

CROPWAT

Estimación de la reducción porcentual en rendimientos en los cultivos de maíz y frijól.

Guía Metodológica - Módulo II diplomado.



Contenido

Capítulo 1

Fundamentos del balance hídrico agrícola

Objetivos	3
Evapotranspiración	5
Evapotranspiración de referencia	5
Balance hídrico del suelo	6
Efecto del estrés hídrico sobre el cultivo	7
Glosario	7

Capítulo 2

Introducción a CROPWAT

Objetivos	9
Utilidad de los modelos de simulación de cultivos:	10
Introducción al entorno de CROPWAT	10
Instalación del programa	11

Capítulo 3

Módulos de CROPWAT

Entorno de CROPWAT	13
Ingreso de información	17
CLIMWAT para CROPWAT	19
Información de precipitaciones	20
Años análogos	21
Información de cultivo	23
Información de suelos	24
Interpretando el resultado	25
Validando resultados CROPWAT	27

Capítulo 4

Prácticas

Ejercicio 1.	27
Ejercicio 2.	28
Ejercicio 3.	28

Capítulo 1

Fundamentos del balance hídrico agrícola

El cambio climático representa un gran reto a la agricultura. Impacta negativamente en el rendimiento de los cultivos y su aptitud, repercutiendo en la seguridad alimentaria e ingresos de los campesinos. Gran parte de este problema es originado por la falta de información agroclimática certera, usada para reducir las pérdidas atribuibles al clima en la producción de granos básicos.

La complejidad del fenómeno genera mucha incertidumbre que no permite cuantificar con la suficiente precisión los impactos previstos. Esto plantea la necesidad de un buen análisis de la falta de suministro de agua y de su impacto en los rendimientos de cultivo, dando lugar a la gestión adecuada de los recursos hídricos.

El pequeño agricultor depende del agua proveniente directamente de las precipitaciones para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos. Es importante entender que las precipitaciones son parte de un sistema de entradas y salidas en donde la única entrada de agua está definida por el volumen y distribución de las lluvias. De este sistema se deriva lo que se conoce como balance hídrico, resultando de particular interés la evapotranspiración, término ligado a las necesidades hídricas del cultivo.

Objetivos

Objetivo General:

En este capítulo, se dará el primer acercamiento al balance hídrico agrícola, explicando como ocurre la circulación de agua en el sistema conformado por la atmosfera, suelo y planta; así como también las variables que se ven involucrados.

Al finalizar el curso los técnicos(as) de las Instituciones socias podrán:

- Conocerán la definición de balance hídrico, y los elementos que conforman el sistema.
- Conocerán del esquema básico de circulación de agua entre los elementos del sistema.
- Tendrán idea de las variables y parámetros que influyen la disponibilidad de agua en el suelo.

¿Qué es balance hídrico agrícola?

Es una representación teórica de los intercambios de agua que ocurren en el sistema conformado por las plantas, el suelo y la atmósfera en un período dado. Estos intercambios son de fácil modelización y sujeta a aplicarse por medio de simulaciones a toda clase de situaciones climáticas, edáficas, y de cultivos (CATIE, 1990).

Entradas y salidas de agua del sistema

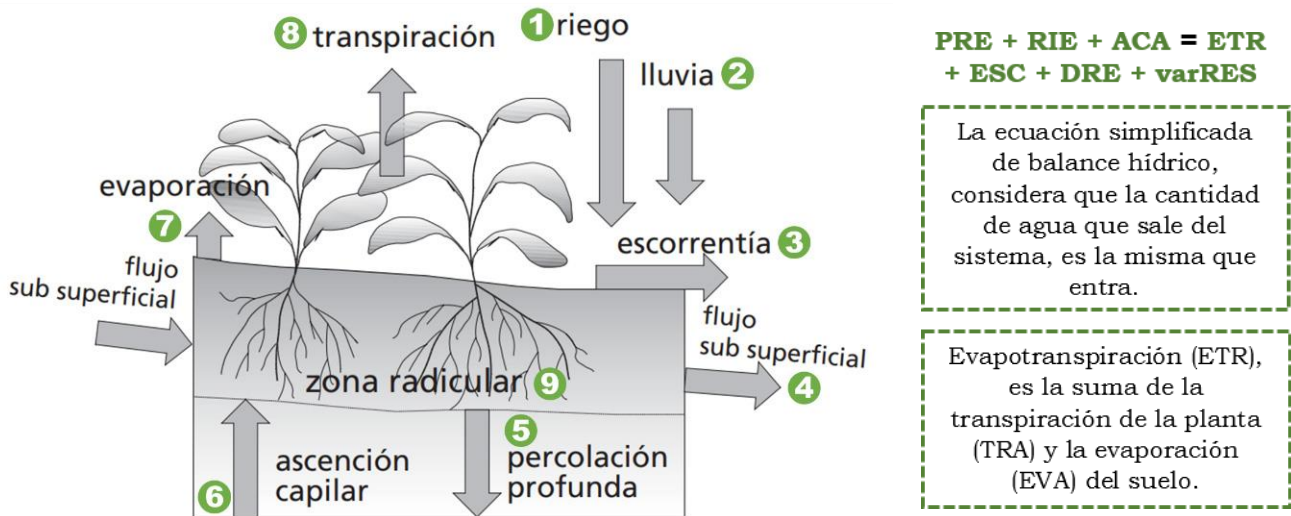


Figura. 1, Sistema atmósfera- suelo- agua.

Entradas

- 1. Riego (RIE):** Es el agua suministrada en dosis por un sistema de riego.
- 2. Lluvia (PRE):** El agua que entra al sistema a causa de los fenómenos naturales atmosféricos.
- 6. Ascensión capilar (ACA):** El movimiento ascendente del agua, causado por la adhesión y cohesión de las moléculas de agua.

Salidas

- 3 y 4. Escorrentía (ESC):** Es el agua que se pierde por escurrimiento superficial o sub superficial, causado por la pendiente.
 - 5. Percolación profunda (DRE):** El agua que sale del sistema por infiltración a las profundidades del suelo.
 - 7. Evaporación (EVA):** El agua que se pierde por la evaporación del agua contenida en el suelo.
 - 8. Transpiración (TRA):** El agua que libera la planta a causa de sus procesos fisiológicos.
- 9. Reserva de agua en la zona radicular (varRES):** Los flujos de agua en el suelo determinaran la disponibilidad de agua que tengamos en el mismo. Si conocemos las variaciones de agua en el suelo, en diferentes periodos de tiempo, lograremos identificar la satisfacción hídrica de un cultivo.

Evapotranspiración

La evapotranspiración es la combinación de dos procesos, la evaporación del suelo y la transpiración del cultivo. Ambos procesos ocurren simultáneamente. Durante las etapas iniciales del cultivo hay más evaporación puesto que el suelo está más expuesto a la radiación solar, a medida que el cultivo se desarrolla la transpiración del cultivo es superior a la evaporación, ya que el suelo está más cubierto por material vegetal.

Factores que afectan la evapotranspiración

Son todos aquellos factores que influirán el desarrollo del cultivo. Estos pueden demandar a los procesos fisiológicos del cultivo, ya sea por las condiciones del sitio en el que se cultivan o por sus características genéticas.

<i>Factores climáticos</i>	<i>Factores de cultivo</i>	<i>Manejo y condiciones de suelo</i>
1. Radiación solar. 2. Temperatura del aire. 3. Humedad atmosférica. 4. Velocidad del viento.	1. Tipo de cultivo. 2. Variedad. 3. Etapa de desarrollo.	1. Salinidad del suelo. 2. Fertilizantes. 3. Horizontes duros e impenetrables. 4. Control de plagas y enfermedades. 5. Obras de conservación de suelo.

Evapotranspiración de referencia

Debido a que es muy complicado medir las pérdidas de agua vía evapotranspiración cuando hay tantos factores que condicionan el intercambio de agua en el sistema, se pensó un cultivo hipotético de pasto, de cobertura total y desarrollado en condiciones de abundante agua, que no es afectado por el tipo de manejo, ni las características del suelo.

Al aislar únicamente la influencia de los factores climáticos en evapotranspiración del cultivo, se logra sentar una referencia de que tanta humedad se evapotranspirará en un cultivo desarrollado en condiciones óptimas. Es decir, el agua que ocuparía este cultivo para desempeñar completamente sus procesos fisiológicos, según la zona o localidad. A este cultivo de pasto se le conoce como cultivo de referencia, y al valor de evapotranspiración del mismo, se le conoce como ET_0 (Evapotranspiración de referencia).



Figura. 2, Evapotranspiración de referencia.

Balance hídrico del suelo

De una manera esquemática, se puede representar la zona radicular como un recipiente en el cual puede fluctuar la cantidad de agua existente. Es útil expresar el contenido de agua en la forma de agotamiento del agua en la zona radicular, es decir, el agua que va saliendo del sistema, con respecto a la cantidad de agua que puede almacenar el suelo.

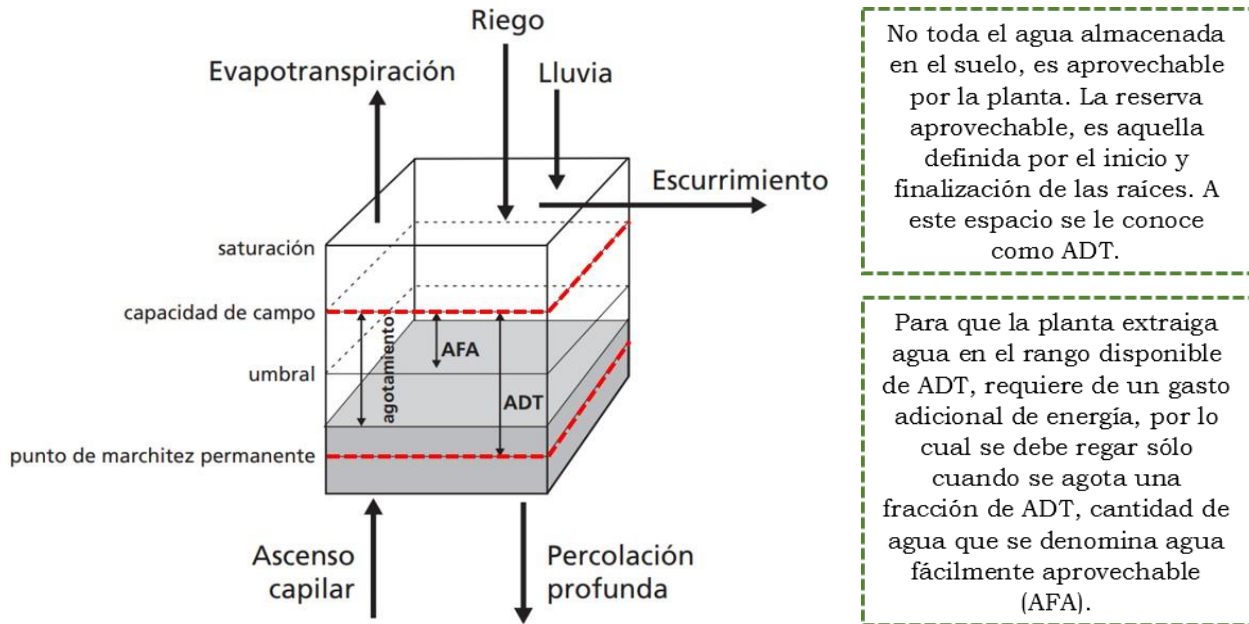


Figura. 3, Esquema circulación de agua en suelo.

Donde:

Saturación: cuando el contenido de humedad está por encima de la capacidad de campo. Causada generalmente por eventos intensos de lluvia.

Capacidad de Campo (CC): el límite superior del agua aprovechable por la planta. Coincide con el inicio de las raíces.

Agua Fácilmente Aprovechable (AFA): es aquel volumen de agua que la planta puede aprovechar fácilmente. Se puede acceder a la totalidad de agua, pero esto requiere un gasto adicional de energía por parte de la planta.

Agotamiento: es el agotamiento de

agua en la zona radicular (ADT) con respecto a CC. Se mide en mm de agua.

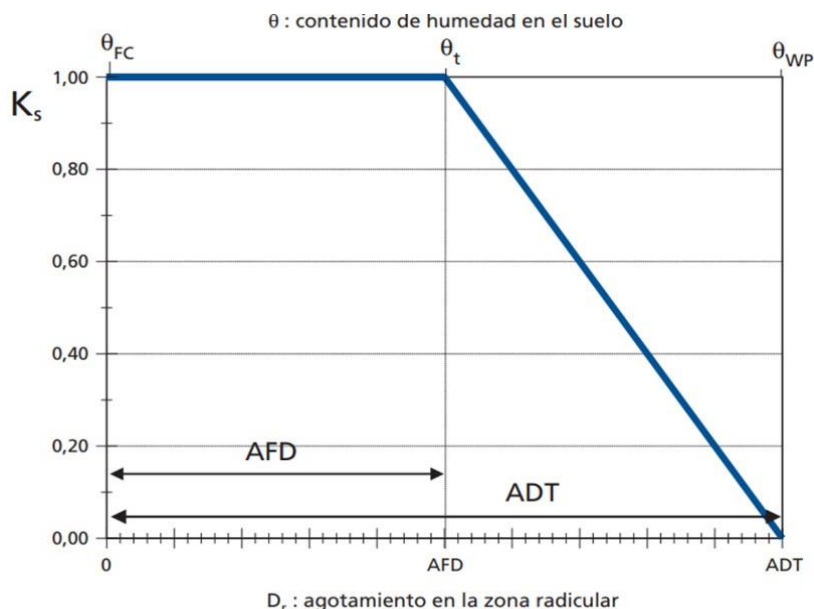
Umbral (θ_t): define cuando se verá afectada la planta por el estrés hídrico. Valores por debajo del umbral indican una evapotranspiración limitada en el cultivo, lo que resulta en menor desarrollo vegetativo.

Agua Disponible Total (ADT): es el agua almacenada en el suelo que se encuentra a disposición de la planta.

Punto de Marchitez Permanente (PMP): es el punto de humedad mínima en el cual una planta no puede seguir extrayendo agua del suelo y no puede recuperarse de la pérdida hídrica, aunque la humedad en el suelo este a saturación.

Efecto del estrés hídrico sobre el cultivo

El estrés hídrico ocurre cuando los niveles de agua en el suelo bajan por debajo del umbral (θ_t). El coeficiente de estrés hídrico (K_s), describe el efecto del estrés hídrico en la transpiración del cultivo.



La capacidad de evapotranspirar del cultivo, ira decreciendo a medida que se agote el agua en la zona radicular, y finalizarán una vez que llegemos al PMP.

Además del estrés hídrico K_s , existen otros tipos de estrés, relacionados al suelo y temperatura. Podemos mencionar: Estrés por fertilidad del suelo, estrés por bajas y altas temperaturas, estrés por salinidad del suelo, entre otros.

Figura. 4, K_s bajo diferentes niveles de agua en suelo.

Algunos efectos del estrés hídrico

1. Disminución del crecimiento: a medida que va disminuyendo el contenido hídrico de la planta lo hace también el de las propias células. También, inhibe directamente los mecanismos de crecimiento celular.

2. Senescencia prematura y caída de la hoja: con la falta de agua, las hojas dejan de ser un órgano rentable, los gastos energéticos que requiere el mantenimiento

de las hojas, son superiores a la productividad de las mismas.

3. Cierre de estomas: la falta de agua estimula el cierre estomático para reducir la evaporación desde el área foliar.

4. Cambios en la raíz: se observa perdidas en las raíces poco profundas, mientras que las raíces largas se profundizan. También, el crecimiento de la raíz se ve limitado.

En algunos casos, el estrés hídrico, puede significar aumentos en la producción. La estrategia de riego deficitario, aplicado en las etapas fenológicas donde la sequía es tolerante, maximiza la productividad del agua.

Glosario:

Al utilizar el programa CROPWAT, nos encontraremos con muchas variables de las cuales sabremos poco. El objetivo de esta parte es de proporcionar definiciones básicas adicionales, para algunos términos incluidos en la aplicación.

Cultivo de referencia: se refiere a una superficie hipotética de pasto que crece activamente, de al menos $\frac{1}{2}$ ha, que cubre completamente el suelo, con altura de 12 cm, una resistencia fija de 70 m/s y sin limitaciones de agua y nutrientes.

Evapotranspiración de referencia (ET_o): la tasa de evapotranspiración (mm) de una superficie de referencia que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia. Expresa el poder evaporativo de la atmosfera, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo.

Coefficiente de cultivo (K_c): representa las diferencias en evapotranspiración de un cultivo diferente al de referencia, con respecto al cultivo de referencia. De modo que K_c permite calcular el consumo de agua o evapotranspiración real de un cultivo en particular, a partir de la evapotranspiración de referencia. El K_c varía en dependencia del cultivo, variedad, estado de desarrollo, y demanda de atmosférica de agua.

Coefficiente de estrés hídrico (K_s): describe el efecto del estrés hídrico en la transpiración del cultivo. Entre más bajo sea este valor, más efecto sobre la transpiración existirá.

Evapotranspiración potencial del cultivo (ET_c): es la evapotranspiración potencial del cultivo específico (mm), calculada al multiplicar el K_c por ET_o. Lo que el cultivo debería evapotranspirar en óptimas condiciones.

Evapotranspiración real del cultivo (ET_a): representa la tasa real de agua tomada por la planta en las condiciones reales de desarrollo. Entre más favorable sean las condiciones reales en las que se desarrolla el cultivo, el valor de la ET_a se acercará al de la ET_c.

Fracción de agotamiento crítico (p): representa el punto crítico del nivel de humedad del suelo a partir de donde se empiezan a presentar problemas por falta de agua.

Factor de repuesta al rendimiento (K_y): Este factor estima las reducciones del rendimiento del cultivo debido a las restricciones de humedad. Este factor es dado para cada una de las etapas de crecimiento de cultivo. Entre más alto es el valor de K_y, el cultivo es más sensible al estrés hídrico

Responda las siguientes preguntas:

1. ¿El valor de la evapotranspiración de referencia cambia según la localidad? ¿Por qué?
2. ¿Cuál es la diferencia entre la Evapotranspiración potencial del cultivo (ET_c) y la Evapotranspiración real del cultivo (ET_a)?
3. ¿Cuál es la diferencia entre el factor de respuesta al rendimiento (K_y) y el coeficiente de estrés hídrico (K_s)? Explique cada uno con sus propias palabras.
4. ¿Qué es el coeficiente de cultivo? y ¿cuál es su utilidad?
5. ¿Qué efectos tiene el estrés hídrico sobre el cultivo?
6. ¿Cómo explicaría que algunos cultivos sean más resistentes a la falta de agua que otros.

Capítulo 2

Introducción a CROPWAT

Las herramientas para el apoyo de decisiones conocidas como modelos de simulación agroclimáticos, son réplicas virtuales simples y detalladas de los procesos reales que acontecen en el desarrollo y crecimiento del cultivo. CROPWAT es uno de los tantos softwares de modelación agroclimática que existen, caracterizándose por ser amigable para el usuario.

Los modelos son especialmente importantes porque ayudan a comprender el funcionamiento de los sistemas. El empleo de modelos facilita el estudio de los sistemas, aun cuando estos puedan contener muchos componentes y mostrar numerosas interacciones, como puede ocurrir si se trata de conjuntos bastante complejos y de gran tamaño. El trabajo de modelación constituye una actividad técnica como cualquiera otra, y dicha labor puede ser sencilla o compleja según el tipo de problema que deba analizarse.

CROPWAT es un programa de uso libre creado por la FAO. Utiliza el método de FAO Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o). Los valores ET_o son utilizados para estimar los requerimientos de agua de los cultivos en diferentes momentos de desarrollo.

Objetivos

Objetivo General:

Conocer el entorno general de la herramienta para la toma de decisiones CROPWAT, desde los elementos del menú principal, hasta los diferentes módulos para el ingreso de información.

Al finalizar el curso los técnicos(as) de las Instituciones socias podrán:

- Habrán descargado e instalado apropiadamente el programa CROPWAT y la base de datos CLIMWAT.
- Estarán familiarizados con algunas de las funciones del menú principal de la herramienta y los módulos para el ingreso de información.

¿Qué son los modelos de simulación?

Es un bosquejo que representa un conjunto real con cierto grado de precisión y en la forma más completa posible, pero sin pretender ser una réplica exacta de lo que existe en la realidad. Los modelos son muy útiles para describir, explicar o comprender mejor la realidad, cuando es imposible trabajar directamente en la realidad en sí (FAO, 1997).

Un cultivo con todos sus órganos (raíz, tallo, hojas), procesos y mecanismos (crecimiento, desarrollo, fotosíntesis, transpiración, etc.) constituyen un conjunto real.

Utilidad de los modelos de simulación de cultivos:

Las aplicaciones de los modelos de balance hídrico agrícola son muchas y muy diversas. Se listan algunas:

- a. Permiten calcular los requerimientos de agua del cultivo, para planificar un calendario de riego ajustado a la disponibilidad de agua en el suelo para la planta.
- b. Ayudan a identificar las ventanas óptimas de siembra de un cultivo en específico, con ayuda de pronósticos climáticos.
- c. Es posible realizar estimaciones de cosecha. Los modelos más simples, calculan reducciones en rendimientos reales.
- d. Sirven para monitorear el estado de satisfacción hídrica de los cultivos, lo que ayuda a prevenir déficits hídricos durante todo su ciclo.

Introducción al entorno de CROPWAT

CROPWAT es un programa informático de uso libre creado por la FAO para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos. Calcula los turnos, caudales y tiempos de riego con base en las necesidades de agua del cultivo, determinadas por el tipo de suelo, clima y cultivo.

Ubicación de la descarga

El programa se descarga directamente desde el link <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/>. El programa se accede desde el menú dispuesto al lado derecho, bajo el apéndice de “Software”.



Aprovecharemos para descargar CLIMWAT, por ser esta la base de datos creada para usar en combinación con el programa CROPWAT. Ofrece un registro de más de 5000 estaciones distribuidas por todo el mundo. El programa se descarga desde el siguiente link <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/es/>.



Instalación del programa

Iniciaremos dando doble clic al archivo ejecutable recién descargado para iniciar la instalación. El asistente de instalación nos guiará a través de muchas pestañas. Daremos clic a “Next”, hasta encontrarnos con la pestaña de “Select Destination Location” (selección de folder destino), donde se elegirá la carpeta destino para la instalación del programa. Continuaremos a la siguiente pestaña dando clic a “Next” (izquierda Figura 5).

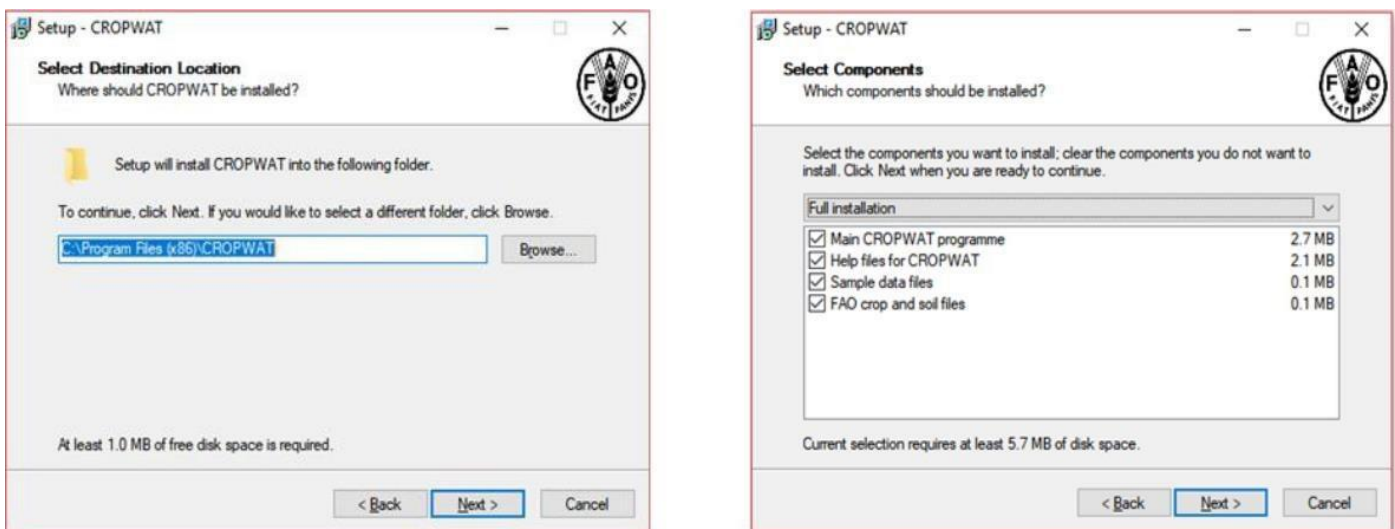


Figura. 5, Folder destino e instalación de componentes.

La siguiente pestaña será la de “Select Components” (instalación de componentes), los cuales se marcarán todos, según indica la figura (derecha Figura 5).

Después de haber dado “Next” a la pestaña de componentes, daremos click en “Next” a las siguientes dos pestañas, hasta llegar a

la pestaña de “Select Additional Tasks” (tareas adicionales), en la que marcaremos según muestra la Figura 6.

Continuaremos usando el botón de “Next” y llegaremos a la pestaña “Ready to Install” (pestaña de instalación). Daremos clic a “Install” para iniciar la instalación.

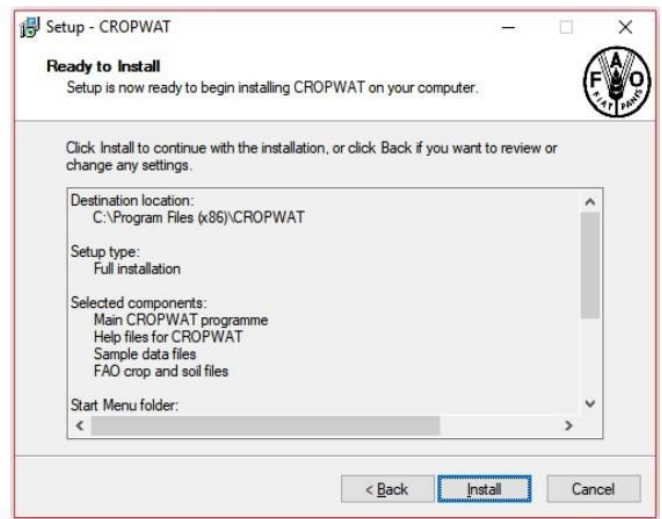
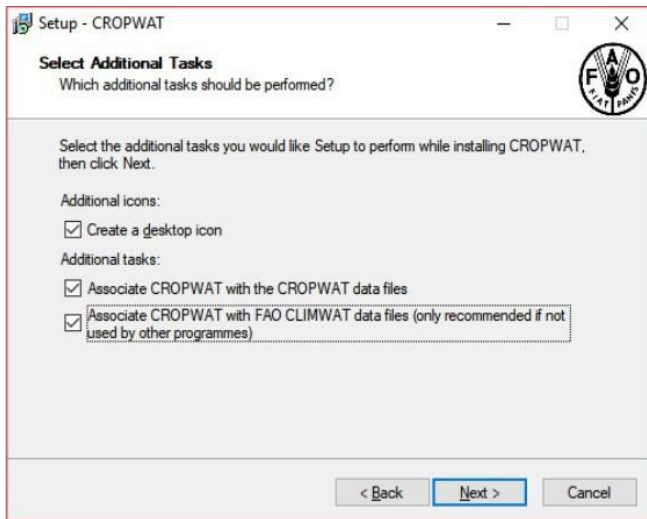


Figura. 6, Tareas adicionales y pestaña de instalación.

Como último paso para finalizar la instalación, daremos clic en “Finish”. Marcando la opción de abrir el programa al terminar, si se necesita utilizarlo de inmediato, si no, desmarque la opción:



Haremos los mismos pasos para la instalación de CLIMWAT. Ejecutaremos el instalador, y daremos “Next”, hasta finalizar la instalación.

Figura. 7, Finalizando la instalación.

Capítulo 3

Módulos de CROPWAT

CROPWAT está compuesto de cinco módulos para el ingreso de información, en cada uno se ingresará información específica para hacer funcionar el modelo. Los módulos de Clima/Eto y Prec requieren un arreglo especial de la información tabular, por lo que los conocimientos adquiridos en el manejo de tablas dinámicas servirán justamente para este propósito. Este manual incorpora fuentes de información para cada uno de los módulos, esto en caso de no tener datos de sitio.

Objetivo General:

Conocer la configuración y opciones para el ingreso de información en los cinco módulos destinados para tal fin.

Al finalizar el curso los técnicos(as) de las Instituciones socias podrán:

- Conocerán los cinco módulos para el ingreso de información, y algunos aspectos de configuración para el llenado.
- Interpretarán correctamente los resultados obtenidos de las modelaciones
- Conocerán la metodología para identificar las fechas óptimas de siembra, a partir de un pronóstico de años análogos.

Entorno de CROPWAT

El ambiente de CROPWAT se estructura de la siguiente manera:



Donde tendremos acceso a las funciones de:

Archivo: desde esta opción se puede agregar data para cada uno de los módulos. También, encontraremos las opciones para salvar (“Guardar Sesión”) o cargar (“Abrir Sesión”) la sesión trabajada, y el ingreso y consulta de datos de cada módulo por separado. Encontraremos del mismo modo algunas opciones de impresión.

Edición: esta opción nos facilitará mucho el ingreso de información, presenta opciones de copiado (“Copiar Tabla”) y pegado (“Pegar Tabla”) de tabla. Se

recomienda mucho el uso de esta alternativa para el ingreso de datos externos.

Configuración: esta pestaña es de particular importancia, puesto que nos permite hacer las configuraciones necesarias para correr el modelo de la forma que más convenga. Algunas de las opciones dentro de “Configuración” que vale la pena abordar rápidamente son: “Opciones”, que nos permitirá hacer una configuración de datos y de unidades en los módulos de “Clima / ETo” y “Prec.”; y, “Localización de archivos”, donde asignaremos una ruta de localización para los archivos utilizados en la modelación.

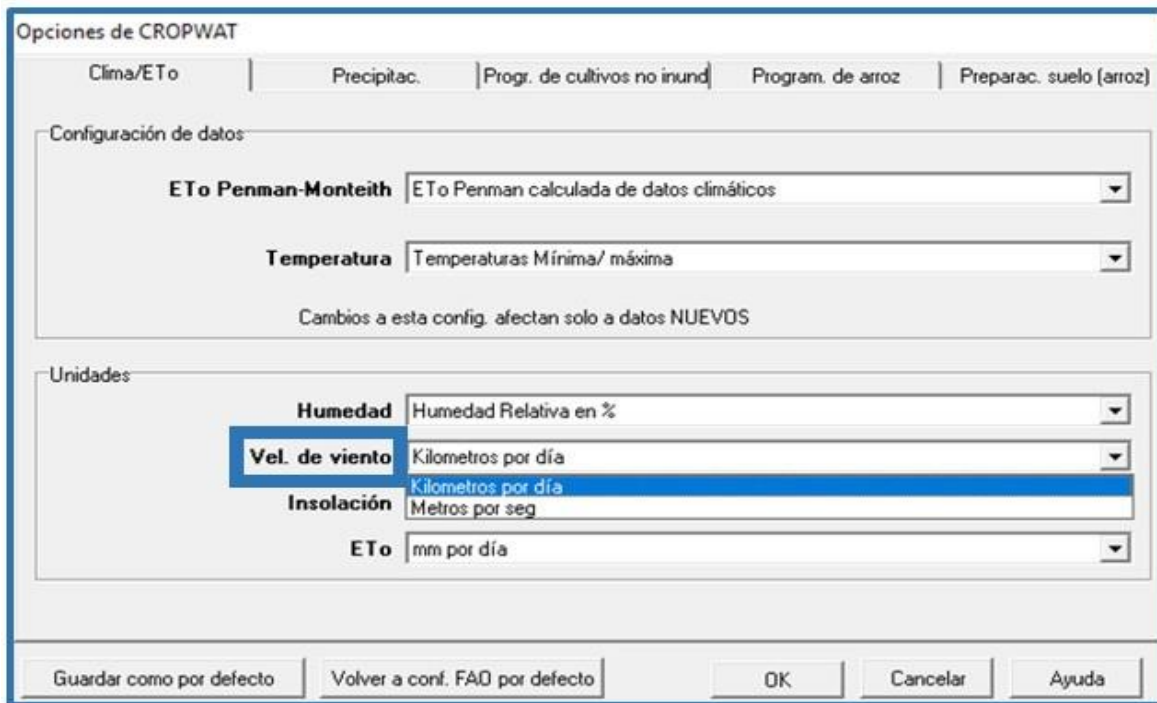


Figura. 9, Cambio de unidades de las variables.

Tomando como ejemplo el módulo de “Clima / ETo”, desde el comando de “Opciones” se puede modificar la unidad del dato que estamos ingresando en este módulo (eje: para la variable de “Vel. de viento”, podemos cambiar la unidad de km/día a m/s, Figura 9).

Desde “Opciones”, en el módulo de “Programación”, en la pestaña “Progr. de cultivos no inund.”, podremos especificar cuáles son los momentos de riego en dependencia de cuál será la fuente de agua para el cultivo. Si se pretenda usar el agua proveniente de las precipitaciones para cumplir las necesidades hídricas del cultivo, habrá que seleccionar la opción de “No regar (Secano)” en la parte de “Momento de riego”.

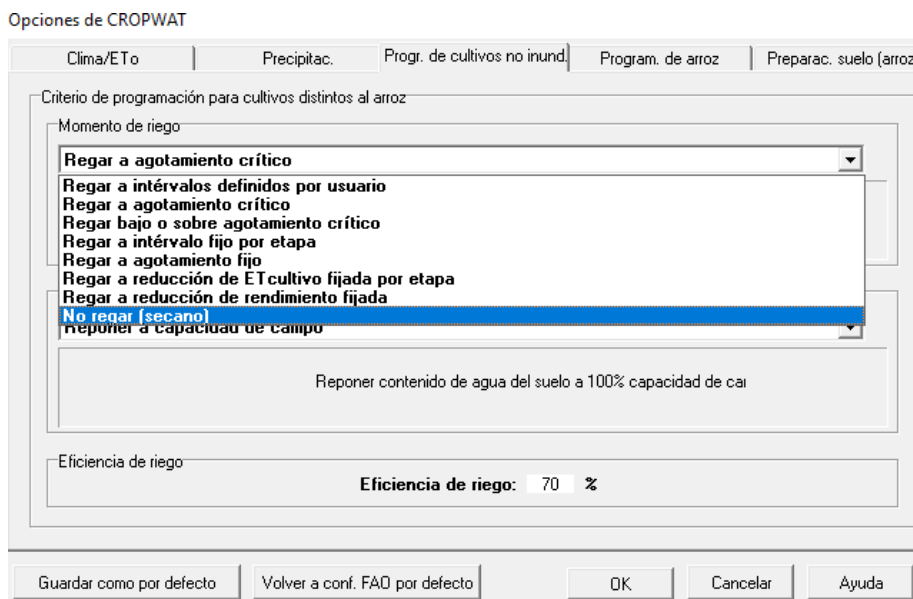


Figura. 10, Momento de riego secano.

Lenguaje: Opción que nos permite hacer cambios en el idioma en dependencia de nuestra preferencia.

Además de las opciones del menú mencionados, existen también otros componentes como **Cálculos**, **Gráficos**, **Ventana**, y **Ayuda**, para los cuales no es necesario profundizar, puesto que no serán de incidencia al momento de las modelaciones.

Al ingresar datos en cualquiera de los módulos, se activará una opción debajo del menú principal, que lleva por nombre “Nuevo”. Tomando como ejemplo el módulo de Clima/ETo, las opciones desplegadas (Figura 11.) permiten especificar con que regularidad se tomaron los datos que se usarán para calcular la evapotranspiración.

Es recomendable ingresar datos promedios diarios para cada mes, así tendremos resultados con mayor detalle. El usuario deberá consultar esta pestaña (de ahora en adelante referida como “Pestaña de unidades”) para cada módulo de ingreso de información en CROPWAT, debido a que las opciones desplegadas, varían.

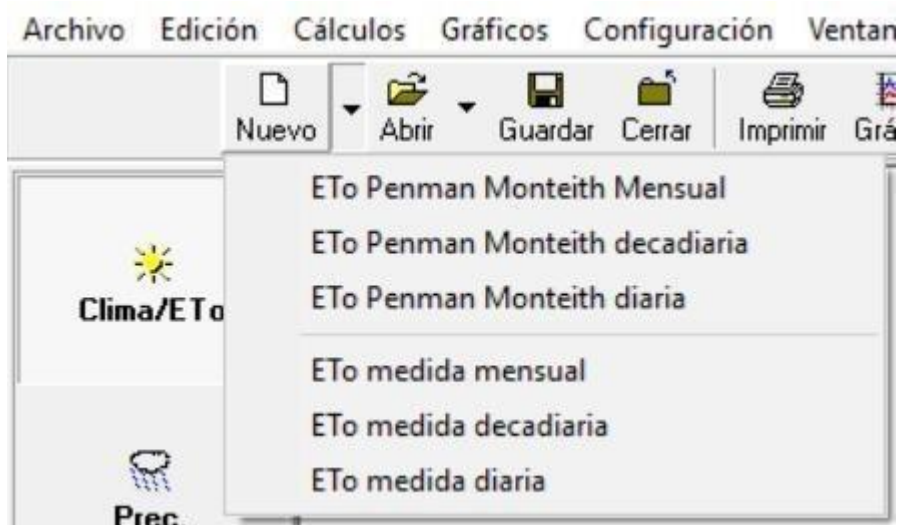


Figura. 11, Opción “Nuevo” para la pestaña de unidades.

2 Módulos para el ingreso de información



Existen cinco módulos destinados al ingreso de información, cada uno de ellos, recogen información específica para hacer funcionar el modelo.

En el caso de “Clima/ETo”, recoge las variables de: humedad del ambiente, velocidad del viento, horas solares, temperatura máxima y mínima. Con todas estas variables el programa calcula evapotranspiración, usando la ecuación de Penman – Monteith. “Prec.” es el módulo donde se ingresa la información de las precipitaciones. Es recomendable ingresar datos diarios.

“Cultivo”, es en esta parte donde se debe especificar información relevante del cultivo, destacan “Kc Valores”, “Etapa”, “Agotamiento crítico (fracción)” y “F. respuesta rend.”. El módulo de “Suelo” resume algunas propiedades de suelo consideradas de importancia para modelar el movimiento de agua dentro del mismo. Por último, el módulo de “Patrón de Cultivo”, útil cuando se pretende regar de forma programada el cultivo.

El resto de módulos, son conocidos como módulos de resultado. El módulo de “RAC” es de particular interés porque es aquí donde encontraremos la información del déficit hídrico del cultivo, experimentado en cualquiera de sus fases de crecimiento. El módulo de “Programación”, donde se genera el dato de reducción de rendimiento, el mismo es usado para determinar cuál es la fecha óptima de siembra.

En caso de “Sistema”, únicamente tendrá utilidad si se cuenta con agua suficiente para planificar un calendario de riego.

3 Información de los archivos utilizados

Por último, observaremos en la parte inferior de la interfaz principal del programa, lo que se conoce como **Barra de estado de datos**. En esta parte se indicarán los archivos que se están usando en la sesión de trabajo (Figura 12).

Archivo ETo	Arch. de prec.	Archivo de cultivo	Archivo de suelo	Siembra	Archivo pat. de cultivo	Arch. de progra.

Figura. 12, Tabla de archivos utilizados

Ingreso de información

Módulo de información climática (Clima/ETo)

Para llenar la tabla de ETo hay que tener acceso a información climática generada por estaciones. La disponibilidad de este insumo usualmente dependerá de comunicaciones con los institutos meteorológicos de cada país. El procedimiento para ingresar información en este módulo, se describe en seguida.

1- Primeramente, en Excel habrá que estructurar la base datos de variables climáticas (obtenida de las estaciones), de forma igual a la que se presenta en la figura 13. (días en las filas y variables en las columnas). Esto con el fin de facilitar el traspaso de datos, usando las opciones de “Edición” (Copiar o Pegar Tabla) en el menú principal. Es necesario cerciorarse de que los datos a pegar estén en el orden y lugar correctos, también, que las unidades de cada variable coincidan con las indicadas en el programa desde la opción de “Configuración”.

2- No hay que olvidar rellenar la información general de la estación, correspondiente a “País” (País de trabajo), “Estación” (Nombre o código de la estación de donde provienen los datos), “Año” (Año de registro ingresado), “Altitud” (metros sobre el nivel del mar a los que esta la estación), “Latitud y Longitud” (Coordenadas de ubicación en grados decimales).

3- Ahora, para calcular la variable de “Inso-lación”, “Rad” y “ETo”, bastará con usar el

botón de “Estimación”, ubicado en la parte superior derecha del programa. Es necesario marcar los espacios vacíos antes de usar el botón de “Estimación” para que automáticamente se calculen estas tres columnas. Sin las casillas de Latitud y Longitud correctamente llenas, no se podrá realizar este paso.

4- El último paso será el de guardar la información recientemente almacenada en el módulo de clima. Desde el menú de **Archi-vo**, le daremos a la opción de “Salvar Como”, en caso de no haberlo guardado anteriormente, en caso contrario, la opción de “Salvar” es la indicada. El archivo se guardará en la carpeta destino bajo el formato *.PEM.

En el mejor de los casos, la fuente de estos datos provendrá de lecturas directas de estaciones. Sin embargo, esta información puede que no esté a disposición del usuario de CROPWAT, para tal caso se recomienda buscar fuentes alternas como CLIMWAT, que es una base de datos climáticos que se utilizará en combinación con el programa.

Otra opción sería WorldClim (<http://www.worldclim.org/>), data climática de CHIRPS descargada desde el portal de datos climáticos de IRI (<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UCSB/.CHIRPS/index.html?Set-Language=es>), Base de Datos Climáticos de América Central (<http://bdcac.centroclima.org/>), por mencionar algunos.

Daily ETo Penman-Monteith - C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\Namasigue...

Country Honduras Station Yorolan - Namasigue Year 2003

Altitude 60 m. Latitude 13.10 °N Longitude 87.09 °W

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Day	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo					
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day					
1	22.9	36.0	52	285	8.2	18.2	6.31					
2	26.1	36.1	48	285	6.5	16.0	6.38					
3	23.9	36.4	50	285	7.9	17.8	6.45					
4	26.6	35.1	49	285	5.6	14.8	6.08					
5	22.9	35.0	54	285	7.7	17.6	6.02					
6	26.1	35.0	50	285	5.8	15.1	6.04					
7	26.6	33.8	52	285	4.6	13.6	5.66					
8	25.9	33.3	53	285	4.8	13.8	5.51					
9	23.9	34.4	54	285	6.8	16.5	5.86					
10	23.6	36.3	50	285	8.0	18.2	6.47					
11	25.4	36.0	49	285	6.8	16.6	6.38					
12	24.9	36.5	49	285	7.4	17.4	6.53					
13	24.9	34.9	52	285	6.5	16.2	6.05					
14	25.3	34.9	51	285	6.3	16.0	6.06					
15	24.8	33.5	54	285	5.7	15.2	5.61					
16	25.1	34.3	53	285	6.0	15.7	5.88					
17	24.9	35.5	50	285	6.9	16.9	6.28					
18	23.6	34.4	54	285	6.9	17.0	5.92					
19	24.3	33.1	56	285	5.8	15.5	5.53					
20	22.9	33.0	58	285	6.6	16.6	5.50					
21	23.4	34.8	53	285	7.3	17.6	6.08					
22	24.9	35.1	51	285	6.7	16.9	6.20					
23	23.1	35.3	53	285	7.8	18.4	6.27					
24	23.9	34.4	54	285	6.8	17.1	5.97					
25	24.9	34.3	53	285	6.1	16.2	5.95					
26	23.6	34.5	54	285	7.1	17.6	6.05					
27	23.9	33.6	55	285	6.4	16.7	5.76					
28	24.9	32.4	56	285	4.9	14.6	5.36					
29	24.9	34.9	52	285	6.5	16.9	6.19					
30	24.4	36.4	49	285	7.7	18.6	6.69					
31	24.3	35.4	51	285	7.2	17.9	6.37					
Average	24.5	34.8	52	285	6.6	16.6	6.05					

Figura. 13, Tabla módulo de clima.

CLIMWAT para CROPWAT (SEGUNDO ORDEN)

CLIMWAT, es una base de datos creada por FAO, para asistir a CROPWAT en la búsqueda de datos climáticos. Contiene información climática de estaciones distribuidas en todo el mundo. Provee valores medios mensuales de siete parámetros climáticos: Temperatura máxima promedio diaria (C°), Temperatura mínima promedio diaria (C°), Humedad relativa promedio (%), Promedio de velocidad del viento (km/día), Duración solar diaria (h/día), Promedio de radiación solar (Mj/m2/día), Precipitación mensual (mm/mes) y Evapotranspiración de referencia calculada con Penman – Monteith.

Habiendo instalado la aplicación, procederemos a abrir el programa. Nos aparecerá el asistente de búsqueda, en él se pueden efectuar búsquedas usando coordenadas específicas, o punteando directamente la estación que se muestra en el mapa.

La información a descargar estará en dependencia de la coordenada para la cual ocupemos información y la estación registrada en la base de datos más próxima a tal punto.

Es decir, se descargará la información de la estación más cercana al punto.

Al utilizar la opción “Display all stations within the selected country”, nos aparecerá un mapa similar al de la Figura 15.

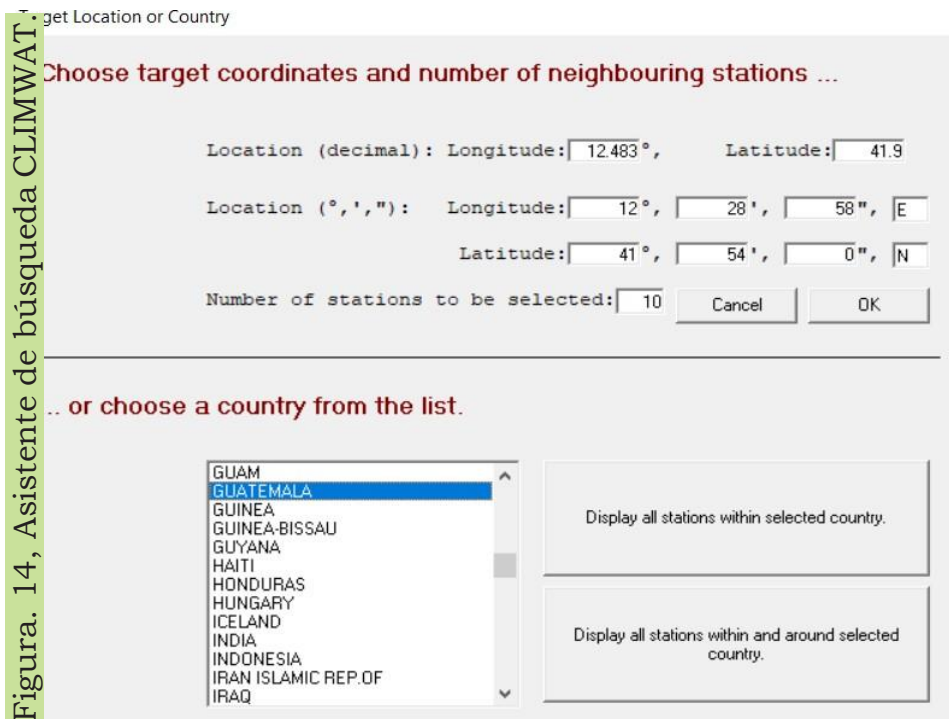
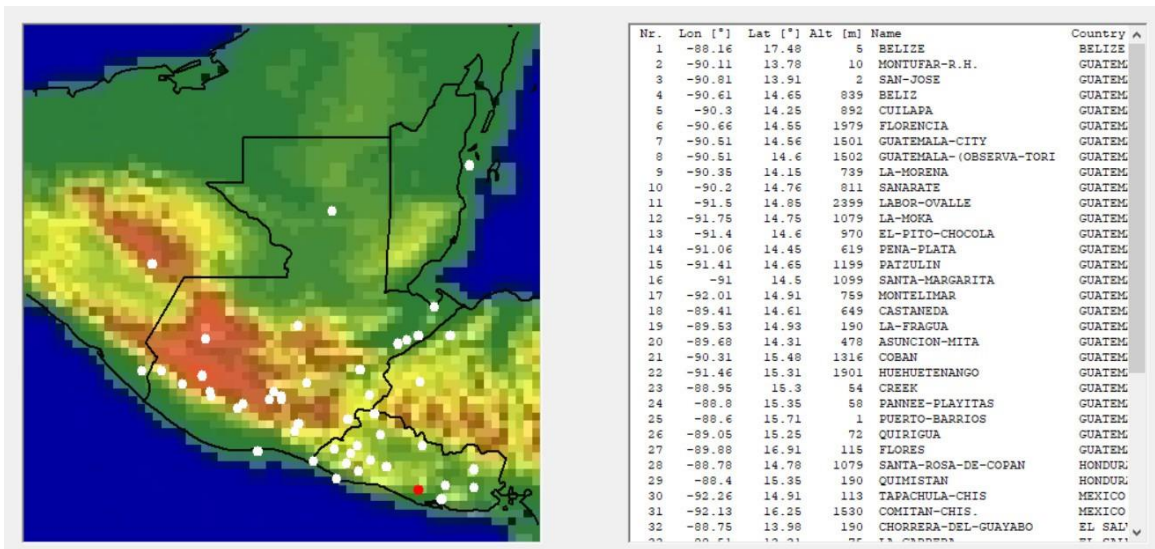


Figura. 14, Asistente de búsqueda CLIMWAT.

Los puntos blancos representan las estaciones registradas en la base de datos. La ventana de la izquierda muestra la distribución espacial de las estaciones, mientras que en la derecha se listan las estaciones con información adicional de interés.

Figura. 15, Distribución geográfica de las estaciones en Guatemala.



Para descargar los datos climáticos de alguna estación, habrá que seleccionar la estación de interés entre la lista de estaciones, luego dirigirse al menú principal y dar en la opción de “Export Selected Station”, para después seleccionar nuestra carpeta destino. Los datos se descargarán en una presentación mensual.

CLIMWAT es una alternativa a la falta de datos, recomendada únicamente cuando se tienen datos climáticos tomados con más regularidad que mensuales.

Otras funciones del menú principal de CLIMAWAT que vale la pena mencionar:

- “Station”: Nos permite representar las estaciones distribuidas en nuestro mapa, con diferentes características. Ejemplo: Según el nombre de la estación, el país en el que están instaladas, su altitud sobre el nivel del mar, sus coordenadas, entre otras.
- “Colors”: Nos indica cuales son las estaciones activas e inactivas, diferenciándolas con un cambio de color.
- “Export”: Con esta opción podremos salvar el mapa o la lista de estaciones mostradas en la Figura 15, en archivos separados.

Módulo de precipitaciones (Prec.)

Al igual que los datos de las variables climáticas del módulo anterior, el registro de precipitaciones es llevado en estaciones climáticas. Importante recordar que entre más detallado sea el registro, más precisos serán los resultados. Podemos especificar esto en la “Pestaña de unidades”.

La Figura 16 muestra la matriz de ingreso para datos de precipitaciones. En este caso, se decidió ingresar un registro diario anual, por lo que existía disponibilidad de este tipo de datos. En caso de no tener datos diarios, se pueden utilizar datos mensuales.

El procedimiento de llenado de la tabla, es similar al aplicado en el módulo de clima. Indicaremos los datos de la estación en los espacios vacíos al inicio de la tabla; después, habrá que organizar el registro de precipitación en Excel, de manera que sea similar a la matriz de ingreso de datos de precipitaciones; copiaremos los datos desde el registro de Excel, hasta la tabla de ingreso de datos usando las opciones contenidas en el menú de “Edición”; por último, salvaremos los cambios realizados desde el menú de “Archivo”. El archivo se guardará en la carpeta destino bajo el formato*.CRD.

En cuanto a las columnas de “Prec. total” y “Precip Ef Total” (Figura 10), serán calculadas una vez todas las columnas estén completas. La lluvia total efectiva (Precip Ef Total) es calculada usando el método seleccionado en “Configuración” – “Opciones” – “Precipitac.”. En este caso se marcó el método “USDA servicio de conservación de suelo”. Se recomienda al usuario explorar entre las opciones.

Años análogos

Es recomendable disponer de datos diarios de las precipitaciones acontecidas en todo el periodo de interés. No obstante, procurar esta información no siempre es posible, por lo que se propone una metodología sencilla para determinar años análogos, en caso de tener registros de lluvia de años anteriores.

➤ Como primer paso, es necesario identificar la fase de ENOS (EL Niño-Oscilación del Sur) en ocurrencia para el año con el que trabajamos. Para conocer el fenómeno climático ENOS que transcurre para el año actual, es necesario consultar pronósticos generados por observatorios de clima.

Figura. 16, Tabla de módulo de precipitaciones.

Precip. diaria - C:\ProgramData\CROPWAT\data\ram\2019 Somotillo MarkSim.CRD		Año 2019												Método Prec. Ef		Método USDA S.C.																			
Estación		Somotillo_MarkSim												Método Prec. Ef		Método USDA S.C.																			
Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Prec. total	Precip Ef Total		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
Enero	0.0	0.5	13.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	138	12.9		
Febrero	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	7.2	
Mazo	0.0	0.0	11.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	11.5	
Abril	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	12.2		
Mayo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.5	15.4	0.0	12.5	15.3	15.4	0.7	0.0	5.9	33.2	24.7	6.0	20.2	31.9	0.1	8.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	36.3	83.8	55.3	0.0	25.8	94.1	511.0	171.7
Junio	12.3	20.0	14.5	1.0	0.0	14.3	0.0	0.0	14.2	0.4	5.9	17.2	10.3	32.8	0.0	0.0	0.0	15.6	67.9	0.2	61.9	0.0	22.4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	30.5	0.0	19.6	361.7	160.3		
Julio	0.0	0.0	0.0	0.0	32.1	25.9	6.0	6.7	0.0	0.0	17.7	0.0	0.0	30.7	12.3	0.0	28.5	2.0	5.2	0.0	10.0	0.0	18.0	0.0	0.0	22.1	0.4	13.1	1.6	31.8	0.1	21.5	286.7	151.5	
Agosto	11.3	0.0	21.0	0.0	0.0	2.8	0.0	4.6	57.0	23.1	0.0	0.0	45.2	44.4	17.1	21.4	1.6	0.0	1.1	33.9	2.9	19.7	27.2	2.1	0.0	16.0	7.3	0.0	0.0	49.5	0.0	408.2	165.9		
Septiembre	8.3	0.0	0.0	45.2	0.0	0.0	0.0	23.6	17.5	0.0	0.7	0.0	0.0	4.2	0.0	18.0	2.8	0.0	0.0	0.3	0.0	55.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	4.4	181.2	116.9		
Octubre	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	84.9	24.6	52.2	0.0	31.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3	1.0	10.5	56.1	5.4	14.9	20.7	0.2	13.9	0.0	17.3	3.6	360.8	132.9		
Noviembre	0.0	70.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.2	53.8		
Diciembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	4.3	0.0	1.8	3.7	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	4.0	0.0	0.0	17.9	17.0			
Total																																2254.2	1013.8		

Los observatorios de clima predicen el fenómeno ENSO, usando múltiples modelos que reconocen las variaciones en las temperaturas oceánicas y terrestres, asociándolas con información histórica para identificar la condición ENOS que gobernará.

Algunos centros de clima que presenta información de las tendencias climáticas son:

- CIFEN (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño). <http://www.ciifen.org/>
- Centro Clima, un espacio regional que contiene información climática unificada de América Central. <http://centroclima.org/>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). <https://www.weather.gov/>
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), a través de Climate Prediction Center. <https://www.noaa.gov/>
- IRI (International Research Institute for Climate and Society). <https://iri.columbia.edu/>

Al identificar el fenómeno climático ENOS para el año modelado, se podrá predecir con cierta confianza algunas características de las precipitaciones para el mismo año. Esto se logrará bajo la hipótesis de que la distribución mensual y anual es estadísticamente semejante para ciertos años, entonces, se podrán referir años similares al año actual entre el registro anterior de lluvia.

2- Ahora, tras haber identificado el fenómeno ENOS que probablemente transcurrirá durante el año evaluado (actual), podremos identificar años análogos al mismo. Para identificarlos se proponen tres criterios de selección:

a) El primer criterio es que los años análogos deberán estar clasificados bajo la misma categoría ENOS que el año actual. De esta forma garantizado que la cantidad de las precipitaciones serán similares a las pronosticadas para el año actual.

b) El segundo criterio es que los años seleccionados deben estar precedidos por

la mismo fenómeno ENOS que el año actual; ejemplo, asumamos que el año actual es precedido por un año Niña, entonces entre todos los años que cumplen con el primero criterio, seleccionaremos aquellos precedidos por un año Niña. Esto para asemejar lo más que se pueda el comportamiento del año actual, con respecto a sus análogos.

c) El tercer y último criterio es buscar homogeneidad en el volumen y distribución de la lluvia entre los años seleccionados. Entre los años filtrados por el primer y el segundo criterio, habrá que determinar al menos tres años con similar distribución en las precipitaciones, procurando descartar aquellos años que presenten eventos climáticos muy extremos.

3- El último paso es elaborar un promedio mensual de los 3 a más años análogos identificados. El resultado será el valor mensual o diario (dependiendo de la configuración en el menú “Configuración”) de las precipitaciones para el año actual. Esta información es la que se ingresará al módulo de “Prec”.

Información de cultivo (Cultivo) SEGUNDO ORDEN

Son tantos los factores que pueden repercutir en el crecimiento de la planta, y por tanto en su demanda hídrica. Por ello, se aconseja una extensa revisión de literatura o la consulta a expertos en materia del cultivo que se pretende modelar. Entre más ajustada sea la información encontrada para la zona de estudio, mejores serán los resultados.

Lastimosamente, en la mayoría de los casos no es posible obtener información tan específica de la dinámica de crecimiento del cultivo, para la región en que se trabaja. Dicho lo anterior, se recomienda apoyarse en el “Estudio de FAO No 56: Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos” y “Respuesta del rendimiento al agua: función original de producción del agua de la FAO”.

Estos documentos presentan datos genéricos de las variables requeridas en el cuadro de ingreso de información para cultivo. Otra fuente importante son las guías técnicas para cada cultivo y/o variedad, de los institutos nacionales de transferencia de tecnología agrícola.

La presentación del módulo de Cultivo, se muestra en la siguiente figura (Figura 17). Esta sección es llenada en su totalidad usando la bibliografía referida en el párrafo anterior, exceptuando claro la fecha de siembra y los días de la fase vegetativa, las cuales serán sugeridas según los tiempos de siembra de cada localidad.

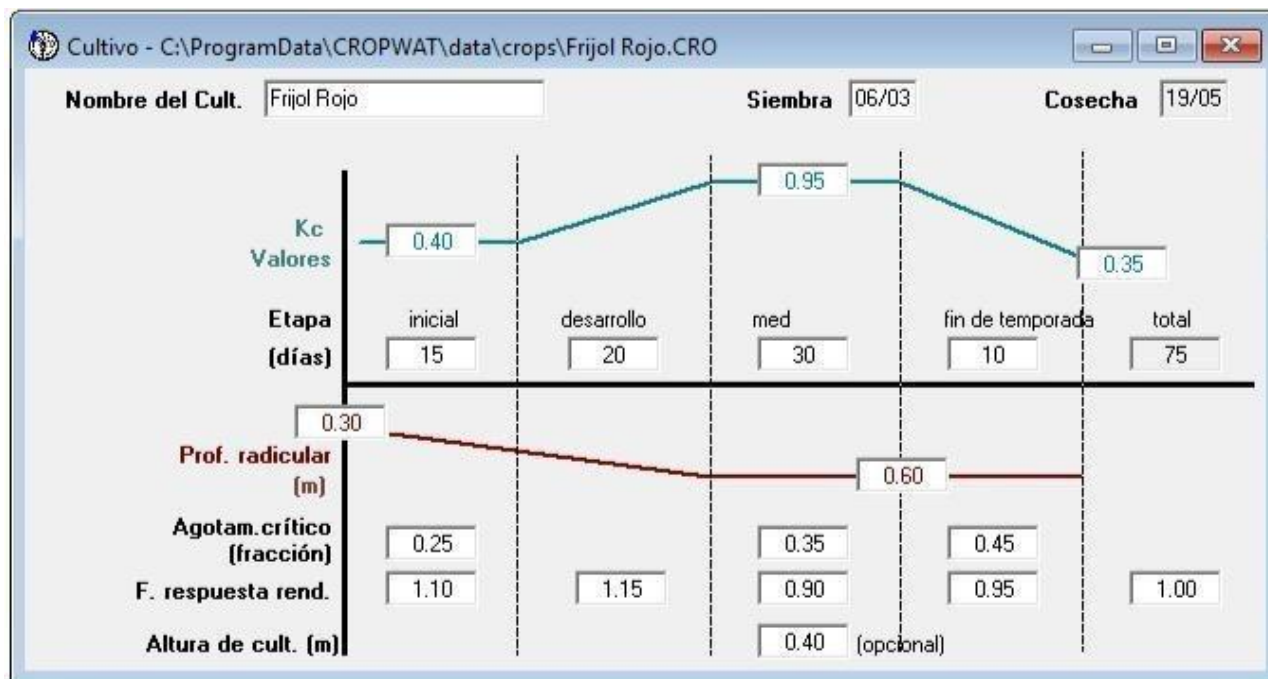


Figura. 17, Presentación del módulo de cultivo.

En la parte superior, podemos notar la casilla de “Siembra”, es aquí donde se especificará el día exacto de siembra del cultivo. Cambiando la fecha de siembra podremos encontrar

la fecha idónea de siembra, puesto que los valores de insatisfacción hídrica reflejados en el módulo de **RAC**, cambiarán según la fecha de siembra.

La información en casilla de “Cosecha”, se calcula automáticamente al especificar la fecha de siembra (Siembra) y la duración total del periodo vegetativo del cultivo evaluado (Etapa). El archivo se guardará en la carpeta asignada, bajo el formato *.CRO. Antes de proponer alguna fecha de siembra se recomienda tomar algunas consideraciones:

1) Informarse de las pequeñas variaciones en el clima durante el ciclo del cultivo. Algunos centros de predicción climática, pueden pronosticar leves o fuertes episodios en el comportamiento estacional del clima. Es necesario evitar la exposición del cultivo a cualquier afectación de este tipo, aunque eso implique adelantar o atrasar unas semanas en la “fecha óptima de siembra”.

2) Una vez germinada la semilla es recomendable que no esté expuesta a períodos de sequía de más de cinco días. Es riesgoso plantar a la aparición de las primeras precipitaciones de la temporada, por lo que es necesario consultar pronósticos de corto plazo para determinar períodos consecutivos de lluvia con alta probabilidad, necesarios para plantar. El sitio web de WeatherUnderground (<https://www.wunderground.com/>) y Worldweather online (<https://www.worldweatheronline.com/lang/es/>), permite consultar información de pronósticos climáticos generados para cada hora, día o cada diez días.

3) Las arraigadas costumbres de siembra. Muchas veces las costumbres agrícolas determinarán los momentos de siembra y estas pueden ser de mayor peso ante los ojos del agricultor, por tanto, es necesario mostrar resultados que no contradigan en gran manera los períodos de siembra tradicionales.

Información de suelos (Suelo) SEGUNDO ORDEN

Para responder a la información requerida en el módulo de suelo, lo ideal sería realizar análisis de suelo en la zona donde se sembrará. Para nuestra mala suerte, casi nunca hay recurso para este tipo de análisis, por lo que es necesario inferir esta información basados en algunas características del suelo.

Puntualmente, a través de la textura de suelo se pueden derivar muchas de las propiedades requeridas en la pestaña. Por supuesto, para inferir estas propiedades es necesario dedicar tiempo a la revisión de documentos o páginas web, y a la consulta a conocedores del tema.

El primer parámetro ocupado “Humedad de suelo disponible total” (CC – PMP),

representa la cantidad de agua disponible en el suelo para la planta, en este caso medida en milímetros de agua por cada metro de suelo. “Tasa máxima de infiltración de la precipitación”, no es más que la velocidad de infiltración, medida en milímetros por día. “Profundidad radicular máxima”, indica la longitud máxima alcanzable por la raíz. “Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % ADT)”, es el agotamiento inicial del agua que el programa considera al momento de modelar. “Humedad de suelo inicialmente disponible”, es el total de agua disponible para la planta en el suelo, calculado al restar el porcentaje correspondiente al “ADT” sobre la “Humedad de suelo disponible total” (Figura 18).

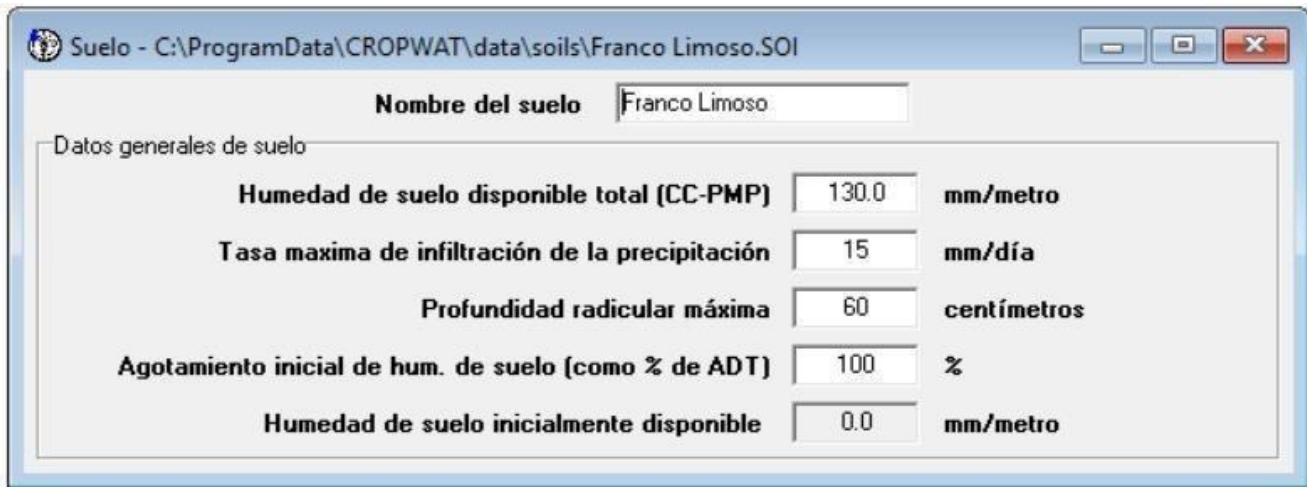


Figura. 18, Presentación del módulo de suelos.

Interpretando el resultado

El módulo de **Requerimientos de Agua del Cultivo (RAC)**, estará disponible únicamente cuando todos los demás módulos para la recopilación de información sean completados (exceptuando por **Patrón de Cultivo**). Cada una de las columnas dispuestas en la ventana del módulo (Figura 19.), fue generada usando información previamente incluida en el modelo.

La columna de “Mes”, indica los meses que se evalúan (determinados por la fecha de siembra); “Década” muestra una distribución decadiaria de los meses evaluados; “Etapa”, indica el estado vegetativo que transcurre en el cultivo, cada diez días; “Kc”, muestra el cálculo del coeficiente de cultivo elaborado cada 10 días, basado en los datos ingresado en el módulo de cultivo; “ETc”, representa el cálculo de evapotranspiración para cada período de diez días o diariamente; “Prec. efec”, lluvia precipitada cada diez días, con las deducciones configuradas en las opciones de “Configuración”; finalmente, la columna de “Req. Riego” nos indicará cuanta es la deficiencia de agua que la planta tendrá o tuvo durando ese período de diez días.

The screenshot shows a window titled 'Requerimiento de Agua del Cultivo'. The 'Estación ET' is 'C_Pinos - MarkSim', 'Est. de lluvia' is 'Cholulteca - MarkSim', 'Cultivo' is 'Frijol Rojo', and 'Fecha de siembra' is '06/03'. Below is a table with 8 columns: Mes, Decada, Etapa, Kc, ETc, ETC, Prec. efec, and Req. Riego. The table contains data for March, April, and May, with a summary row at the bottom.

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETC	Prec. efec	Req. Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Mar	1	Inic	0.40	2.56	12.8	0.0	12.8
Mar	2	Inic	0.40	2.23	22.3	1.1	21.2
Mar	3	Des	0.57	3.71	40.8	0.0	40.8
Abr	1	Med	0.86	5.75	57.5	0.0	57.5
Abr	2	Med	0.96	5.80	58.0	2.9	55.1
Abr	3	Med	0.96	6.19	61.9	0.0	61.9
May	1	Fin	0.95	5.72	57.2	52.1	5.0
May	2	Fin	0.59	3.09	27.8	49.2	0.0
					338.3	105.3	254.4

Figura. 19, Presentación de datos CRW.

El módulo de Programación de riego de cultivo (**Programación**), nos muestra el dato más importante para determinar fechas de siembra óptimas. Hablamos del valor de “Red. Rend.” indica cuanto es la posible reducción en los rendimientos de la cosecha, para el cultivo evaluado. Este valor no toma en consideración cualquier tipo de manejo agrícola aplicado a la parcela, por lo que esta reducción no debe aplicarse a rendimientos óptimos de la zona, más bien, es prudente aplicar estas deducciones en los rendimientos reales obtenidos en campo.

Por sobre todas las cosas, la “Red. Rend” es un indicador bastante confiable de las deficiencias hídricas del cultivo bajo diferentes fechas de siembra, por tanto, es razonable asumir que se debería elegir la fecha de siembra en la cual los valores en las reducciones de rendimiento, sean menores.

Dentro del mismo módulo de resultados, encontramos las opciones de “Formato de Tabla”, en la parte superior izquierda de la Figura 20. Al marcar la opción de “Bal. diario de agua de suelo”, el programa detallará una serie de parámetros:

La primera columna es “Fecha”, la cual inicia desde el día de siembra hasta el día de la cosecha; “Día”, siendo este un conteo de los días que dura el ciclo total del cultivo; “Etapa”, referente a la etapa de desarrollo transcurrida, en dependencia de la fecha de siembra; y, “Ks” (Coeficiente de estrés hídrico), que es el factor que explica la respuesta que tiene el déficit hídrico sobre la transpiración de la planta. Todos los parámetros mencionados, provienen de la información guardada en el módulo de cultivo.

“Precipit” son los datos de precipitación diarias que alimentan al cultivo en todo su ciclo de vida y “ETa”, es el agua que sale a través de la evapotranspiración (suelo y cultivo), medida en milímetros por día. Visto de otra forma, representan respectivamente al ingreso de agua en el sistema y a la salida de agua del sistema. Esta simple resta proporcionará lo que se muestra (Figura. 20) como “Déficit”, este valor se interpreta como los requerimientos de agua diarios acumulados del cultivo.

El ejemplo que se muestra en figura de abajo, no considera el uso de riego para subsanar el déficit hídrico del cultivo. Sin embargo, el riego se puede programar desde el módulo de **Sistema**. Habiendo programado riego, las columnas de “Lam. Neta”, “Perdida” y “Lam. Br.”, saldrán ocupadas por valores.

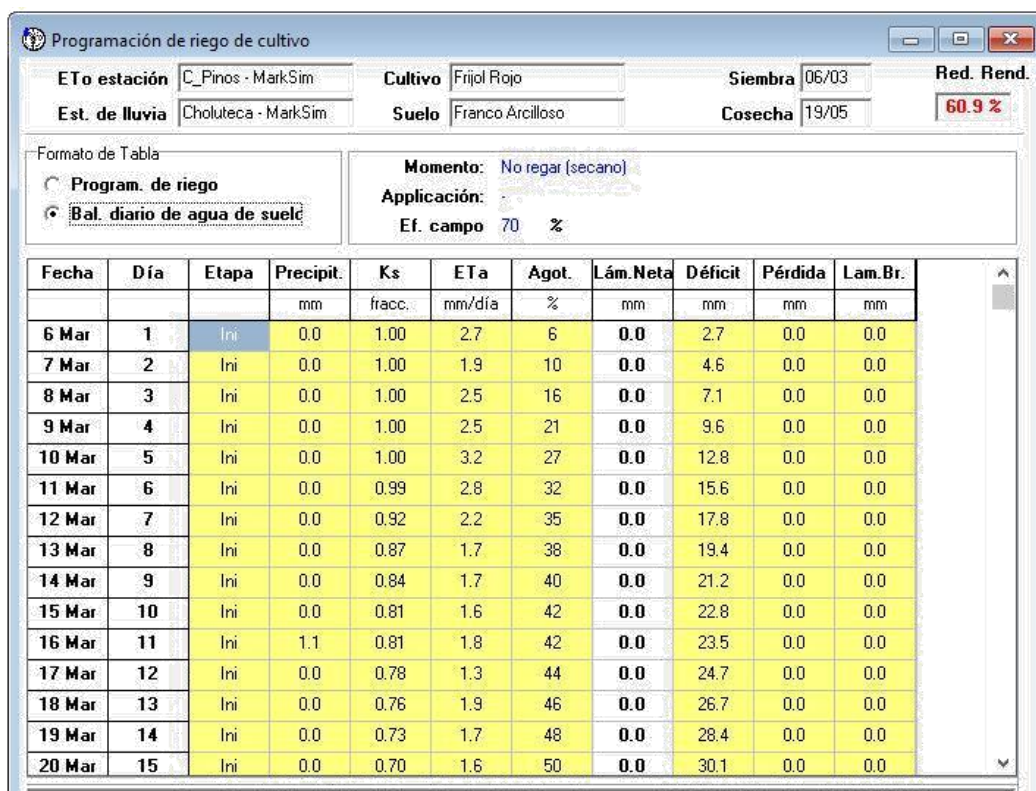


Figura. 20, Resultado en Programación.

Validando resultados CROPWAT

CROPWAT, a diferencia de otros modelos más complejos, no toma en cuenta el manejo agronómico para modelar el crecimiento de la planta. Aunque, es seguro asumir que el valor de “Red. Rend.” es indicador confiable de la afectación del cultivo en los rendimientos, causados por el déficit hídrico de la planta.

Un enfoque adecuado para interpretar el valor de la reducción de rendimientos, es que la planta presenta mayor reducción en aquellos momentos que el abastecimiento de agua sea menor al requerido por la misma. Esta relación entre el desarrollo y la disponibilidad hídrica se representa de forma admisible en el valor de “Red. Rend.”

Para determinar qué tan adecuado es el software para ser utilizado como una herramienta de planificación, es necesario comparar las reducciones en rendimientos calculadas, contra las reducciones reales obtenidas en campo. Habrá que simular lo más que se puedan las condiciones reales de parcela dentro de la aplicación, principalmente la fecha de siembra, el registro real de precipitaciones diarias, el tipo de suelo y de ser posible algunos parámetros de cultivo.

En dependencia de que tan cercano está el dato de “Red. Rend.” al rendimiento real de la misma parcela, se valorará lo adecuado de la sesión de modelación. Se recomienda darle un valor cualitativo al dato de reducción de rendimiento en CROPWAT (Afectación casi nula, Poco afectado, Medianamente afectado, Fuertemente afectado, Severamente afectado), así obviamos el efecto manejo agronómico y a la vez podremos evaluar que tan efectiva fue la modelación.

Literatura citada

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 1990. La simulación del balance hídrico: aplicación para la determinación de fechas de siembra (en línea). Turrialba, CR Disponible en http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2717/La_simulacion_del_balance_hidrico.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Consultado el 21 sep. 2018. 32 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1997. Análisis de sistemas de producción animal. Tomo 1: Las bases conceptuales. Roma, IT. Disponible en <http://www.fao.org/3/W7452S/W7452S00.htm>. Consultado el 26 sep 2018.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2006. Estudio FAO Riego y Drenaje 56: Evapotranspiración del cultivo. Roma, IT. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>. Consultado el 12 ago 2018.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2012. Estudio FAO Riego y Drenaje 66: Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Roma, IT. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>. Consultado el 10 ago 2018.

