



Sobre el manual

El presente manual se ha confeccionado íntegramente tomando como fuente la ayuda del programa CROPWAT

Presentación general

CROPWAT 8.0 para Windows es un programa de computación que puede ser usado para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y de sus requerimientos de riego en base a datos climáticos y de cultivo ya sean existentes o nuevos. Además, el programa permite la elaboración de calendarios de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de provisión de agua para diferentes patrones de cultivos.

La presente versión de Windows se basa en las versiones en sistema DOS del CROPWAT 5.7 de 1992 y CROPWAT 7.0 de 1999. Además de una interfase con el usuario completamente rediseñada, CROPWAT 8.0 para Windows incluye una serie de características nuevas y actualizadas.

Estas características incluyen:

entrada de datos climáticos en versión mensual, decadiaria y diaria para el cálculo de la ETo

- compatibilidad con versiones anteriores de tal manera que permite el uso de la información de la base de datos CLIMWAT
- posibilidad de estimar los datos climáticos en caso de no contar con los valores medidos
- cálculos diarios y decadiarios de los requerimientos de agua del cultivo basados en algoritmos de cálculo actualizados incluido el ajuste de los valores del coeficiente de cultivos
- cálculo de las necesidades de agua de cultivos y la programación de riego para los cultivos y para arrozales
- programaciones de riego ajustables e interactivas con el usuario
- tablas de balances diarios de agua en el suelo
- fácil guardado y recuperación de sesiones y de las programaciones de riego definidas por el usuario
- presentaciones gráficas de los datos de entrada, requerimientos de agua de los cultivos y programaciones de riego
- sencilla importación/exportación de datos y gráficos a través del portapapeles o de archivos de texto ASCII
- rutinas de impresión extensivas apropiadas para todas las impresoras basadas en Windows
- sistema de ayuda sensible al contexto

Todos los procedimientos de cálculo, tal como se utilizan en CROPWAT 8.0 se basan en las directrices de la FAO tal como se establece en la publicación No 56 de la Serie Riego y Drenaje de la FAO "Evapotranspiración del Cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos". Haga [clic aquí](#) para ver esta publicación en línea. (Este enlace requiere conexión a Internet)

CROPWAT 8.0 para Windows fue desarrollado utilizando Visual Delphi 4.0 y funciona en las siguientes plataformas de Windows: 95/98/ME/2000/NT/XP

Introducción a CROPWAT

El propósito principal de CROPWAT es el de calcular los requerimientos de agua y la programación de riego de los cultivos en base a datos introducidos por el usuario. Estos datos pueden ser directamente ingresados en CROPWAT o importados de otras aplicaciones.

Para el cálculo de los Requerimientos de Agua del Cultivo (RAC), CROPWAT requiere de datos de evapotranspiración (ET_o). CROPWAT permite al usuario ingresar valores de ET_o, o ingresar datos de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación solar, lo cual permite al programa CROPWAT calcular la ET_o aplicando la ecuación de Penman-Monteith. También permite el uso de archivos .PEN y .CLI provenientes de la base de datos CLIMWAT.

También son necesarios los datos de precipitación, y son utilizados por CROPWAT para calcular la precipitación efectiva como datos de entrada para el cálculo de los RAC y de la programación de riego. Por último, datos de cultivos (cultivos no inundados o arroz) son necesarios para los cálculos de los RAC, y también datos de suelo si el usuario también desea determinar la programación de riego (cultivos no inundados o arroz).

Aunque normalmente CROPWAT calcula los RAC y las programaciones para un cultivo, también puede calcular un esquema de suministro de agua, que es básicamente la combinación de los requerimientos de agua de varios cultivos, cada uno con su fecha de siembra individual (patrón de cultivo).

Tanto para la introducción de datos como para los cálculos, CROPWAT ofrece una amplia variedad de opciones que se pueden configurar interactivamente por el usuario durante la ejecución del programa haciendo clic en el botón Opciones en la barra de Herramientas, o por medio del menú Configuración -> Opciones.

Estructura del programa

El programa CROPWAT se organiza en 8 módulos diferentes, de los cuales 5 son módulos de datos de entrada y 3 son módulos de cálculo. Estos módulos son accesibles a través del menú principal pero se pueden acceder más fácilmente a través de la Barra de módulos que está permanentemente visible en la parte izquierda de la ventana principal. Esto permite al usuario combinar fácilmente diferentes datos climáticos, de cultivo y de suelo para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos, la programación de riego y la entrega de agua en esquemas multicultivos.

Los módulos de entrada de datos de CROPWAT son los siguientes:

1. Clima/ET_o: para ingresar datos medidos de ET_o o datos climáticos que permitan el cálculo de la ET_o Penman-Monteith;
2. Precipitación: para ingresar datos de precipitación y el cálculo de la precipitación efectiva;
3. Cultivo (cultivos no inundados o arroz): para ingresar datos del cultivo y de la fecha de siembra;
4. Suelo: para ingresar datos de suelo (sólo en caso de programación de riego);
5. patrón de cultivo: para ingresar un patrón de cultivos para calcular el esquema de entrega de agua.

Nótese que los módulos Clima/ET_o y Precipitación se usan no sólo para la introducción de datos, sino que también calculan otros datos, como Radiación/ET_o y precipitación efectiva respectivamente.

Los módulos de cálculo de CROPWAT son:

6. RAC - para el cálculo de los Requerimientos de Agua de los Cultivos
7. Programación (cultivos no inundados o arroz) - para el cálculo de los calendarios de riego
8. Esquema para el cálculo del régimen de la oferta de agua sobre la base de un patrón de cultivo.

Empezando

En una sesión normal de CROPWAT, el usuario debe asegurarse primero de que el programa dispone de los datos de entrada. Esto puede hacerse de dos maneras:

1. Dirigiéndose a cada uno de los módulos de entradas de datos, para ingresar nuevos datos, cargar datos desde un archivo, o importar datos de otros programas, o
2. Cargando una sesión previamente guardada, que cargará automáticamente todos los datos de entrada que se utilizaron en la mencionada sesión.

Una vez que cuenta con los datos requeridos, el usuario puede ir a uno de los módulos de cálculo que presentará los datos calculados en tablas de salida de la ventana de datos. Si no se cuenta con todos los datos requeridos el programa detendrá los cálculos y mostrará una advertencia. Ej. Cuando un usuario va al módulo de Programación y los datos de suelo no estén disponibles, CROPWAT desplegará el mensaje "Datos de suelo no disponibles. Cálculo de programación de riego no es posible".

Por medio del uso de la Barra de Módulos, el usuario puede rápidamente cambiar de un módulo a otro. Ej. El usuario puede cambiar del módulo RAC al módulo Cultivo, cambiar la fecha de siembra, y volver al módulo RAC para ver los efectos de una diferente fecha de siembra sobre los RAC.

Dependiendo del módulo activo, la barra de Herramientas ofrece acceso directo a las funciones más importantes que son de interés para dicho módulo, como la carga/guardado de los datos, impresión de datos, configuración de opciones, presentación de gráficos de entrada y salida de datos, etc.

En el caso del módulo de Programación (cultivos no inundados o arroz), el ícono de Opciones proporciona acceso directo a todas las opciones de periodos de riego, de modo que el usuario rápidamente puede recalcular la programación bajo diferentes configuraciones. Además, esta nueva versión de CROPWAT permite al usuario manipular la programación ya calculada por medio del cambio manual de las dosis de riego calculadas por el programa.

Se puede acceder a todas las funciones a través de la barra de Herramientas, así como a funciones más generales como la ubicación de archivos por defecto, que también se pueden acceder a través del menú principal de CROPWAT.

Al terminar una sesión, el usuario puede guardar la combinación de los datos en un archivo de sesión, a fin de permitir la rápida recuperación de exactamente el mismo conjunto de datos en una futura sesión.

Cómo calcular ETo Penman-Monteith

Seleccione el módulo Clima/ETo en la Barra de Módulos. Se abrirá una ventana de datos a la derecha para el actual tipo de datos por defecto para Clima/ETo. Si ese tipo de datos no es el que usted desea trabajar, haga click en la pequeña flecha del icono Nuevo en la barra de Herramientas, y seleccione el tipo de datos deseado en el menú desplegable.

Usted puede cargar datos de un fichero ya existente, o introducir nuevos datos. Tan pronto como los datos para un periodo específico (ej. Un mes) se completan, CROPWAT calcula

automáticamente la Radiación y la ETo Penman-Monteith y mostrará los resultados en las dos últimas columnas de la tabla.

Véase la referencia técnica para obtener más información sobre los algoritmos de la ecuación de Penman-Monteith.

Nota: al cargar archivos de la base de datos CLIMWAT, CROPWAT recalcula los valores de Radiación y ETo. Debido a diferencias menores en los algoritmos de redondeo, los resultados de CROPWAT pueden diferir ligeramente de los incluidos en CLIMWAT.

Cómo calcular Requerimientos de Agua del Cultivo

Para calcular los Requerimientos de Agua del Cultivo, primero hay que asegurarse de que la información está disponible en los módulos Clima/ETo, Precipitación y Cultivo (cultivos no inundados o arroz). Si previamente se ha guardado una combinación de estos archivos de datos como una sesión, estos datos se pueden recargar rápidamente usando Archivo> Abrir sesión del menú. En caso contrario, se debe ir a cada uno de estos módulos a través de la Barra de Módulos, y ya sea cargar datos existentes o introducir nuevos datos. En el caso de cultivo de arroz, también se deben cargar los datos de suelo, ya que el cálculo de los requerimientos de agua del cultivo de arroz incluye también los requerimientos para la preparación de suelo.

Una vez que los datos necesarios están disponibles, seleccione el módulo RAC en la Barra de Módulos. Si los datos de entrada son los necesarios, CROPWAT calculará los requerimientos de agua del cultivo y mostrará los resultados en la ventana de datos. Si hay algún problema con los datos de entrada, CROPWAT mostrará un mensaje de error indicando que datos no son correctos o están incompletos.

Para visualizar un gráfico de los Requerimientos de Agua del Cultivo seleccione el icono de Gráfico en la barra de Herramientas.

Cómo calcular la Programación de riego

Para calcular la Programación de riego usted primero debe cargar los datos de entrada necesarios, tal como se describe en Cómo calcular Requerimientos de Agua de los Cultivos. Para la programación de riego usted necesita datos sobre Clima/ETo, precipitación, cultivos y suelo.

Una vez que dispone de los datos necesarios, seleccione el módulo de Programación (cultivos no inundados o arroz) en la Barra de Módulos. Si los datos de entrada están correctos, CROPWAT calculará la programación de riego basado en la actual configuración de las Opciones de Programación y mostrará los resultados en la ventana de datos. Si hay un problema con los datos de entrada, CROPWAT mostrará un mensaje de error indicando que datos no son correctos o están incompletos.

Mientras se encuentre en el módulo de Programación de riego, usted puede cambiar rápidamente las opciones de programación a través del icono Opciones en la barra de Herramientas. Usted también puede ajustar manualmente la Programación, editando las dosis netas de riego en la tabla de salida de Programación, y puede guardar la Programación ajustada en un archivo a través del ícono Guardar en la barra de Herramientas.

Para ver un gráfico de Programación de riego seleccione el ícono Gráfico en la barra de Herramientas.

Cómo calcular la provisión de agua a un sistema

Para calcular la provisión de agua a un sistema de riego, es necesario en primer lugar disponer de los datos necesarios en los módulos Clima/ET_o, Precipitación y patrón de cultivos. Si ya ha guardado una combinación de estos archivos de datos dentro de una sesión, usted puede recargar rápidamente los datos a través del menú Archivo> Abrir sesión . Si no, usted debe ir a cada uno de estos módulos a través de la Barra de Módulos, ya sea para cargar datos existentes o para introducir nuevos datos.

Una vez que usted disponga de los datos necesarios, seleccione el Módulo Esquema en la Barra de Módulos. Si los datos de entrada son correctos, CROPWAT calculará el Esquema de entrega de agua y mostrará los resultados en la ventana de datos. Si hay un problema con los datos de entrada, CROPWAT mostrará un mensaje de error indicando qué datos no son correctos o se encuentran incompletos.

Cómo importar datos

CROPWAT no cuenta con módulos especiales de importación de archivos de datos. Para datos de cultivo, suelo y patrones de cultivo, ingresar nuevos datos en CROPWAT es un proceso rápido que no requiere especiales procedimientos de importación.

Tablas con datos para Clima/ET_o y Precipitación pueden importarse rápidamente copiando la Tabla de la aplicación original (Word, Excel, etc) y luego pegando Tabla en CROPWAT.

Dado que CROPWAT almacena todos los datos en archivos de texto ASCII , es posible importar datos, almacenándolos en archivos de texto ASCII utilizando el mismo formato que en CROPWAT. Este formato puede comprobarse abriendo los archivos de datos de CROPWAT en editores de texto simples como el Bloc de Notas.

Cómo Exportar datos y gráficos

Existen dos formas de exportar datos CROPWAT (tanto de entrada de datos como de resultados de los cálculos) para su uso en otros programas:

- A través del portapapeles al elegir el cuadro Copiar Tabla en el menú Edición. Esto sólo es posible para datos que presentados en tablas como una tabla con datos climáticos o los resultados del cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos.
- Especificando en la pantalla de impresión que desea imprimir los datos a un archivo ASCII, ya sea con o sin comas de separación.

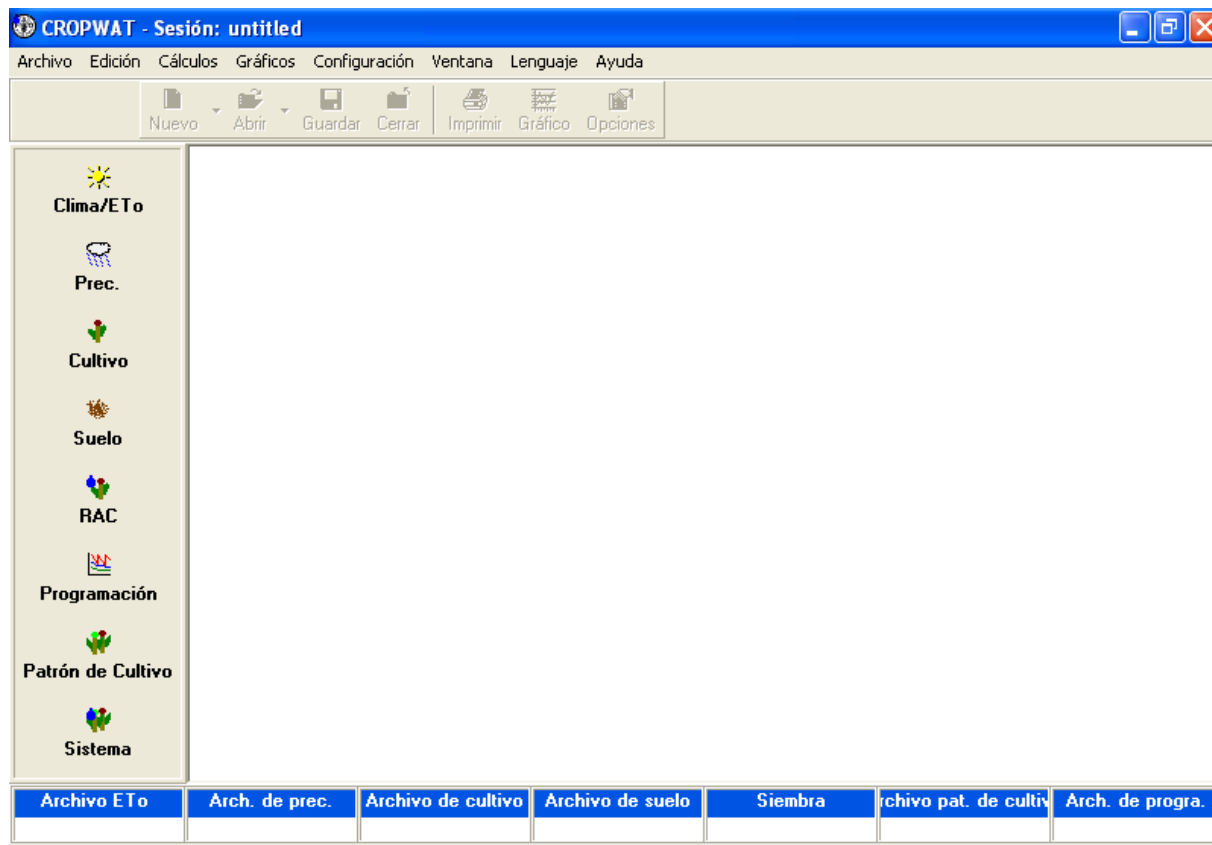
Los gráficos también pueden ser exportados de dos maneras:

- A través del portapapeles, eligiendo Copiar gráfico> Como mapa de bits o Copiar gráfico> Como Metarchivo mejorado en el menú Edición
- Eligiendo Archivo> Guardar (o seleccionando el ícono Guardar) para guardar el gráfico como mapa de bits o metarchivo mejorado en disco.

También puede ver exportar a Word y exportar a Excel para obtener instrucciones detalladas sobre la mejor forma de exportar los datos CROPWAT a estas aplicaciones.

Ventana Principal de CROPWAT

Esta es la ventana principal de CROPWAT. Haga clic con el botón del ratón sobre las diferentes secciones de la imagen de la ventana para obtener más información detallada.



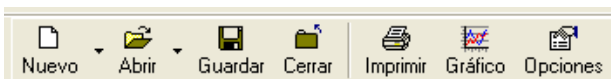
Barra de Módulos



La Barra de Módulos está ubicada a la izquierda de la Ventana Principal de CROPWAT. Los íconos de la Barra de Módulos proporcionan acceso directo a los módulos disponibles del programa CROPWAT. Haga clic en la sección relevante de la imagen de la Barra de Módulos de abajo para obtener más información acerca de ese módulo en particular.

La primera vez que seleccione el botón para Clima/ETo, Precipitación, Cultivo, Suelo o Patrón de cultivo Plan se abrirá una ventana de entrada de datos para el módulo respectivo. Usted puede empezar a ingresar datos manualmente, abrir un file ya existente a través del menú Archivo> Abrir (o más directamente seleccionando el ícono Abrir de la barra de Herramientas), o puede pegar una tabla desde el portapapeles, la cual fue copiada por ejemplo de una hoja de cálculo Excel. La ventana de datos para Clima/ETo, Precipitación y Cultivo se abrirá con los valores por defecto para ese tipo de datos (es decir, ETo Penman-Monteith mensual en el caso del módulo Clima/ETo). Usted puede cambiar rápidamente a otro tipo de datos para ese módulo (es decir, ETo medida mensualmente en el caso de Clima/ETo) mediante el menú desplegable del ícono Nuevo en la barra de Herramientas.

Barra de Herramientas



La barra de Herramientas contiene una serie de iconos que proporcionan fácil acceso a las funciones más comunes de CROPWAT que el usuario necesitará para trabajar con los módulos de CROPWAT. La funcionalidad de la barra de Herramientas cambia según el módulo activo. Ej. El ícono "Opciones" se inhabilita para los módulos tales como Suelo y Cultivo, puesto que para esos módulos no existen opciones específicas que se puedan configurar.

Además, la barra de Herramientas contiene el ícono Estimación, que se utiliza en el cálculo de ETo Penman-Monteith.

Haga clic en la sección relevante de la barra de Herramientas para obtener más información sobre un determinado ícono.

Menú principal de CROPWAT

El menú principal de CROPWAT, situado en la parte superior de la pantalla principal de CROPWAT, permite acceder a todas las funciones de CROPWAT. Tenga en cuenta, sin embargo, que muchas de estas funciones pueden ser más fácilmente accesibles a través de la barra de Herramientas y la Barra de Módulos.

Si un ícono del menú presenta color gris (en oposición al negro), significa que ese elemento no está disponible en ese momento. Ej El ícono Guardar en el menú Archivo será atenuado en gris si no se tienen ventanas de datos abiertas.

El menú principal se subdivide en 7 sub-menús:

Archivo

Comandos relacionados con la apertura y el guardado de sesiones y archivos de datos, y la impresión

Editar

Todos los comandos de edición estándar + opciones de copiar y pegar tablas y copiar gráficos

Cálculos

Provee acceso a los módulos de cálculo de CROPWAT. Se puede también, y más convenientemente acceder a estos módulos, a través de la barra de módulos

Gráficos

Comandos para mostrar gráficos de entrada y salida de datos

Configuración

Para las ubicaciones de los ficheros y opciones de cálculo

Windows

Comandos estándar para manipular las ventanas de datos

Ayuda

Provee acceso a este archivo de ayuda

Ventana de datos

La ventana de datos es la zona vacía de la ventana de CROPWAT, en la cual CROPWAT muestra todas las pantallas de datos de entrada y salida, así como todos los gráficos. La mayoría de las pantallas mostradas aquí pueden manipularse con las funciones estándar de ventana (Mosaico, Cascada, etc), como se encuentra disponible bajo la ventana de menú

Menú de Archivos

Nueva Sesión

Abrir Sesión

Guardar Sesión

Guardar Sesión como.

Cerrar Sesión

Nuevo

Abrir

Guardar

Guardar todo

Imprimir

Configurar impresora

Salir

Menú de edición

Deshacer

Cortar

Copiar

Pegar

Copiar Tabla

Pegar Tabla

Copiar gráfico

Menú de cálculos

Provee acceso al módulo de Requerimientos de Agua del Cultivo, Programación de Riego (cultivos no inundados o arroz) y el Módulo de Provisión de agua al esquema.

Se puede acceder directamente a estos módulos a través de la Barra de Módulos.

Menú de Gráficos

El menú de Gráficos permite a los usuarios elegir cualquiera de los siguientes tres diferentes tipos de gráficos:

- Para datos climáticos, de precipitación y de ETo (combinados en un solo gráfico)
- Para Requerimientos de Agua del Cultivo
- Para Programación de riego (cultivos no inundados o arroz)

Estos gráficos se pueden producir más directamente eligiendo el ícono de Gráfico botón en la barra de Herramientas.

Los gráficos sólo se pueden producir si los datos necesarios están disponibles. Ej El gráfico para Requerimientos de Agua del Cultivo puede visualizarse solamente si los datos se han calculado con el módulo Requerimientos de Agua del Cultivo.

Para guardar el gráfico, seleccione el ícono Guardar en la barra de Herramientas o Guardar en el menú Archivo. Puede seleccionar entre los formatos de archivo de mapa de bits y Metarchivo mejorado.

Menú de Configuración

El menú de configuración provee acceso a las siguientes posibilidades de configuración:

- Opciones
- Ubicación de archivos
- Guardar por defecto
- Cargar por defecto

Menú de ventanas

El menú de ventanas ofrece acceso a rutinas estándar de manejo de ventanas tales como ventanas en cascada o en mosaico, pudiendo hacer que otra ventana se active, seleccionándola de la lista de ventanas abiertas en la parte inferior del menú.

El menú de ventanas también proporciona acceso a dos rutinas específicas de manejo de ventanas de CROPWAT:

Ventana Central: Elija esta opción para centrar la actual ventana de datos en la pantalla (el valor predeterminado de posición de la ventana cuando se abre por primera vez). Esto también puede lograrse haciendo doble clic en un parte vacía (que no sea parte de un campo de entrada o salida) de la ventana justo debajo de la barra de la ventana (véase también el Módulo de manejo de ventana).

Centrar todas las ventanas: Elija esta opción para centrar todas las ventanas abiertas en el momento. Esta acción no afecta a las ventanas que están minimizadas.

Menú de Ayuda

El menú de Ayuda proporciona acceso a los siguientes tópicos:

Tópicos de Ayuda - Proporciona acceso a este archivo de ayuda, mediante la presentación de su índice de contenidos

Sobre CROPWAT - Escoja esta opción para mostrar una pantalla con información general acerca de CROPWAT incluidos los detalles de contacto en la FAO

CROPWAT pantalla de apertura, Esta opción desplegará la pantalla de bienvenida CROPWAT que normalmente aparece al iniciar CROPWAT

Módulo Clima / ETo

Este módulo se puede seleccionar haciendo clic sobre el icono Clima/ETo icono en la Barra de Módulo situada a la izquierda de la Ventana Principal de CROPWAT. La ventana de datos se abrirá con el tipo de datos por defecto para ese tipo de datos, es posible cambiar rápidamente a otro tipo de datos utilizando el menú desplegable del icono Nuevo en la barra de Herramientas. Alternativamente, use el icono Nuevo en el menú Archivo; los submenús permitirán la selección del nuevo tipo de datos y el tipo de datos que serán ingresados.

Los tipos de datos disponibles en este módulo son:

- ETo Mensual calculada por el método Penman-Monteith
- ETo Decadaria calculada por el método Penman-Monteith
- ETo Diaria calculada por el método Penman-Monteith
- ETo medida mensual
- ETo medida decadaria
- ETo medida diaria

ETo Mensual / Decadaria / Diaria calculada por Penman-Monteith

El módulo Clima/ETo es primario para la introducción de datos y requiere información sobre la estación meteorológica (país, nombre, altitud, latitud y longitud), junto con los datos climáticos,

que pueden ser ingresados en base mensual, decadiaria o diaria. En relación a los parámetros climáticos, CROPWAT requiere Temperatura minimamente, pero Humedad, Velocidad del viento y Radiación Solar debe ingresarse, cuando estén disponibles.

En este módulo se incluyen también cálculos para obtener:

- Radiación
- Evapotranspiración de referencia (ET_o) aplicando el enfoque FAO Penman-Monteith.

ET_o medida Mensual / Decadiaria / Diaria

El módulo Clima/ET_o es información de entrada, requiriendo información sobre la Evapotranspiración de Referencia (ET_o). Cuando la ET_o se ingresa en esta forma, CROPWAT no realiza ningún cálculo.

Para beneficio de los usuarios de CROPWAT, una base de datos climática llamado CLIMWAT ha sido desarrollado para proporcionar la información climática básica que necesita el programa. CLIMWAT Versión 2.0 contiene datos climáticos mensuales que se pueden exportar al formato utilizado por CROPWAT.

El módulo Clima/ET_o tiene la facilidad de presentar los datos en un gráfico, si se selecciona Gráfico en la barra de Herramientas mientras que el módulo Clima/ET_o es la ventana activa.

Opciones para Clima/ET_o

Se puede acceder a las opciones de configuración de Clima/ET_o eligiendo Opciones en el menú Configuración o seleccionando el icono Opciones en la barra de Herramientas cuando el módulo Clima/ET_o es la ventana activa.

Las siguientes opciones de datos se pueden establecer para ingresar nuevos datos. Note que los cambios realizados en estas opciones de datos sólo se activarán cuando se introduzcan nuevos datos.

OPCIONES DE CONFIGURACION DE DATOS:

ET_o Penman-Monteith: ET_o Penman-Monteith puede calcularse en base a un conjunto completo de datos climáticos ("ET_o Penman-Monteith calculado a partir de datos climáticos", se usa por defecto), o en base a datos de temperatura únicamente ("ET_o Penman-Monteith calculado a partir de datos de temperatura (otros datos estimados)"). En este último caso, CROPWAT 8.0 estimará los valores de los otros datos climáticos (humedad, velocidad del viento, radiación solar) en base a los datos de temperatura y de altitud/latitud.

Nota: Elija la segunda opción solo si no tiene disponibilidad de más datos que la temperatura. Alternativamente, es posible utilizar el icono de Estimación situado en la parte derecha de la barra de Herramientas para tener una estimación de los datos climáticos faltantes para campos individuales. Esto es particularmente útil en caso de un conjunto de datos climáticos con datos faltantes de sólo unos meses (o décadas, o días).

Temperatura: CROPWAT 8.0 puede trabajar con temperaturas mínimas y máximas (por defecto), o con temperaturas medias si las temperaturas mínimas/máximas no están disponibles.

OPCIONES DE UNIDADES:

Los siguientes opciones de unidades están disponibles:

Humedad: expresada como humedad relativa (%) o presión real de vapor (en kPa)

Velocidad del viento: expresada como kilómetros por día (km/día) o metros por segundo (m/s)

Insolación: expresada como horas de insolación directa (horas), porcentaje de insolación directa (%) o fracción de insolación directa (fracción)

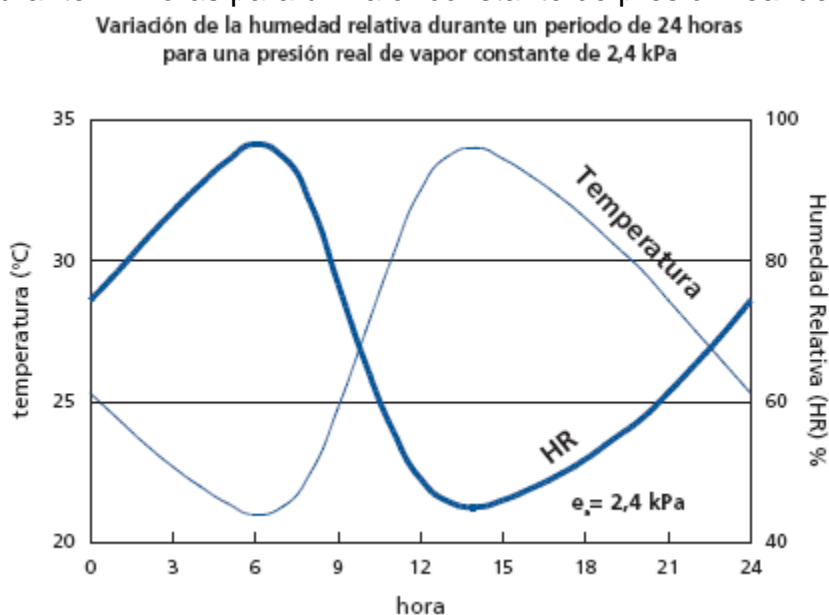
Evapotranspiración de referencia (ET_o), expresada como mm por día o mm por período. El período corresponde al tipo de datos: datos mensuales, decadiarios o diarios.

Para la explicación sobre Guardar como predeterminado y Reconfigurar a configuración FAO por defecto, véase la introducción general sobre Opciones.

Humedad

En CROPWAT 8.0, la humedad del aire puede expresarse como humedad relativa o presión real de vapor.

La humedad relativa expresa el grado de saturación del aire, como la relación entre la cantidad de vapor agua que el aire realmente contiene y la cantidad máxima que puede contener a la misma temperatura. La humedad relativa fluctúa entre un máximo cerca de la salida del sol y un mínimo en torno a las primeras horas de la tarde, de acuerdo con las variaciones de temperatura. La humedad relativa se expresa como porcentaje (%). La Figura abajo muestra la variación de la humedad relativa durante 24 horas para un valor constante de presión real de vapor.



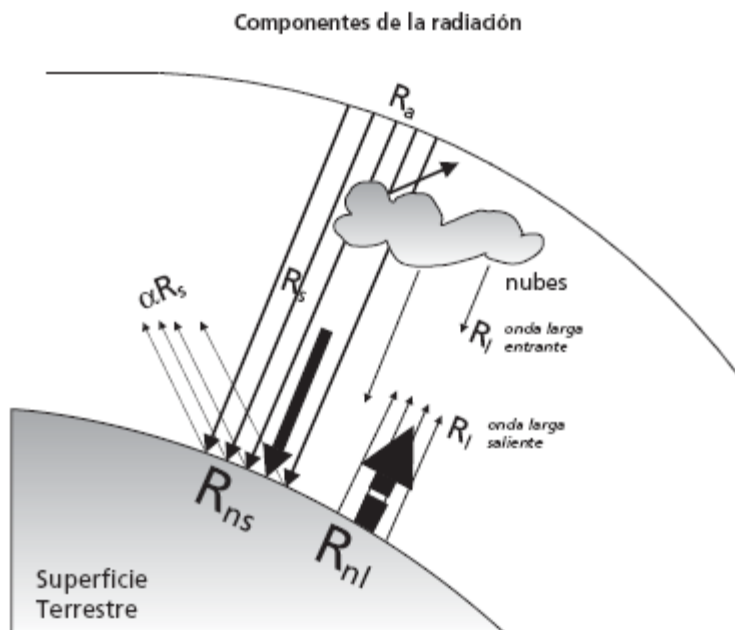
La presión real de vapor representa a la presión de vapor ejercida por el vapor de agua en el aire y es expresada en kPa.

Para establecer la humedad, como humedad relativa (%) o presión real de vapor (en kPa), diríjase a las opciones para configurar Clima/ET_o, eligiendo Opciones en el menú Configuración o seleccionando el icono Opciones en la barra de Herramientas mientras que el módulo Clima/ET_o es la ventana activa.

CROPWAT utiliza los valores de Humedad para la estimación de la Evapotranspiración de referencia aplicando el enfoque FAO Penman-Monteith. En caso de que solo se disponga de datos de temperatura, CROPWAT automáticamente estimará los valores de los otros datos climáticos (Humedad, Velocidad del viento y Insolación).

Radiación Solar

En base a los datos climáticos disponibles, CROPWAT estima la radiación solar que llega la superficie del suelo.



La radiación extraterrestre (R_a) representa a la radiación recibida en la parte externa de la atmósfera terrestre sobre una superficie horizontal, en función de la latitud, fecha y hora del día. La radiación solar (R_s), calculada en CROPWAT, representa la cantidad de radiación extraterrestre que llega a un plano horizontal sobre la superficie del suelo, que se calcula incluyendo la parte de la radiación extraterrestre que es dispersada, reflejada o absorbida por los gases atmosféricos, las nubes y el polvo. Parte de la radiación solar se refleja desde la superficie del suelo (αR_s) y otra parte es absorbida (R_{ns}). La radiación se expresa en MJ/m²/día.

Evapotranspiración de referencia (ET_o)

La tasa de evapotranspiración de un Cultivo de referencia que no enfrenta déficit hídrico se llama Evapotranspiración de referencia (ET_o).

El concepto de ET_o fue introducido para estudiar la demanda evaporativa de la atmósfera independientemente del tipo de cultivo, su desarrollo o su manejo. Como el agua es abundante en la superficie evapotranspirante, los factores de suelo no afectan la ET_o. El relacionar el proceso de evapotranspiración a una superficie determinada proporciona una referencia a la que la evapotranspiración de otras superficies pueden relacionarse. Esto elimina la necesidad de definir un nivel de evapotranspiración diferente y separado para cada cultivo y para cada etapa de crecimiento. Los valores de ET_o medidos o calculados en distintos lugares o en diferentes estaciones del año son comparables, ya que se refieren a la evapotranspiración de la misma superficie de referencia.

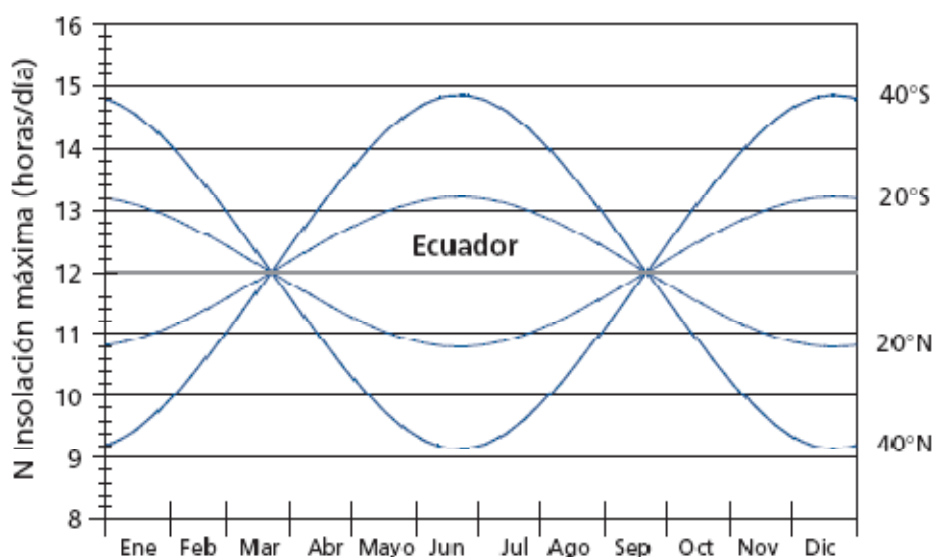
Los únicos factores que afectan a ET_o son los parámetros climáticos. En consecuencia, la ET_o es un parámetro climático y puede calcularse a partir de datos meteorológicos. La ET_o expresa el poder evaporativo de la atmósfera en un determinado lugar y momento del año y no tiene en cuenta las características del cultivo ni del suelo. El método FAO Penman-Monteith es recomendado como el único método para determinar la ET_o. Este método ha sido seleccionado

porque proporciona valores que muy consistentes con datos reales de uso de agua de cultivos en todo el mundo, como se ha demostrado a través de muchos años de evaluaciones en la literatura científica. Este método supera las deficiencias de métodos recomendados anteriormente, y explícitamente incorpora parámetros tanto fisiológicos como aerodinámicos. Además, se han desarrollado procedimientos para la utilización de este método, incluso con pocos datos climáticos.

Insolación directa

La Insolación directa representa la duración de la recepción de radiación solar sin interferencia de las nubes. Además de la nubosidad, depende de la posición del sol y por lo tanto es una función de la latitud y del día del año. Se expresa como horas de insolación (horas), como un porcentaje de insolación directa (%) o como fracción de insolación directa (fracción). La siguiente figura muestra cómo varía la recepción de insolación directa en un día despejado durante el año de acuerdo a la latitud.

Variación anual de las horas de luz del día (N) en el ecuador a los 20° y 40° de latitud norte y sur



Para establecer las unidades de la insolación directa, elija Opciones en el menú Configuración o seleccione el icono Opciones en la barra de Herramientas mientras que el módulo Clima/ETo es la ventana activa.

CROPWAT 8.0 utiliza insolación directa para la estimación de la radiación, que a su vez es necesaria para el cálculo de la Evapotranspiración de referencia (ETo) cuando se utiliza la ecuación FAO Penman-Monteith. En caso de que solo se cuente con datos de Temperatura, CROPWAT 8.0 estimará los valores de los otros datos climáticos (humedad, velocidad del viento, radiación solar) en base a los datos de temperatura y de altitud/latitud.

Temperatura

En consonancia con las normas agrometeorológicas, CROPWAT 8.0 se refiere a la temperatura del aire medida a 2 metros sobre el nivel del suelo. La temperatura se presenta en grados Celsius (°C).

CROPWAT 8.0 puede trabajar con temperaturas mínimas y máximas (por defecto), o con temperaturas medias si las temperaturas mínimas/máximas no están disponibles. La temperatura máxima diaria del aire y la temperatura mínima diaria del aire son, respectivamente, la máxima y

la mínima temperatura del aire observadas durante un periodo de 24 horas, a partir de la medianoche. Para períodos más largos, como 10 días o meses, los valores de temperaturas máximas y mínimas se obtienen dividiendo la suma de los respectivos valores diarios entre el número de días del período.

Velocidad del viento

En consonancia con las normas agrometeorológicas, CROPWAT 8.0 se refiere a la velocidad del viento, medida a 2 metros sobre el nivel del suelo.

La velocidad del viento es más lenta en la superficie y aumenta con la altura. Para ajustar la velocidad del viento obtenida de instrumentos en alturas distintas de la altura estándar de 2m, se pueden utilizar un perfil logarítmico de la velocidad del viento:

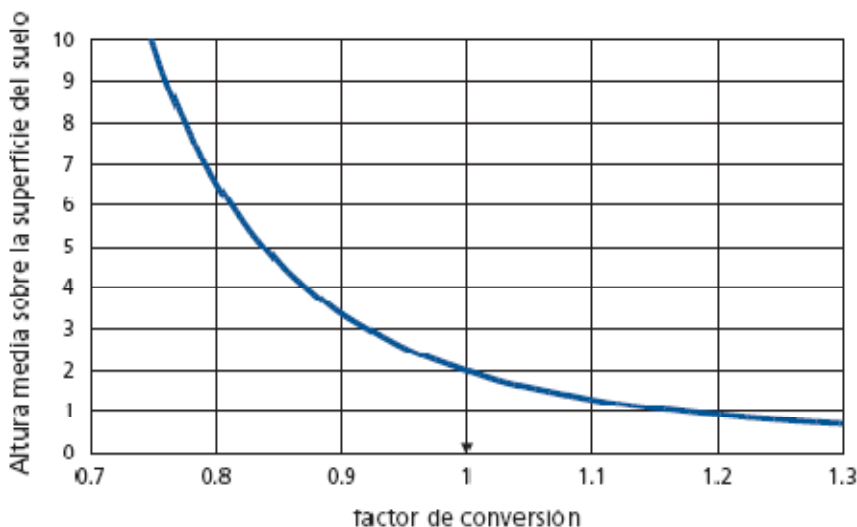
$$U_2 = U_z \frac{4,87}{\ln(67,8 z - 5,42)}$$

u_2 velocidad del viento a 2 m sobre la superficie [m s⁻¹],

u_z velocidad del viento medida a z m sobre la superficie [m s⁻¹],

z altura de medición sobre la superficie [m].

Factor de conversión para convertir la velocidad del viento medida en cierta altura sobre el nivel del suelo a la velocidad del viento en la altura estándar (2 m)



En CROPWAT 8.0, la velocidad del viento se presenta en kilómetros por día (km/día) o en metros por segundo (m/s). Para configurar la unidad, elija Opciones en el menú Configuración o seleccione el icono Opciones en la barra de Herramientas mientras que el módulo Clima/ETo sea la ventana activa.

CROPWAT utiliza velocidad del viento en la estimación de la Evapotranspiración de referencia (ETo) utilizando la ecuación FAO Penman-Monteith. En caso de que solo se cuente con datos de Temperatura, CROPWAT 8.0 estimará los valores de los otros datos climáticos (humedad, velocidad del viento, insolación).

Icono de Estimación (F6)

El icono Estimación se encuentra en la parte derecha de la barra de Herramientas. Este icono sólo está habilitado para las pantallas de entrada de datos para el cálculo de ETo Penman-Monteith, para permitir estimaciones de los valores de humedad, velocidad del viento y/o radiación solar, en base a valores de temperaturas mínimas y máximas (además de la altitud/latitud en el caso de radiación solar).

Al hacer clic en el icono o presionando F6 cuando usted está en uno los campos mencionados en la Tabla, CROPWAT estimará el valor.

Este icono se ha desarrollado principalmente para la estimación de (algunos) campos individuales. Si desea estimar todos los datos de humedad, velocidad del viento y radiación solar (porque no se cuenta con los datos disponibles), deberá cambiar la configuración de los datos de ETo en la pantalla Opciones para Clima/ETo hacia "ETo Penman calculado a partir de los datos de temperatura". Esto hará que CROPWAT calcule automáticamente estos campos una vez que los datos necesarios se hayan introducido.

Enfoque FAO Penman-Monteith

Una consulta de expertos e investigadores fue organizada por la FAO en 1990, en colaboración con la Comisión Internacional de Riego y Drenaje y con la Organización Meteorológica Mundial, para examinar las metodologías de la FAO para el cálculo de los requerimientos de agua los cultivos y para asesorar sobre una revisión y actualización de los procedimientos.

El grupo de expertos recomendó la adopción del método combinado de Penman-Monteith como una nueva norma para el cálculo de la evapotranspiración de referencia y sugirió procedimientos para el cálculo de los distintos parámetros. El método FAO Penman-Monteith fue desarrollado mediante la definición del Cultivo de referencia como un cultivo hipotético de referencia con una altura asumida de 0.12 m, una resistencia superficial fija de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0.23. La superficie de referencia se asemeja a una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente, sombreando totalmente la tierra y con un adecuado aporte de agua. El método supera las deficiencias del anterior método FAO Penman y proporciona valores más consistentes con el uso real de agua por parte de los cultivos en todo el mundo. En base a la ecuación original de Penman-Monteith y a las ecuaciones de resistencia aerodinámica y de superficie, el método FAO Penman-Monteith para estimar ETo, se expresa como:

$$ETo = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Donde:

ETo evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

Rn radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)

Ra radiación extraterrestre (mm día⁻¹)

G flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹)

T temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u2 velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)

es presión de vapor de saturación (kPa)

ea presión real de vapor (kPa)

es - ea déficit de presión de vapor (kPa)

Δ pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)
 γ constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

La evapotranspiración de referencia, E_{To} , ofrece un estándar para:

- comparar evapotranspiración en diferentes periodos del año en otras regiones
- relacionar la evapotranspiración de otros cultivos

La ecuación usa registros climáticos estándar de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. Para garantizar los cálculos, las mediciones climáticas se deben realizar a 2m (o ser convertidas a un valor equivalente) por encima de una superficie extensa de pasto verde, cubriendo el suelo y con suficiente disponibilidad de agua.

Ninguna ecuación de evapotranspiración puede predecir la evapotranspiración perfectamente bajo cada situación climática debido a la simplificación en la formulación y errores en la medición de los datos. Es probable que instrumentos de precisión elevada bajo excelentes condiciones de manejo ambiental y biológico muestren que la ecuación FAO Penman-Monteith se desvía en ocasiones de las mediciones reales de la E_{To} del pasto. Sin embargo, la consulta de expertos estuvo de acuerdo en utilizar la definición de referencia hipotética de la ecuación FAO Penman-Monteith como la definición de E_{To} de pasto cuando se derivan y expresando coeficientes de cultivos.

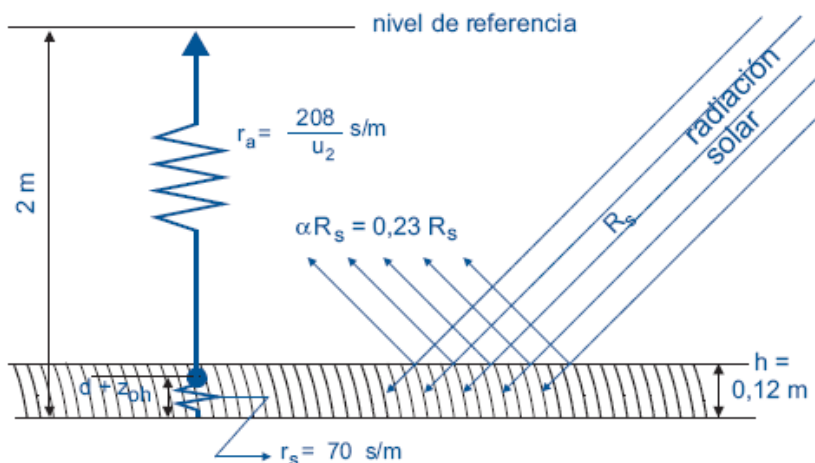
La ecuación FAO Penman-Monteith es una representación simple de los factores físicos y fisiológicos que rigen el proceso de evapotranspiración. Con el uso de la definición de E_{To} de la FAO Penman-Monteith, se pueden calcular los coeficientes de cultivo en los sitios de investigación relacionando la evapotranspiración del cultivo (E_{Tc}) con la E_{To} calculada, es decir, $K_c = E_{Tc}/E_{To}$. En el enfoque del coeficiente de cultivo, las diferencias en el dosel del cultivo y la resistencia aerodinámica en relación al cultivo de referencia hipotético se incluyen en el coeficiente de cultivo. El K_c sirve como un factor de agregación de las diferencias físicas y fisiológicas entre los cultivos y la definición de referencia.

Cultivo de referencia

Una consulta de expertos e investigadores fue organizada por la FAO en Mayo de 1990, en colaboración con la Comisión Internacional de Riego y Drenaje y con la Organización Meteorológica Mundial, para examinar las metodologías de la FAO para el cálculo de los requerimientos de agua los cultivos y para asesorar sobre una revisión y actualización de los procedimientos.

El grupo de expertos recomendó la adopción del método combinado de Penman-Monteith como una nueva norma para el cálculo de la evapotranspiración de referencia y sugirió procedimientos para el cálculo de los distintos parámetros. El método FAO Penman-Monteith fue desarrollado mediante la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético de referencia con una altura asumida de 0.12 m, una resistencia superficial fija de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0.23. La superficie de referencia se asemeja a una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente, sombreando totalmente la tierra y con un adecuado aporte de agua. El método supera las deficiencias del anterior método FAO Penman y proporciona valores más consistentes con el uso real de agua por parte de los cultivos en todo el mundo.

Las características del cultivo de referencia hipotético se muestran en el gráfico a continuación:



Módulo de precipitación

Este módulo se puede seleccionar haciendo clic en el icono de Precipitación en la Barra de Módulos situada a la izquierda de la Ventana Principal de CROPWAT. La ventana de datos se abrirá por defecto para ese tipo de datos; es posible cambiar rápidamente a otro tipo de datos utilizando el menú desplegable del icono Nuevo en la barra de Herramientas. Alternativamente, use el icono Nuevo en el menú Archivo, un menú secundario permite la selección del nuevo tipo de datos y el tipo de datos que serán ingresados.

Los tipos de datos disponibles en este módulo son:

- Mensual
- Decadarios (decenal)
- Diarios

El módulo de Precipitación es primario para la introducción de datos, requiriendo información sobre los valores de precipitación en forma mensual, decadiaria o diaria.

Este módulo incluye también los cálculos para producir los datos de Precipitación efectiva utilizando uno de los métodos disponibles, los que pueden seleccionarse haciendo clic en Opciones en la barra de Herramientas teniendo el módulo de Precipitación como ventana activa.

El módulo Precipitación tiene la facilidad de presentar datos en gráficos, al elegir el icono Gráficos en la barra de Herramientas teniendo el módulo de Precipitación como ventana activa.

Opciones para Precipitación

Se puede acceder a las opciones para precipitación eligiendo Opciones en el menú Configuración o seleccionando el botón Opciones en la barra de Herramientas cuando el módulo de Precipitación es la ventana activa.

Todas las opciones de precipitación se refieren al cálculo de la Precipitación efectiva en base a los datos de precipitación. Las opciones son:

Porcentaje fijo: la Precipitación efectiva es un porcentaje fijo de la precipitación real y se calcula de acuerdo a:

$$P_{ef} = \text{Porcentaje fijo} * P$$

El porcentaje fijo debe ser definido por el usuario para tener en cuenta las pérdidas por escorrentía y percolación profunda.

Precipitación confiable (ecuación FAO/AGLW): De acuerdo con un análisis llevado a cabo para diferentes climas semiáridos y subhúmedos, una fórmula empírica se desarrolló en el Servicio de Aguas de la FAO para estimar la precipitación confiable como el efecto combinado de la precipitación confiable (80% de probabilidad de excedencia) y las pérdidas estimadas debido a la Escorrentía Superficial (ES) y a la Percolación Profunda (PP). Esta fórmula puede ser utilizada para fines de diseño, en caso que se requiera el valor de la precipitación con 80 % de probabilidad de excedencia:

Valores mensuales de precipitación:

$$\begin{aligned} P_{ef} &= 0.6 * P - 10 && \text{para } P_{\text{mensual}} \leq 70 \text{ mm} \\ P_{ef} &= 0.8 * P - 24 && \text{para } P_{\text{mensual}} > 70 \text{ mm} \end{aligned}$$

Valores decadiarios de precipitación:

$$\begin{aligned} P_{ef}(\text{dec}) &= 0.6 * P_{\text{dec}} - (10 / 3) && \text{para } P_{\text{dec}} \leq (70 / 3) \text{ mm} \\ P_{ef}(\text{dec}) &= 0.8 * P_{\text{dec}} - (24 / 3) && \text{para } P_{\text{dec}} > (70 / 3) \text{ mm} \end{aligned}$$

Formulas empíricas: Las mismas formulas que para la precipitación confiable pero con la posibilidad de cambiar los parámetros, los cuales pueden ser determinados de un análisis de registros climáticos locales:

Valores mensuales de precipitación:

$$\begin{aligned} P_{ef} &= a * P_{\text{mensual}} - b && \text{para } P_{\text{mensual}} \leq z \text{ mm} \\ P_{ef} &= c * P_{\text{mensual}} - d && \text{para } P_{\text{mensual}} > z \text{ mm} \end{aligned}$$

Valores decadiarios de precipitación:

$$\begin{aligned} P_{ef}(\text{dec}) &= a * P_{\text{dec}} - (b / 3) && \text{para } P_{\text{dec}} \leq (z / 3) \text{ mm} \\ P_{ef}(\text{dec}) &= c * P_{\text{dec}} - (d / 3) && \text{para } P_{\text{dec}} > (z / 3) \text{ mm} \end{aligned}$$

Los valores de a, b, c, d y z son coeficientes de correlación.

USDA Soil Conservation Service: Ecuación desarrollada por el USCS, por medio de la cual la Precipitación efectiva puede ser calculada de acuerdo a:

Valores mensuales de precipitación:

$$\begin{aligned} P_{ef} &= P_{\text{mensual}} * (125 - 0.2 * P_{\text{mensual}}) / 125 && \text{para } P_{\text{mensual}} \leq 250 \text{ mm} \\ P_{ef} &= 125 + 0.1 * P_{\text{mensual}} && \text{para } P_{\text{mensual}} > 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

Valores decadiarios de precipitación:

$$\begin{aligned} P_{ef}(\text{dec}) &= P_{\text{dec}} * (125 - 0.6 * P_{\text{dec}}) / 125 && \text{para } P_{\text{dec}} \leq (250 / 3) \text{ mm} \\ P_{ef}(\text{dec}) &= (125 / 3) + 0.1 * P_{\text{dec}} && \text{para } P_{\text{dec}} > (250 / 3) \text{ mm} \end{aligned}$$

Precipitación no considerada para las estimaciones de riego (Precipitación efectiva = 0):

Cuando se elige esta opción, CROPWAT ignora los datos de precipitación durante los cálculos de los requerimientos de riego.

Note que en los cálculos de RAC se usa la precipitación efectiva decadiaria estimada aplicando uno de los métodos propuestos. Por el contrario durante los cálculos para la Programación de riego, el ingreso de la precipitación al suelo es estimado en base diaria y las pérdidas de precipitación se estiman de acuerdo al contenido de agua en el suelo en la zona radicular. Por tanto, en este último caso, la precipitación Total y no así la precipitación efectiva es usada para el cálculo del balance de agua en el suelo; la precipitación efectiva es calculada para toda la estación de cultivo.

Precipitación Efectiva

Desde el punto de vista de producción agrícola, la precipitación efectiva se refiere a la parte de la precipitación que puede ser efectivamente utilizada por las plantas. Esto significa que no toda la precipitación está a disposición de los cultivos, ya que una parte se pierde a través de la Escorrentía Superficial (ES) y de la Percolación Profunda (PP).

Cuánta agua se infiltra en realidad en el suelo depende del tipo de suelo, pendiente, tipo de cultivos, intensidad de la precipitación y el contenido inicial de agua en el suelo. El método más preciso para determinar la precipitación efectiva es a través de observación en campo. La lluvia es altamente efectiva cuando poco o nada se pierde por ES. Bajas precipitaciones son poco efectivas pues se pierden rápidamente por evaporación.

Los valores de precipitación media, real o confiable se pueden ingresar como datos de entrada. Se debe tener cuidado en la selección de los valores adecuados de precipitación confiable, que deben estar basados en análisis estadísticos realizados en registros históricos de suficiente duración.

A través de las Opciones para Precipitación, CROPWAT 8.0 ofrece la posibilidad de utilizar varios métodos para calcular la precipitación efectiva:

- 1. Porcentaje fijo**
- 2. Precipitación confiable**
- 3. Fórmula empírica**
- 4. Método del USDA Soil Conservation Service**

Además, ofrece la posibilidad de llevar a cabo los cálculos de riego sin considerar la precipitación.

Tenga en cuenta que en los cálculos para hallar los RAC, se utiliza la precipitación efectiva decadiaria, estimada con uno de los métodos propuestos en las Opciones para Precipitación. Por el contrario, en los cálculos para Programación, el ingreso de la precipitación en el suelo se determina en base diaria y las pérdidas debidas a la percolación profunda y la escorrentía superficial se calculan de acuerdo con el contenido de humedad del suelo en la zona radicular. Por lo tanto, la precipitación Total y NO la Precipitación efectiva, es usada para el cálculo del balance de agua en el suelo. En este módulo, la precipitación efectiva estacional es acumulada diariamente, durante la temporada de cultivo completa.

Módulo de cultivo

Este módulo se puede seleccionar haciendo clic en el icono de cultivos en la Barra de Módulos situada a la izquierda de la ventana principal de CROPWAT. La ventana de datos se abrirá con el tipo de datos por defecto; es posible cambiar a otro tipo de datos utilizando el menú desplegable del menú Nuevo en la barra de Herramientas. Alternativamente, se puede usar el botón Nuevo

en el menú desplegable de Archivo, un menú secundario permite la selección del tipo de datos que se ingresarán.

Los tipos de datos disponibles en este módulo son:

- Cultivos diferentes al arroz
- Arroz

El módulo de cultivos es esencialmente para la introducción de datos, requiriéndose datos de cultivo para las diferentes etapas de desarrollo del cultivo. Los datos requeridos difieren en el caso de ser cultivo de Arroz o no (Cultivo diferente de arroz).

Módulo de cultivo|Cultivo diferente al arroz

Este módulo se puede seleccionar haciendo clic en el icono de Cultivo en la Barra de Módulos situada en la parte izquierda de la ventana principal de CROPWAT. La ventana de datos se abrirá con el tipo de datos por defecto para esa categoría; es posible cambiar a otro tipo de datos utilizando el menú desplegable del menú Nuevo en la barra de Herramientas. Alternativamente, se puede usar el icono Nuevo en el menú desplegable de Archivo; un menú secundario permite la selección del tipo de datos que se ingresarán.

El módulo de cultivos es esencialmente para la introducción de datos, requiriendo los siguientes datos en forma obligatoria:

- Fecha de siembra
- Coeficiente de cultivo(Kc)
- Etapas de crecimiento
- Profundidad radicular
- Fracción de agotamiento crítico (p)
- Factor de respuesta del rendimiento (Ky)

Si se dispone de la información, la máxima Altura del cultivo debe ser proporcionada.

La fecha de cosecha se calcula automáticamente en base a la Fecha de siembra y de la duración total del ciclo de cultivo de acuerdo con la información ingresada sobre la duración de las fases del cultivo.

Los datos del cultivo se refieren a las cuatro etapas del ciclo de cultivo:

- **Etapla inicial** se extiende desde la fecha de plantación hasta que el cultivo cubre aproximadamente el 10% de la cubierta del suelo.
- **Etapla de desarrollo del cultivo** se extiende desde el momento en que el cultivo cubre el 10% del suelo hasta la plena cobertura. La cobertura completa para muchos cultivos se produce al inicio de la floración.
- **Etapla de mediados de temporada** se extiende desde la cobertura plena hasta el inicio de la madurez. El inicio de la madurez es a menudo percibido por el comienzo de la madurez del cultivo, color amarillento o la senescencia de hojas, caída de hojas, o madurez de los frutos de manera que la evapotranspiración del cultivo se reduce en relación a la evapotranspiración de referencia.
- **Etapla final** se extiende desde el inicio de la madurez hasta la cosecha o la plena senescencia. Se presume que el cálculo de Kc y ETc concluye cuando el cultivo es cosechado, se seca naturalmente, llega a la plena senescencia o pierde sus hojas.

En la mayoría de los casos, los valores de los parámetros introducidos para las etapas relevantes permiten la interpolación en los restantes períodos del ciclo de cultivo.

Para los cultivos perennes el procedimiento a seguirse es levemente diferente, ya que las cuatro fases de crecimiento, como se distinguen anteriormente, no suelen coincidir con las de los cultivos perennes. Para los cálculos de CROPWAT 8.0, K_c se puede considerar constante durante el año (cuatro etapas de 90 días) con la fecha de siembra el 1º de enero o se pueden distinguir cuatro etapas en la estación de crecimiento y seleccionarse una fecha de siembra conveniente.

Módulo de cultivo|Arroz

Este módulo se puede seleccionar haciendo clic en el icono de Cultivo en la Barra de Módulos situada en la barra izquierda de la ventana principal de CROPWAT. La ventana de datos se abrirá con el tipo de datos por defecto para esa categoría; es posible cambiar a otro tipo de datos de cultivo, utilizando el menú desplegable del menú Nuevo en la barra de Herramientas. Alternativamente, se puede usar el icono Nuevo en el menú desplegable de Archivo; un menú secundario permite la selección del tipo de datos que se ingresarán.

El módulo de cultivos es esencialmente para la introducción de datos, requiriendo los siguientes datos en forma obligatoria:

Fecha de siembra en caso de siembra directa o Fecha de trasplante en caso de siembra en almácigo.

Coeficiente de cultivo(K_c)

- Etapas de crecimiento
- Profundidad radicular
- Profundidad de anegamiento
- Fracción de agotamiento crítico (p)
- Factor de respuesta del rendimiento (K_y)

Si se dispone de la información, la máxima Altura del cultivo debe ser proporcionada.

La fecha de cosecha se calcula automáticamente en base a la Fecha de siembra y de la duración total del ciclo de cultivo.

Los datos del cultivo para el caso específico del arroz se refieren a las siguientes etapas del ciclo del arroz:

- Las semillas de arroz germinan y son mantenidas comúnmente en un área de almácigo hasta que estén listas para el trasplante. El periodo de tiempo necesario para que las semillas de arroz germinen y se cuente con plántulas listas para el trasplante se conoce en CROPWAT 8.0 como **Periodo de almácigo** y tiene una duración aproximada de 25 a 50 días, variando en función del clima, variedad de arroz y usos locales.
- **Etapas inicial** se extiende desde la fecha de siembra o trasplante hasta que el cultivo cubre aproximadamente el 10% de la cubierta del suelo.
- **Etapas de Desarrollo del cultivo** se extiende desde el momento en que el cultivo cubre el 10% del suelo hasta la plena cobertura. La cobertura completa para muchos cultivos se produce al inicio de la floración.
- **Etapas de desarrollo medio** se extiende desde la cobertura plena hasta el inicio de la madurez. El inicio de la madurez es a menudo percibido por el comienzo de la madurez del cultivo, color amarillento o la senescencia de hojas, caída de hojas, o madurez de los frutos

de manera que la evapotranspiración del cultivo se reduce en relación a la evapotranspiración de referencia.

- **Etapas final** se extiende desde el inicio de la madurez hasta la cosecha o la plena senescencia. Se presume que el cálculo de K_c y ET_c concluye cuando el cultivo es cosechado, se seca naturalmente, llega a la plena senescencia o pierde sus hojas.

Por otra parte, el tiempo requerido para la **preparación del suelo** también debe ser especificado. Dentro del periodo de preparación del suelo, la duración del periodo de anegamiento es también necesaria para estimar los cambios en la percolación del suelo. La preparación de suelos para los campos de arroz, puede iniciarse aproximadamente un mes o más antes de que se trasplante el arroz. Cuando no se cuenta con mecanización, es común que los campos sean inundados, pues esto facilita el trabajo manual o con ayuda animal. Pocos días después de la inundación del campo, el suelo es **preparado** para voltearlo. Después de la preparación del suelo, este es anegado para reducir su permeabilidad y por tanto las pérdidas por percolación. Luego del anegamiento, el suelo es **nivelado**. Para facilitar la nivelación, cuando no se dispone de maquinaria, es común inundar el campo con una capa poco profunda de agua para ayudar a identificar las áreas desniveladas y la nivelación se lleva adelante con una pala, pico, tabla de nivelación u otro implemento.

En la mayoría de los casos, los valores de los parámetros introducidos para las etapas relevantes permiten la interpolación en los restantes periodos del ciclo de cultivo.

Coeficiente de cultivo (K_c)|Cultivo diferente al arroz

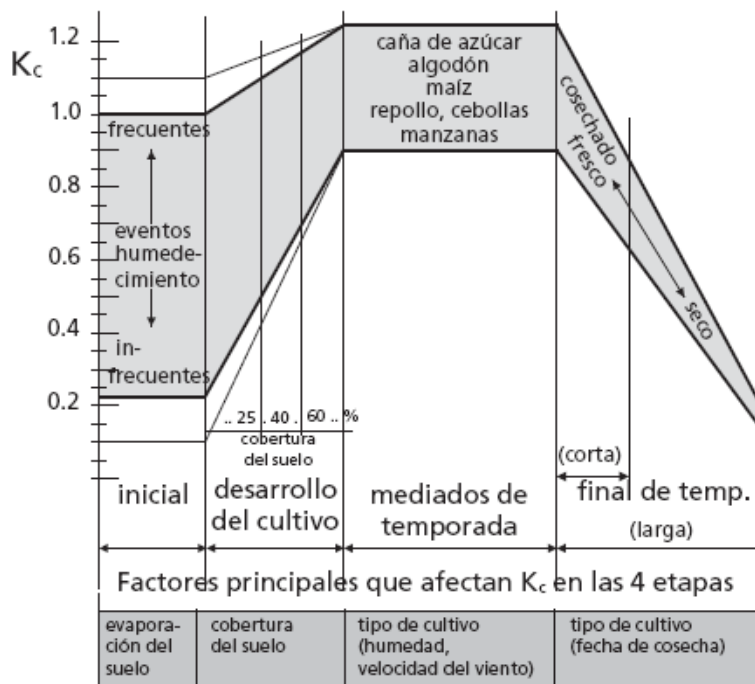
El coeficiente de cultivo (K_c) integra el efecto de las características que distinguen a un determinado cultivo de aquellas del Cultivo de referencia. De acuerdo con el enfoque de Coeficiente de cultivo, la Evapotranspiración de cultivo en condiciones estándar (ET_c) se calcula multiplicando la Evapotranspiración de referencia (ET_o) por el K_c adecuado para ese cultivo.

K_c está influenciado principalmente por el tipo de cultivo y en menor proporción por el clima y la evaporación del suelo. Por otra parte, el K_c para un determinado cultivo varía de acuerdo a las etapas de cultivo, dado que la cubierta del suelo, la altura del cultivo y el área foliar cambian a medida que el cultivo se desarrolla.

CROPWAT 8.0 requiere de valores para K_c para la etapa inicial, etapa de desarrollo del cultivo, mediados de temporada y final (cosecha). Los valores de K_c durante las etapas de desarrollo y finales de temporada son interpolados.

- **Período inicial (Ini):** durante este período, el área foliar es pequeña y la evapotranspiración es predominantemente en forma de evaporación del suelo. Por ello, el valor de K_c durante el período inicial es mayor cuando el suelo está mojado por riego o precipitación y es reducido cuando la superficie del suelo está seca.
- **Etapas de desarrollo (Des):** como el cultivo se desarrolla y progresivamente cubre el terreno, la evaporación se hace más restringida y la transpiración gradualmente se convierte en el proceso principal de uso de agua.
- **Mediados de Temporada (Med):** en esta etapa el K_c alcanza su valor máximo.
- **Etapas de final de temporada (Fin):** el valor de K_c al final del periodo de cultivo (cosecha) refleja prácticas de manejo de agua y de cultivo. Este valor es alto si el cultivo es cultivado bajo riego frecuente y cosechado en fresco. Si el cultivo se deja hasta la senescencia y secado antes de cosecharse, el valor de K_c será pequeño, debido a la menor conductancia de la superficie de las hojas.

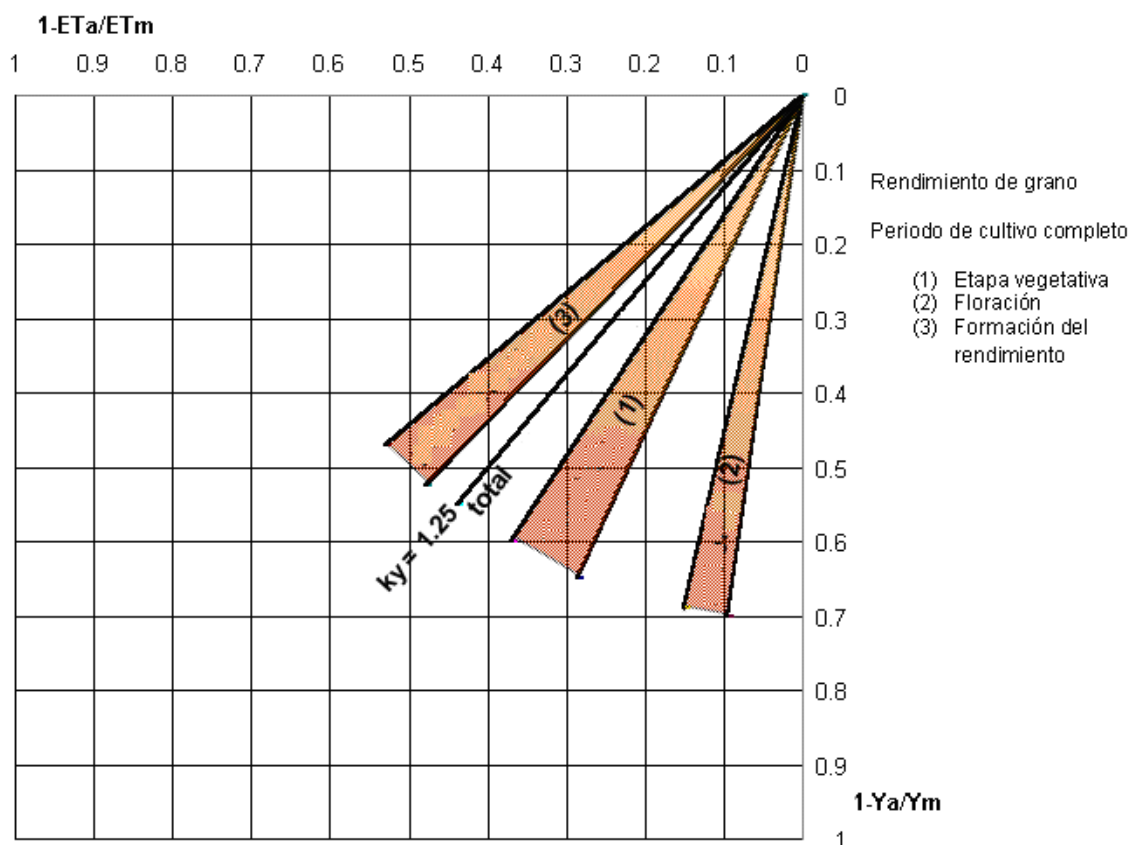
En la siguiente figura se ilustra la variación de K_c para diferentes cultivos influenciada por factores climáticos y de desarrollo de los cultivos.



Factor de respuesta del rendimiento (K_y)

La respuesta del rendimiento al aporte de agua se cuantifica mediante el factor de respuesta del rendimiento (K_y), que se refiere a la reducción del rendimiento relativo al déficit de evapotranspiración relativa. El déficit de agua de una determinada magnitud, expresado en la relación entre la Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET_{c-aj}) y la Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c), puede ocurrir continuamente durante el período total de crecimiento del cultivo, o individualmente durante cualquiera de las etapas del cultivo.

En general, para todo el período de cultivo, la disminución en el rendimiento es proporcionalmente menor con el aumento del déficit de agua ($K_y < 1$) para cultivos como alfalfa, maní, cártamo y remolacha azucarera, si bien es proporcionalmente mayor ($K_y > 1$) para cultivos como el plátano, maíz y caña de azúcar. Para cada uno de los períodos de cultivo, la disminución en el rendimiento debido al déficit de agua durante ese período es relativamente pequeña en el período vegetativo y de maduración y relativamente grande durante la floración y período de formación de rendimiento. El déficit de agua durante un período de cultivo en particular también puede ser expresado como el déficit de agua durante el período total cuando relación entre la ET_c de ese período y la ET_c del período completo del cultivo es conocida. La Figura a continuación muestra ejemplos de la relación entre la evapotranspiración y el rendimiento relativos.



Coeficiente de cultivo (Kc)|Arroz

El coeficiente de cultivo (Kc) integra el efecto de las características que distinguen a un determinado cultivo de aquellas del Cultivo de referencia. De acuerdo con el enfoque de Coeficiente de cultivo, la Evapotranspiración de cultivo en condiciones estándar (ETc) se calcula multiplicando la Evapotranspiración de referencia (ETo) por el Kc adecuado para ese cultivo. Kc está influenciado principalmente por el tipo de cultivo y en menor proporción por el clima y la evaporación del suelo. Por otra parte, el Kc para un determinado cultivo varía de acuerdo a las etapas de cultivo, dado que la cubierta del suelo, la altura del cultivo y el área foliar cambian a medida que el cultivo se desarrolla.

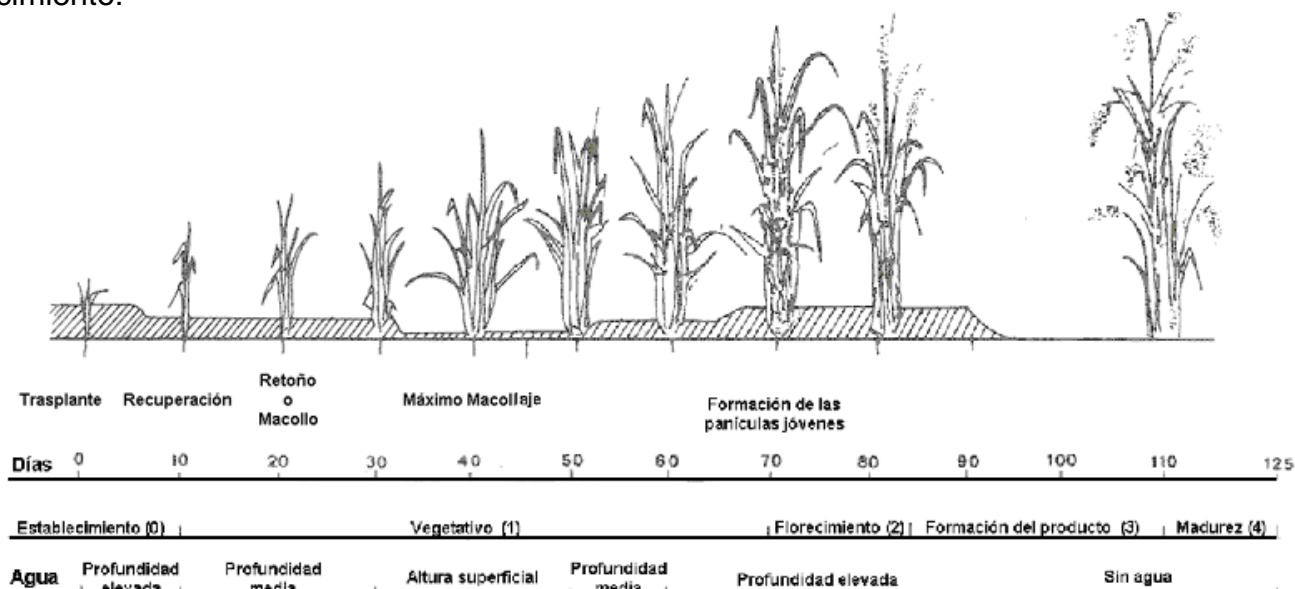
El arroz de zonas bajas crece normalmente en campos bordeados inundados durante la mayor parte de la temporada de cultivo. A diferencia de los cultivos de zona altas, CROPWAT 8.0 utiliza dos coeficientes de cultivos por etapa de cultivo del arroz. El primer **Kc-húmedo** se usa cuando hay encharcamiento de agua en la superficie del suelo seco mientras **Kc-seco** se usa cuando no hay agua permanente en la parte encharcada en la superficie del suelo, la cual es una situación común hacia el final de la temporada de cultivo durante el secado del perfil del suelo. Esto también puede ocurrir en cualquier otro momento durante el ciclo de cultivo y, por lo tanto, ambos valores **Kc-húmedo** y **Kc-seco** son necesarios para todas las etapas. CROPWAT 8.0 requiere de valores para Kc para la etapa inicial, etapa de desarrollo del cultivo, mediados de temporada y final (cosecha). Los valores de Kc durante las etapas de desarrollo y finales de temporada son interpolados. En el caso del arroz, los valores Kc son necesarios también para el almácigo y para el periodo de preparación del suelo. Estos dos periodos ocurren simultáneamente ya que el suelo es usualmente preparado mientras que las semillas germinan.

- **Periodo de almácigo:** El área cubierta por los almácigos de arroz por lo general ocupa sólo una fracción del total de superficie cultivada que comúnmente oscila entre 5 y 10%. El almácigo tiene que tener suficiente abastecimiento de agua para producir plantas de buena

calidad. Por lo tanto, Kc-húmedo normalmente se utiliza para el cálculo de los requerimientos de agua durante este período.

- **Preparation de suelo:** este período podrá requerir cantidades mínimas de agua en caso de que se practique la preparación de suelo en seco. Asimismo la siembra directa requiere también pequeñas cantidades de agua durante este período. En estos casos Kc seco suele ser bajo, ya que representa la evaporación del suelo sin cultivo y con reducida humedad de suelo. Sin embargo, en la mayoría de los casos, reutiliza la preparación del suelo con agua. El requerimiento de agua para la preparación del suelo depende de la cantidad necesaria para empapar el suelo, la pérdida de agua durante las operaciones y de la cantidad de agua utilizada para mantener el agua estancada en el terreno. El Requerimiento de agua para empapar el suelo depende del contenido inicial de humedad del suelo, las condiciones superficiales del suelo y su textura. En este caso se aplicaría el Kc-húmedo la mayor parte del tiempo durante este período ya que el suelo permanece inundado o húmedo durante todo el período.
- **Periodo Inicial (Ini):** Durante este periodo, bajo condiciones óptimas para el arroz, hay agua estancada permanentemente. En este periodo, el area foliar es pequeña y la Evapotranspiración es predominantemente como evaporación del agua estancada. Kc-húmedo durante el periodo inicial es grande y Kc-seco es relativamente bajo ya que las plantas no cubren mucha area todavia.
- **Etapas de desarrollo (Des):** como el cultivo se desarrolla y progresivamente cubre el terreno y el agua estancada, la evaporación se hace más restringida y la transpiración gradualmente se convierte en el proceso principal de uso de agua.
- **Mediados de Temporada (Med):** en esta etapa el Kc-seco alcanza su valor máximo ya que el máximo valor del dosel se ha desarrollado.
- **Etapas de final de temporada (Fin):** el valor de Kc-húmedo y Kc-seco al final del periodo de cultivo (cosecha) refleja prácticas de manejo de agua y de cultivo. El Kc-húmedo es usado solamente mientras existe agua estancada sobre el suelo. Sin embargo es una práctica normal el drenar el agua remanente durante la formación del rendimiento y el cultivo usa el agua almacenada en el perfil de suelo.

La siguiente figura ilustra la altura del agua en los arrozales necesaria en las diferentes etapas de crecimiento:



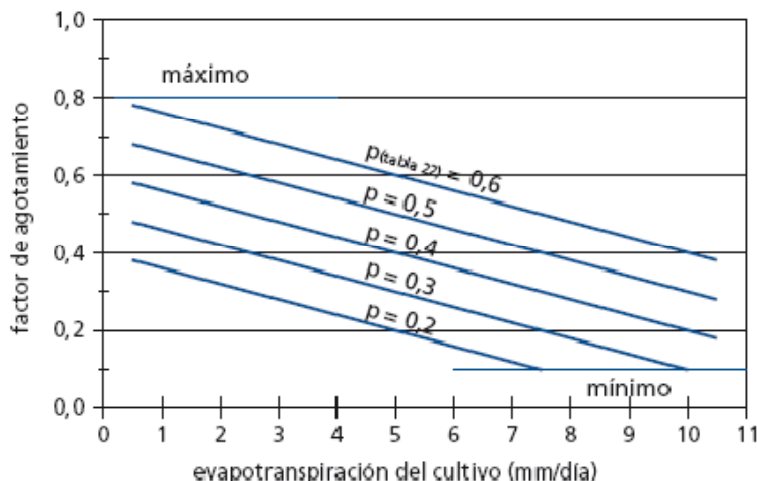
Altura del cultivo

Este parámetro se ha introducido en CROPWAT 8.0 con el fin de permitir el ajuste de los valores del coeficiente de cultivo bajo condiciones no estándar, en particular cuando los valores de humedad relativa difieren considerablemente del 45% o cuando la velocidad del viento es mayor o menor que 2.0 m/s. Este dato es opcional y en caso de que no se ingrese, no se hará ningún ajuste.

Fracción de agotamiento crítico (p)

El Factor de agotamiento crítico (p) representa el nivel crítico de humedad en el suelo a partir del cual ocurre estrés por falta de agua. Esto afecta a la evapotranspiración del cultivo y a su producción. Los valores se expresan como una fracción del Agua Disponible Total (ADT) y, en general, varían entre 0.4 y 0.6, presentando valores más bajos para cultivos sensibles con sistemas radiculares superficiales bajo condiciones de alta evaporación, y valores más altos para cultivos densos, con raíces profundas y bajos índices de evaporación. Además, la fracción p es una función de la demanda de evapotranspiración de la atmósfera.

A valores más bajos de ET_c , el valor de p es mayor que a valores más elevados de ET_c . La influencia de la ET_c sobre p se resume en la siguiente figura.



Fecha de cosecha

La fecha de cosecha se determina automáticamente con los valores de Fecha de siembra o Fecha de trasplante en caso del cultivo de arroz que no usa siembra directa y la duración total del ciclo de cultivo.

Área de almácigo|Arroz

El área de almácigo representa la fracción de campo inicialmente utilizada para la germinación y desarrollo inicial de las plántulas de arroz a ser trasplantadas a todo el campo, luego de unas semanas. El tamaño normal de los almácigos fluctúa entre 5 y 15% de la superficie. Dado que representa sólo una fracción del total de la superficie cultivada, los requerimientos de agua del cultivo son calculados proporcionalmente.

CROPWAT 8.0 siempre considera a la zona de almácigo como parte del campo de cultivo de arroz. El valor por defecto para el área de almácigo es 10% de la superficie total.

Fecha de siembra

La fecha de siembra se determina normalmente en base a las condiciones climáticas (por ejemplo, al comienzo de la temporada de lluvias en los climas tropicales o principios de primavera, cuando la temperatura llega a un mínimo de crecimiento de las plantas en climas templados). También varía de acuerdo con las prácticas agrícolas locales. Es posible que, para el mismo cultivo y las mismas condiciones climáticas, se elijan diferentes fechas de siembra. Esto es útil para el estudio de distintos patrones de cultivo y el cálculo de programación de suministro de agua en esquemas

Profundidad de fangueo

El fangueo de los campos de arroz implica la destrucción de la estructura natural de los suelos por labranza intensiva, cuando el suelo está saturado de agua. Esto se hace intencionalmente con el objetivo de reducir las pérdidas por percolación. El fangueo hace que la superficie del suelo se disperse y produce una capa superficial que tiene agregados uniformes y predominantemente poros vesiculares cuando se seca. El grosor de esa capa representa la profundidad de fangueo.

Después de las operaciones de labranza en seco, los campos de arroz de tierras bajas generalmente son inundados y el fangueo se hace usando tractores con llantas pesadas o con tracción animal.

Profundidad radicular

La profundidad radicular define la capacidad de los cultivos para aprovechar de la reserva de agua del suelo. En CROPWAT 8.0 dos valores son necesarios para la estimación de la profundidad radicular durante la temporada de cultivo:

- Profundidad radicular en la etapa inicial, que normalmente se encuentra entre 0.25 - 0.30 m, y representa la profundidad efectiva del suelo a partir de la cual las pequeñas plántulas extraen el agua;
- Profundidad radicular en el desarrollo pleno al inicio de la etapa de mediados de desarrollo. Para la mayoría de los cultivos bajo riego los valores varían entre 1.0 y 1.40 m, y para las hortalizas entre 0.5 - 1.0 m

La profundidad radicular durante el desarrollo es interpolada aplicando una relación lineal por lo que no requiere el ingreso de información.

Etapas|Arroz

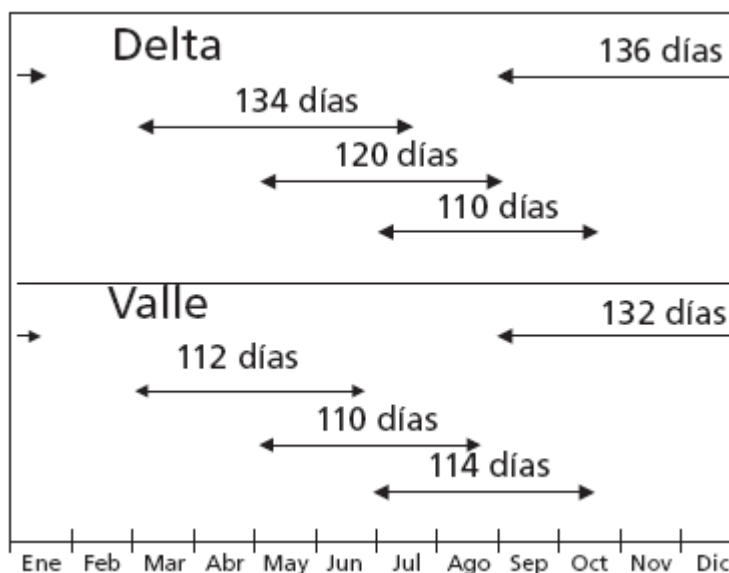
El período de cultivo del arroz se divide en tres etapas diferenciadas:

Almácigo: en el caso de Transplante, es el número de días a partir de la preparación del suelo de la zona de almácigos hasta el trasplante del arroz. Si se practica la siembra directa, este campo se inactiva.

Preparación del suelo:

- **Total:** Es el número de días necesarios para llevar a cabo la preparación del suelo y la inundación antes de trasplante para una unidad de riego. La duración total de la preparación de suelo debe ser más corta que el período de almácigo, pues CROPWAT 8.0 considera a la zona de almácigo como parte del campo donde el arroz se cultivará después.
- **Anegamiento:** Es el número de días durante el cual el anegamiento se lleva adelante. Este período es parte de la duración total de la preparación del suelo.

- **Etapas de crecimiento:**
- **Etapas inicial (Ini)** se extiende desde la Fecha de siembra o Trasplante hasta que el cultivo cubre aproximadamente el 10% de la cubierta del suelo. La duración de este periodo es altamente dependiente de la variedad de arroz, la fecha de siembra o trasplante y el clima.
- **Etapas de Desarrollo del cultivo (Des)** se extiende desde el momento en que el cultivo cubre el 10% del suelo hasta la plena cobertura. La cobertura completa para muchos cultivos se produce al inicio de la floración.
- **Etapas de mediados de temporada (Med)** se extiende desde la cobertura plena hasta el inicio de la madurez.
- **Etapas final (Fin)** se extiende desde el inicio de la madurez hasta la cosecha. La duración de las etapas del cultivo dependerá principalmente de la variedad y de las condiciones de crecimiento, en especial la temperatura. A modo de ejemplo, la figura siguiente presenta la variación en la duración del período de crecimiento del arroz (cultivar de Jaya) en dos lugares a lo largo del río Senegal (Delta, Valle) para diferentes fechas de plantación. Esto demuestra que los valores deben comprobarse y ajustarse para cada lugar y época de cultivo



La duración total del ciclo del arroz se calcula como la suma del período de almácigo y de las cuatro etapas del crecimiento del arroz, la preparación del suelo se realiza al mismo tiempo que el período de almácigo.

Fecha de trasplante

En el caso del cultivo de arroz, las plantas pueden ser sembradas inicialmente en un Área de almácigo, para ser trasplantadas luego al campo completo. La fecha de trasplante se determina normalmente a partir de las condiciones climáticas (por ejemplo inicio de la temporada de lluvias) y las prácticas agrícolas locales. Es posible elegir en el mismo lugar diferentes fechas de trasplante, lo que es útil para el estudio de los distintos patrones de cultivo y para el cálculo de la programación de suministro de agua en esquemas de cultivo.

Enfoque del coeficiente de cultivo

La Evapotranspiración del cultivo puede calcularse a partir de datos climáticos y la integración directa de la resistencia del cultivo, albedo y la resistencia del aire incluidos en el enfoque FAO Penman-Monteith. Como todavía hay una considerable falta de información para los diferentes

cultivos, el método de Penman-Monteith se utiliza para la estimación de la tasa de evapotranspiración del Cultivo de referencia, es decir la Evapotranspiración de referencia (ET_o). Relaciones de ET_c/ET_o determinadas experimentalmente, llamadas coeficiente de cultivos (K_c), se utilizan para relacionar la Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ET_c) con ET_o. Esto se conoce como el enfoque de coeficiente de cultivo.

$$ET_c = K_c * ET_o$$

La Radiación, la temperatura del aire, la Humedad y la Velocidad del viento son todas incorporadas en la estimación de ET_o. Por lo tanto, ET_o representa un índice de la demanda climática, en tanto que K_c varía principalmente con las características del cultivo específico y sólo en forma limitada con el clima y la evaporación del suelo. Esto permite la transferencia de valores estándar para K_c entre localidades y climas. Esta ha sido la razón principal de la aceptación mundial y la utilidad del enfoque de coeficiente de cultivo y los factores K_c desarrollados en anteriores estudios.

ET_o se define y calcula con la ecuación de la FAO Penman-Monteith. K_c representa una integración de los efectos de las cuatro principales características que distinguen a los cultivos de campo del cultivo de referencia. Estas características son:

- Altura del cultivo. La altura del cultivo influye en la resistencia aerodinámica, *r_a*, de la ecuación FAO Penman-Monteith y en la transferencia turbulenta de vapor del cultivos a la atmósfera. El término *r_a* aparece dos veces en la versión completa de la ecuación FAO Penman-Monteith.
- Albedo (reflectancia) de la superficie del cultivo y del suelo. El albedo es afectado por la fracción de suelo cubierto por vegetación y por la humedad de la superficie del suelo. El albedo de la superficie del cultivo y del suelo influye en la absorción de radiación solar por parte de la superficie, la cual es la principal fuente de energía para el cambio del proceso de evaporación.
- Resistencia del dosel. La resistencia del cultivo a la transferencia de vapor se ve afectada por el área foliar (número de estomas), la edad de la hoja y su condición, y el grado de control de los estomas. La resistencia del dosel influye en la resistencia de la superficie, *r_s*.
- La evaporación del suelo, especialmente del suelo expuesto.

La humedad del suelo y la superficie de la fracción de la superficie cubierta por vegetación influyen en la resistencia superficial, *r_s*. Después de mojar el suelo, la tasa de transferencia de vapor del suelo es alta, especialmente para cultivos que tienen incompleta la cubierta del suelo. La resistencia superficial combinada del dosel y del suelo determina la resistencia superficial (total) *r_s*. El término de resistencia superficial en la ecuación FAO Penman-Monteith representa la resistencia al flujo de vapor desde dentro de las hojas de la planta y desde debajo de la superficie del suelo.

El K_c en la ecuación anterior permite la predicción de ET_c. Esto representa el límite superior de la Evapotranspiración del cultivo y representa condiciones en que no existen limitaciones para el crecimiento del cultivo o para la evapotranspiración tales como la escasez de agua, densidad del cultivo, enfermedades, malezas, pestes o salinidad. La ET_c predicha por el K_c se ajusta en caso necesario, para condiciones no estándar a través de la Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET_{c-aj}) cuando se presenta alguna condición o característica del medio ambiente que se sabe que tiene un impacto sobre o limita la ET_c. Para obtener información detallada sobre los factores de corrección de ET_c a ET_{c-aj}.

Módulo de suelo|Cultivo diferente al arroz

Este módulo es seleccionado haciendo clic en el icono de Suelo en la Barra de Módulos situada a la izquierda de la ventana principal de CROPWAT, mientras que el cultivo activo es un cultivo diferente al arroz. Alternativamente, puede abrirse utilizando el menú desplegable del icono Nuevo en la barra de Herramientas. Un solo tipo de datos está disponible con referencia a cultivos diferentes al arroz.

El módulo del suelo es esencialmente dato de entrada, que requiere los siguientes parámetros:

- Agua Disponible Total (ADT)
- Tasa máxima de infiltración
- Profundidad radicular máxima
- Agotamiento Inicial de la humedad del suelo

Este módulo también incluye cálculos proveyendo la Humedad de suelo disponible inicialmente

Módulo de suelo|Arroz

Este módulo es seleccionado haciendo clic en el icono del Suelo en la Barra de Módulos situada a la izquierda de la ventana principal de CROPWAT, mientras que el cultivo activo es el arroz. Alternativamente, puede abrirse utilizando el menú desplegable del icono Nuevo en la barra de Herramientas. Un solo tipo de datos está disponible con referencia al arroz.

El módulo del suelo es esencialmente dato de entrada, que requiere los siguientes parámetros:

- Agua Disponible Total (ADT)
- Tasa máxima de infiltración
- Profundidad radicular máxima
- Agotamiento Inicial de la humedad del suelo

Este módulo también incluye cálculos proveyendo la Humedad de suelo inicialmente disponible

En caso de cálculos para el arroz, los siguientes datos adicionales se requieren:

- Porosidad de drenaje
- Agotamiento crítico para agrietamiento en anegamiento
- Agua disponible en la siembra
- Altura máxima de agua

Esta parte del módulo también incluye el cálculo de la tasa de percolación máxima después del anegamiento.

Parámetros de cultivo diferente al arroz

Humedad del suelo disponible inicialmente

Se define como el contenido de humedad del suelo al inicio de la temporada de cultivo. Se calcula como el producto del Agua Disponible Total (ADT) por el Agotamiento inicial de humedad del suelo, y se expresa en mm por metro de profundidad de suelo.

Agotamiento inicial de la humedad del suelo

El Agotamiento inicial de la humedad del suelo indica la sequedad del suelo al inicio de la época de cultivo, que es la siembra en el caso de cultivos diferentes al arroz, o al inicio de la preparación del suelo, en el caso del arroz.

El Agotamiento inicial de la humedad del suelo se expresa como un porcentaje del Agua Disponible Total (ADT), en términos del agotamiento de la Capacidad de Campo (CC). El valor por defecto de 0% representa un perfil de suelo húmedo a CC y 100% es un suelo en Punto de Marchitez Permanente (PMP).

En la mayoría de los casos sólo se puede hacer una estimación de la condición inicial de humedad del suelo, en función del cultivo anterior y de los períodos de descanso precedentes o de la estación seca.

Tasa máxima de infiltración

La Tasa máxima de infiltración, expresada en mm por día, representa la lámina de agua que pueden infiltrar en el suelo en un período de 24 horas, en función del tipo de suelo, pendiente y la intensidad de la precipitación o del riego. La tasa máxima de infiltración tiene el mismo valor que la conductividad hidráulica del suelo a saturación.

La Tasa máxima de infiltración permite una estimación de la Escorrentía Superficial (ES), que ocurre cuando la intensidad de precipitación supera la capacidad de infiltración del suelo.

Profundidad radicular máxima

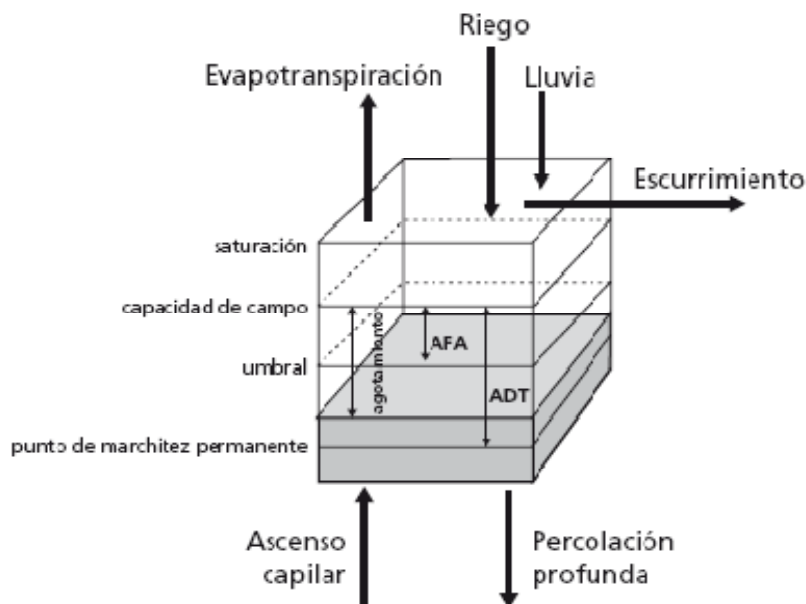
Aunque en la mayoría de los casos las características genéticas de los cultivos determinarán la Profundidad radicular, a veces el suelo y ciertos horizontes alterados pueden restringir la profundidad radicular máxima. Este es el caso, por ejemplo, cuando existen hardpans en sectores donde las prácticas de mecanización no se han manejado adecuadamente. En el caso de los cultivos de arroz, el hardpan es intencionalmente creado con el fin de disminuir las pérdidas por percolación y limita la profundidad radicular del cultivo.

La profundidad radicular máxima se expresa en centímetros. El valor por defecto está establecido en 900 cm, indicando que el suelo no presenta características significativas que pueden restringir el crecimiento de la raíz. Valores inferiores a la profundidad radicular indicarían una limitación al crecimiento radicular.

Agua Disponible Total (ADT)

El Agua Disponible Total (ADT) representa la cantidad total de agua disponible para el cultivo. Se define como la diferencia en el contenido de humedad del suelo entre la Capacidad de campo (CC) y el Punto de Marchitez Permanente (PMP). El agua contenida por encima del nivel de la CC no es disponible para las plantas dado que el agua no puede ser retenida en el suelo en contra de la fuerza de la gravedad y se drena naturalmente como percolación profunda. Del mismo modo, el nivel de agua por debajo del PMP no puede ser extraído por las raíces de la planta, ya que se mantiene a altas presiones dentro de la matriz del suelo.

El ADT depende de la textura, estructura y contenido de materia orgánica del suelo. Se expresa en mm por metro de profundidad de suelo. En la siguiente figura se presenta un volumen imaginario unitario de la zona de las raíces con todos los elementos del balance hídrico. La zona oscura representa un cierto nivel de agua retenida por el suelo.



Parámetros del arroz

Agotamiento crítico para agrietamiento en el fangueo

El agotamiento crítico para el agrietamiento en el fangueo representa el nivel en el que las grietas que se forman durante el secado, penetran en el suelo llegando a la profundidad de fangueo. Cuando esto ocurre, y en función de las características de drenaje de los suelos, el agua añadida puede filtrarse a través de las grietas directamente hacia el subsuelo permaneciendo muy poco dentro de la zona radicular. Una vez que el suelo fangueado se ha agrietado, esta capa semi-impermeable no puede ser restaurada por medio de la adición de agua en el suelo. El suelo debe ser fangueado nuevamente para la próxima temporada.

El agotamiento crítico para el agrietamiento depende de la forma en que el fangueo fue realizado, así como de la textura del suelo, la estructura y el contenido de materia orgánica.

Los valores se expresan como una fracción del Agua Disponible Total (ADT). Un factor de agotamiento para el agrietamiento cercano a 1 representa que las grietas se producen en un suelo bastante húmedo (suelo cerca de Capacidad de Campo); valores cercanos a 0 indican grietas que se producen cuando la humedad del suelo está cerca del Punto de Marchitez Permanente (PMP). Un valor cero para este parámetro, representa un suelo que no se agrieta, incluso en Punto de Marchitez Permanente (PMP).

El valor de este parámetro debe ser determinado a través de la medición del contenido de agua del suelo en el momento en que las grietas llegar a la profundidad de fangueo. Investigaciones del IRRI (1992)* determinaron que las grietas penetran a través de la capa fangueada, cuando la tensión en el suelo es superior a 100kPa.

Porosidad de drenaje

En CROPWAT 8.0 la porosidad de drenaje es la diferencia entre la Saturación y la Capacidad de Campo del suelo

Humedad del suelo disponible inicialmente

Se define como el contenido de humedad del suelo al inicio de la temporada de cultivo. Se calcula como el producto del Agua Disponible Total (ADT) por el Agotamiento inicial de humedad del suelo, y se expresa en mm por metro de profundidad de suelo.

Agotamiento inicial de la humedad del suelo

El Agotamiento inicial de la humedad del suelo indica la sequedad del suelo al inicio de la época de cultivo, que es la siembra en el caso de cultivos diferentes al arroz, o al inicio de la preparación del suelo, en el caso del arroz.

El Agotamiento inicial de la humedad del suelo se expresa como un porcentaje del Agua Disponible Total (ADT), en términos del agotamiento de la Capacidad de Campo (CC). El valor por defecto de 0% representa un perfil de suelo húmedo a CC y 100% es un suelo en Punto de Marchitez Permanente (PMP).

En la mayoría de los casos sólo se puede hacer una estimación de la condición inicial de humedad del suelo, en función del cultivo anterior y de los períodos de descanso precedentes o de la estación seca.

Tasa máxima de infiltración

La Tasa máxima de infiltración, expresada en mm por día, representa la lámina de agua que pueden infiltrar en el suelo en un período de 24 horas, en función del tipo de suelo, pendiente y la intensidad de la precipitación o del riego. La tasa máxima de infiltración tiene el mismo valor que la conductividad hidráulica del suelo a saturación.

La Tasa máxima de infiltración permite una estimación de la Escorrentía Superficial (ES), que ocurre cuando la intensidad de precipitación supera la capacidad de infiltración del suelo.

Altura máxima de agua

La Altura máxima de agua representa el máximo nivel de agua sobre los campos de arroz inundados. Depende de la altura de los bordes de los campos y de la calidad de la nivelación del suelo.

Profundidad radicular máxima

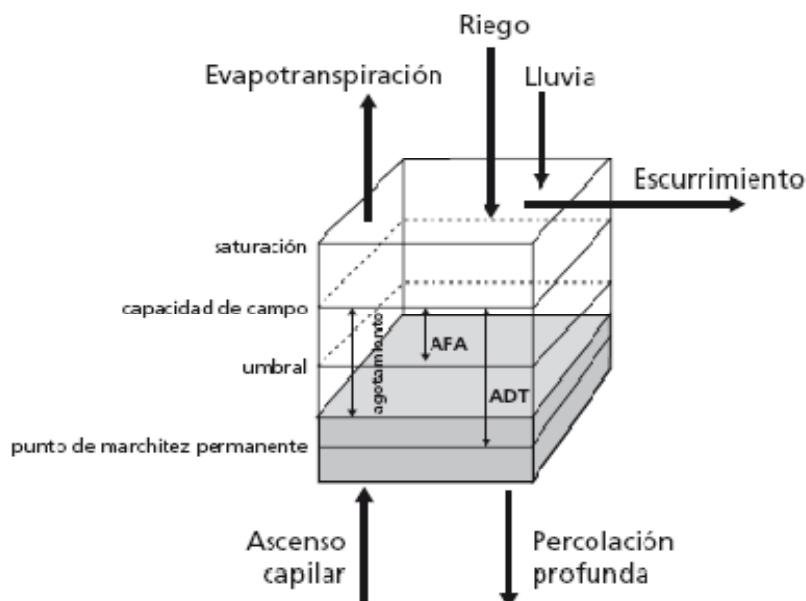
Aunque en la mayoría de los casos las características genéticas de los cultivos determinarán la Profundidad radicular, a veces el suelo y ciertos horizontes alterados pueden restringir la profundidad radicular máxima. Este es el caso, por ejemplo, cuando existen hardpans en sectores donde las prácticas de mecanización no se han manejado adecuadamente. En el caso de los cultivos de arroz, el hardpan es intencionalmente creado con el fin de disminuir las pérdidas por percolación y limita la profundidad radicular del cultivo.

La profundidad radicular máxima se expresa en centímetros. El valor por defecto está establecido en 900 cm, indicando que el suelo no presenta características significativas que pueden restringir el crecimiento de la raíz. Valores inferiores a la profundidad radicular indicarían una limitación al crecimiento radicular.

Agua Disponible Total (ADT)

El Agua Disponible Total (ADT) representa la cantidad total de agua disponible para el cultivo. Se define como la diferencia en el contenido de humedad del suelo entre la Capacidad de campo (CC) y el Punto de Marchitez Permanente (PMP). El agua contenida por encima del nivel de la CC no es disponible para las plantas dado que el agua no pueden ser retenida en el suelo en contra de la fuerza de la gravedad y se drena naturalmente como percolación profunda. Del mismo modo, el nivel de agua por debajo del PMP no puede ser extraído por las raíces de la planta, ya que se mantiene a altas presiones dentro de la matriz del suelo.

El ADT depende de la textura, estructura y contenido de materia orgánica del suelo. Se expresa en mm por metro de profundidad de suelo. En la siguiente figura se presenta un volumen imaginario unitario de la zona de las raíces con todos los elementos del balance hídrico. La zona oscura representa un cierto nivel de agua retenida por el suelo.



Información adicional

Capacidad de Campo (CC)

La Capacidad de Campo (CC) es la cantidad de agua que un suelo bien drenado retiene contra las fuerzas gravitacionales, es decir, la cantidad de agua restante cuando el drenaje ha disminuido notoriamente. Se expresa como un porcentaje o en mm por metro de suelo.

Los valores más confiables de Capacidad de Campo se obtienen a partir de mediciones de campo. Sin embargo, si estos no están disponibles y se conoce la textura del suelo, se puede hacer una aproximación a través de la utilización del triángulo de la textura del suelo. Una calculadora de las propiedades hidráulicas está disponible para este fin, en Internet en: http://weather.nmsu.edu/Teaching_Material/soil456/soilwater.html

Punto de Marchitez Permanente (PMP)

El Punto de Marchitez Permanente (PMP) es la cantidad de agua contenida en el suelo bajo la cual las plantas se marchitan permanentemente. Se expresa como un porcentaje o en mm por metro de suelo.

Los valores más confiables de PMP se obtienen a partir de mediciones de campo. Sin embargo, si estos no están disponibles y se conoce la textura del suelo, se puede hacer una aproximación a través de la utilización del triángulo de la textura del suelo.

Agua Fácilmente Aprovechable (AFA)

El Agua Fácilmente Aprovechable (AFA) es la fracción del Agua Disponible Total (ADT) que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin sufrir estrés hídrico.

A pesar de que, en teoría, en el suelo existe agua disponible para las plantas, hasta que la humedad se encuentre en el Punto de Marchitez Permanente (PMP), la cantidad de agua

extraída por el cultivo se reducirá significativamente antes de alcanzar ese punto. 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 Evapotranspiración del Cultivo en condiciones estándar (ET_c). A medida que disminuye la cantidad de humedad en el suelo, el agua será retenida más fuertemente por la matriz del suelo y será más difícil de extraer. Cuando el contenido de humedad del suelo se encuentra por debajo de cierto valor umbral, identificado como Fracción de agotamiento crítico (p), 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 estrés.

AFA se expresa en porcentaje o en mm sobre una cierta profundidad de suelo y es dada por:

$$AFA = p * ADT$$

donde AFA agua fácilmente aprovechable de la zona radicular del suelo [mm], p fracción promedio del total de Agua Disponible Total (ADT) en el suelo que puede ser agotada de la zona radicular antes de presentarse estrés

Requerimientos de Agua del cultivo

Módulo RAC (Requerimiento de Agua del Cultivo)

El Módulo RAC (Requerimiento de Agua del Cultivo) se puede seleccionar haciendo clic en el icono RAC en la Barra de Módulos situada a la izquierda de la ventana principal de CROPWAT.

El Módulo Requerimientos de Agua del Cultivo incluye los cálculos, dando como resultado los requerimientos de riego del cultivo en base decadiaria y para toda la estación de crecimiento, siendo este igual a la diferencia entre la Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ET_c) y la precipitación efectiva.

El módulo RAC tiene la facilidad de presentar los datos en un gráfico, eligiendo el gráfico en la barra de Herramientas mientras que el módulo RAC sea la ventana activa.

Si no están disponibles todos los datos necesarios para el cálculo de RAC, CROPWAT desplegará una advertencia y cerrará el módulo RAC.

Otros Cultivos

Coeficiente de cultivo (K_c)|Cultivo diferente al arroz

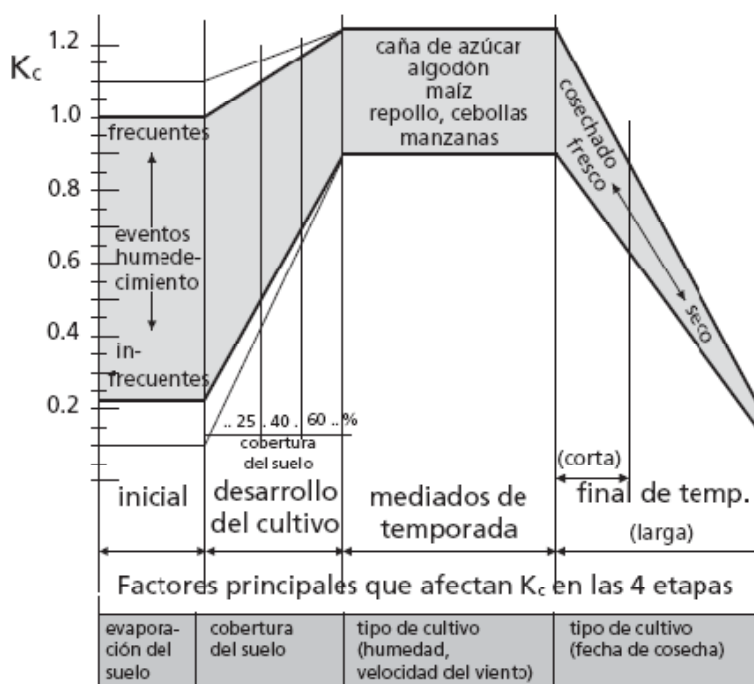
El coeficiente de cultivo (K_c) integra el efecto de las características que distinguen a un determinado cultivo de aquellas del Cultivo de referencia. De acuerdo con el enfoque de Coeficiente de cultivo, la Evapotranspiración de cultivo en condiciones estándar (ET_c) se calcula multiplicando la Evapotranspiración de referencia (ET_o) por el K_c adecuado para ese cultivo.

K_c está influenciado principalmente por el tipo de cultivo y en menor proporción por el clima y la evaporación del suelo. Por otra parte, el K_c para un determinado cultivo varía de acuerdo a las etapas de cultivo, dado que la cubierta del suelo, la altura del cultivo y el área foliar cambian a medida que el cultivo se desarrolla.

CROPWAT 8.0 requiere de valores para K_c para la etapa inicial, etapa de desarrollo del cultivo, mediados de temporada y final (cosecha). Los valores de K_c durante las etapas de desarrollo y finales de temporada son interpolados.

- **Período inicial (Ini):** durante este período, el área foliar es pequeña y la evapotranspiración es predominantemente en forma de evaporación del suelo. Por ello, el valor de K_c durante el período inicial es mayor cuando el suelo está mojado por riego o precipitación y es reducido cuando la superficie del suelo está seca.
- **Etapas de desarrollo (Des):** como el cultivo se desarrolla y progresivamente cubre el terreno, la evaporación se hace más restringida y la transpiración gradualmente se convierte en el proceso principal de uso de agua.
- **Mediados de Temporada (Med):** en esta etapa el K_c alcanza su valor máximo.
- **Etapas de final de temporada (Fin):** el valor de K_c al final del periodo de cultivo (cosecha) refleja prácticas de manejo de agua y de cultivo. Este valor es alto si el cultivo es cultivado bajo riego frecuente y cosechado en fresco. Si el cultivo se deja hasta la senescencia y secado antes de cosecharse, el valor de K_c será pequeño, debido a la menor conductancia de la superficie de las hojas.

En la siguiente figura se ilustra la variación de K_c para diferentes cultivos influenciada por factores climáticos y de desarrollo de los cultivos.



Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc)

La Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc) representa la evapotranspiración de un cultivo libre de enfermedades, bien fertilizado, que crece en campos extensos bajo condiciones hídricas óptimas y logrando producción máxima bajo las condiciones climáticas en que se desarrolla.

De acuerdo al Enfoque del Coeficiente de Cultivos, ETc se calcula por medio de la multiplicación de la Evapotranspiración de Referencia (ETo) (determinada con el método FAO Penman-Monteith) por el Coeficiente de Cultivo (K_c).

Precipitación Efectiva

Desde el punto de vista de producción agrícola, la precipitación efectiva se refiere a la parte de la precipitación que puede ser efectivamente utilizada por las plantas. Esto significa que no toda la precipitación está a disposición de los cultivos, ya que una parte se pierde a través de la Escorrentía Superficial (ES) y de la Percolación Profunda (PP).

Cuánta agua se infiltra en realidad en el suelo depende del tipo de suelo, pendiente, tipo de cultivos, intensidad de la precipitación y el contenido inicial de agua en el suelo. El método más preciso para determinar la precipitación efectiva es a través de observación en campo. La lluvia es altamente efectiva cuando poco o nada se pierde por ES. Bajas precipitaciones son poco efectivas pues se pierden rápidamente por evaporación.

Los valores de precipitación media, real o confiable se pueden ingresar como datos de entrada. Se debe tener cuidado en la selección de los valores adecuados de precipitación confiable, que deben estar basados en análisis estadísticos realizados en registros históricos de suficiente duración.

A través de las Opciones para Precipitación, CROPWAT 8.0 ofrece la posibilidad de utilizar varios métodos para calcular la precipitación efectiva:

1. **Porcentaje fijo**
2. **Precipitación confiable**
3. **Fórmula empírica**
4. **Método del USDA Soil Conservation Service**

Además, ofrece la posibilidad de llevar a cabo los cálculos de riego sin considerar la precipitación.

Tenga en cuenta que en los cálculos para hallar los RAC, se utiliza la precipitación efectiva decadiaria, estimada con uno de los métodos propuestos en las Opciones para Precipitación. Por el contrario, en los cálculos para Programación, el ingreso de la precipitación en el suelo se determina en base diaria y las pérdidas debidas a la percolación profunda y la escorrentía superficial se calculan de acuerdo con el contenido de humedad del suelo en la zona radicular. Por lo tanto, la precipitación Total y NO la Precipitación efectiva, es usada para el cálculo del balance de agua en el suelo. En este módulo, la precipitación efectiva estacional es acumulada diariamente, durante la temporada de cultivo completa.

Requerimiento de Riego o Déficit de precipitación

El Requerimiento de Riego, expresado en mm y calculado durante un cierto período de tiempo, expresa la diferencia entre la Evapotranspiración de cultivo en condiciones estándar (ETc), y la Precipitación Efectiva durante ese periodo.

El Requerimiento de Riego indicativamente, representa la fracción de los requerimientos de agua del cultivo que necesita ser satisfecha a través del riego a fin de garantizar óptimas condiciones de desarrollo del cultivo. Sin embargo, debe considerarse que este parámetro no toma en cuenta la contribución de agua del suelo al cultivo.

Etapas|cultivos diferentes al arroz

Con referencia a cultivos estacionales, el periodo total de cultivo puede ser dividido en cuatro diferentes etapas:

Etapas inicial (Ini) se extiende desde la fecha de siembra hasta que el cultivo cubre aproximadamente el 10% de la cubierta del suelo. La duración de esta etapa es altamente dependiente del cultivo, de la variedad, de la fecha de siembra y del clima.

Etapas de desarrollo del cultivo (Des) se extiende desde el momento en que el cultivo cubre el 10% del suelo hasta la plena cobertura. La cobertura completa para muchos cultivos se produce al inicio de la floración. Para cultivos en hilera en los que las hileras entrelazan comúnmente sus hojas, la cobertura completa puede ser definida como el momento en que algunas hojas de las plantas en hileras adyacentes comienzan a entremezclarse de manera que el suelo se cubre casi completamente. En vegetación densamente sembrada, como los cereales y gramíneas, la cobertura efectiva plena puede ser difícil de visualizar y se usa generalmente la fase de la floración que es más fácilmente detectable. Otra forma de estimar la ocurrencia de la cobertura completa es cuando el Índice de Área Foliar (IAF, definido como el área promedio total de hojas por unidad de área de superficie de suelo) llega a tres.

Etapas de mediados de temporada (Mid) se extiende desde la cobertura plena hasta el inicio de la madurez. El inicio de la madurez es a menudo percibido por el comienzo de la madurez del cultivo, color amarillento o la senescencia de hojas, caída de hojas, o madurez de los frutos. Es la etapa más larga para cultivos perennes y muchos cultivos anuales, pero puede ser relativamente corta para vegetales que se cosechan en verde o frescos.

Etapas final (Fin) se extiende desde el inicio de la madurez hasta la cosecha o la plena senescencia.

La duración de las etapas del cultivo dependerá principalmente de la variedad y de las condiciones de crecimiento, en particular la temperatura. Los valores, entonces, necesitan ser verificados y ajustados para cada lugar y temporada de cultivo.

Coeficiente de cultivo (Kc)|Arroz

El coeficiente de cultivo (Kc) integra el efecto de las características que distinguen a un determinado cultivo de aquellas del Cultivo de referencia. De acuerdo con el enfoque de Coeficiente de cultivo, la Evapotranspiración de cultivo en condiciones estándar (ETc) se calcula multiplicando la Evapotranspiración de referencia (ETo) por el Kc adecuado para ese cultivo.

Kc está influenciado principalmente por el tipo de cultivo y en menor proporción por el clima y la evaporación del suelo. Por otra parte, el Kc para un determinado cultivo varía de acuerdo a las etapas de cultivo, dado que la cubierta del suelo, la altura del cultivo y el área foliar cambian a medida que el cultivo se desarrolla.

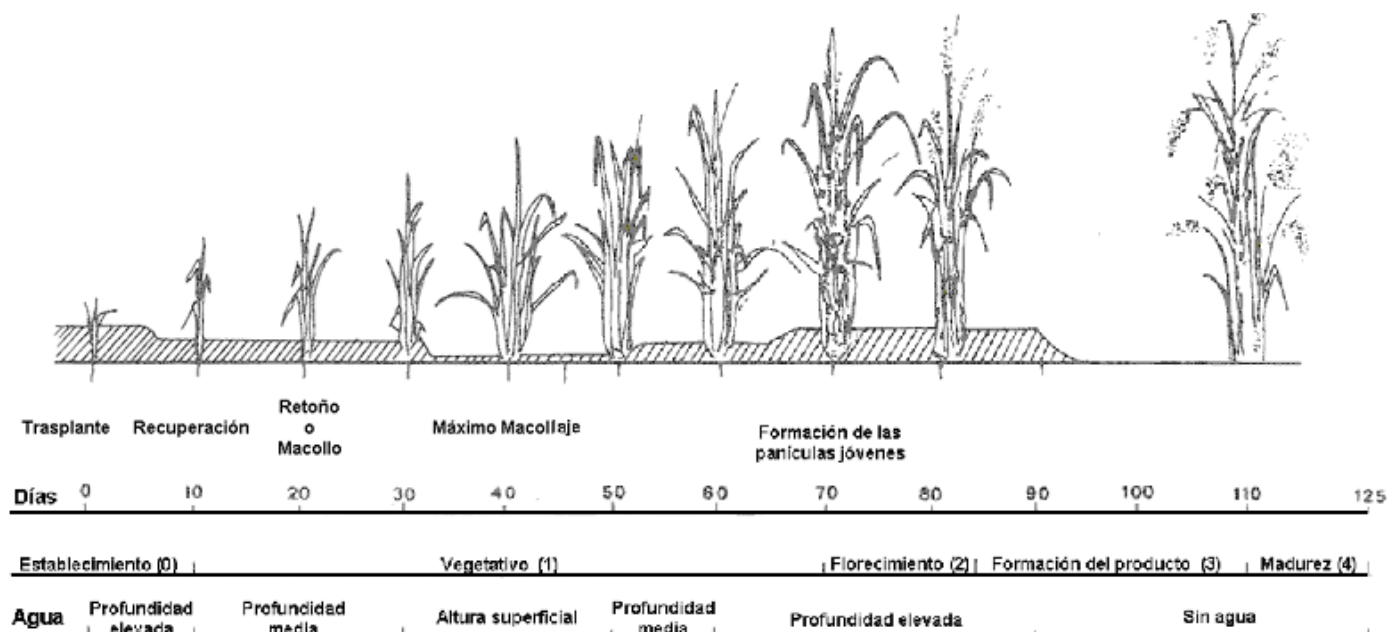
El arroz de zonas bajas crece normalmente en campos bordeados inundados durante la mayor parte de la temporada de cultivo. A diferencia de los cultivos de zona altas, CROPWAT 8.0 utiliza dos coeficientes de cultivos por etapa de cultivo del arroz. El primer **Kc-húmedo** se usa cuando hay encharcamiento de agua en la superficie del suelo seco mientras **Kc-seco** se usa cuando no hay agua permanente en la parte encharcada en la superficie del suelo, la cual es una situación común hacia el final de la temporada de cultivo durante el secado del perfil del suelo. Esto también puede ocurrir en cualquier otro momento durante el ciclo de cultivo y, por lo tanto, ambos valores **Kc-húmedo** y **Kc-seco** son necesarios para todas las etapas.

CROPWAT 8.0 requiere de valores para Kc para la etapa inicial, etapa de desarrollo del cultivo, mediados de temporada y final (cosecha). Los valores de Kc durante las etapas de desarrollo y finales de temporada son interpolados. En el caso del arroz, los valores Kc son necesarios

también para el almácigo y para el periodo de preparación del suelo. Estos dos periodos ocurren simultáneamente ya que el suelo es usualmente preparado mientras que las semillas germinan.

- **Periodo de almácigo:** El área cubierta por los almácigos de arroz por lo general ocupa sólo una fracción del total de superficie cultivada que comúnmente oscila entre 5 y 10%. El almácigo tiene que tener suficiente abastecimiento de agua para producir plantas de buena calidad. Por lo tanto, Kc-húmedo normalmente se utiliza para el cálculo de los requerimientos de agua durante este período.
- **Preparation de suelo:** este período podrá requerir cantidades mínimas de agua en caso de que se practique la preparación de suelo en seco. Asimismo la siembra directa requiere también pequeñas cantidades de agua durante este período. En estos casos Kc seco suele ser bajo, ya que representa la evaporación del suelo sin cultivo y con reducida humedad de suelo. Sin embargo, en la mayoría de los casos, reutiliza la preparación del suelo con agua. El requerimiento de agua para la preparación del suelo depende de la cantidad necesaria para empapar el suelo, la pérdida de agua durante las operaciones y de la cantidad de agua utilizada para mantener el agua estancada en el terreno. El Requerimiento de agua para empapar el suelo depende del contenido inicial de humedad del suelo, las condiciones superficiales del suelo y su textura. En este caso se aplicaría el Kc-húmedo la mayor parte del tiempo durante este período ya que el suelo permanece inundado o húmedo durante todo el período.
- **Periodo Inicial (Ini):** Durante este periodo, bajo condiciones óptimas para el arroz, hay agua estancada permanentemente. En este periodo, el area foliar es pequeña y la Evapotranspiración es predominantemente como evaporación del agua estancada. Kc-húmedo durante el periodo inicial es grande y Kc-seco es relativamente bajo ya que las plantas no cubren mucha area todavía.
- **Etapas de desarrollo (Des):** como el cultivo se desarrolla y progresivamente cubre el terreno y el agua estancada, la evaporación se hace más restringida y la transpiración gradualmente se convierte en el proceso principal de uso de agua.
- **Mediados de Temporada (Med):** en esta etapa el Kc-seco alcanza su valor máximo ya que el máximo valor del dosel se ha desarrollado.
- **Etapas de final de temporada (Fin):** el valor de Kc-húmedo y Kc-seco al final del periodo de cultivo (cosecha) refleja prácticas de manejo de agua y de cultivo. El Kc-húmedo es usado solamente mientras existe agua estancada sobre el suelo. Sin embargo es una práctica normal el drenar el agua remanente durante la formación del rendimiento y el cultivo usa el agua almacenada en el perfil de suelo.

La siguiente figura ilustra la altura del agua en los arrozales necesaria en las diferentes etapas de crecimiento:



Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc)

La Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc) representa la evapotranspiración de un cultivo libre de enfermedades, bien fertilizado, que crece en campos extensos bajo condiciones hídricas óptimas y logrando producción máxima bajo las condiciones climáticas en que se desarrolla.

De acuerdo al Enfoque del Coeficiente de Cultivos, ETc se calcula por medio de la multiplicación de la Evapotranspiración de Referencia (ETo) (determinada con el método FAO Penman-Monteith) por el Coeficiente de Cultivo (Kc).

Precipitación Efectiva

Desde el punto de vista de producción agrícola, la precipitación efectiva se refiere a la parte de la precipitación que puede ser efectivamente utilizada por las plantas. Esto significa que no toda la precipitación está a disposición de los cultivos, ya que una parte se pierde a través de la Escorrentía Superficial (ES) y de la Percolación Profunda (PP).

Cuánta agua se infiltra en realidad en el suelo depende del tipo de suelo, pendiente, tipo de cultivos, intensidad de la precipitación y el contenido inicial de agua en el suelo. El método más preciso para determinar la precipitación efectiva es a través de observación en campo. La lluvia es altamente efectiva cuando poco o nada se pierde por ES. Bajas precipitaciones son poco efectivas pues se pierden rápidamente por evaporación.

Los valores de precipitación media, real o confiable se pueden ingresar como datos de entrada. Se debe tener cuidado en la selección de los valores adecuados de precipitación confiable, que deben estar basados en análisis estadísticos realizados en registros históricos de suficiente duración.

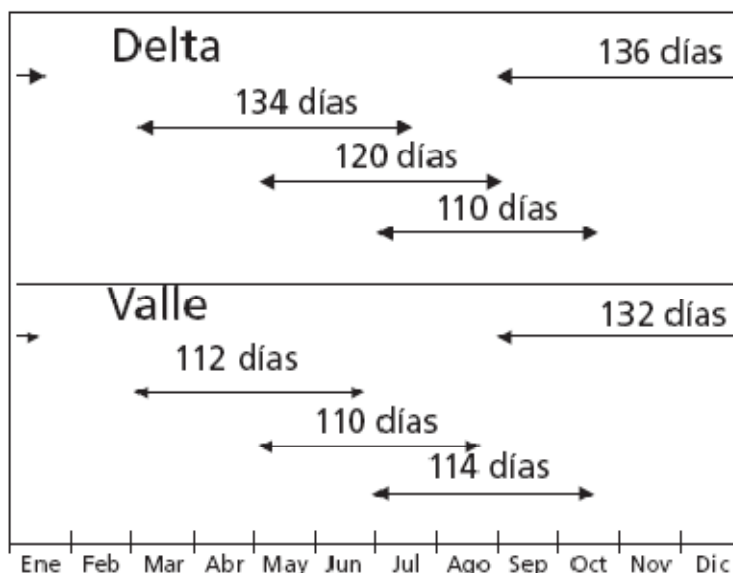
A través de las Opciones para Precipitación, CROPWAT 8.0 ofrece la posibilidad de utilizar varios métodos para calcular la precipitación efectiva:

1. Porcentaje fijo
2. Precipitación confiable
3. Fórmula empírica
4. Método del USDA Soil Conservation Service



- **Etapas de desarrollo del cultivo:**
- **Etapa inicial (Ini)** se extiende desde la Fecha de siembra o Trasplante hasta que el cultivo cubre aproximadamente el 10% de la cubierta del suelo. La duración de este periodo es altamente dependiente de la variedad de arroz, la fecha de siembra o trasplante y el clima.
- **Etapa de Desarrollo del cultivo (Des)** se extiende desde el momento en que el cultivo cubre el 10% del suelo hasta la plena cobertura. La cobertura completa para muchos cultivos se produce al inicio de la floración.
- **Etapa de mediados de temporada (Med)** se extiende desde la cobertura plena hasta el inicio de la madurez.
- **Etapa final (Fin)** se extiende desde el inicio de la madurez hasta la cosecha.

La duración de las etapas del cultivo dependerá principalmente de la variedad y de las condiciones de crecimiento, en especial la temperatura. A modo de ejemplo, la figura siguiente presenta la variación en la duración del período de crecimiento del arroz (cultivar de Jaya) en dos lugares a lo largo del río Senegal (Delta, Valle) para diferentes fechas de plantación. Esto demuestra que los valores deben comprobarse y ajustarse para cada lugar y época de cultivo.



La duración total del ciclo del arroz se calcula como la suma del período de almacigo y de las cuatro etapas del crecimiento del arroz, la preparación del suelo se realiza al mismo tiempo que el período de almacigo.

Cómo calcular Requerimientos de Agua del Cultivo

Para calcular los Requerimientos de Agua del Cultivo, primero hay que asegurarse de que la información está disponible en los módulos Clima/ETo, Precipitación y Cultivo (cultivos no inundados o arroz). Si previamente se ha guardado una combinación de estos archivos de datos como una sesión, estos datos se pueden recargar rápidamente usando Archivo> Abrir sesión del menú. En caso contrario, se debe ir a cada uno de estos módulos a través de la Barra de Módulos, y ya sea cargar datos existentes o introducir nuevos datos. En el caso de cultivo de arroz, también se deben cargar los datos de suelo, ya que el cálculo de los requerimientos de agua del cultivo de arroz incluye también los requerimientos para la preparación de suelo.

Una vez que los datos necesarios están disponibles, seleccione el módulo RAC en la Barra de Módulos. Si los datos de entrada son los necesarios, CROPWAT calculará los requerimientos de agua del cultivo y mostrará los resultados en la ventana de datos. Si hay algún problema con los datos de entrada, CROPWAT mostrará un mensaje de error indicando que datos no son correctos o están incompletos.

Para visualizar un gráfico de los Requerimientos de Agua del Cultivo seleccione el icono de Gráfico en la barra de Herramientas.

Programación

Cómo calcular Requerimientos de Agua del Cultivo

Para calcular los Requerimientos de Agua del Cultivo, primero hay que asegurarse de que la información está disponible en los módulos Clima/ET_o, Precipitación y Cultivo (cultivos no inundados o arroz). Si previamente se ha guardado una combinación de estos archivos de datos como una sesión, estos datos se pueden recargar rápidamente usando Archivo> Abrir sesión del menú. En caso contrario, se debe ir a cada uno de estos módulos a través de la Barra de Módulos, y ya sea cargar datos existentes o introducir nuevos datos. En el caso de cultivo de arroz, también se deben cargar los datos de suelo, ya que el cálculo de los requerimientos de agua del cultivo de arroz incluye también los requerimientos para la preparación de suelo.

Una vez que los datos necesarios están disponibles, seleccione el módulo RAC en la Barra de Módulos. Si los datos de entrada son los necesarios, CROPWAT calculará los requerimientos de agua del cultivo y mostrará los resultados en la ventana de datos. Si hay algún problema con los datos de entrada, CROPWAT mostrará un mensaje de error indicando que datos no son correctos o están incompletos.

Para visualizar un gráfico de los Requerimientos de Agua del Cultivo seleccione el icono de Gráfico en la barra de Herramientas.

Opciones de programación|Cultivos diferentes al arroz

Las opciones de Programación para cultivos que no sean arroz, se pueden configurar eligiendo Opciones en el menú de Configuración o seleccionando el icono Opciones en la barra de Herramientas mientras que el módulo de Programación es la ventana activa y el cultivo analizado no es arroz.

Es posible configurar las opciones del momento del riego (relacionadas a cuando se aplicará el riego), aplicación de riego (relacionadas con la cantidad de agua que se entregará en cada riego) y la eficiencia de riego. En base a la opción elegida, la información pertinente o la configuración para esa opción se mostrará en una pequeña ventana debajo del menú desplegable.

OPCIONES DEL MOMENTO DEL RIEGO:

Regar en intervalos definidos por el usuario: Seleccione esta opción para definir el intervalo entre cada riego. Después de elegir esta opción, CROPWAT muestra un icono "Intervalo de riego definido por el usuario". Al hacer clic en este icono, se abre una pequeña tabla en la que especificará los intervalos en términos "Días después de la siembra". Haga clic en la opción "Cargar programación actual" para usar la programación actual como base. Esta acción cargará tanto los actuales intervalos como las láminas de riego. En este punto, sólo los intervalos de riego, pueden ser editados. La configuración de las láminas de aplicación se hace a través de las aplicaciones de riego (ver más abajo).

Esta opción se utiliza para evaluar las prácticas de riego, para simular programaciones alternativas de riego y, en particular, para perfeccionar la programación de riego, desarrollada en otras opciones.

Regar en agotamiento crítico: Elija esta opción para fijar la programación en el nivel de agotamiento crítico, que es cuando el Agua Fácilmente Aprovechable (AFA) se ha usado completamente.

Esta opción representa la forma clásica de determinar la programación de riego, resultando en riegos reducidos, pero a irregulares intervalos de riego, lo cual requiere de un sistema de riego flexible.

Regar por debajo o por encima del agotamiento crítico: Como en el caso anterior, pero con la posibilidad de fijar el porcentaje de agotamiento. Valores por debajo del 100% significan que el riego se llevará a cabo antes de que el AFA ha sido completamente agotada. Valores por encima del 100% van a permitir un cierto nivel de estrés hídrico del cultivo antes de la aplicación de riego.

Regar en intervalos fijos por etapa: Seleccione esta opción para definir un intervalo de tiempo para cada etapa de crecimiento del cultivo (inicial, desarrollo, mediados de temporada, final).

Esta opción es adecuada en caso de un sistema rotacional de distribución de agua, tal como ocurre en la mayoría de los sistemas de riego. Si no se desea riego durante una etapa particular, en este paso se deberá fijar el intervalo de riego superior a la duración de la etapa.

Regar en agotamiento fijo: Seleccione esta opción para definir el momento del riego en base de un valor fijo de agotamiento de la humedad del suelo en mm. Esta opción es adecuada para ajustar la programación de riego para un método de riego de campo, dado que una aplicación fija de agua es aplicada en cada riego.

Regar a determinada reducción de ETc por etapa: Seleccione esta opción para definir el momento de riego en función a una aceptable reducción de la Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ETc). Esta opción es útil en caso de que se prevea programación de riego bajo déficit, en vista de escasez prevista de suministro de agua.

Regar a una reducción del rendimiento determinada: Seleccione esta opción para definir la Programación en base a una Reducción de rendimiento aceptable. Como en el caso de la opción anterior, esto es útil en caso de incorporar riego deficitario.

No regar (secano): Seleccione esta opción para calcular la Programación basada solo en la precipitación. Al elegir esta opción, CROPWAT 8.0 desactivará el menú desplegable de opciones de aplicación de riego.

OPCIONES DE APLICACIÓN DE RIEGO:

Lámina de aplicación definida por el usuario: Seleccione esta opción para definir láminas de aplicación de cada riego. Funciona de la misma forma como el intervalo de riego definido por el usuario (ver más arriba), pero en este caso sólo la lámina de aplicación, se puede editar.

Llevar el suelo a capacidad de campo: Elija esta opción para regar hasta llevar el suelo a Capacidad de Campo (CC). Como el agotamiento en la zona radicular varía con el cambio de la profundidad radicular y de los niveles permitidos de agotamiento, las aplicaciones de riego pueden variar considerablemente a lo largo de la temporada.

Llevar el suelo por debajo o por encima de capacidad de campo: Como en el caso anterior, pero con la posibilidad de fijar el porcentaje de agotamiento. Cualquier valor por debajo del 100% significa que la humedad del suelo no llegará a CC, lo cual es útil para considerar posibles lluvias. Cualquier valor por encima de 100% va a permitir un cierto nivel de percolación profunda (PP), útil para lixiviación para control de la salinidad.

Lámina de riego fija : Seleccione esta opción para definir un Lámina de riego fija en mm. Las láminas de riego normalmente se adaptan al método de riego; esta es una condición predominante en la mayoría de los sistemas de riego superficial, en los que las láminas de riego permiten poca variación.

El valor de la Eficiencia de riego se utiliza para calcular la lámina de riego bruta.

Para la explicación sobre el icono Guardar como predeterminado a los valores de la FAO véase la introducción general en Opciones.

Para más detalles técnicos sobre las opciones de programación para cultivos a secano véase la Referencia Técnica.

Módulo de programación|Arroz

Este módulo se puede seleccionar pulsando el icono Programación en la Barra de Módulos situada a la izquierda de la ventana principal de CROPWAT.

El módulo de Programación incluye esencialmente los cálculos y la elaboración de un Balance hídrico de suelo en forma diaria. Esto permite:

- Elaborar programaciones de riego indicativas que permitan mejorar la gestión del agua;
- Evaluar las actuales prácticas de riego y la asociada productividad de agua de los cultivos;
- Evaluar la producción de cultivos bajo condiciones de secano y la viabilidad del riego suplementario;
- Desarrollar alternativas de programación de entrega de agua para condiciones de limitado suministro de agua.

Los siguientes parámetros se utilizan en el Balance de agua del suelo:

- Precipitación: la precipitación total y no así la efectiva es utilizada para el cálculo del balance hídrico, ya que las pérdidas por percolación profunda (PP) y de escorrentía superficial (ES) se estiman de acuerdo con el contenido real de humedad en el suelo en la zona radicular y la Máxima tasa de infiltración, respectivamente. Debido a este procedimiento de cálculo, la precipitación efectiva durante el período de cultivo puede ser diferente si se compara con la precipitación efectiva calculada en el Módulo de Precipitación y utilizada en el cálculo de los Requerimientos de agua del cultivo. La Precipitación mensual se divide en tres décadas. Con el fin de reproducir la distribución discontinua de los eventos de precipitación, las lluvias decadiarias se dividen por igual en el tercer y el séptimo día de cada uno de los 10 días del periodo. Tenga en cuenta que incluso si el tipo de datos diarios es elegido en el Módulo de precipitación, CROPWAT 8.0 primero calcula el total decadiario de los valores de precipitación, y luego divide por igual en el tercer y séptimo días de cada periodo.
- Coeficiente de estrés hídrico (Ks)
- Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ETc adj)
- Estado de anegamiento: es identificado como Prep. (Preparación, correspondiente al período de pre-anegamiento), OK (condición óptima de anegamiento) y Deficit (ocurre cuando la depleción de agua en el suelo es inferior al nivel del Agua Fácilmente Aprovechable (AFA) en la zona radicular)
- Percolación profunda (PP): cada vez que el contenido de agua en la zona radicular es superior a la capacidad de campo (CC), se asume que ocurre la PP. La forma en que la

tasa máxima de percolación y su disminución diaria durante el anegamiento son estimadas, pueden ser configuradas en la Opción de Programación> Arroz

- Depl.AS: La depleción del agua del suelo correspondiente a la cantidad de agua (en mm) por debajo de la capacidad de campo.
- Entrega neta o Lámina Neta
- Pérdida de agua en el riego
- Agot. SAT: Agotamiento de saturación es la cantidad de agua por debajo del contenido de humedad de saturación de suelo.

La página se abre por defecto, con formato de tabla en "Programación de riego". Para mostrar el balance día a día, cambie el formato de tabla de "Programación de Riego" a "Balance diario de humedad del suelo".

El módulo de Programación tiene la facilidad de presentar datos en un Gráfico, al elegir Gráfico en la barra de Herramientas mientras que el módulo de Programación sea la ventana activa.

Opciones de programación|Arroz

Las opciones de Programación para arroz, se pueden configurar eligiendo Opciones en el menú de Configuración o seleccionando el icono Opciones en la barra de Herramientas mientras que el módulo de Programación sea la ventana activa y el cultivo analizado sea arroz.

Es posible configurar las opciones del momento del riego (relacionadas a cuando se aplicará el riego), aplicación de riego (relacionadas con la cantidad de agua que se entregará en cada riego) y la eficiencia de riego. En base a la opción elegida, la información pertinente o la configuración para esa opción se mostrará en una pequeña ventana debajo del menú desplegable.

Adicionalmente las opciones de preparación del suelo pueden ser configuradas en una ventana separada.

OPCIONES DEL MOMENTO DEL RIEGO:

Regar en intervalos definidos por el usuario: Seleccione esta opción para definir el intervalo entre cada riego. Después de elegir esta opción, CROPWAT muestra un icono "Intervalo de riego definido por el usuario". Al hacer clic en este icono, se abre una pequeña tabla en la que especificará los intervalos en términos "Días después de la siembra". Haga clic en la opción "Cargar programación actual" para usar la programación actual como base. Esta acción cargará tanto los actuales intervalos como las láminas de riego. En este punto, sólo los intervalos de riego, pueden ser editados. La configuración de las láminas de aplicación se hace a través de las aplicaciones de riego (ver más abajo).

Esta opción se utiliza para evaluar las prácticas de riego, para simular programaciones alternativas de riego y, en particular, para perfeccionar la programación de riego, desarrollada en otras opciones.

Regar a una altura de agua fija: Elija esta opción para configurar el intervalo de riego para contar con una altura de agua fija expresada como mm de agua sobre el campo.

Regar a desaturación fija (%): Elija esta opción para fijar la programación en un nivel de desaturación (en porcentaje) del contenido de agua del suelo en relación al nivel de anegamiento. El riego ocurre en caso de condiciones saturadas si se selecciona 0 % y a completa desaturación correspondiente a Capacidad de Campo (CC) en caso de seleccionar 100 %

Regar a un porcentaje fijo del agotamiento crítico: Escoja esta opción para configurar el intervalo de riego a un nivel fijo del agotamiento crítico. Valores por debajo del 100% significan

que el riego se llevará a cabo antes de que el Agua Fácilmente Aprovechable (AFA) ha sido completamente agotada. Valores por encima del 100% van a permitir un cierto nivel de estrés hídrico del cultivo antes de la aplicación de riego.

Regar a LR fija/desaturación/agotamiento crítico por etapa: Seleccione esta opción para definir diferentes intervalos de tiempo para cada etapa de crecimiento del cultivo (inicial, desarrollo, mediados de temporada, final).

Regar en intervalos fijos por etapa: Seleccione esta opción para definir un intervalo de tiempo para cada etapa de crecimiento del cultivo (inicial, desarrollo, mediados de temporada, final). Esta opción es adecuada en caso de un sistema rotacional de distribución de agua, tal como ocurre en la mayoría de los sistemas de riego.

Regar a determinada reducción de ETc por etapa: Seleccione esta opción para definir el momento de riego en función a una aceptable reducción de la Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ETc). Esta opción es útil en caso de que se prevea programación de riego bajo déficit, en vista de escasez prevista de suministro de agua.

Regar a una reducción del rendimiento determinada: Seleccione esta opción para definir la Programación en base a una Reducción de rendimiento aceptable. Como en el caso de la opción anterior, esto es útil en caso de incorporar riego deficitario.

Regar continuamente: Escoja esta opción para definir un flujo continuo de riego. Esta opción es de hecho una combinación de intervalo y lámina, ya que permite al usuario definir el flujo por día en mm. Al elegir esta opción, CROPWAT 8.0 desactivará el menú desplegable de opciones de aplicación de riego.

No regar (secano): Seleccione esta opción para calcular la Programación basada solo en la precipitación. Al elegir esta opción, CROPWAT 8.0 desactivará el menú desplegable de opciones de aplicación de riego.

OPCIONES DE APLICACIÓN DE RIEGO:

Lámina de aplicación definida por el usuario: Seleccione esta opción para definir láminas de aplicación de cada riego. Funciona de la misma forma como el intervalo de riego definido por el usuario (ver más arriba), pero en este caso sólo la lámina de aplicación, se puede editar.

Regar hasta una profundidad de agua fija : Seleccione esta opción para regar hasta una profundidad fija de agua expresada en mm de agua sobre el campo.

Llevar el suelo a o debajo de saturación: Elija esta opción para regar hasta llevar el suelo a un porcentaje fijo de la Saturación. Un valor inferior a 100 % significa que el suelo no se regará hasta saturación.

Llevar el suelo a o debajo de capacidad de campo: Elija esta opción para regar hasta un porcentaje fijo de Capacidad de Campo (CC). Un valor inferior a 100 % significa que el suelo no se regará hasta Capacidad de Campo (CC).

Llevar el suelo a nivel fijo de LR/saturación/CC por etapa: Elija esta opción para definir diferentes opciones de aplicación para cada etapa de cultivo.

Lámina de riego fija : Seleccione esta opción para definir una lámina de riego fija en mm. Esto permite ajustar la lámina de riego en base al método de riego usado.

OPCION DE EFICIENCIA DE RIEGO

El valor de la Eficiencia de riego se utiliza para calcular la lámina de riego bruta.

Para la explicación sobre el icono Guardar como predeterminado a los valores de la FAO véase la introducción general en Opciones.

Para más detalles técnicos sobre las opciones de programación para cultivos a secano véase la Referencia Técnica.

Opciones de programación|Arroz. Preparación de suelo

Las opciones de Programación de arroz se acceden eligiendo Opciones del menú Configuración o seleccionando el icono Opciones en la barra de Herramientas cuando el módulo de Programación es la ventana activa y el cultivo activo es arroz.

La ventana principal da acceso a dos tipos de configuración: Opciones de programación de arroz y preparación de suelo. A través de la ventana de preparación de suelo, el usuario puede configurar las opciones generales de preparación de suelo, la programación pre-anegamiento y la programación para el anegamiento.

En campos de arroz, se requiere normalmente una cantidad considerable de agua de riego para la preparación del suelo y la inundación. Por lo general, se llevan a cabo dos riegos. El primero para llevar el suelo a saturación (entre 100 a 150 mm), después de la cual se llevan a cabo el anegamiento y la preparación misma del suelo. Antes de trasplante, un segundo riego inunda el campo gracias a bordes de tierra. Los requerimientos de riego totales para la preparación de suelo llegan a unos 200 a 300 mm. Esta cantidad elevada de riego para inundación y preparación de suelo para una determinada área de arroz se distribuye a lo largo del período de preparación de suelo mediante la rotación de suministro de riego en los campos. Un período más largo de preparación de suelo, por lo tanto, se traducirá en menores necesidades diarias de riego.

Las opciones son elegidas por medio de menús desplegables. En base a la opción elegida, CROPWAT 8.0 mostrará la información pertinente o la configuración para esa opción en la pequeña ventana debajo del menú desplegable.

CONFIGURACIÓN GENERAL DE LA PREPARACIÓN DE SUELO:

Dependiendo del tipo de suelo y el nivel del agua subterránea, los campos inundados de arroz tendrán una continua percolación de agua a las capas profundas. La percolación ocurre cada vez que hay agua entre Saturación (SAT) y capacidad de campo (CC). El proceso de percolación es favorable para el crecimiento de las plantas pues el movimiento del agua mantiene el contenido de oxígeno en el suelo a un nivel razonable. Las tasas normales de percolación están entre 1 a 3 mm/día, pero los campos de arroz en los suelos livianos y laderas pueden llegar a 10 a 20 mm/día.

Tasa máxima de percolación después de anegamiento

Luego de la preparación para el anegamiento, se registra la tasa máxima de percolación. CROPWAT 8.0 ofrece la posibilidad de estimar la tasa máxima de percolación de un suelo anegado a través de una fórmula de la FAO (por defecto) como la máxima tasa de percolación de suelos no anegados (asumida igual a la Tasa máxima de infiltración) elevada a 0.33. Alternativamente, una tasa fija definida por el usuario puede ser utilizada.

Disminución diaria de la Tasa máxima de infiltración durante el anegamiento

A medida que continúa el proceso de infiltración, el valor diario de percolación disminuye. CROPWAT 8.0 ofrece dos posibilidades para la descripción del fenómeno, a través de una fórmula no lineal de la FAO (por defecto) o a través de una relación lineal.

PROGRAMACIÓN PRE-ANEGAMIENTO:

Requerimientos para el remojo el día 1

La lámina necesaria para iniciar el remojo del suelo es la profundidad del suelo, expresada en cm, que será mojada más allá de la profundidad de anegamiento. El valor por defecto es 10 cm.

Opciones del momento del riego:

Riego a un porcentaje fijo de desaturación: Elija esta opción para fijar el momento del riego a un nivel fijo de desaturación (en porcentaje) del contenido de agua del suelo. El riego se lleva a cabo en saturación si se fija 0%, o en completa desaturación (correspondientes a la capacidad de campo, CC) si se fija a 100%.

Riego a porcentaje fijo de agotamiento de la Capacidad de Campo: Elija esta opción para configurar el momento del riego a un nivel fijo de agotamiento de la humedad del suelo disponible en CC. Tenga en cuenta que NO es un porcentaje del agotamiento crítico. Dado que se trata de la etapa pre-anegamiento, sin cultivos todavía, el concepto de agotamiento crítico no se aplica todavía.

Opciones de aplicación de riego:

Lámina de aplicación fija: Seleccione esta opción para definir una lámina de aplicación fija en mm.

Reponer a porcentaje fijo de saturación: Elija esta opción para reponer el agua a un porcentaje fijo de saturación. Cualquier valor por debajo del 100% significa que el suelo no será repuesto hasta saturación completa.

PROGRAMACION DE ANEGAMIENTO:

Opciones de momentos de riego:

Regar a altura de agua fija: Elija esta opción para configurar el momento del riego a una altura fija de agua (expresada en mm de agua sobre el nivel del suelo).

Regar a porcentaje fijo de desaturación: Elija esta opción para fijar el momento del riego a un nivel fijo de desaturación (en porcentaje) del contenido de agua del suelo.

Opciones de aplicación de riego:

Reponer a altura fija de agua: Seleccione esta opción para definir una aplicación a altura fija de agua (expresada en mm de altura agua sobre el nivel del suelo).

Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ETc-aj)

La Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ETc-aj) es la evapotranspiración de cultivos bajo manejo y condiciones ambientales que difieren de las condiciones óptimas estándar.

Cuando se cultiva en campo, la evapotranspiración real de los cultivos puede desviarse de la Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ETc) debido a la falta de condiciones óptimas, tales como escasez de agua, presencia de plagas y enfermedades, salinidad del suelo, baja fertilidad de los suelos o anegamiento. Esto puede resultar en un escaso crecimiento de las plantas, baja densidad de plantas y reducción de la producción final. Las fuerzas que actúan sobre el agua del suelo disminuyen su potencial de energía y la hacen menos disponible para la extracción de las raíces. Cuando el suelo está mojado, el agua tiene un alto potencial de la energía, es relativamente libre de moverse y es fácilmente absorbida por las raíces de la planta. En suelos secos, el agua tiene un bajo potencial de energía y está fuertemente retenida por las fuerzas capilares y de absorción de la matriz del suelo, y es menos fácilmente extraída por el cultivo.

CROPWAT 8.0 incluye un enfoque simple para considerar el efecto de las condiciones sub-óptimas de humedad del suelo. ETc-aj se calcula por medio de Coeficiente de estrés hídrico del cultivo (Ks) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$ETc-aj = ETc * Ks$$

Para condiciones limitadas de humedad en el suelo, $Ks < 1$. Cuando no hay estrés hídrico, $Ks = 1$.

Reponer a porcentaje fijo de saturación: Elija esta opción para reponer agua a un porcentaje fijo de saturación. Cualquier valor por debajo de 100% significa que el suelo no recibirá agua hasta saturación.

Lámina de aplicación fija: Seleccione esta opción para definir una lámina de aplicación fija en milímetros.

Para la explicación sobre Guardar como predeterminado y volver a los valores predeterminados por la FAO, véase la introducción general sobre Opciones

Para más detalles técnicos sobre programación de riego de arroz vea la Referencia Técnica.

Eficiencia de la programación de riego

La eficiencia de la programación de riego evalúa cuan ventajosamente el Riego neto es utilizado por el cultivo durante el período de cultivo.

La eficiencia de la programación de riego se expresa como porcentaje y se calcula como el cociente entre el agua de riego efectivamente utilizada por el cultivo, (o sea la diferencia entre el Riego neto, y las Pérdidas de riego) y el Riego neto.

Eficiencia de la precipitación

Como se presenta en el Módulo de Programación, la eficiencia de las contribuciones de precipitación expresada como porcentaje, representa el cociente entre la Precipitación efectiva y

el total de las contribuciones de precipitación durante el periodo de cultivo. Para este propósito, las pérdidas de riego se calculan como parte del balance de agua del suelo.

Caudal

En el Módulo de Programación, el caudal representa la descarga continua de agua necesaria para satisfacer los requerimientos de riego del cultivo durante el periodo de riego. Se expresa en litros por segundo por hectárea, y se calcula convirtiendo la Lámina bruta de riego en un suministro permanente.

Lámina de riego bruta

La lámina de riego bruta representa la lámina de agua (expresada en mm) aplicada al campo. Dado que la Eficiencia de riego es usualmente menor al 100 %, solo una fracción de la Lámina de riego bruta, que es la Lámina de riego neta, efectivamente llega a la zona radicular del cultivo.

Eficiencia de riego

Algunas características inadecuadas en los sistemas de riego, como la disposición de terreno en el caso de métodos de riego por gravedad (nivelación deficiente del suelo, deficiente aplicación), pueden causar pérdidas de agua de riego. Para considerar estos volúmenes de agua que no quedan dentro de la zona radicular, CROPWAT 8.0 permite ingresar una estimación de la eficiencia de riego, con la cual estima la Lámina bruta de riego.

Un valor por defecto de 70% se recomienda para sistemas de riego superficiales bien manejados.

Pérdidas de riego

El agua de riego que llega a la zona radicular, es decir la Lámina neta de riego, no siempre es ventajosamente utilizada por el cultivo. En caso de que la contribución neta de riego lleve el contenido de humedad del suelo a valores superiores a la Capacidad de Campo (CC), la cantidad de agua por encima de CC se asume que se perderá por percolación profunda (PP). Este nivel de agua superior a CC se computa como pérdidas de Riego.

En el Balance hídrico del suelo del módulo de Programación, las Pérdidas de riego se calculan en base diaria y se suman a lo largo del periodo de cultivo, como las Pérdidas de riego totales.

Tenga en cuenta que las pérdidas de riego no se refieren a la diferencia entre la Lámina Bruta y Neta de riego, que representa la fracción de agua de riego que no llega a la zona radicular, calculada a través de la Eficiencia de riego.

Déficit de humedad en la cosecha

El déficit de humedad en la cosecha representa el Agotamiento de la zona radicular (Zr) en el último día del ciclo de cultivo. Se expresa en mm sobre la zona radicular. El valor es mínimo (cero) cuando el contenido de agua del suelo es igual a la Capacidad de Campo (CC), y alcanza su máximo valor siendo igual al Agua Disponible Total (ADT) - cuando la humedad del suelo está en el Punto de Marchitez Permanente (PMP).

El déficit de humedad en la cosecha se utiliza para determinar si el último riego fue realmente necesario o, posiblemente, podría ser suprimido.

Lámina de riego neta

La Lámina de riego neta representa la lámina de agua (expresada en mm) que se utiliza en beneficio de la planta.

CROPWAT 8.0 calcula la Lámina de riego neta en base a las opciones de programación seleccionadas. Por ejemplo si el usuario selecciona reponer agua a Capacidad de Campo, la Lámina de riego neta será igual al agotamiento de agua del suelo.

Pérdidas de precipitación

Las Pérdidas de precipitación representan la fracción de las contribuciones de precipitación que no puede ser utilizada ventajosamente por la planta durante el período de cultivo, debido a la Escorrentía Superficial (ES) y a la Percolación Profunda (PP). Este parámetro, que se presenta en el módulo de Programación, se expresa en mm y se calcula como la diferencia entre la Precipitación Total y la Precipitación efectiva calculada a través del balance hídrico del suelo.

Agotamiento de humedad de la zona radicular (Dr)

El Agotamiento de humedad de la zona radicular (Dr) representa la cantidad de agua faltante con respecto a la Capacidad de Campo (CC). Puede ser expresado como un porcentaje o en mm sobre la profundidad de enraizamiento.

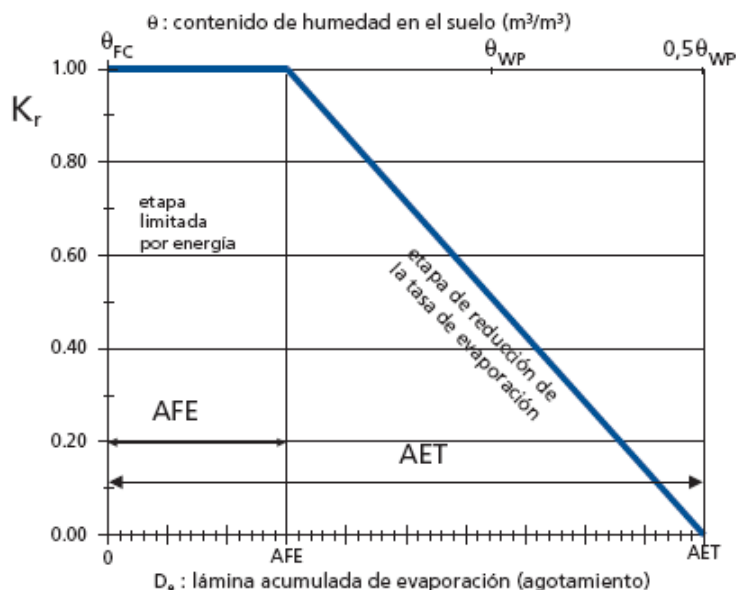
Aunque después de una precipitación abundante o del riego, el contenido de agua en el suelo puede exceder temporalmente a la CC, se asume que la cantidad total de agua existente por encima de la CC se pierde el mismo día por percolación profunda (PP). Considerando que la zona radicular se encuentre a CC luego de una precipitación abundante o del riego, el valor mínimo de Dr es cero. Como resultado de la evapotranspiración, el contenido de agua en la zona radicular disminuye gradualmente, mientras que Dr aumenta. Si no ocurre ningún evento de aporte de agua, el contenido de agua gradualmente alcanzará su valor mínimo en el Punto de Marchitez Permanente (PMP). En ese momento no habrá agua para evapotranspiración, y el Dr habrá llegado a su valor máximo, que es igual al Agua Disponible Total (ADT).

Los límites impuestos a Dr, en consecuencia, son:

$$0 \leq Dr \leq TAW$$

Coeficiente de estrés hídrico (Ks)

El Coeficiente de estrés hídrico (Ks) permite describir el efecto del déficit de agua en el suelo sobre la evapotranspiración del cultivo, el cual se asume que reduce linealmente en proporción a la reducción del agua disponible en la zona radicular.



Ks se calcula por:

$$K_s = (ADT - D_r) / (ADT - AFA)$$

donde:

ADT = Agua Disponible Total

D_r = Agotamiento de la zona radicular

AFA = Agua Fácilmente Aprovechable

La Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no-estándar (ET_{c-aj}) es calculada de la Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c) por medio de la ecuación:

$$ET_{c-aj} = ET_c * K_s$$

La estimación de K_s requiere un balance hídrico diario de la zona radicular.

Reducción del rendimiento

La reducción del rendimiento por estrés hídrico se expresa como un porcentaje de la producción máxima alcanzable en la zona en condiciones óptimas. Puede ser calculada con referencia a una única etapa del ciclo de cultivo o para toda la temporada de cultivo.

La reducción del rendimiento se calcula con la siguiente ecuación:

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_{c-aj}}{ET_c}\right)$$

donde:

K_y factor de respuesta del rendimiento [-]

ET_{c-aj} Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar [mm d-1]

ET_c Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar [mm d-1]

Y_a Rendimiento alcanzable en condiciones reales

Y_{max} Máximo rendimiento del cultivos alcanzable en caso de la plena satisfacción de los requerimientos de agua del cultivo

Cómo calcular la Programación de riego

Para calcular la Programación de riego usted primero debe cargar los datos de entrada necesarios, tal como se describe en Cómo calcular Requerimientos de Agua de los Cultivos. Para la programación de riego usted necesita datos sobre Clima/ET_o, precipitación, cultivos y suelo.

Una vez que dispone de los datos necesarios, seleccione el módulo de Programación (cultivos no inundados o arroz) en la Barra de Módulos. Si los datos de entrada están correctos, CROPWAT calculará la programación de riego basado en la actual configuración de las Opciones de Programación y mostrará los resultados en la ventana de datos. Si hay un problema con los datos de entrada, CROPWAT mostrará un mensaje de error indicando que datos no son correctos o están incompletos.

Mientras se encuentre en el módulo de Programación de riego, usted puede cambiar rápidamente las opciones de programación através del icono Opciones en la barra de Herramientas. Usted también puede ajustar manualmente la Programación, editando las dosis netas de riego en la tabla de salida de Programación, y puede guardar la Programación ajustada en un archivo a través del ícono Guardar en la barra de Herramientas.

Para ver un gráfico de Programación de riego seleccione el ícono Gráfico en la barra de Herramientas.

Balance Hídrico de Suelo

El balance hídrico del suelo tiene por objeto evaluar el estado de la humedad del suelo considerando todos los ingresos y pérdidas de agua en la zona radicular durante un determinado periodo.

Para expresar el contenido de agua como agotamiento de la zona radicular, es útil el sumar y restar las ganancias y pérdidas directas ya que los diferentes parámetros del balance hídrico del suelo se expresan en términos de lámina de agua. En el módulo de Programación de CROPWAT 8.0, el balance hídrico del suelo se lleva a cabo en forma diaria, de acuerdo a:

$$Dr,i = Dr,i-1 + ETc_{adj,i} - P_i - I_i + (ES_i + PP_i)$$

Donde

Dr,i agotamiento de humedad en la zona radicular al final del día i [mm],

$Dr,i-1$ contenido de humedad en la zona radicular al final del día anterior, $i-1$

P_i precipitación en el día i [mm],

ES_i escurrimiento superficial en el día i [mm],

I_i lámina neta de riego en el día i que infiltra en el suelo [mm],

$ETc_{aj,i}$ evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar en el día i [mm],

PP_i pérdidas de agua de la zona radicular por percolación profunda en el día i [mm].

Dr se calcula en forma anterior a la aplicación de riego, si corresponde.

Se supone que ES ocurre cada vez que P es mayor que la Tasa máxima de infiltración. Se estima que PP ocurre cada vez que el contenido de humedad disponible del suelo en la zona radicular es superior a la Capacidad de Campo (CC). Dado que las pérdidas de precipitación se determinan a través de ES y PP , la precipitación total y no así la efectiva se utiliza en el balance hídrico del suelo.

Módulo de patrón de cultivos

El módulo de Patrón de cultivos se puede seleccionar haciendo clic en el icono de Patrón de cultivos en la Barra de Módulos situada a la izquierda de la ventana principal de CROPWAT. Alternativamente, es posible utilizar el menú desplegable del icono Nuevo en la barra de Herramientas. También puede usar el botón Nuevo en el menú Archivo.

El módulo de patrón de cultivos es un dato primario de entrada, requiriendo la información sobre los cultivos (1 a 20) que forman parte del esquema. Con referencia a cada cultivo, los siguientes datos son necesarios:

- **Archivo de cultivo:** CROPWAT 8.0 tiene datos de varios cultivos comunes obtenidos de publicaciones de la FAO (véase la Serie Riego y Drenaje No 56 "Evapotranspiración del Cultivo", y No 33 "Respuesta del rendimiento al agua"). (Estos vínculos requieren conexión a Internet). Los datos más fiables de cultivos, sin embargo, siguen siendo los datos obtenidos de estaciones de investigación agrícola local.
- **Fecha de siembra:** es normalmente determinada a partir de las condiciones climáticas y las prácticas agrícolas locales. La fecha de siembra de los cultivos, en particular, los que cubren áreas importantes o son altamente demandantes de agua como el arroz, pueden ser repartidas en un período de 3 a 6 semanas. En esos casos, a fin de facilitar el análisis, en CROPWAT el cultivo puede ser sub-dividido en diferentes unidades de cultivo con intervalos de fechas de siembra de 10 a 15 días. Esto es útil para el estudio de los distintos patrones de cultivo y el cálculo de la programación de suministro de agua del esquema. La fecha de cosecha se calcula automáticamente en base a la fecha de siembra y del total del ciclo del cultivo.
- **Área:** extensión de las áreas dedicadas a cada cultivo, como porcentaje del total de la superficie cultivada. Se debe tener cuidado de que en cualquier momento la suma de los cultivos individuales no exceda el 100% del total del área del esquema.

Módulo de abastecimiento del sistema

El módulo de abastecimiento del sistema puede ser seleccionado haciendo clic en el icono Sistema en la Barra de Módulos situada en la parte izquierda de la ventana principal de CROPWAT.

El Módulo de abastecimiento del sistema incluye esencialmente los cálculos para hallar:

- Los requerimientos de riego para cada cultivo del sistema
- Requerimientos netos de riego del esquema
- Superficie irrigada como porcentaje de la superficie total
- Requerimiento de riego para el área real

Requerimientos netos de riego del sistema

El Requerimiento neto de riego del esquema calcula el total de las necesidades de agua de riego al nivel del esquema durante un determinado periodo.

En el Módulo de esquema, el Requerimiento neto de riego del esquema se calcula en base mensual teniendo en cuenta los Requerimientos de riego de los cultivos en el campo

durante el período objeto de análisis y de la correspondiente superficie cultivada. Se expresa en mm/día promedio, en mm/mes y en l/s/ha.

Cabe señalar que, el Requerimiento neto de riego del esquema, no toma en cuenta la contribución de agua del suelo al cultivo.

Como se considera el Requerimiento neto y no bruto de riego, este valor no tiene en cuenta las pérdidas de agua que se producen en el sistema.

Requerimiento de Riego o Déficit de precipitación

El Requerimiento de Riego, expresado en mm y calculado durante un cierto período de tiempo, expresa la diferencia entre la Evapotranspiración de cultivo en condiciones estándar (ETc), y la Precipitación Efectiva durante ese periodo.

El Requerimiento de Riego indicativamente, representa la fracción de los requerimientos de agua del cultivo que necesita ser satisfecha a través del riego a fin de garantizar óptimas condiciones de desarrollo del cultivo. Sin embargo, debe considerarse que este parámetro no toma en cuenta la contribución de agua del suelo al cultivo.

Cómo calcular la provisión de agua a un sistema

Para calcular la provisión de agua a un sistema de riego, es necesario en primer lugar disponer de los datos necesarios en los módulos Clima/ETo, Precipitación y patrón de cultivos. Si ya ha guardado una combinación de estos archivos de datos dentro de una sesión, usted puede recargar rápidamente los datos a través del menú Archivo> Abrir sesión . Si no, usted debe ir a cada uno de estos módulos a través de la Barra de Módulos, ya sea para cargar datos existentes o para introducir nuevos datos.

Una vez que usted disponga de los datos necesarios, seleccione el Módulo Esquema en la Barra de Módulos. Si los datos de entrada son correctos, CROPWAT calculará el Esquema de entrega de agua y mostrará los resultados en la ventana de datos. Si hay un problema con los datos de entrada, CROPWAT mostrará un mensaje de error indicando qué datos no son correctos o se encuentran incompletos.

Evapotranspiración de referencia (ETo)

La tasa de evapotranspiración de un Cultivo de referencia que no enfrenta déficit hídrico se llama Evapotranspiración de referencia (ETo).

El concepto de ETo fue introducido para estudiar la demanda evaporativa de la atmósfera independientemente del tipo de cultivo, su desarrollo o su manejo. Como el agua es abundante en la superficie evapotranspirante, los factores de suelo no afectan la ETo. El relacionar el proceso de evapotranspiración a una superficie determinada proporciona una referencia a la que la evapotranspiración de otras superficies pueden relacionarse. Esto elimina la necesidad de definir un nivel de evapotranspiración diferente y separado para cada cultivo y para cada etapa de crecimiento. Los valores de ETo medidos o calculados en distintos lugares o en diferentes estaciones del año son comparables, ya que se refieren a la evapotranspiración de la misma superficie de referencia.

Los únicos factores que afectan a ETo son los parámetros climáticos. En consecuencia, la ETo es un parámetro climático y puede calcularse a partir de datos meteorológicos. La ETo expresa el poder evaporativo de la atmósfera en un determinado lugar y momento del año y no tiene en

cuenta las características del cultivo ni del suelo. El método FAO Penman-Monteith es recomendado como el único método para determinar la ETo. Este método ha sido seleccionado porque proporciona valores que muy consistentes con datos reales de uso de agua de cultivos en todo el mundo, como se ha demostrado a través de muchos años de evaluaciones en la literatura científica. Este método supera las deficiencias de métodos recomendados anteriormente, y explícitamente incorpora parámetros tanto fisiológicos como aerodinámicos. Además, se han desarrollado procedimientos para la utilización de este método, incluso con pocos datos climáticos.

Enfoque FAO Penman-Monteith

Una consulta de expertos e investigadores fue organizada por la FAO en 1990, en colaboración con la Comisión Internacional de Riego y Drenaje y con la Organización Meteorológica Mundial, para examinar las metodologías de la FAO para el cálculo de los requerimientos de agua los cultivos y para asesorar sobre una revisión y actualización de los procedimientos.

El grupo de expertos recomendó la adopción del método combinado de Penman-Monteith como una nueva norma para el cálculo de la evapotranspiración de referencia y sugirió procedimientos para el cálculo de los distintos parámetros. El método FAO Penman-Monteith fue desarrollado mediante la definición del Cultivo de referencia como un cultivo hipotético de referencia con una altura asumida de 0.12 m, una resistencia superficial fija de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0.23. La superficie de referencia se asemeja a una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente, sombreando totalmente la tierra y con un adecuado aporte de agua. El método supera las deficiencias del anterior método FAO Penman y proporciona valores más consistentes con el uso real de agua por parte de los cultivos en todo el mundo. En base a la ecuación original de Penman-Monteith y a las ecuaciones de resistencia aerodinámica y de superficie, el método FAO Penman-Monteith para estimar ETo, se expresa como:

$$ETo = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

donde:

ETo evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

Rn radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)

Ra radiación extraterrestre (mm día⁻¹)

G flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹)

T temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u2 velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)

es presión de vapor de saturación (kPa)

ea presión real de vapor (kPa)

es - ea déficit de presión de vapor (kPa)

Δ pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)

γ constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

La evapotranspiración de referencia, ETo, ofrece un estándar para:

- comparar evapotranspiración en diferentes periodos del año en otras regiones
- relacionar la evapotranspiración de otros cultivos

La ecuación usa registros climáticos estándar de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. Para garantizar los cálculos, las mediciones climáticas se deben realizar a 2m (o ser convertidas a un valor equivalente) por encima de una superficie extensa de pasto verde, cubriendo el suelo y con suficiente disponibilidad de agua.

Ninguna ecuación de evapotranspiración puede predecir la evapotranspiración perfectamente bajo cada situación climática debido a la simplificación en la formulación y errores en la medición de los datos. Es probable que instrumentos de precisión elevada bajo excelentes condiciones de manejo ambiental y biológico muestren que la ecuación FAO Penman-Monteith se desvía en ocasiones de las mediciones reales de la ETo del pasto. Sin embargo, la consulta de expertos estuvo de acuerdo en utilizar la definición de referencia hipotética de la ecuación FAO Penman-Monteith como la definición de ETo de pasto cuando se derivan y expresando coeficientes de cultivos.

La ecuación FAO Penman-Monteith es una representación simple de los factores físicos y fisiológicos que rigen el proceso de evapotranspiración. Con el uso de la definición de ETo de la FAO Penman-Monteith, se pueden calcular los coeficientes de cultivo en los sitios de investigación relacionando la evapotranspiración del cultivo (ETc) con la ETo calculada, es decir, $K_c = ET_c / ETo$. En el enfoque del coeficiente de cultivo, las diferencias en el dosel del cultivo y la resistencia aerodinámica en relación al cultivo de referencia hipotético se incluyen en el coeficiente de cultivo. El Kc sirve como un factor de agregación de las diferencias físicas y fisiológicas entre los cultivos y la definición de referencia.

Para una descripción detallada de la ecuación FAO Penman-Monteith, los usuarios pueden consultar la publicación No 56 de la Serie Riego y Drenaje de la FAO, titulada "Evapotranspiración del cultivo - Guías para el cálculo de los requerimientos de agua del cultivo". Haga clic [aquí](#) para ver esta publicación en línea. (Este enlace requiere conexión a Internet)

Evapotranspiración de referencia (ETo)

La tasa de evapotranspiración de un Cultivo de referencia que no enfrenta déficit hídrico se llama Evapotranspiración de referencia (ETo).

El concepto de ETo fue introducido para estudiar la demanda evaporativa de la atmósfera independientemente del tipo de cultivo, su desarrollo o su manejo. Como el agua es abundante en la superficie evapotranspirante, los factores de suelo no afectan la ETo. El relacionar el proceso de evapotranspiración a una superficie determinada proporciona una referencia a la que la evapotranspiración de otras superficies pueden relacionarse. Esto elimina la necesidad de definir un nivel de evapotranspiración diferente y separado para cada cultivo y para cada etapa de crecimiento. Los valores de ETo medidos o calculados en distintos lugares o en diferentes estaciones del año son comparables, ya que se refieren a la evapotranspiración de la misma superficie de referencia.

Los únicos factores que afectan a ETo son los parámetros climáticos. En consecuencia, la ETo es un parámetro climático y puede calcularse a partir de datos meteorológicos. La ETo expresa el poder evaporativo de la atmósfera en un determinado lugar y momento del año y no tiene en cuenta las características del cultivo ni del suelo. El método FAO Penman-Monteith es recomendado como el único método para determinar la ETo. Este método ha sido seleccionado porque proporciona valores que muy consistentes con datos reales de uso de agua de cultivos en todo el mundo, como se ha demostrado a través de muchos años de evaluaciones en la literatura científica. Este método supera las deficiencias de métodos recomendados anteriormente, y explícitamente incorpora parámetros tanto fisiológicos como aerodinámicos. Además, se han desarrollado procedimientos para la utilización de este método, incluso con pocos datos climáticos.

Requerimiento de agua del cultivo

La cantidad de agua necesaria para compensar la pérdida de evapotranspiración del campo de cultivo se define como el Requerimiento de agua del cultivo. Aunque los valores de la Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc) y los requerimientos de agua del cultivo son idénticos, los requerimientos de agua del cultivo se refieren a la cantidad de agua que debe suministrarse, mientras que la evapotranspiración del cultivo se refiere a la cantidad de agua que se pierde a través de la evapotranspiración.

Evapotranspiración del cultivo puede calcularse a partir de datos climáticos y la integración directa de los factores resistencia del cultivo, albedo y resistencia del aire en el enfoque Penman-Monteith.

Como todavía hay una considerable falta de información para los diferentes cultivos, el método de Penman-Monteith se utiliza para la estimación de la Evapotranspiración de referencia (ETo).

Relaciones de ETc/ETo determinadas experimentalmente, llamadas Coeficiente de cultivos (Kc), se utilizan para relacionar la ETc con ETo, entonces la evapotranspiración del cultivo se puede expresar como $ETc = Kc * ETo$. Esto se conoce como el enfoque de coeficiente de cultivo para calcular la evapotranspiración del cultivo.

Las diferencias en la anatomía de la hoja, características estomáticas, propiedades aerodinámicas e incluso el albedo causa que la ETc difiera de la ETo, en las mismas condiciones climáticas. Debido a las variaciones en las características de los cultivos en su ciclo de cultivo, Kc para un determinado cultivo cambia desde la siembra hasta la cosecha. Siendo el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos un elemento fundamental para el manejo del agua, la FAO ha prestado atención a la estandarización y difusión de la forma más precisa y aceptada para calcularla. Una consulta de expertos e investigadores fue organizada por la FAO en 1990, en colaboración con la Comisión Internacional de Riego y Drenaje y con la Organización Meteorológica Mundial, para examinar las metodologías de la FAO para el cálculo de los requerimientos de agua los cultivos y para asesorar sobre una revisión y actualización de los procedimientos.

En 1990, la FAO organizó una consulta de expertos e investigadores en colaboración con la Comisión Internacional de Riego y Drenaje y con la Organización Meteorológica Mundial, para examinar las metodologías de la FAO publicado sobre los cultivos y las necesidades de agua para asesorar sobre la revisión y actualización de los procedimientos. El grupo de expertos recomendó la adopción del método combinado de Penman-Monteith como una nueva norma para el cálculo de la evapotranspiración de referencia y sugirió procedimientos para el cálculo de los distintos parámetros. Este material se presenta en la publicación No 56 de la Serie Riego y Drenaje de la FAO. Haga [clic aquí](#) para ver esta publicación en línea.

En CROPWAT 8.0 el cálculo de los requerimientos de agua del cultivo se lleva a cabo por periodos de 10 días (decadarios). Para los cálculos del Requerimiento de Agua del Cultivo (RAC) se utiliza el enfoque de coeficiente de cultivos.

La Evapotranspiración del cultivo decadiaria se calcula mediante la multiplicación del número de días efectivos de cultivo. Para convertir los datos de precipitación mensual a valores decadarios, una interpolación lineal se lleva adelante. Los valores para la primera y tercera décadas de cada mes se calculan por interpolación con el mes anterior y posterior, respectivamente. Para compensar las desviaciones en los meses máximo y mínimo, una reiteración se lleva a cabo para cumplir con la condición de que los 3 valores decadarios promedian la media mensual.

Los requerimientos de agua del cultivo son entonces calculados como la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y la Precipitación efectiva.

El cálculo de los requerimientos de riego de arroz es diferente de otros cultivos. Extra agua de riego es necesaria no sólo para cubrir las pérdidas por evaporación, sino también para compensar las pérdidas por percolación en los campos inundados. Además, antes de su trasplante, es necesaria una cantidad sustancial de agua de riego para la preparación de suelo y el almácigo. Los procedimientos de cálculo y los datos de entrada, por lo tanto, difieren de aquellos aplicados para otros cultivos por lo cual un programa separado se incluye en CROPWAT 8.0.

Enfoque del coeficiente de cultivo

La Evapotranspiración del cultivo puede calcularse a partir de datos climáticos y la integración directa de la resistencia del cultivo, albedo y la resistencia del aire incluidos en el enfoque FAO Penman-Monteith. Como todavía hay una considerable falta de información para los diferentes cultivos, el método de Penman-Monteith se utiliza para la estimación de la tasa de evapotranspiración del Cultivo de referencia, es decir la Evapotranspiración de referencia (ET_o). Relaciones de ET_c/ET_o determinadas experimentalmente, llamadas coeficiente de cultivos (K_c), se utilizan para relacionar la Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ET_c) con ET_o. Esto se conoce como el enfoque de coeficiente de cultivo.

$$ET_c = K_c * ET_o$$

La Radiación, la temperatura del aire, la Humedad y la Velocidad del viento son todas incorporadas en la estimación de ET_o. Por lo tanto, ET_o representa un índice de la demanda climática, en tanto que K_c varía principalmente con las características del cultivo específico y sólo en forma limitada con el clima y la evaporación del suelo. Esto permite la transferencia de valores estándar para K_c entre localidades y climas. Esta ha sido la razón principal de la aceptación mundial y la utilidad del enfoque de coeficiente de cultivo y los factores K_c desarrollados en anteriores estudios.

ET_o se define y calcula con la ecuación de la FAO Penman-Monteith. K_c representa una integración de los efectos de las cuatro principales características que distinguen a los cultivos de campo del cultivo de referencia. Estas características son:

- Altura del cultivo. La altura del cultivo influye en la resistencia aerodinámica, r_a , de la ecuación FAO Penman-Monteith y en la transferencia turbulenta de vapor del cultivos a la atmósfera. El término r_a aparece dos veces en la versión completa de la ecuación FAO Penman-Monteith.
- Albedo (reflectancia) de la superficie del cultivo y del suelo. El albedo es afectado por la fracción de suelo cubierto por vegetación y por la humedad de la superficie del suelo. El albedo de la superficie del cultivo y del suelo influye en la absorción de radiación solar por parte de la superficie, la cual es la principal fuente de energía para el cambio del proceso de evaporación.
- Resistencia del dosel. La resistencia del cultivo a la transferencia de vapor se ve afectada por el área foliar (número de estomas), la edad de la hoja y su condición, y el grado de control de los estomas. La resistencia del dosel influye en la resistencia de la superficie, r_s .
- La evaporación del suelo, especialmente del suelo expuesto.

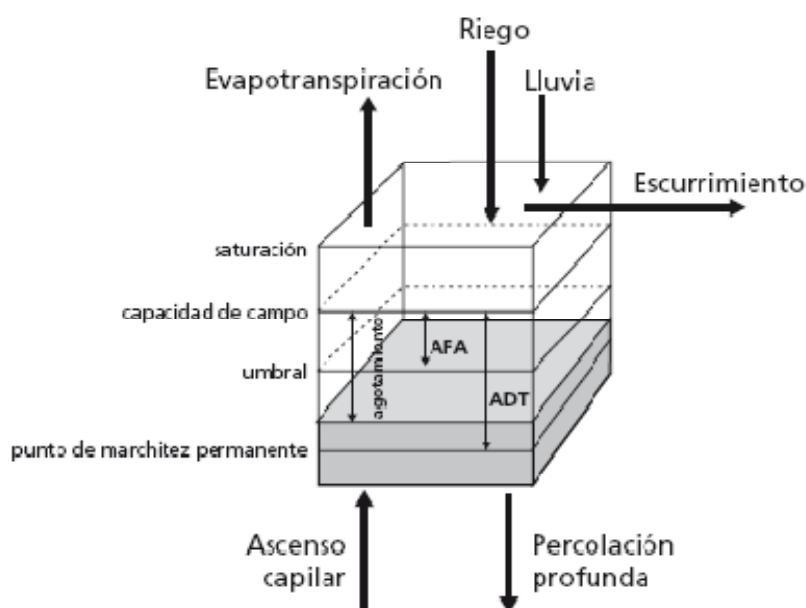
La humedad del suelo y la superficie de la fracción de la superficie cubierta por vegetación influyen en la resistencia superficial, r_s . Después de mojar el suelo, la tasa de transferencia de vapor del suelo es alta, especialmente para cultivos que tienen incompleta la cubierta del suelo. La resistencia superficial combinada del dosel y del suelo determina la resistencia superficial (total) r_s . El término de resistencia superficial en la ecuación FAO Penman-Monteith representa la

resistencia al flujo de vapor desde dentro de las hojas de la planta y desde debajo de la superficie del suelo.

El K_c en la ecuación anterior permite la predicción de ET_c . Esto representa el límite superior de la Evapotranspiración del cultivo y representa condiciones en que no existen limitaciones para el crecimiento del cultivo o para la evapotranspiración tales como la escasez de agua, densidad del cultivo, enfermedades, malezas, plagas o salinidad. La ET_c predicha por el K_c se ajusta en caso necesario, para condiciones no estándar a través de la Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET_{c-aj}) cuando se presenta alguna condición o característica del medio ambiente que se sabe que tiene un impacto sobre o limita la ET_c .

Requerimientos de riego

El riego es necesario cuando la precipitación es insuficiente para compensar la pérdida de agua por evapotranspiración. El objetivo principal de riego es aplicar agua en el momento correcto y en la cantidad correcta. Mediante el cálculo del balance hídrico del suelo para la zona de radicular en forma diaria, el momento y la lámina de futuros riegos pueden ser planificados. En la siguiente figura, la zona radicular se presenta por medio de un contenedor en el que el contenido de agua puede fluctuar.



Para expresar el contenido de agua como agotamiento de la zona radicular, es útil el sumar y restar las ganancias y pérdidas directamente ya que los diferentes parámetros del balance hídrico del suelo se expresan en términos de lámina de agua. La precipitación, riego y ascenso capilar desde la napa freática hacia la zona radicular adicionan agua y disminuyen el agotamiento de agua de dicha zona. La evaporación del suelo, transpiración del cultivo y pérdidas por percolación reducen el agua de la zona radicular e incrementan el agotamiento. El balance hídrico diario del suelo expresado en términos de agotamiento al final del día es igual a:

$$Dr, i = Dr, i-1 - (P - ES)_i - li - CR_i + ET_{c, i} + PP_i$$

donde Dr, i agotamiento de humedad en la zona radicular del suelo al final del día i [mm],
 $Dr, i-1$ contenido de humedad en la zona radicular al final del día anterior, $i-1$
 P_i precipitación en el día i [mm],
 ES_i escurrimiento superficial en el día i [mm],
 li lámina neta de riego en el día i que infiltra en el suelo [mm],

CRi ascenso capilar proveniente de la mesa de agua subterránea en el día i
ET_{c,i} evapotranspiración del cultivo en el día i [mm],
PPi pérdidas de agua de la zona radicular por percolación profunda en el día i
[mm].

Con el fin de calcular los requerimientos de riego, CROPWAT 8.0 calcula un balance hídrico diario de la zona radicular, tal como se describe más arriba. Los requerimientos netos de riego, son iguales al agotamiento de la zona radicular. Para evitar estrés hídrico del cultivo, el riego debe aplicarse antes o en el momento en que el agua fácilmente disponible se ha agotado (Dri RAW). Para evitar las pérdidas por percolación profunda, que podrían lixiviar importantes nutrientes de la zona radicular, la lámina de riego neta debe ser menor o igual al agotamiento de la zona de radicular ($li < Dri$).

Precipitación Efectiva

Desde el punto de vista de producción agrícola, la precipitación efectiva se refiere a la parte de la precipitación que puede ser efectivamente utilizada por las plantas. Esto significa que no toda la precipitación está a disposición de los cultivos, ya que una parte se pierde a través de la Escorrentía Superficial (ES) y de la Percolación Profunda (PP).

Cuánta agua se infiltra en realidad en el suelo depende del tipo de suelo, pendiente, tipo de cultivos, intensidad de la precipitación y el contenido inicial de agua en el suelo. El método más preciso para determinar la precipitación efectiva es a través de observación en campo. La lluvia es altamente efectiva cuando poco o nada se pierde por ES. Bajas precipitaciones son poco efectivas pues se pierden rápidamente por evaporación.

Los valores de precipitación media, real o confiable se pueden ingresar como datos de entrada. Se debe tener cuidado en la selección de los valores adecuados de precipitación confiable, que deben estar basados en análisis estadísticos realizados en registros históricos de suficiente duración.

Para obtener información detallada acerca de la precipitación efectiva, el usuario puede referirse a la publicación "Effective Rainfall" de la Serie de Riego y Drenaje de la FAO. (Este enlace requiere conexión a Internet)

A través de las Opciones para Precipitación, CROPWAT 8.0 ofrece la posibilidad de utilizar varios métodos para calcular la precipitación efectiva:

- 1. Porcentaje fijo**
- 2. Precipitación confiable**
- 3. Fórmula empírica**
- 4. Método del USDA Soil Conservation Service**

Además, ofrece la posibilidad de llevar a cabo los cálculos de riego sin considerar la precipitación.

Tenga en cuenta que en los cálculos para hallar los RAC, se utiliza la precipitación efectiva decadiaria, estimada con uno de los métodos propuestos en las Opciones para Precipitación. Por el contrario, en los cálculos para Programación, el ingreso de la precipitación en el suelo se determina en base diaria y las pérdidas debidas a la percolación profunda y la escorrentía superficial se calculan de acuerdo con el contenido de humedad del suelo en la zona radicular. Por lo tanto, la precipitación Total y NO la Precipitación efectiva, es usada para el cálculo del

balance de agua en el suelo. En este módulo, la precipitación efectiva estacional es acumulada diariamente, durante la temporada de cultivo completa.

Módulo de programación|Cultivos diferentes al arroz

Este módulo se puede seleccionar pulsando el icono Programación en la Barra de Módulos situada a la izquierda de la ventana principal de CROPWAT.

El módulo de Programación incluye esencialmente los cálculos y la elaboración de un Balance hídrico de suelo en forma diaria. Esto permite:

- Elaborar programaciones de riego indicativas que permitan mejorar la gestión del agua;
- Evaluar las actuales prácticas de riego y la asociada productividad de agua de los cultivos;
- Evaluar la producción de cultivos bajo condiciones de secano y la viabilidad del riego suplementario;
- Desarrollar alternativas de programación de entrega de agua para condiciones de limitado suministro de agua.

Los cálculos para la programación de riego de arroz son diferentes a aquellos de otros cultivos de campo que se describen a continuación. Para el arroz de tierras bajas, una lámina de agua se mantiene en la parcela durante la mayor parte de la estación de crecimiento y, por lo tanto, es necesaria más agua de riego, no sólo para cubrir las pérdidas por evaporación, sino también para compensar las pérdidas por percolación en los campos inundados. Además, antes de su trasplante, una cantidad sustancial de agua de riego es necesaria para la preparación de la tierra y para el almácigo.

Módulo de programación|Arroz

Este módulo se puede seleccionar pulsando el icono Programación en la Barra de Módulos situada a la izquierda de la ventana principal de CROPWAT.

El módulo de Programación incluye esencialmente los cálculos y la elaboración de un Balance hídrico de suelo en forma diaria. Esto permite:

- Elaborar programaciones de riego indicativas que permitan mejorar la gestión del agua;
- Evaluar las actuales prácticas de riego y la asociada productividad de agua de los cultivos;
- Evaluar la producción de cultivos bajo condiciones de secano y la viabilidad del riego suplementario;
- Desarrollar alternativas de programación de entrega de agua para condiciones de limitado suministro de agua.

Los siguientes parámetros se utilizan en el Balance de agua del suelo:

Precipitación: la precipitación total y no así la efectiva es utilizada para el cálculo del balance hídrico, ya que las pérdidas por percolación profunda (PP) y de escorrentía superficial (ES) se estiman de acuerdo con el contenido real de humedad en el suelo en la zona radicular y la Máxima tasa de infiltración, respectivamente. Debido a este procedimiento de cálculo, la precipitación efectiva durante el período de cultivo puede ser diferente si se compara con la precipitación efectiva calculada en el Módulo de Precipitación y utilizada en el cálculo de los Requerimientos de agua del cultivo. La Precipitación mensual se divide en tres décadas. Con el fin de reproducir la distribución discontinua de los eventos de precipitación, las lluvias decadiarias se dividen por igual en el tercer y el séptimo día de cada uno de los 10 días del periodo. Tenga en cuenta que incluso si el tipo de datos diarios es elegido en el Módulo de precipitación, CROPWAT

8.0 primero calcula el total decadiario de los valores de precipitación, y luego divide por igual en el tercer y séptimo días de cada periodo.

- Coeficiente de estrés hídrico (Ks)
- Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ETc adj)
- Estado de anegamiento: es identificado como Prep. (Preparación, correspondiente al período de pre-anegamiento), OK (condición óptima de anegamiento) y Deficit (ocurre cuando la depleción de agua en el suelo es inferior al nivel del Agua Fácilmente Aprovechable (AFA) en la zona radicular)
- Percolación profunda (PP): cada vez que el contenido de agua en la zona radicular es superior a la capacidad de campo (CC), se asume que ocurre la PP. La forma en que la tasa máxima de percolación y su disminución diaria durante el anegamiento son estimadas, pueden ser configuradas en la Opción de Programación> Arroz
- Depl.AS: La depleción del agua del suelo correspondiente a la cantidad de agua (en mm) por debajo de la capacidad de campo.
- Entrega neta o Lámina Neta
- Pérdida de agua en el riego
- Agot. SAT: Agotamiento de saturación es la cantidad de agua por debajo del contenido de humedad de saturación de suelo.

La página se abre por defecto, con formato de tabla en "Programación de riego". Para mostrar el balance día a día, cambie el formato de tabla de "Programación de Riego" a "Balance diario de humedad del suelo".

El módulo de Programación tiene la facilidad de presentar datos en un Gráfico, al elegir Gráfico en la barra de Herramientas mientras que el módulo de Programación sea la ventana activa.

Módulo de abastecimiento del sistema

El módulo de abastecimiento del sistema puede ser seleccionado haciendo clic en el icono Sistema en la Barra de Módulos situada en la parte izquierda de la ventana principal de CROPWAT.

El Módulo de abastecimiento del sistema incluye esencialmente los cálculos para hallar:

- Los requerimientos de riego para cada cultivo del sistema
- Requerimientos netos de riego del esquema
- Superficie irrigada como porcentaje de la superficie total
- Requerimiento de riego para el área real