuación.](http://localhost:8080/swcar/#!/)

Nombre de usuario	<input type="text" value="Ej.: JaneDoe99"/>
Nombre	<input type="text" value="Ej.: Jane"/>
Apellido	<input type="text" value="Ej.: Houston"/>
Correo electrónico	<input type="text" value="Ej.: jane99@gmail.com"/>
Contraseña	<input type="password" value="Clave súper secreta"/>
Confirmar contraseña	<input type="password"/>
<input type="button" value="Registrarse"/> <input type="button" value="Cancelar"/>	

**Figura 2.2** Formulario de registro de usuario

## 2.3 Restablecimiento de la contraseña

Si el usuario olvida la contraseña de su cuenta, la aplicación brinda la funcionalidad de restablecimiento o recuperación de la contraseña. Para que el usuario restablezca la contraseña de su cuenta debe pulsar el botón Recuperar contraseña en la página web de inicio de sesión.

Cuando se presiona el botón Recuperar contraseña se despliega una página web que tiene un campo para una dirección de correo electrónico, la cual debe ser la que utilizó el usuario para registrarse. La figura 2.3 muestra dicha página web. Cuando se completa este campo y se presiona el botón Aceptar, el sistema verifica que la dirección de correo electrónico ingresada esté bien formada y que pertenezca a un usuario registrado. Si la dirección de correo electrónico está bien formada y pertenece a un usuario registrado, el sistema envía a la misma un correo electrónico que tiene un enlace para el restablecimiento de la contraseña.

Correo electrónico	<input type="text" value="Ej.: jane99@gmail.com"/>
<input type="button" value="Aceptar"/> <input type="button" value="Cancelar"/>	

**Figura 2.3** Campo utilizado para el restablecimiento de la contraseña

Un enlace de restablecimiento de contraseña tiene un tiempo de validez de 60 minutos. Por lo tanto, el usuario tiene 60 minutos para restablecer la contraseña de su cuenta desde que el sistema envía un correo electrónico de restablecimiento de contraseña.



## 2.4 Mecanismo de navegación del usuario

El mecanismo de navegación del sistema para el usuario es una barra de navegación mediante la cual el usuario puede acceder a las parcelas, las plantaciones, los riegos, los registros climáticos, los balances hídricos de suelo, los informes estadísticos, los cultivos y los suelos.

Parcelas Plantaciones Riegos Regs. climáticos Balans. H2O Infos. estads. Rends. Cults. Suelos Cerrar sesión					
Mi cuenta					
ID	Nombre de usuario	Nombre	Apellido	Dirección de correo electrónico	Permiso de administrador
2	jane	Jane	Doe	jane@eservice.com	Sí
					<a href="#">Modificar contraseña</a>

**Figura 2.4** Mecanismo de navegación del usuario

Parcelas: Muestra una lista que contiene las parcelas del usuario junto con los siguientes datos de cada parcela: ID, nombre, hectáreas, suelo y activa.

Plantaciones: Muestra una lista que contiene los registros de plantación de las parcelas del usuario junto con los siguientes datos de cada registro de plantación: ID, parcela, cultivo, fecha de siembra, fecha de cosecha, capacidad de almacenamiento de agua del suelo, umbral de riego, necesidad de agua de riego de cultivo (hoy) y estado del cultivo.

Riegos: Muestra una lista que contiene los registros de riego de las parcelas del usuario junto con los siguientes datos de cada registro de riego: ID, fecha, parcela, cultivo y riego realizado.

Registros climáticos: Muestra una lista que contiene los registros climáticos de las parcelas del usuario junto con los siguientes datos de cada registro climático: ID, fecha, parcela, precipitación, ETc y ETo.

Balances hídricos: Muestra una lista que contiene los balances hídricos de suelo de las parcelas del usuario junto con los siguientes datos de cada balance hídrico de suelo: ID, fecha, nombre de parcela, nombre de cultivo, precipitación (artificial y/o natural), pérdida de humedad o agua del suelo (determinada por la ETc), déficit de agua por día y déficit acumulado de agua por día.

Rendimientos: Muestra una lista que contiene los rendimientos (cantidades cosechadas de cultivos) de las parcelas del usuario junto con los siguientes datos de cada rendimiento: ID, fecha de cosecha, parcela, cultivo y cantidad cosechada.

Informes estadísticos: Muestra una lista que contiene los informes estadísticos de las parcelas del usuario junto con los siguientes datos de cada informe estadístico: ID, parcela, fecha desde, fecha hasta y dato estadístico.


Cultivos: Muestra una lista que contiene los cultivos registrados en la aplicación junto con los siguientes datos de cada cultivo: ID, nombre, etapa inicial (días), etapa de desarrollo (días), etapa media (días), etapa final (días), ciclo de vida (días), mes de inicio de siembra, mes de fin de siembra, región y activo.



**Suelos:** Muestra una lista que contiene todos los suelos registrados en la aplicación junto con los siguientes datos de cada suelo: ID, nombre, peso específico aparente (medido en gramos por centímetro cúbico), capacidad de campo (medida en gramos de agua cada 100 gramos de suelo), punto de marchitez permanente (medido en gramos de agua cada 100 gramos de suelo) y activo.

## 2.5 Mecanismo de navegación del administrador

El mecanismo de navegación del sistema para el administrador es una barra de navegación mediante la cual el administrador puede acceder a los cultivos, los suelos, las regiones y los tipos de cultivos.

Cuenta Cultivos Suelos Regiones Tipos de cultivo Cerrar sesión					
Mi cuenta					
ID	Nombre de usuario	Nombre	Apellido	Dirección de correo electrónico	Permiso de administrador
2	jane	Jane	Doe	jane@eservice.com	Sí
					 Modificar contraseña

**Figura 2.5** Mecanismo de navegación del administrador

**Cultivos:** Al igual que para el mecanismo de navegación del usuario, muestra una lista que contiene todos los cultivos registrados en la aplicación junto con sus respectivos datos. La diferencia está en que el administrador puede leer y modificar un cultivo mientras que el usuario solo puede leerlo.

**Suelos:** Al igual que para el mecanismo de navegación del usuario, muestra una lista que contiene todos los suelos registrados en la aplicación junto con sus respectivos datos. La diferencia está en que el administrador puede leer y modificar un suelo mientras que el usuario solo puede leerlo.

**Regiones:** Muestra una lista que contiene todas las regiones registradas en la aplicación junto con los siguientes datos de cada región: ID, nombre y activo.

**Tipos de cultivos:** Muestra una lista que contiene todos los tipos de cultivos registrados en la aplicación junto con los siguientes datos de cada tipo de cultivo: ID, nombre y activo.





### 3 Necesidad de agua de riego de un cultivo

El sistema calcula para la fecha actual (es decir, hoy) la necesidad de agua de riego [mm/día] de un cultivo en desarrollo. Realiza este cálculo para un registro de plantación que tiene un estado de desarrollo (en desarrollo, desarrollo óptimo, desarrollo en riesgo de marchitez y desarrollo en marchitez). En las siguientes subsecciones se explican detalles del sistema relacionados al cálculo de la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual.

#### 3.1 Estados de un registro de plantación

Los estados de un registro de plantación son los siguientes:

- Finalizado.
- En desarrollo.
- En espera.
- Desarrollo óptimo.
- Desarrollo en riesgo de marchitez.
- Desarrollo en marchitez.
- Muerto.

Un registro de plantación representa la existencia de la siembra de un cultivo en una parcela. Por lo tanto, los estados de un registro de plantación son los estados de un cultivo. El estado “Finalizado” representa que un cultivo fue sembrado y cosechado. Un estado de desarrollo representa que un cultivo está sembrado y en proceso de desarrollo o maduración. El estado “En espera” representa la planificación de la futura siembra de un cultivo. El estado “Muerto” representa la muerte de un cultivo.

Un registro de plantación utiliza los estados “Desarrollo óptimo”, “Desarrollo en riesgo de marchitez”, “Desarrollo en marchitez” y “Muerto” cuando la bandera suelo de las opciones de la parcela, a la que pertenece, está activa. Para activar o desactivar esta bandera se debe acceder al formulario de opciones de una parcela: *Parcelas > Opciones > Utilizar suelo para calcular la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual [mm/día]*. Si la bandera suelo de las opciones de una parcela no está activa, un registro de plantación utiliza el estado “En desarrollo”. En la sección 3.3 se explica el motivo de esta bandera. Los estados “Finalizado” y “En espera” son utilizados por un registro de plantación independientemente de si la bandera suelo de las opciones de la parcela, a la que pertenece, está activa o no.

La evolución del estado de un registro de plantación depende de su fecha de siembra y su fecha de cosecha, pero también depende del nivel de humedad del suelo si se utiliza la bandera suelo de las opciones de una parcela. El estado de un registro de plantación, y, por ende, el estado de un cultivo, es:

- “Finalizado” cuando su fecha de cosecha es estrictamente menor (es decir, anterior) a la fecha actual (es decir, hoy).
- “En desarrollo” cuando su fecha de siembra es menor o igual a la fecha actual y su fecha de cosecha es mayor o igual a la fecha actual. En otras palabras, cuando la fecha actual está dentro del período definido por la fecha de siembra y la fecha de cosecha.
- “En espera” cuando su fecha de siembra es estrictamente mayor (es decir, posterior) a la fecha actual.



- “Desarrollo óptimo” cuando el nivel de humedad del suelo, en el que está sembrado un cultivo, es menor o igual a la capacidad de campo del suelo y estrictamente mayor al umbral de riego.
- “Desarrollo en riesgo de marchitez” cuando el nivel de humedad del suelo, en el que está sembrado un cultivo, es menor o igual al umbral de riego y estrictamente mayor al punto de marchitez permanente del suelo.
- “Desarrollo en marchitez” cuando el nivel de humedad del suelo, en el que está sembrado un cultivo, es menor o igual al punto de marchitez permanente del suelo y mayor o igual al negativo del doble de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo.
- “Muerto” cuando el nivel de humedad del suelo, en el que está sembrado un cultivo, es estrictamente menor al negativo del doble de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Que el nivel de humedad del suelo sea estrictamente menor al negativo del doble de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo significa que la pérdida de humedad o agua del suelo, que tiene un cultivo sembrado, es estrictamente mayor al doble de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Ningún cultivo tiene la capacidad de sobrevivir con una pérdida de humedad estrictamente mayor al doble de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Por este motivo, cuando ocurre dicha pérdida de humedad o agua del suelo se dice que un cultivo está muerto. Esta es la convención implementada en el sistema para determinar la muerte de un cultivo.

Los conceptos capacidad de campo, umbral de riego y capacidad de almacenamiento de agua del suelo son explicados en la sección 3.3.



### 3.2 Posibles valores de la necesidad de agua de riego de un registro de plantación

Un registro de plantación tiene un atributo denominado *necesidad de agua de riego de un cultivo*, el cual representa la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual (es decir, hoy) [mm/día]. Este atributo puede tener uno de los siguientes valores:

- n/a (no disponible). Representa que la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual no está disponible y no se puede calcular.
- - (guion). Representa que la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual no está disponible, pero se puede calcular.
- Número mayor o igual a cero [mm/día]. Representa la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual [mm/día].

El valor n/a es asignado por el sistema al atributo “necesidad de agua de riego de un cultivo” de un registro de plantación:

- en la creación y modificación de un registro de plantación que tiene o adquiere el estado “Finalizado”,
- en la creación y modificación de un registro de plantación que tiene o adquiere el estado “En espera”,
- en la asignación del estado “Finalizado” a un registro de plantación que tiene un estado de desarrollo (en desarrollo, desarrollo óptimo, desarrollo en riesgo de marchitez, desarrollo en marchitez),
- en la asignación del estado “Muerto” a un registro de plantación perteneciente a un cultivo muerto, y
- cuando por algún motivo no es posible obtener los datos meteorológicos del servicio meteorológico utilizado por la aplicación. Por ejemplo, si el servicio meteorológico utilizado por la aplicación brinda 1000 peticiones gratuitas por día y en la fecha actual la aplicación supero esa cantidad, no es posible calcular la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual.

Por la sección 3.1 se sabe que un registro de plantación representa la existencia de la siembra de un cultivo en una parcela y que los estados de un registro de plantación son los estados de un cultivo. El motivo por el cual se realiza este recordatorio es para realizar las siguientes justificaciones de los incisos anteriores. Un registro de plantación finalizado representa que un cultivo fue sembrado y cosechado, con lo cual no es posible calcular la necesidad de agua de riego del mismo en la fecha actual (es decir, hoy). Un registro de plantación en espera representa la planificación de la futura siembra de un cultivo, con lo cual no es posible calcular la necesidad de agua de riego del mismo en la fecha actual. Un registro de plantación muerto representa la muerte de un cultivo, con lo cual no es posible calcular la necesidad de agua de riego del mismo en la fecha actual.

El valor - (guion) es asignado por el sistema al atributo “necesidad de agua de riego de un cultivo” de un registro de plantación:

- en la creación y modificación de un registro de plantación que tiene el estado “En desarrollo”,
- en la creación y modificación de un registro de plantación que tiene el estado “En desarrollo óptimo”,
- en la asignación del estado “En desarrollo” a un registro de plantación perteneciente a una parcela que en sus opciones no tiene la bandera suelo activa, y
- en la asignación del estado “Desarrollo óptimo” a un registro de plantación perteneciente a una parcela que en sus opciones tiene la bandera suelo activa.



El sistema asigna un número mayor o igual al atributo “necesidad de agua de riego de un cultivo” de un registro de plantación que tiene un estado de desarrollo (en desarrollo, desarrollo óptimo, desarrollo en riesgo de marchitez, desarrollo en marchitez).

Listado de registros de plantación

Parcela

Cultivo

dd/mm/aaaa

dd/mm/aaaa

Nuevo registro de plantación

ID	Parcela	Cultivo	F. siembra	F. cosecha	Cap. almac. agua suelo [mm]	Umbral riego [mm]	Nec. agua riego cult. (hoy) [mm/día]	Estado cultivo	
1	TX 1	Alfalfa (ID: 36)	01/01/2023	12/03/2023	-	-	n/a	Finalizado	<div><div></div><div></div><div></div></div>
2	TX 1	Uvas de mesa (ID: 42)	01/03/2024	15/06/2024	123.75	43.3125	-	Desarrollo óptimo	<div><div>Calcular</div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>
4	TX 2	Lechuga (ID: 6)	14/04/2024	15/06/2024	33	9.9	16.993387604157576	Desarrollo óptimo	<div><div>Calcular</div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>
3	TX 1	Uvas de vino (ID: 43)	01/12/2024	15/03/2025	-	-	n/a	En espera	<div><div></div><div></div><div></div></div>

**Figura 3.1** Ejemplo de los posibles valores que puede tener el atributo “necesidad de agua de riego de un cultivo” de un registro de plantación

### 3.3 Cálculo de la necesidad de agua de riego de un cultivo

El sistema tiene dos métodos para calcular la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual (es decir, hoy) [mm/día]. Ambos métodos calculan la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual en función del acumulado del déficit (o déficit acumulado) de agua (o humedad) por día [mm/día] del día inmediatamente anterior a la fecha actual y de la cantidad total de agua de riego de la fecha actual [mm/día]. La diferencia entre ambos está en que uno de ellos calcula la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual sin utilizar datos de suelo (peso específico aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente), mientras que el otro lo hace utilizando datos de suelo.

La ventaja del método del cálculo de la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual sin datos de suelo es que no es necesario que el usuario conozca el suelo de la parcela en la que sembrará un cultivo. Por lo tanto, este método es ideal para el usuario que no conoce el suelo que tiene la parcela en la que sembrará un cultivo. La desventaja de este método es que el usuario está obligado a regar un cultivo todos los días, con lo cual este método se trata de un riego a reposición diaria. Esto se debe a que al no utilizar datos de suelo no es posible determinar en qué punto se encuentra el nivel de humedad del suelo con respecto a la capacidad de campo del suelo, al umbral de riego, al punto de marchitez permanente del suelo y al doble de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. En consecuencia, se debe regar diariamente el suelo para hacer que su nivel de humedad esté en capacidad de campo.

La ventaja del método del cálculo de la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual con datos de suelo es que no es necesario regar un cultivo todos los días, con lo cual el usuario no está obligado a regar diariamente un cultivo. Esto se debe a que al utilizar datos de suelo se puede determinar en qué punto se encuentra el nivel de humedad del suelo con respecto a la capacidad de campo del suelo, al umbral de riego, al punto de marchitez permanente del suelo y al doble de la



capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Sabiendo esto se puede saber hasta qué punto se puede dejar secar el suelo, en el que está sembrado un cultivo, y cuánto hay que regar para hacer que el nivel de humedad del suelo sea llevado a capacidad de campo. No es posible saber esto en el método del cálculo de la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual sin datos de suelo. La desventaja del método del cálculo de la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual con datos de suelo es que el usuario debe conocer el suelo que tiene la parcela en la que sembrará un cultivo.

Al contar con estos dos métodos del cálculo de la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual, el sistema le brinda flexibilidad al usuario, ya que este podrá saber la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual tanto si conoce como si no conoce el suelo que tiene la parcela en la que sembrará un cultivo.

El sistema permite calcular la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual (es decir, hoy) [mm/día] **únicamente** para un cultivo perteneciente a un registro de plantación que tiene un estado de desarrollo (en desarrollo, desarrollo óptimo, desarrollo en riesgo de marchitez, desarrollo en marchitez). Un registro de plantación que tiene un estado de desarrollo representa la existencia de la siembra de un cultivo que está en proceso de desarrollo o maduración. Por lo tanto, el sistema permite calcular dicha necesidad **únicamente** para un cultivo en proceso de desarrollo.

### 3.3.1 Atributos de un balance hídrico de suelo

El algoritmo utilizado por la aplicación para calcular la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual (es decir, hoy) utiliza balances hídricos. Un balance hídrico de suelo tiene los siguientes atributos: agua provista [mm/día], pérdida de humedad o agua de suelo [mm/día], déficit de humedad o agua por día [mm/día] y acumulado del déficit (o déficit acumulado) de humedad o agua por día [mm/día]. Todos ellos son necesarios para calcular la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual (es decir, hoy) [mm/día]. Por este motivo es necesario explicar cada uno de ellos.

El déficit de agua por día [mm/día] representa la cantidad de pérdida de agua de suelo por día. El sistema calcula el déficit de agua por día como la diferencia entre la cantidad de agua provista por día [mm/día] y la cantidad de pérdida de humedad o agua de suelo por día [mm/día]. La cantidad de agua provista por día está determinada por la precipitación artificial y/o natural por día [mm/día]. La cantidad de pérdida de humedad o agua de suelo por día está determinada por la ETC (evapotranspiración del cultivo) por día [mm/día]. El déficit de agua por día puede ser negativo, cero o positivo.

- Un déficit de agua por día negativo representa que en el día la cantidad de pérdida de agua de suelo, no fue cubierta (satisfecha), con lo cual en el día el nivel de humedad del suelo no está en capacidad de campo. Por lo tanto, en el día el suelo no está en capacidad de campo. Esto es que el suelo no está lleno de agua o en su máxima capacidad de almacenamiento de agua.
- Un déficit de agua por día igual a cero representa que en el día la cantidad de pérdida de agua de suelo, está totalmente cubierta (satisfecha), con lo cual en el día el nivel de humedad del suelo está en capacidad de campo. Por lo tanto, en el día el suelo está en capacidad de campo. Esto es que el suelo está lleno de agua o en su máxima capacidad de almacenamiento de agua.



- Un déficit de agua por día positivo representa que en el día la cantidad de pérdida de agua de suelo está totalmente cubierta (satisfecha) y que hay una cantidad extra de agua, la cual se puede escurrir o se puede almacenar en el suelo. La cantidad extra de agua se escurre si en el día el nivel de humedad del suelo está en capacidad de campo, esto es si el suelo está en capacidad de campo (es decir, suelo lleno de agua o en su máxima capacidad de almacenamiento de agua). En cambio, se almacena en el suelo si el acumulado del déficit de agua por día es negativo, ya que si este es negativo significa que en días previos al día del déficit de agua hubo una cantidad de pérdida de agua de suelo que no fue cubierta (satisfecha), con lo cual en el día del déficit de agua hay lugar en el suelo para almacenar agua.

El motivo del tercer inciso sobre el déficit de agua por día es que el suelo agrícola se comporta como un depósito de agua. Si un depósito está lleno de agua y se le agrega más agua, el agua extra se rebalsa del depósito. En cambio, si un depósito no está lleno de agua y se le agrega más agua, el agua se almacena en el depósito. Lo mismo ocurre con el suelo agrícola. Si el suelo está lleno de agua y se le agrega más agua, el agua extra se escurre. En cambio, si el suelo no está lleno de agua y se le agrega más agua, el agua se almacena en el suelo.

El acumulado del déficit de agua por día [mm/día] representa la cantidad total de pérdida de agua de suelo en un período de días. El sistema calcula el acumulado del déficit de agua por día [mm/día] mediante la sumatoria del déficit de agua por día [mm/día] de cada uno de los días de un período de días. El acumulado del déficit de agua por día puede ser cero o negativo.

- Un acumulado del déficit de agua por día negativo representa que en un período de días la cantidad total de pérdida de agua de suelo, no está cubierta (satisfecha), con lo cual en un período de días el nivel de humedad del suelo no está en capacidad de campo. Por lo tanto, en un período de días el suelo no está en capacidad de campo. Esto es que el suelo no está lleno de agua o en su máxima capacidad de almacenamiento de agua.
- Un acumulado del déficit de agua por día igual a cero representa que en un período de días la cantidad de pérdida de agua de suelo, está totalmente cubierta (satisfecha), con lo cual en un período de días el nivel de humedad del suelo está en capacidad de campo. Por lo tanto, en un período de días el suelo está en capacidad de campo. Esto es que el suelo está lleno de agua o en su máxima capacidad de almacenamiento de agua.

El acumulado del déficit de agua por día de un período de días se utiliza para determinar si en el día inmediatamente siguiente al último día de dicho período, el suelo está o no en capacidad de campo.

A continuación, hay ejemplos del cálculo del déficit de agua y del déficit acumulado de agua.



Día	Agua provista [mm/día]	Pérdida de agua [mm/día]	Déficit de agua [mm/día]	Déficit acumulado de agua [mm/día]
1	0	0	0	0
2	5	5	0	0
3	2	2	0	0
4	2	4	-2	-2
5	0	2	-2	-4
6	1	2	-1	-5
7	-	-	-	-

### Ejemplo 3.1 Hay lugar en el suelo para almacenar agua

En el día 1 el suelo está a capacidad de campo. Esto es que el suelo está lleno de agua o con la carga máxima de agua que puede almacenar, pero no anegado. Este es el motivo por el cual los atributos del balance hídrico del día 1 son iguales a cero. En el día 6 el acumulado del déficit de agua es -5 mm/día. Al ser este valor negativo significa que del día 1 al día 6 hubo una cantidad de pérdida de agua de suelo que no fue cubierta (satisfecha). Específicamente del día 1 al día 6 la cantidad total de pérdida de agua de suelo no cubierta es de 5 mm/día. Por lo tanto, en el día 7 el suelo no está en capacidad de campo, es decir, no está lleno de agua o no tiene la carga máxima de agua que puede almacenar. En consecuencia, en el día 7 el suelo tiene lugar para almacenar agua, específicamente tiene 5 milímetros de profundidad libres de agua, lo cuales se deben cubrir (satisfacer) mediante precipitación (artificial y/o natural) para llevarlo a la condición de capacidad de campo.

Suponiendo que transcurrió el día 7 y que llegó el día 8, y que en el día 7 el agua provista es 6 mm/día y la pérdida de agua de suelo es 1 mm/día, el déficit de agua del día 7 es 5 mm/día. La pérdida de agua de suelo en el día 7 está totalmente cubierta (satisfecha) porque la cantidad de agua provista es mayor o igual a la cantidad de pérdida de agua de suelo. Los 5 milímetros extra de agua se almacenan en el suelo porque este tiene 5 milímetros de profundidad libres de agua, debido a que el acumulado del déficit de agua del día inmediatamente anterior al día 7 es -5 mm/día. Por lo tanto, el acumulado del déficit de agua en el día 7 es cero. En consecuencia, en el día 8 el suelo está en capacidad de campo, y, por ende, no hay una cantidad de pérdida de agua de suelo del período de días previos al día 8, que cubrir (satisfacer) mediante precipitación (artificial y/o natural).



Día	Agua provista [mm/día]	Pérdida de agua [mm/día]	Déficit de agua [mm/día]	Déficit acumulado de agua [mm/día]
1	0	0	0	0
2	3	5	-2	-2
3	2	3	-1	-3
4	3	1	2	-1
5	2	2	0	-1
6	3	2	1	0
7	-	-	-	-

### Ejemplo 3.2 No hay lugar en el suelo para almacenar agua

En el día 1 el suelo está a capacidad de campo. Esto es que está lleno de agua o con la carga máxima de agua que puede almacenar, pero no anegado. Este es el motivo por el cual los atributos del balance hídrico del día 1 son iguales a cero. En el día 6 el acumulado del déficit de agua es 0 mm/día. Al ser este valor igual a cero significa que la cantidad de pérdida de agua de suelo que hubo del día 1 al día 6, fue cubierta (satisfecha). Por lo tanto, en el día 7 el suelo está en capacidad de campo, es decir, está lleno de agua o con la carga máxima de agua que puede almacenar, con lo cual no tiene lugar para almacenar agua.

Suponiendo que transcurrió el día 7 y que llegó el día 8, y que en el día 7 el agua provista es 4 mm/día y la pérdida de agua de suelo es 1 mm/día, el déficit de agua del día 7 es 3 mm/día. La pérdida de agua de suelo del día 7 está totalmente cubierta (satisfecha) porque la cantidad de agua provista es mayor o igual a la cantidad de pérdida de agua de suelo. Los 3 milímetros extra de agua no se almacenan en el suelo, se escurren, debido a que el acumulado del déficit de agua del día inmediatamente anterior al día 7 es 0 mm/día. Al estar totalmente cubierta la pérdida de agua de suelo del día 7 y al no haber una cantidad de pérdida de agua de suelo del período de días previos al día 7, que cubrir (satisfacer), el acumulado del déficit de agua del día 7 es 0 mm/día. En consecuencia, en el día 8 el suelo está en capacidad de campo, y, por ende, no hay una cantidad de pérdida de agua de suelo del período de días previos al día 8, que cubrir (satisfacer) mediante precipitación (artificial y/o natural).

La  $ET_c$  (evapotranspiración del cultivo) [mm/día] se calcula como el producto entre la  $ET_o$  (evapotranspiración potencial) [mm/día] y un  $K_c$  (coeficiente de cultivo) [adimensional], y determina la cantidad de pérdida de humedad o agua de suelo por día [mm/día].

La  $ET_o$  representa la pérdida de agua de una superficie que tiene pasto bien regado. Se calcula en función de la temperatura máxima, la temperatura mínima y la radiación solar. Para calcular la  $ET_o$ , el sistema obtiene la temperatura máxima y la temperatura mínima del servicio meteorológico Visual Crossing Weather. La radiación solar la obtiene de la base de datos, ya que la radiación solar está tabulada para diferentes latitudes para el día 15vo de cada mes del año.

El  $K_c$  representa las diferencias en evaporación y transpiración del cultivo de referencia (pasto) con respecto a un cultivo en particular. Un cultivo tiene cuatro etapas en su ciclo de vida: etapa inicial, etapa de desarrollo, etapa media y etapa final. A cada una de estas etapas le corresponde un  $K_c$ .





### 3.3.2 Algoritmo del cálculo de la necesidad de agua de riego de un cultivo

El sistema calcula la necesidad de agua de riego de un cultivo (en proceso de desarrollo o maduración) en la fecha actual (es decir, hoy) [mm/día] en función de los siguientes elementos:

1. La condición de que el suelo, en el que se realizará la siembra de un cultivo, está en capacidad de campo en la fecha de siembra de un cultivo.
2. El acumulado del déficit de agua por día [mm/día] del día inmediatamente anterior a la fecha actual y la cantidad total de agua de riego de la fecha actual [mm/día].

El sistema calcula la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual partiendo desde la condición de que el suelo, en el que se realizará la siembra de un cultivo, está en capacidad de campo en la fecha de siembra de un cultivo. A partir de esta condición el sistema informa en la fecha actual y en milímetros por día, en función de la cantidad de pérdida de agua de suelo del período de días definido por la fecha de siembra de un cultivo y la fecha inmediatamente anterior a la fecha actual, también medida en milímetros por día, la cantidad de agua que se debe reponer mediante el riego para llevar al suelo, en el que está sembrado un cultivo, a capacidad de campo. Dicha cantidad de agua a reponer es la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual (es decir, hoy) [mm/día].

La cantidad de pérdida de agua de suelo del período definido por la fecha de siembra de un cultivo y la fecha inmediatamente anterior a la fecha actual es el acumulado del déficit de agua por día del día inmediatamente anterior a la fecha actual. Para calcular el acumulado del déficit de agua por día del día inmediatamente anterior a la fecha actual, el sistema calcula el déficit de agua por día de cada uno de los días del período mencionado y a medida que lo calcula lo acumula. El acumulado del déficit de agua por día representa la cantidad total de pérdida de agua de suelo en un período de días. Por lo tanto, el acumulado del déficit de agua por día del día inmediatamente anterior a la fecha actual representa la cantidad total de pérdida de agua de suelo en el período definido por la fecha de siembra de un cultivo y la fecha inmediatamente anterior a la fecha actual.

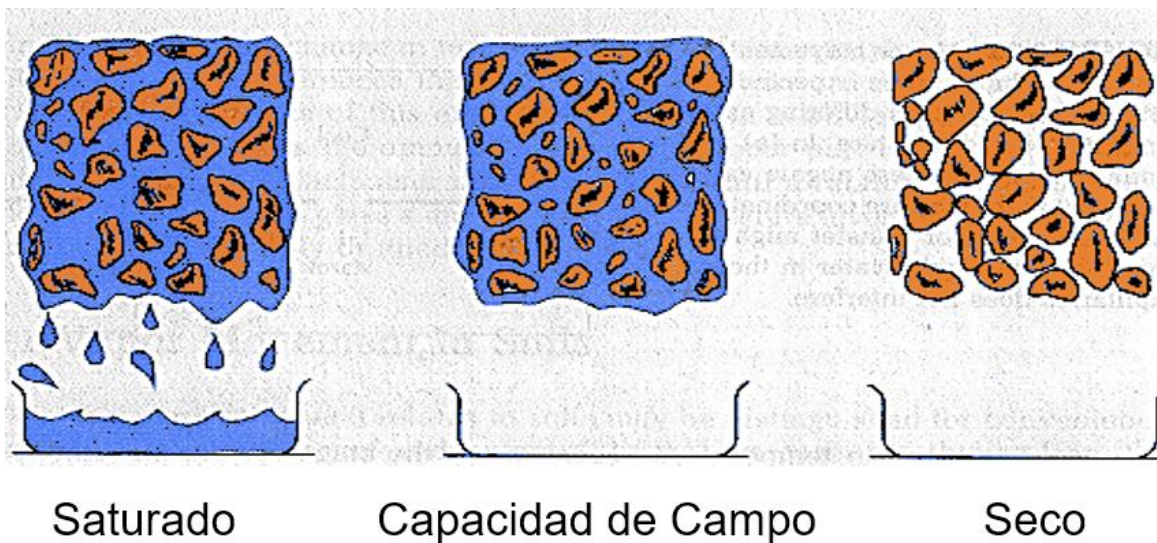
La condición de suelo a capacidad de campo en la fecha de siembra de un cultivo se utiliza en ambos métodos del cálculo de la necesidad de agua de riego en la fecha actual. ¿Qué es capacidad de campo? Capacidad de campo es el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo luego de saturación o de haber sido mojado abundantemente y después dejado drenar libremente. Otras definiciones de capacidad de campo dicen lo siguiente:

- La capacidad de campo es el contenido de agua de un suelo después del drenaje gravitacional durante aproximadamente un día.
- La capacidad de campo es la capacidad máxima que tiene un suelo de retener o almacenar agua.



¿Cómo se lleva un suelo a la condición de capacidad de campo? A un suelo se lo satura de agua y se debe esperar un día para que drene libremente. El agua gravitacional (es decir, el agua que por gravedad se mueve hacia abajo, esto es que se drena) pasa por los poros grandes y las piedras del suelo, y toda el agua que queda retenida en los mesoporos y en los microporos, que es el agua útil para un cultivo, es el agua que queda en el suelo. Cuando ocurre esta situación, un suelo está en capacidad de campo, lo cual significa que está lleno de agua o con la carga máxima de agua que puede retener o almacenar, pero no anegado. La figura 3.2 ilustra la condición de saturación, capacidad de campo y sequedad del suelo.

Por lo tanto, para cumplir con la condición utilizada por el sistema para calcular la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual, se debe saturar de agua el suelo un día antes de la fecha de siembra de un cultivo, ya que de esta manera el suelo drenará durante un día y al día siguiente (día de la siembra) estará en capacidad de campo. El motivo por el cual el sistema utiliza la condición de suelo a capacidad de campo como condición de inicio en la fecha de siembra de un cultivo para calcular la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual, es que en la práctica agronómica el suelo se satura de agua antes de la fecha de siembra de un cultivo.



**Figura 3.2** Suelo en saturación, capacidad de campo y seco. Las partículas de tierra del suelo están representadas por los dibujos en color marrón. El agua del suelo está representada con el color azul. Los poros del suelo están representados por los espacios entre las partículas de tierra.



El algoritmo utilizado por el sistema para calcular la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual (es decir, hoy) puede ser ejecutado **únicamente** para un registro de plantación que tiene un estado desarrollo (en desarrollo, desarrollo óptimo, desarrollo en riesgo de marchitez, desarrollo en marchitez). Los pasos de este algoritmo son los siguientes:

1. Obtención y persistencia de los registros climáticos (contienen datos meteorológicos de una fecha y de una ubicación geográfica), pertenecientes a la parcela de un registro de plantación que tiene un estado de desarrollo, desde la fecha inmediatamente siguiente a la fecha de siembra de un cultivo hasta la fecha inmediatamente anterior a la fecha actual (es decir, hoy). Si en la base de datos subyacente existen los registros climáticos del período definido por las fechas mencionadas, pertenecientes a una parcela de un registro de plantación que tiene un estado de desarrollo, se los actualiza si y solo si se modifica la ubicación geográfica de una parcela. Los registros climáticos son obtenidos del servicio meteorológico [Visual Crossing Weather](#).
2. Cálculo y actualización de la ETo (evapotranspiración potencial) [mm/día] y la ETc (evapotranspiración del cultivo) [mm/día] de cada uno de los registros climáticos desde la fecha inmediatamente siguiente a la fecha de siembra de un cultivo hasta la fecha inmediatamente anterior a la fecha actual.
3. Persistencia del balance hídrico de suelo de la fecha de siembra de un cultivo. El agua provista [mm/día], la pérdida de agua de suelo [mm/día], el déficit de agua por día [mm/día] y el acumulado del déficit (o déficit acumulado) de agua por día [mm/día] de este balance hídrico de suelo son iguales a 0 porque en la fecha de siembra de un cultivo se parte, y se debe partir, desde la condición de suelo en capacidad de campo. Esto es que el suelo está lleno de agua o con la carga máxima de agua que puede almacenar. La persistencia de este balance hídrico es el motivo por el cual en el paso 1 no se obtiene el registro climático de la fecha de siembra de un cultivo.
4. Cálculo y persistencia del balance hídrico de suelo de cada una de las fechas del período definido por la fecha inmediatamente siguiente a la fecha de siembra de un cultivo y la fecha inmediatamente anterior a la fecha actual (es decir, hoy). En este paso se calcula para cada balance hídrico de suelo el agua provista [mm/día], la pérdida de agua de suelo [mm/día], el déficit de agua por día [mm/día] y el acumulado del déficit de agua por día [mm/día].
5. Suma entre el acumulado del déficit (o déficit acumulado) de agua por día [mm/día] del día inmediatamente anterior a la fecha actual y la cantidad total de agua de riego de la fecha actual [mm/día]. Luego, se evalúa si el resultado de esta suma es mayor o igual a cero. Si lo es, la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual es cero. Si no lo es, la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual es el valor absoluto de la suma entre la cantidad total de agua de riego de la fecha actual y el acumulado del déficit de agua por día del día inmediatamente anterior a la fecha actual. En el primer caso de la evaluación, la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual es cero [mm/día] porque al ser la suma entre ambos valores mayor o igual a cero significa que el suelo, en el que está sembrado un cultivo, está en capacidad de campo, con lo cual se cumple la condición de que el suelo esté en capacidad de campo. En el segundo caso de la evaluación, la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual es el valor absoluto de la suma entre ambos valores [mm/día] porque al ser la suma entre ambos valores estrictamente menor a cero



significa que el suelo, en el que está sembrado un cultivo, no está en capacidad de campo, con lo cual no se cumple la condición de que el suelo esté en capacidad de campo.

Para calcular la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual (es decir, hoy) [mm/día] de la forma más exacta posible, se debe tener en cuenta todo lo que ocurrió con un cultivo desde su fecha de siembra hasta la fecha inmediatamente anterior a la fecha actual. Este es el motivo por el cual el sistema computa los balances hídricos de suelo desde la fecha de siembra de un cultivo hasta la fecha inmediatamente anterior a la fecha actual para calcular la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual.

### 3.3.3 Ejemplo de cálculo de la necesidad de agua de riego de un cultivo

Para calcular la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual (es decir, hoy) [mm/día] se debe presionar el botón que tiene la etiqueta “Calcular”, el cual está sobre un registro de plantación que tiene un estado de desarrollo (en desarrollo, desarrollo óptimo, desarrollo en riesgo de marchitez, desarrollo en marchitez) en la página web del listado de registros de plantación. A continuación, se muestra un ejemplo del método de cálculo de la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual con datos de suelo.

Listado de registros de plantación

Parcela

Cultivo

dd/mm/aaaa

dd/mm/aaaa

Nuevo registro de plantación

ID	Parcela	Cultivo	F. siembra	F. cosecha	Cap. almac. agua suelo [mm]	Umbral riego [mm]	Nec. agua riego cult. (hoy) [mm/día]	Estado cultivo
1	TX 1	Alfalfa (ID: 36)	13/04/2024	12/10/2024	123.75	68.0625	14.058824496575095	Desarrollo óptimo

Calcular

**Figura 3.3** Registro de plantación utilizado con el método de cálculo de la necesidad de agua de riego en la fecha actual con datos de suelo

Listado de balances hídricos de suelo							
Parcela		Cultivo		dd/mm/aaaa			
ID	Fecha	Parcela	Cultivo	Precip. (artificial y/o natural) [mm/día]	Pérdida humedad suelo [mm/día]	Déficit [mm/día]	Déficit acum. [mm/día]
1	13/04/2024	TX 1	Alfalfa	0	0	0	0
2	14/04/2024	TX 1	Alfalfa	0	2.0845033375329574	-2.0845033375329574	-2.0845033375329574
3	15/04/2024	TX 1	Alfalfa	0	1.9566611049016573	-1.9566611049016573	-4.0411644424346145
4	16/04/2024	TX 1	Alfalfa	0	2.0012814509195382	-2.0012814509195382	-6.042445893354152
5	17/04/2024	TX 1	Alfalfa	0	1.6805889624126735	-1.6805889624126735	-7.723034855766826
6	18/04/2024	TX 1	Alfalfa	0	2.0361036279439593	-2.0361036279439593	-9.759138483710785
7	19/04/2024	TX 1	Alfalfa	0	2.196252260603901	-2.196252260603901	-11.955390744314686
8	20/04/2024	TX 1	Alfalfa	0	2.103433752260409	-2.103433752260409	-14.058824496575095

**Figura 3.4** Listado de balances hídricos de suelo del ejemplo de la figura 3.3



En este ejemplo, la cantidad total del agua de riego de la fecha 21-04-2024 (fecha actual al momento de escribir este ejemplo) es 0 [mm/día] y el déficit acumulado de agua del día inmediatamente anterior a la fecha 21-04-2024 es -14.058824496575095 [mm/día]. La suma entre estos dos valores da como resultado un número estrictamente menor a cero. Por lo tanto, la necesidad de agua de riego para la alfalfa en la fecha 21-04-2024 es el valor absoluto de la suma entre 0 y -14.058824496575095, lo cual da como resultado que dicha necesidad es 14.058824496575095 [mm/día].

El déficit acumulado de agua del día inmediatamente anterior a la fecha 21-04-2024 es estrictamente menor a cero. Esto significa que del día 13-04-2024 (fecha de siembra de la alfalfa) al día 20-04-2024 hubo una cantidad de pérdida de agua de suelo que no fue cubierta (satisfecha), la cual debe ser cubierta mediante el riego en la fecha 21-04-2024 (fecha actual al momento de escribir este ejemplo). Esta cantidad de agua a cubrir (satisfacer) es, en la fecha 21-04-2024, la necesidad hídrica de la alfalfa, plantada en la parcela TX 1, y es la cantidad de agua que se debe suministrar al suelo de dicha parcela para llevarlo a la condición de capacidad de campo en dicha fecha.

Si se utilizan datos de suelo para calcular la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual (es decir, hoy) [mm/día], un registro de plantación utiliza los estados “Desarrollo óptimo”, “Desarrollo en riesgo de marchitez”, “Desarrollo en marchitez” y “Muerto”, y tiene definido los valores *Capacidad de almacenamiento de agua del suelo [mm]* y *Umbral de riego [mm]*. En cambio, si no se utilizan datos de suelo para realizar dicho cálculo, un registro de plantación utiliza el estado “En desarrollo” y no tiene definido los valores mencionados. Para utilizar o no datos de suelo en el cálculo de la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual se debe activar o desactivar, respectivamente, la bandera *Utilizar suelo para calcular la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual (es decir, hoy) [mm/día]* de las opciones de una parcela.

La capacidad de almacenamiento de agua que tiene un suelo está dada por la fórmula de la lámina total de agua disponible (dt) [mm]. Esta fórmula está en función del suelo y de la profundidad radicular de un cultivo, y representa la cantidad de agua que puede retener o almacenar un suelo en el volumen determinado por los valores de un suelo (capacidad de campo, punto de marchitez permanente, peso específico aparente) y la profundidad de las raíces de un cultivo.

$$\left( \frac{Wc - Wm}{100} \right) * pea * D$$

donde

Wc capacidad de campo [gr/gr]

Wm punto de marchitez permanente [gr/gr]

pea peso específico aparente [gr/cm<sup>3</sup>]

D profundidad radicular [m]

**Formula de la lámina total de agua disponible (dt) [mm]**



La unidad de medida [gr/gr] representa la cantidad de gramos de agua que hay cada 100 gramos de tierra seca. Por ejemplo, un suelo arenoso tiene una capacidad de campo de 9 [gr/gr], lo cual indica que en capacidad de campo un suelo arenoso tiene 9 gramos de agua cada 100 gramos de tierra seca. Esto indica que un suelo arenoso tiene poca retención de agua. Lo que indica la textura del suelo es capacidad de retención o almacenamiento de agua que tiene un suelo. La textura de un suelo se determina mediante el triángulo textural.

El umbral de riego está dado por la fórmula de lámina de riego óptima (drop) [mm]. Esta fórmula está en función del suelo, de la profundidad radicular de un cultivo y de la fracción de agotamiento de la humedad en el suelo para un cultivo, y representa la cantidad máxima de agua que puede perder un suelo, que tiene un cultivo sembrado, a partir de la cual no conviene que pierda más agua, sino que se le debe agregar agua para llevarlo a la condición de capacidad de campo, es decir, para hacer que el suelo esté lleno de agua o en su capacidad máxima de almacenamiento de agua.

$$\left( \frac{Wc - Wm}{100} \right) * pea * D * p$$

donde

Wc capacidad de campo [gr/gr]

Wm punto de marchitez permanente [gr/gr]

pea peso específico aparente [gr/cm<sup>3</sup>]

D profundidad radicular [m]

p fracción de agotamiento de la humedad en el suelo para un cultivo (adimensional)

**Formula de la lámina de riego óptima (drop) [mm]**





### 3.4 Ubicación geográfica de una parcela

Una parcela tiene una ubicación geográfica, con lo cual la ubicación geográfica de un cultivo está determinada por la parcela sobre la que se siembra. La ubicación geográfica de una parcela es necesaria para obtener los datos meteorológicos que el sistema requiere para calcular los balances hídricos de suelo desde la fecha inmediatamente siguiente a la fecha de siembra de un cultivo hasta la fecha inmediatamente anterior a la fecha actual (es decir, hoy), los cuales son necesarios para calcular la necesidad de agua de riego de un cultivo en la fecha actual. El sistema brinda un formulario para el registro de una parcela, el cual tiene un mapa para seleccionar la ubicación geográfica de una parcela. Para registrar una parcela el usuario debe iniciar sesión, pulsar el botón Parcelas en la barra de navegación superior y pulsar el botón Nueva parcela. Esta acción despliega el formulario para el registro de una parcela, el cual se observa en la siguiente figura.

**Figura 3.3** Formulario de registro de parcela



### 3.5 Creación de un registro de plantación

Un registro de plantación tiene una fecha de siembra, una fecha de cosecha, una parcela y un cultivo, entre otros atributos. Por este motivo un registro de plantación representa la existencia de la siembra de un cultivo en una parcela. Para crear un registro de plantación el usuario debe iniciar sesión, pulsar el botón Plantaciones en la barra de navegación superior y pulsar el botón Nuevo registro de plantación. Esta acción despliega un formulario para la creación de un registro de plantación, el cual se observa en la siguiente figura.

**Registro de plantación**

Fecha de siembra

dd/mm/aaaa

Fecha de cosecha

dd/mm/aaaa

Parcela

Ej.: Parcela TX 1

Cultivo

Ej.: Lechuga

Crear

Cancelar

**Figura 3.4** Formulario de creación de registro de plantación

Una parcela puede tener más de un registro de plantación con el estado “Finalizado” y más de un registro de plantación con el estado “En espera”, pero sólo puede tener un único registro de plantación con un estado de desarrollo (en desarrollo, desarrollo óptimo, desarrollo en riesgo de marchitez, desarrollo en marchitez) al mismo tiempo.