

# CROPWAT PARA WINDOWS

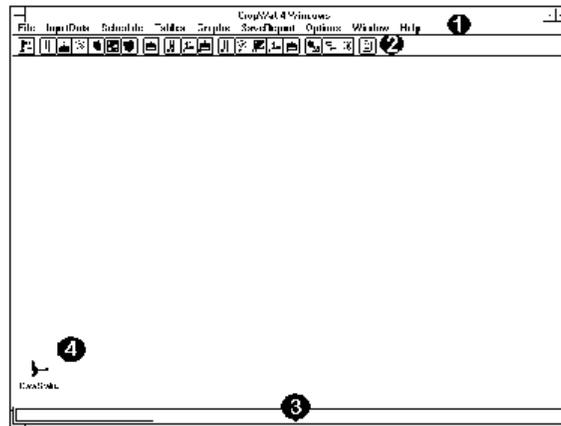
Preparado por Ricardo Trezza

## Introducción

CROPWAT (crop = cultivo; wat = agua) es un programa que utiliza el método de la FAO Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración de los cultivos (ET). Los valores de ET son utilizados posteriormente para estimar los requerimientos de agua de los cultivos y el calendario de riego. El programa CROPWAT puede ser descargado de la siguiente dirección: <http://www.fao.org/ag/AGL/AGLW/cropwat.stm> (versión para Windows).

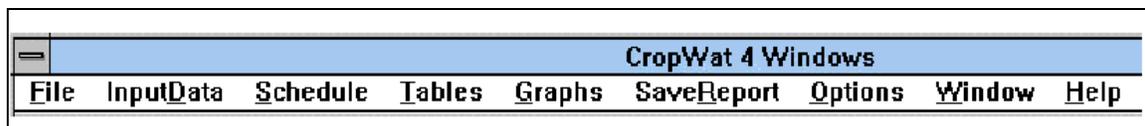
## PARTES DEL CROPWAT

El ambiente de trabajo del CROPWAT esta definido de la siguiente manera:



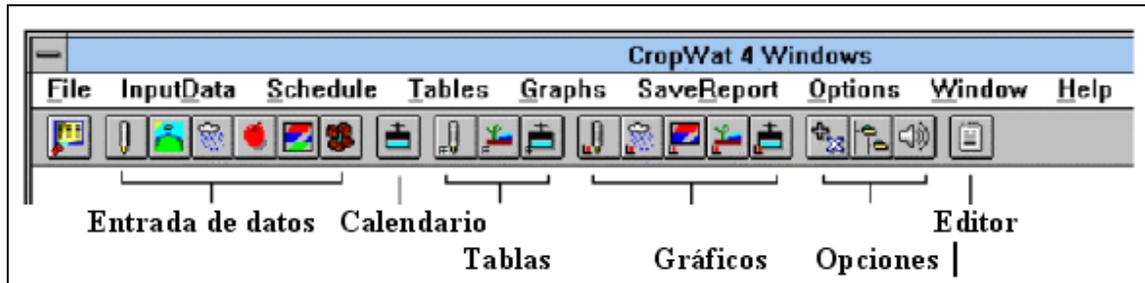
- (1) Es el menú principal
- (2) Barra de herramientas
- (3) Caja de mensajes, para informar acerca de los cálculos que se están realizando
- (4) Estado de los datos, para informar acerca de los archivos utilizados

### 1. Menú Principal



- Primero se introducen los datos (utilizando **File** o **InputData**)
- Luego se define los criterios para el calendario de riego (**Schedule** > **Criteria**)
- Los resultados pueden observarse en tablas o gráficos (**Tables** o **Graphs**)
- Los resultados pueden salvarse como archivos de texto para imprimir (**SaveReport**)

## 2. Barra De Herramientas



## 3. Ventada de Estado de los Datos



Al activarla (**InputData > Data Status**), nos da información sobre los archivos ejecutados y los cálculos que pueden realizarse:

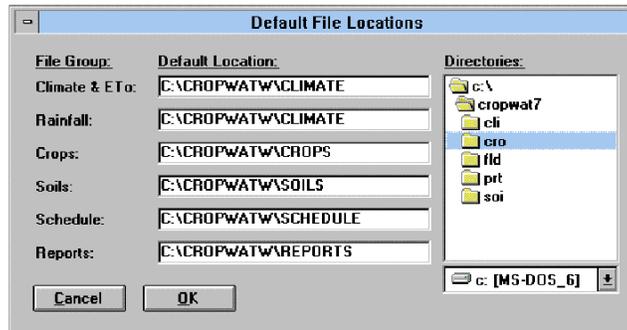
Data Status

Data Status				
Dato	Data Item	File Name	CWR	Scheduling
Clima	Climate	[No Data]	Optional	Optional
ETo	ETo	[No Data]	Yes	Yes
Lluvia	Rainfall	[No Data]	Optional	Optional
Cultivo	Crop	[No Data]	Optional	Optional
Patron de cultivo	Cropping Pattern	[No Data]	Yes	Yes
Suelo	Soil	[No Data]	No	Yes
Criterio de calendario	Scheduling Criteria	[Not Set]	No	Yes
¿Podemos calcular?	Can Calculate Now?		No	No

### Tipos de Archivos Manejados por CROPWAT

- \*.PEN, \*.PEM archivos de datos climáticos ; \*.CLI, \*.CRM datos de lluvia
- \*.CRO archivos con coeficientes de cultivo ; \*.CPT patrón de cultivo
- \*.SOI, \*.SOL archivos con datos de suelo
- \*.SNR escenarios de riego ; \*.IRR riegos , \*. ADJ ajustes del usuario
- \*.TXT archivos de texto con resultados para imprimir

Los archivos son almacenados en directorios (que pueden ser cambiados a conveniencia):  
**Options > Default File Locations**



### Descripción del Menú “File”

	<b>File</b>	<b>InputData</b>	<b>Schedule</b>
	<b>R</b> etrieve		
	<b>S</b> ave		
	<b>C</b> onfiguration		
	<b>T</b> ext Editor		
	<b>W</b> indows Calculator		
	<b>E</b> xit...		

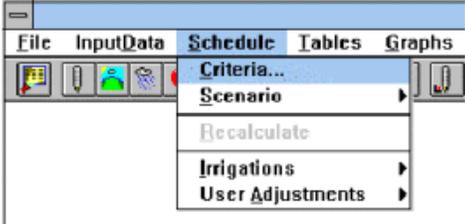
**Retrieve** : llamar a un archivo guardado anteriormente  
**Save**: guardar un archivo  
**Configuration**: permite realizar cambios a los métodos de cálculo  
**Text Editor** : Ver/Imprimir resultados  
**Windows Calculator**: para chequear cálculos  
**Exit...**: salir del programa

### Menú de Entrada de datos (Input Data)

	<b>File</b>	<b>InputData</b>	<b>Schedule</b>	<b>T</b>
		<b>C</b> limate		
		<b>E</b> To		
		<b>R</b> ainfall		
		<b>C</b> rops		
		<b>S</b> oil		
		<b>D</b> ata Status		

**Climate** : introducir los valores mensuales de los distintos parámetros meteorológicos  
**ETo**: introducir valores de ETo calculados anteriormente  
**Rainfall**: introducir valores mensuales de precipitación  
**Crops** : Introducir patrón de cultivo y coeficientes de cultivo  
**Data Status**: para activar/esconder la ventana de estado de datos

## El Menú para el Calendario de Riego (Schedule)



**Criteria:** lámina de riego y momento de riego (cuanto y cuando regar).

**Scenario:** permite agrupar una serie de archivos (correspondiente a un cultivo y/o escenario)

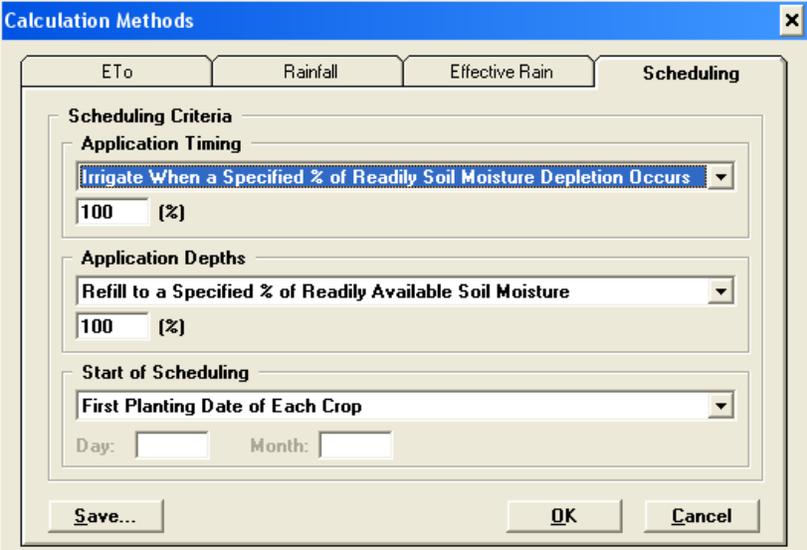
**Recalculate:** realiza nuevamente los cálculos si los datos han cambiado.

**Irrigations:** Permite salvar/recuperar información referente a láminas y fechas de riego.

**User adjustment:** cuando el usuario quiere introducir condiciones particulares

## Descripción de los criterios

Al hacer **Schedule > Criteria** aparecen la ventana **Calculation Methods**. Si hacemos clic en el tabulador **Scheduling** tendremos las siguientes opciones:



**Calculation Methods**

ETo   Rainfall   Effective Rain   **Scheduling**

**Scheduling Criteria**

**Application Timing**

Irrigate When a Specified % of Readily Soil Moisture Depletion Occurs

100 (%)

**Application Depths**

Refill to a Specified % of Readily Available Soil Moisture

100 (%)

**Start of Scheduling**

First Planting Date of Each Crop

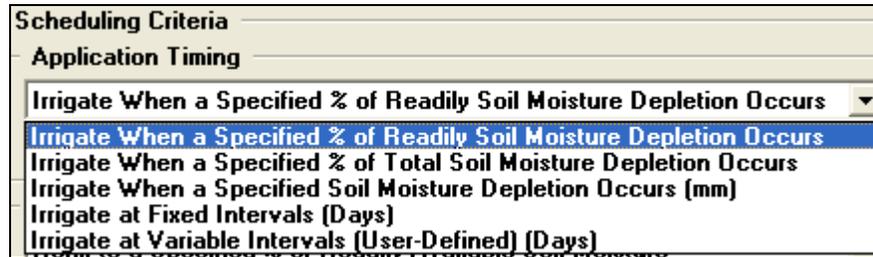
Day:   Month:

Save...   OK   Cancel

Esta ventana es de suma importancia porque es el lugar donde vamos a definir cuando, como y cuanto regar (momento, frecuencia y láminas de riego). A continuación se dará una descripción de cada uno de los criterios disponibles.

## 1. TIEMPO DE APLICACION DEL RIEGO (APPLICATION TIMING)

Las opciones son las siguientes:



a) **Irrigated When a Specified % of Readily Soil Moisture Depletion Occurs:** Regar cuando se ha agotado un porcentaje de la lámina fácilmente aprovechable por las plantas (lámina neta,  $L_n$ ), calculada como:

$$L_n = \frac{CC - PMP}{100} * Da * Pr * UR$$

donde  $L_n$  = lámina neta o agua fácilmente aprovechable por las plantas (mm); CC = capacidad de campo (%); PMP = punto de marchitez permanente (%);  $D_a$  = densidad aparente ( $gr/cm^3$ ); Pr = profundidad radicular (mm); UR = umbral de riego (fracción).

Si se coloca 100 % (ver figura abajo) significa que vamos a regar cuando se agote un 100% del agua fácilmente aprovechable, lo que asegura que el cultivo no sufrirá por estrés hídrico.



b) **Irrigated When a Specified % of Total Soil Moisture Depletion Occurs:** Regar cuando se ha agotado un porcentaje de la lámina almacenable ( $L_a$ ). La lámina almacenable se define como:

$$L_a = \frac{CC - PMP}{100} * Da * Pr$$

Si se selecciona esta opción deberá colocarse el umbral de riego en %, colocando 100 % si se desea evitar situaciones de estrés hídrico para el cultivo.

**c) Irrigated When a Specified Soil Moisture Depletion Occurs:** Regar cuando se ha agotado una determinada lámina del agua del suelo (en milímetros). Útil cuando se va a utilizar una lamina de riego constante en cada riego, no importando el intervalo de tiempo entre los riegos.

**d) Irrigated at Fixed Intervals (Days):** Regar considerando una frecuencia (intervalo) de riego fija (días). Esta opción es bastante utilizada para facilitar la operación del riego.

**e) Irrigated at Variable Intervals – User Defined (Days):** Regar considerando una frecuencia (intervalo) de riego variable, definida por el usuario (días).

## 2. LÁMINA DE RIEGO (APPLICATION DEPTHS)

Tenemos las siguientes opciones:



**a) Refill to a Specified % of Readily Available Soil Moisture:** Aplicar riego hasta lograr un porcentaje determinado de la lámina de agua fácilmente disponible ( $L_n$ ).

Si se coloca 100 % (ver figura abajo) estamos llevando la humedad del suelo a capacidad de campo:



**b) Fixed Depths (mm):** Aplicar riego utilizando una lámina constante en cada riego (mm)

**c) Variable Depths (User defined) (mm):** Aplicar las láminas de riego según especificaciones del usuario.

## 3. COMIENZO DEL CALENDARIO:

Tenemos las siguientes opciones:



- a) **First Planning Date of Each Crop:** comenzar el calendario de riego el día de siembra de cada cultivo.
- b) **Specified Date:** comenzar el calendario de riego en una fecha cualquiera.

### MENU DE TABLAS Y GRAFICOS

Los resultados obtenidos a través del CROPWAT pueden ser presentados en forma de tablas o gráficos utilizando el Menú Principal o los Íconos de la barra de herramientas:

	<p><b>Climate and ETo:</b> tabla que muestra datos de clima y ETo.</p> <p><b>Rainfall:</b> tabla que muestra datos de lluvia.</p> <p><b>CWR:</b> tabla que muestra los requerimientos de agua de los cultivos (Crop Water Requirements)</p> <p><b>Irrigation Schedule:</b> muestra el calendario de riego</p>
--	---

	<p><b>Climate and ETo:</b> gráficos de temperatura, humedad, viento, insolación, lluvia y ETo.</p> <p><b>Cropping Pattern:</b> datos de siembra/áreas cultivadas.</p> <p><b>CWR:</b> requerimientos de agua de los cultivos y ETo</p> <p><b>Irrigation Schedule:</b> calendario de riego, agotamiento de humedad en el suelo</p>
--	--

También se pueden utilizar los íconos de la barra de herramientas del CROPWAT para acceder a las tablas y gráficos:

Iconos para **tablas** de clima, CWR y calendario de riego

Iconos para **gráficos** de clima, lluvia, patrón de cultivo, CWR y calendario de riego

### Tabla de datos Climaticos

Haciendo clic en **Tables > Climate & ETo** (menú principal) o en el ícono correspondiente en la barra de herramientas (el termómetro) aparece la tabla que muestra los datos de lluvia:

Climate Data Table							
Country	India		Station	KURNOOL		Altitude	281 (m)
Month	Max Temp. (C)	Min Temp. (C)	Humidity (%)	WindSpeed (km/d)	SunShine (hours)	Solar Radiation (MJ/m2/d)	ETo (mm/d)
January	31.3	17.0	55.0	104.0	9.7	20.0	4.2
February	34.3	19.3	44.0	112.0	10.3	22.6	5.2
March	37.5	22.5	37.0	121.0	10.7	25.0	6.2
April	39.3	26.0	39.0	138.0	10.1	25.1	6.9
May	40.0	27.2	42.0	225.0	9.2	23.6	8.1
June	35.6	25.0	58.0	354.0	6.5	19.3	7.2
July	32.5	23.8	67.0	363.0	4.9	16.9	5.8
August	32.1	23.5	67.0	302.0	5.4	17.7	5.5
September	31.9	23.3	69.0	207.0	6.0	18.2	4.9
October	32.4	22.4	66.0	95.0	9.5	21.9	4.7
November	31.0	19.2	63.0	78.0	8.4	18.6	3.8
December	30.3	16.6	60.0	69.0	9.3	18.8	3.5
Average	34.0	22.1	55.6	180.7	8.3	20.6	5.5

**Country** = País; **Station** = estacion; **Altitude** = altitud; **Month** = Mes; **Max. Temp.** = Temperatura Máxima; **Min. Temp.** = Temperatura Mínima; **Humidity** = humedad relativa del aire; **WindSpeed** = velocidad del viento; **Sunshine** = insolación; **Solar Radiation** = Radiación Solar.

Una copia de la tabla puede ser guardada como archivo de texto haciendo clic en el botón **Report** y asignándole un nombre. El archivo guardado puede ser visto o mandado a imprimir seleccionando **File > TextEditor**, o abriéndolo utilizando el programa Word.

### Ejemplo de Tabla de datos de Lluvia

Haciendo clic en **Tables > Rainfall** (menú principal) o en el ícono correspondiente en la barra de herramientas (nubecita con lluvia) aparece la tabla que muestra los datos de lluvia:

	Total	Effective	
January	0.0	0.0	(mm/month)
February	5.0	5.0	(mm/month)
March	10.0	9.8	(mm/month)
April	22.0	21.2	(mm/month)
May	44.0	40.9	(mm/month)
June	91.0	77.8	(mm/month)
July	130.0	103.0	(mm/month)
August	122.0	98.2	(mm/month)
September	147.0	112.4	(mm/month)
October	79.0	69.0	(mm/month)
November	22.0	21.2	(mm/month)
December	3.0	3.0	(mm/month)
<b>Total</b>	<b>675.00</b>	<b>561.50</b>	

La tabla muestra la lluvia total (registrada por la estación) y la lluvia efectiva (**Effective**), la cual es calculada por CROPWAT según algún criterio de cálculo. Los criterios de cálculo aparecen dando clic en el botón “**Effective**”. Aparecerá una ventana que permite seleccionar el criterio a utilizar (active el tabulador **Effective Rain**):

Calculation Methods

ETo Rainfall **Effective Rain** Scheduling

Effective Rainfall Calculation Method

Fixed Percentage: 80 Defaults

Dependable Rain

Empirical Formula:

Effective Rain = 0.5 \* Total R. + -5.0 ..... (R < 50.0 mm)

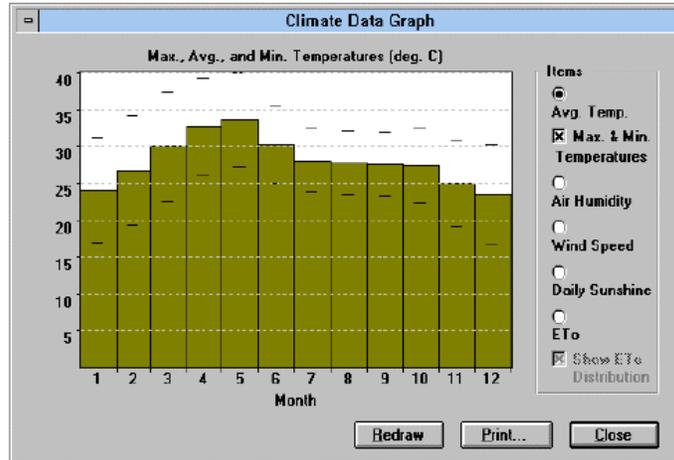
Effective Rain = 0.7 \* Total R. + -15.0 ..... (R > 50.0 mm)

USDA Soil Conservation Service Method

Save... OK Cancel

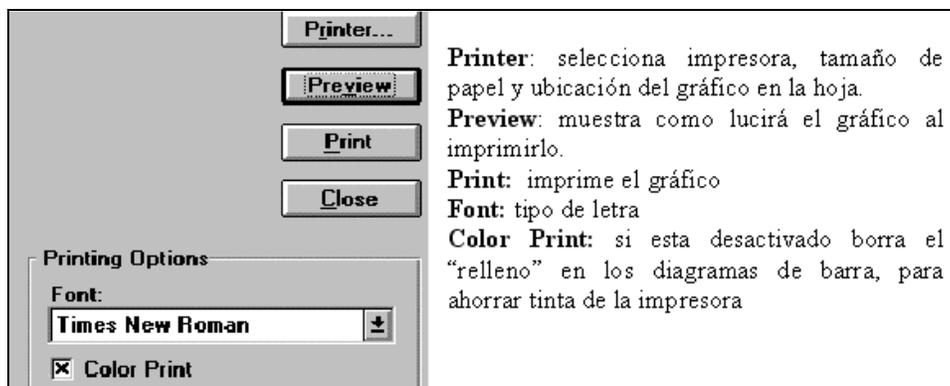
### Ejemplo de Grafico de Clima

Los gráficos pueden ser observados haciendo clic en **Graphs > Climate** en el menú principal o haciendo clic en el ícono correspondiente en la barra de herramientas:



El gráfico muestra la temperatura media para cada mes (barras) y las líneas muestran las temperaturas máximas y mínimas. Se puede imprimir el gráfico haciendo clic en el botón **“Print”**. Asimismo podemos activar los gráficos de humedad relativa (**Air Humidity**), velocidad del viento (**Wind Speed**), insolación (**Daily Sunshine**) y **ETo**.

Cuando hacemos clic en el botón **“Print”** aparecen una serie de opciones que permiten controlar la impresión:



### **Ejemplo de Tabla de requerimiento de agua de los cultivos (CWR)**

Haciendo clic en **Tables > CWR** (menú principal) o en el ícono correspondiente en la barra de herramientas aparece la tabla que muestra los datos de requerimiento de agua de los cultivos :

Crop Water Requirements Table								
MAIZE (Grain)		Time Step (Days): 10		Update		Report...		
[All Blocks]		Irrigation Efficiency (%): 70		Close				
Date	ETo (mm/period)	Crop Area (%)	Crop Kc	CWR (ETm) (mm/period)	Total Rain (mm/period)	Effect. Rain (mm/period)	Irrig. Req. (mm/period)	FWS (l/s/ha)
23/3	66.05	100.00	0.33	22.07	2.45	2.40	19.67	0.33
2/4	68.20	100.00	0.54	36.61	4.05	4.05	32.56	0.54
12/4	69.92	100.00	0.76	53.25	6.25	6.18	47.07	0.78
22/4	71.19	100.00	0.99	70.23	9.51	9.15	61.08	1.01
2/5	71.99	100.00	1.18	84.77	13.31	12.46	72.31	1.20
12/5	72.31	100.00	1.20	86.77	17.33	15.82	70.95	1.17
22/5	72.16	100.00	1.20	86.59	21.38	19.04	67.55	1.12
1/6	71.55	100.00	1.20	85.86	25.34	22.04	63.82	1.06
11/6	70.50	100.00	1.16	82.15	29.17	24.79	57.36	0.95
21/6	69.05	100.00	0.96	65.97	32.80	27.30	38.67	0.64
1/7	67.23	100.00	0.72	48.55	36.20	29.56	18.99	0.31
11/7	32.83	100.00	0.55	17.95	19.28	15.55	2.40	0.08
Total	927.14			778.02	217.06	188.34	589.69	[ 0.72 ]

En la Tabla aparece el cultivo (**MAIZE (Grain)** = Maíz en grano), el bloque seleccionado (**All blocks**); el intervalo de tiempo para la presentación de la información **Time Step (Days)** (por defecto es de 10 días, pero puede ser cambiado), la eficiencia de aplicación del sistema de riego **Irrigation Efficiency** (por defecto el programa toma 70% pero puede ser cambiado según el método de riego).

Las columnas muestran:

**Date:** fechas de presentación de la información

**ETo:** ETo en mm/periodo (si el periodo es de 10 días es el total de ETo ocurrido en los diez días)

**Crop Area:** área destinada para el cultivo seleccionado, en porcentaje del área total. En este caso el maíz ocupa el 100% del área total (no hay otro cultivo).

**Crop Kc:** coeficiente promedio del cultivo seleccionado para el período indicado.

**CWR:** requerimiento (neto) de agua del cultivo en mm/periodo. Por ejemplo el valor de 22.07 significa que se requieren de 22,07 mm para satisfacer la demanda de agua del cultivo en los primeros diez días. Se calcula como  $CWR=ET_c = ETo * Kc$

**Total Rain:** lluvia total ocurrida durante el periodo.

**Effective Rain:** lluvia efectiva ocurrida durante el periodo.

**Irrig. Req.:** Requerimiento (neto) de riego para el periodo considerado (considerando la lluvia). Por ejemplo el valor de 19,67 significa que se necesita aplicar una lámina de riego de 19,7 mm para satisfacer la demanda de agua de los cultivos durante el periodo (en este caso diez días). **Irrig. Req: = CWR – Effective Rain**

**FWS:** (Field Water Supply): cantidad de agua que se necesita para satisfacer la demanda de agua de los cultivos, en litros/segundo/hectárea (caudal módulo). El primer valor 0,33 significa que debemos disponer de 0,33 l/s para satisfacer los requerimientos de agua de cada hectárea sembrada por el cultivo (en este caso maíz). Este valor considera la eficiencia de riego.

$$FWS = \frac{\text{Irrig.Req} * 10000}{(\text{Irrig.Efficiency}/100) * \text{TimeStep}(\text{days}) * 24 * 3600}$$

En la línea final de totales (**Totals**) el valor entre corchetes muestra el requerimiento promedio de agua. En nuestro caso el valor de [0.72] significa que necesitamos 0,72 l/s por cada hectárea para atender la temporada de crecimiento del cultivo.

Haciendo clic en el botón “ **Report**” permite salvar la tabla como archivo de texto. Posteriormente se puede abrir e imprimir el archivo usando un programa como el Word o el mismo editor del CROPWAT (ícono del cuadernito).

**Ejemplo de Tabla de Calendario de Riego (Irrigation Scheduling)**

Haciendo clic en **Tables > IrrigationSchedule** (menú principal) o en el ícono correspondiente en la barra de herramientas, aparece la tabla que muestra los datos del calendario de riego:

Irrigation Scheduling Table													
MAIZE (Grain)		Options		Yield Reduction:		Close							
Block # 1		<input checked="" type="radio"/> Irrigation Schedule <input type="radio"/> Daily Soil Moisture Balance		0.0%		Report...							
Date	Day No.	TAM (mm)	RAM (mm)	Rainfall (mm)	Efet. Rain (mm)	ETc (mm)	ETc/ETm (%)	SMD (mm)	Irr. Interval (Days)	Net Irr. (mm)	Lost Irr. (mm)	User Adjust. (mm)	
21/3	19	69.1	34.6	0.0	0.0	1.9	100.0%	35.3	18	35.3	0.0		
26/3	24	76.7	38.3	1.8	1.8	2.0	100.0%	8.0					
31/3	29	84.2	42.1	1.8	1.8	2.6	100.0%	17.7					
5/4	34	91.8	45.9	2.0	2.0	3.4	100.0%	31.1					
10/4	39	99.3	49.6	2.5	2.5	4.2	100.0%	48.1					
11/4	40	100.8	50.4	0.0	0.0	4.4	100.0%	52.5	21	52.5	0.0		
15/4	44	106.8	53.4	3.2	3.2	5.1	100.0%	16.1					
20/4	49	114.4	57.2	4.0	4.0	5.9	100.0%	40.0					
24/4	53	120.4	60.2	0.0	0.0	6.6	100.0%	65.4	13	65.4	0.0		
25/4	54	121.9	61.0	4.8	0.0	6.8	100.0%	6.8					
30/4	59	129.4	64.7	5.8	5.8	7.6	100.0%	37.4					
4/5	63	135.5	67.7	0.0	0.0	8.3	100.0%	69.6	10	69.6	0.0		
5/5	64	137.0	68.5	6.8	0.0	8.5	100.0%	8.5					

Double Click Any Cell in the 'User Adjust.' Column to Adjust the Soil Moisture Balance

La tabla muestra el cultivo (**MAIZE (Grain)**); el numero de bloque (**Block # 1**); la opción seleccionada: Calendario de Riego (**Irrigation Schedule**) o Balance diario de la humedad en el suelo (**Daily Soil Moisture Balance**).

Un dato importante a considerar es la reducción esperada de la cosecha (Yield Reduction). Nuestro objetivo es que no se produzca reducción en la producción (**0.0%**). Esta reducción en la producción es debida al posible estrés hídrico a que nuestro cultivo pudiera estar sometido según los criterios asumidos cuando definimos los criterios del calendario de riego (esto es láminas, frecuencias y tiempo) introducidos en **Schedule>Criteria**. Si la reducción en la producción es inaceptable debemos cambiar algún criterio de riego.

Las columnas muestran lo siguiente:

**Date:** fechas de presentación de la información.

**TAM:** total de agua almacenable por el suelo hasta la profundidad radicular del cultivo para la fecha indicada (La).

**RAM:** agua fácilmente disponible para el cultivo (lámina neta, Ln).

**Rainfall (mm):** cantidad de lluvia para la fecha indicada (CROPWAT asume 5 eventos de lluvia por mes).

**Efect. Rain (mm).** Lluvia efectiva, cantidad de agua que entra a la zona radicular.

**ETc :** evapotranspiración del cultivo.

**ETc/ETm:** Debe ser 100 % para que el cultivo no sufra por estrés hídrico.

**SMD:** Soil Moisture Deficit. Agotamiento (déficit) de la humedad total del suelo para la fecha indicada. Lámina que se debe aplicar para llevar el suelo a capacidad de campo.

**Irr. Interval.** Intervalo de riego en días desde que se produjo el ultimo riego.

**Net.Irrig.** Muestra los días donde se requiere el riego y las laminas netas a aplicar. Los días de riego son aquellos donde existe un **Net.Irrig.** > 0. En el caso de riego en función del agotamiento, el riego se produce cuando la lámina agotada supera el umbral de riego. En el caso de frecuencia (intervalo) de riego fija, depende del numero de días entre riegos.

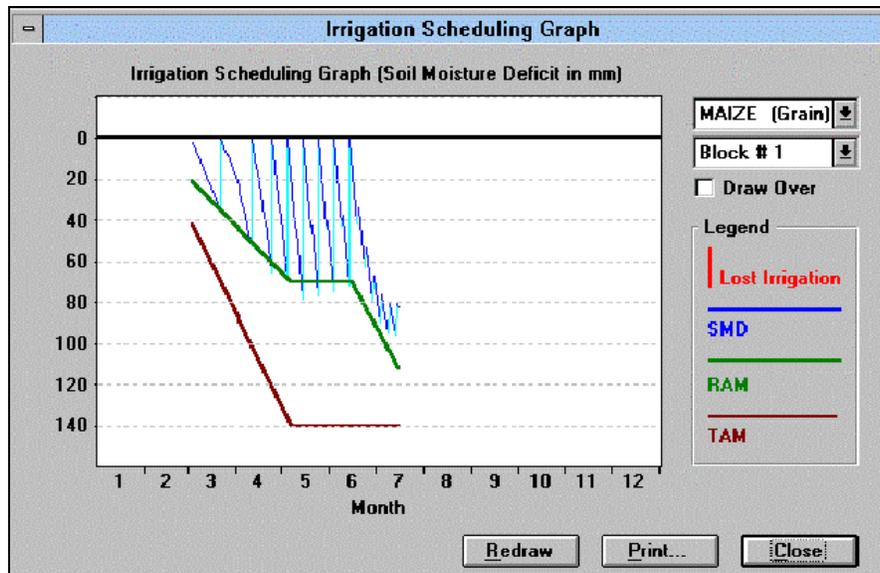
**Lost. Irrig.** Pérdida del agua aplicada por el riego, debido a la percolación profunda.

**User adjust:** Opción que permite al usuario hacer ajustes al calendario.

Haciendo clic en el botón “ **Report**” permite salvar la tabla como archivo de texto. Posteriormente se puede abrir e imprimir el archivo usando un programa como el Word o el mismo editor del CROPWAT (icono del cuadernito).

## Grafico del Calendario de Riego

Haciendo clic en **Graphs > IrrigationSchedule** (menú principal) o en el ícono correspondiente en la barra de herramientas aparece el gráfico que muestra los datos del calendario de riego:



El gráfico muestra el cultivo (**MAIZE**), el bloque (**Block # 1**) y las siguientes curvas:

**Lost Irrigation:** Muestra la lámina aplicada de riego que se perdió por percolación.

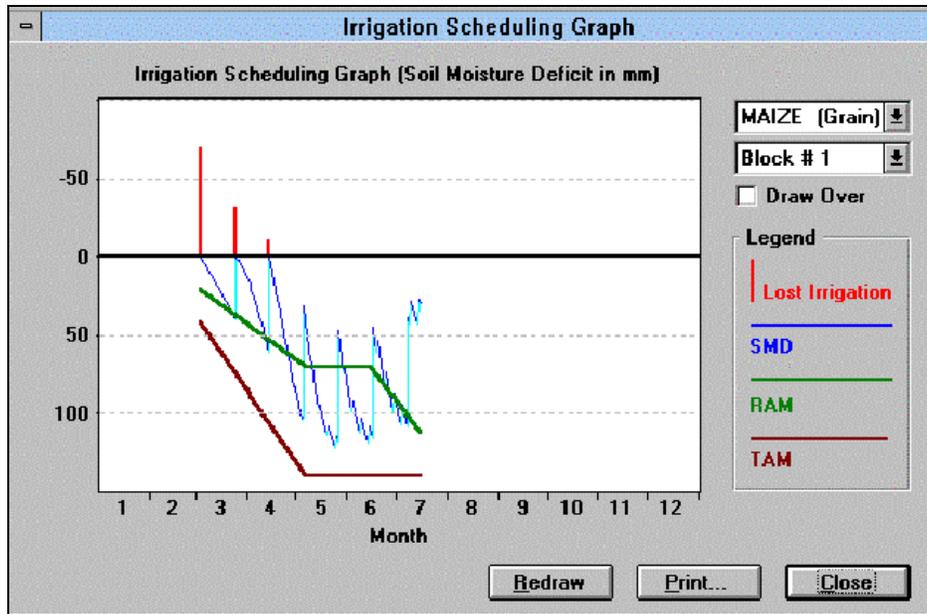
**SMD:** Muestra el cambio del agotamiento de humedad del suelo. Cuando es igual a 0 significa que el suelo se encuentra en capacidad de campo. Esta línea no debe superar a la línea correspondiente al RAM para evitar situaciones de estrés hídrico.

**RAM:** línea que muestra el agua fácilmente aprovechable ( $L_n$ ), en función de la profundidad radicular del cultivo. Esta curva muestra indica el agotamiento máximo de humedad que se puede permitir para evitar condiciones de estrés hídrico en el cultivo.

**TAM:** curva que muestra la lámina total que el suelo puede almacenar hasta la profundidad radicular (Lámina almacenable,  $L_a$ ).

La situación mostrada en la Figura anterior es la deseable cuando planifiquemos el riego, donde vemos que el agotamiento de agua en el suelo (SMD) no supera al valor del agua fácilmente aprovechable (RAM).

En la Figura de abajo podemos ver que situación debemos evitar:



En este caso  $SMD > RAM$  en muchas situaciones, lo que generara estrés hídrico en el cultivo y la consiguiente perdida de cosecha.

## ENTRADA DE DATOS AL PROGRAMA CROPWAT

Para ilustrar la forma en que se introducen la información al programa CROPWAT desarrollaremos un ejemplo donde calcularemos los requerimientos de riego para un cultivo de caraotas negras (frijoles secos) a sembrarse en un área de Coro, Estado Falcón.

Los datos de la estación meteorológica son los siguientes:

**País:** Venezuela                      **Estación :** Coro  
**Altitud:** 16 msnm  
**Latitud:** 11.25 °N                      **Longitud:** 69.41 °O

Mes	Temp. Max (°C)	Temp. Min (°C)	HR (%)	U2 (Km/d)	n (horas)	Prec. (mm)
Ene	31.0	21.0	76.0	199.0	7.6	47.0
Feb	31.2	21.2	73.0	242.0	8.0	25.0
Mar	31.7	21.7	67.0	242.0	9.1	8.0
Abr	32.7	22.7	83.0	251.0	7.1	12.0
May	33.4	23.4	78.0	156.0	8.0	38.0
Jun	33.6	23.6	74.0	156.0	8.7	22.0
Jul	33.3	23.3	70.0	164.0	9.2	31.0
Ago	33.7	23.7	69.0	156.0	9.1	38.0
Sept	34.0	24.0	79.0	138.0	7.6	54.0
Oct	33.4	23.4	79.0	130.0	7.4	69.0
Nov	32.6	22.6	81.0	147.0	7.0	49.0
Dic	31.4	21.4	78.0	164.0	7.3	60.0

### Datos del Suelo

Textura del Suelo: Franco

CC = 24 % ; PMP = 13 % ; Da = 1.3 gr/cm<sup>3</sup>

Tasa de infiltración del suelo: 40 mm/día

### Datos del Cultivo

Nombre del cultivo: caraota

Día de siembra: 20 de Abril

Longitud de las etapas de desarrollo: 25 días (etapa inicial), 35 (desarrollo), 40 (int.); 20 (final).

Coefficientes de cultivo: 0.42 (etapa inicial), 1.15 (intermedia); 0.35 (final).

Máxima profundidad radicular = 70 cm

Umbral de riego recomendado para todas las etapas = 0.45 (45 %)

### Riego

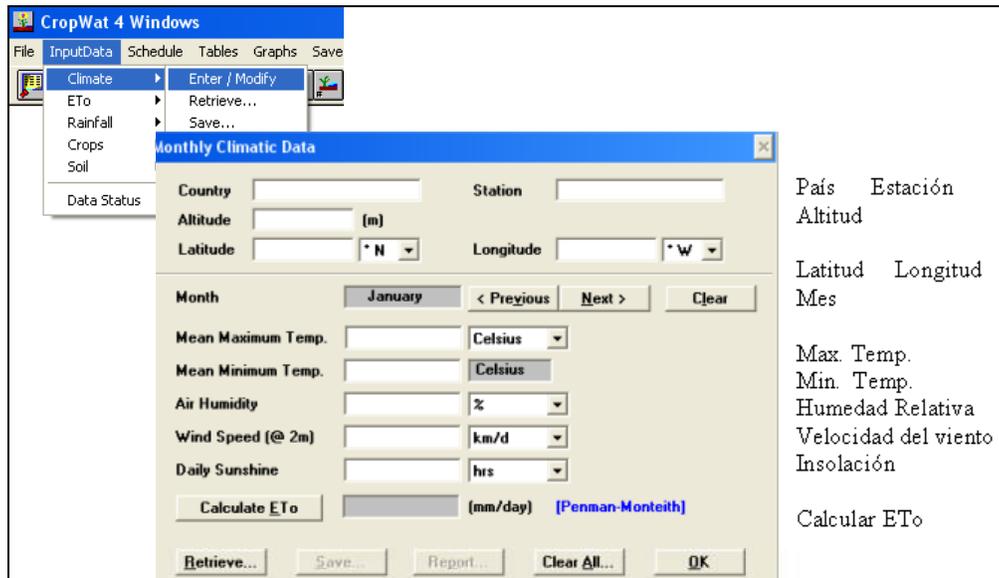
Eficiencia del sistema de riego: 70%

Se piensa regar con una frecuencia de 7 días

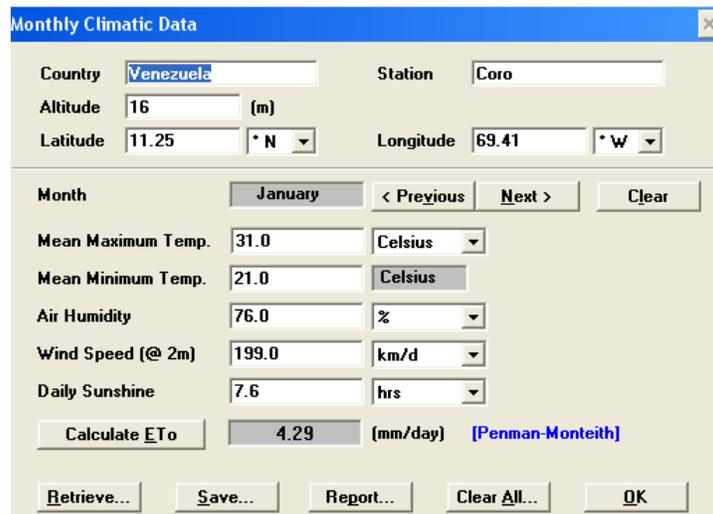
# ENTRADA DE DATOS AL PROGRAMA CROPWAT

## 1. Datos Climáticos

En el menú principal seleccionamos **InputData > Climate > Enter/Modify**. Se abre la ventana de entrada de datos climáticos mensuales (**Monthly Climate Data**).

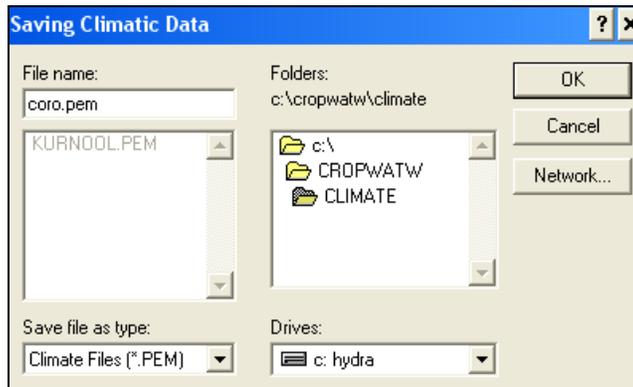


Vamos a introducir todos los datos comenzando con el mes de Enero. En realidad, en nuestro caso, debido a que el cultivo va a ser sembrado en Abril, podemos empezar a introducir datos desde el mes de Abril y hasta el mes de Agosto que es donde se realizara la cosecha. Sin embargo y a manera de ejercicio, introduzcamos todos los meses del año. Por ejemplo para el mes de Enero tenemos:



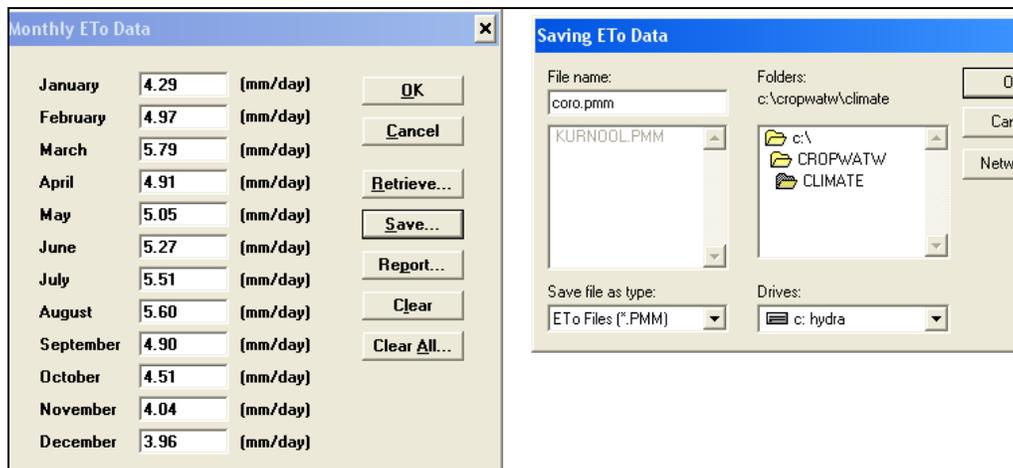
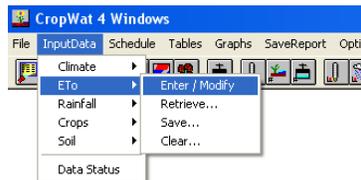
Como puede verse en la figura anterior, los datos de ETo son calculados al darle clic al botón “**Calculate ETo**”.

Al terminar Enero daremos clic a “**Next**” y podremos introducir el próximo mes Febrero y así sucesivamente hasta llegar a Diciembre. Al finalizar de introducir los datos dar clic al botón “**Save**” y darle un nombre al archivo de datos climáticos (**coro.pem**)



## 2. Datos de ETo

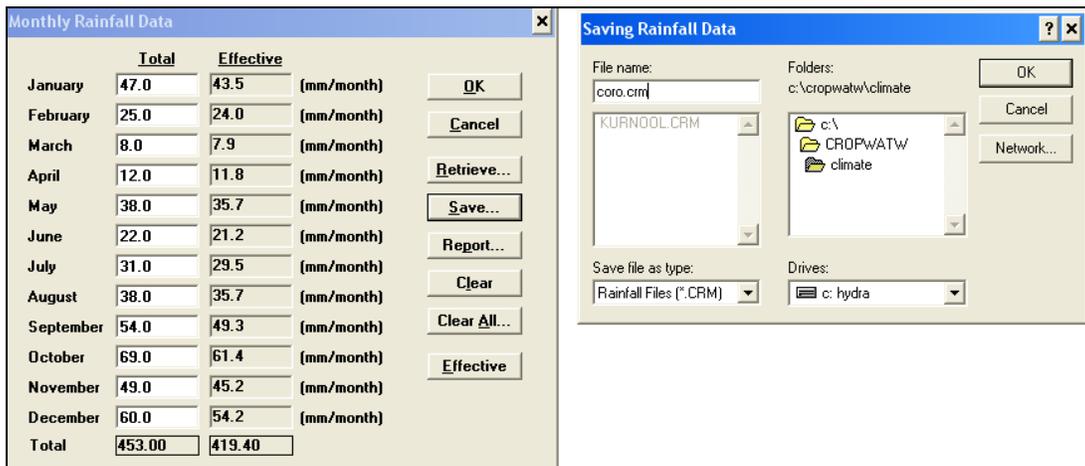
Los valores de ETo calculados anteriormente se pueden observar al seleccionar **InputData > ETo > Enter/Modify**. Aparecen los datos calculados previamente. Salvemos estos datos en un archivo presionando el botón “**Save**”. Como nombre usemos **coro.pmm**



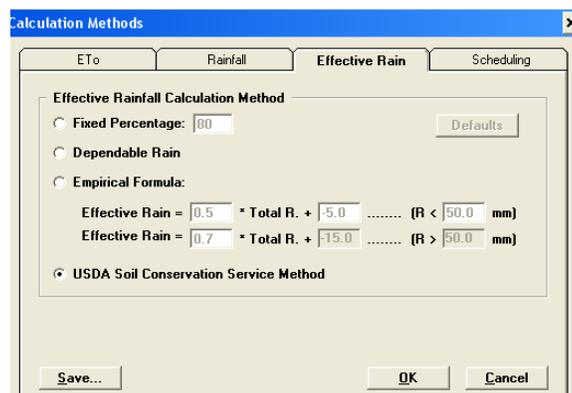
### 3. Datos de lluvia

El próximo paso consiste en introducir los datos de lluvia. En el menú principal seleccionamos **InputData > Rainfall > Enter/Modify**. Se abre la ventana de entrada de datos climáticos mensuales (**Monthly Rainfall Data**).

Se introducen los datos de precipitación total mes por mes, comenzando de Enero. La precipitación efectiva es calculada automáticamente por el CROPWAT utilizando el metodo considerado por defecto. Salvemos estos datos en un archivo presionando el botón “**Save**”. Como nombre usemos **coro.crm**



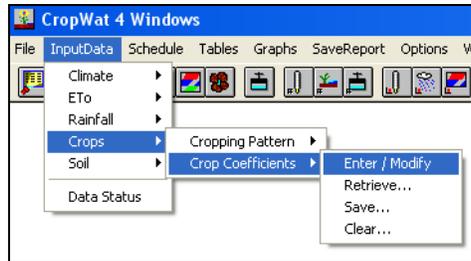
Si se quiere cambiar el método de calculo de la precipitación efectiva darle clic al botón “Effective” de la ventana de “**Monthly Rainfall Data**” . Con lo que se abra otra ventana mostrando los distintos métodos de calculo de la precipitación efectiva. Por defecto CROPWAT tiene activado el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (**USDA Soil Conservation Service Method**). Otro método útil es el primero “**Fixed Percentage**” donde si colocamos por ejemplo 80 entonces tomara el 80% de la precipitación total como la precipitación efectiva. Si no queremos considerar la precipitación (por seguridad en el calendario de riego) podemos colocar un porcentaje cercano a 0.



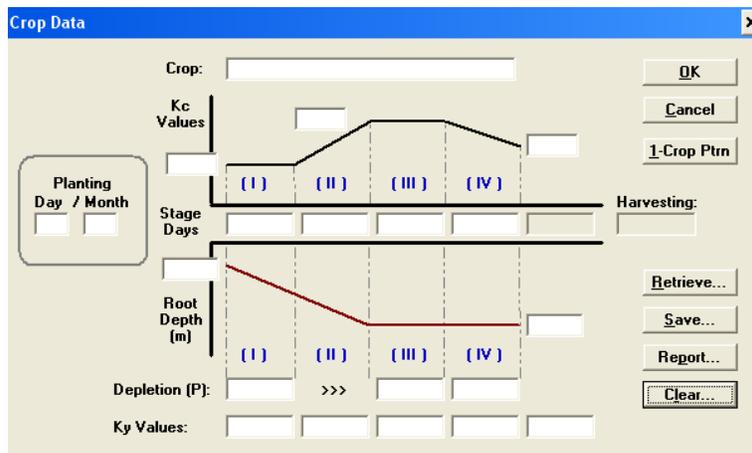
#### 4. Datos del cultivo

Los datos del cultivo se introducen en dos pasos.

- a) Primero se introducen los datos del patrón del cultivo seleccionando **InputData > Crops > Cropping Pattern > Enter/Modify**



Se abre la ventana

The image shows the 'Crop Data' window. It contains several input fields and a graph. The 'Crop' field is empty. The 'Kc Values' field has a graph showing a curve that starts at a low value, rises to a peak, and then falls. The 'Planting Day / Month' field has two empty boxes. The 'Stage Days' field has four empty boxes labeled (I), (II), (III), and (IV). The 'Root Depth (m)' field has a graph showing a curve that starts at a high value and falls to a low value. The 'Depletion (P)' field has three empty boxes, with the second one containing '>>>'. The 'Ky Values' field has four empty boxes. On the right side, there are buttons for 'OK', 'Cancel', '1-Crop Ptrn', 'Retrieve...', 'Save...', 'Report...', and 'Clear...'.

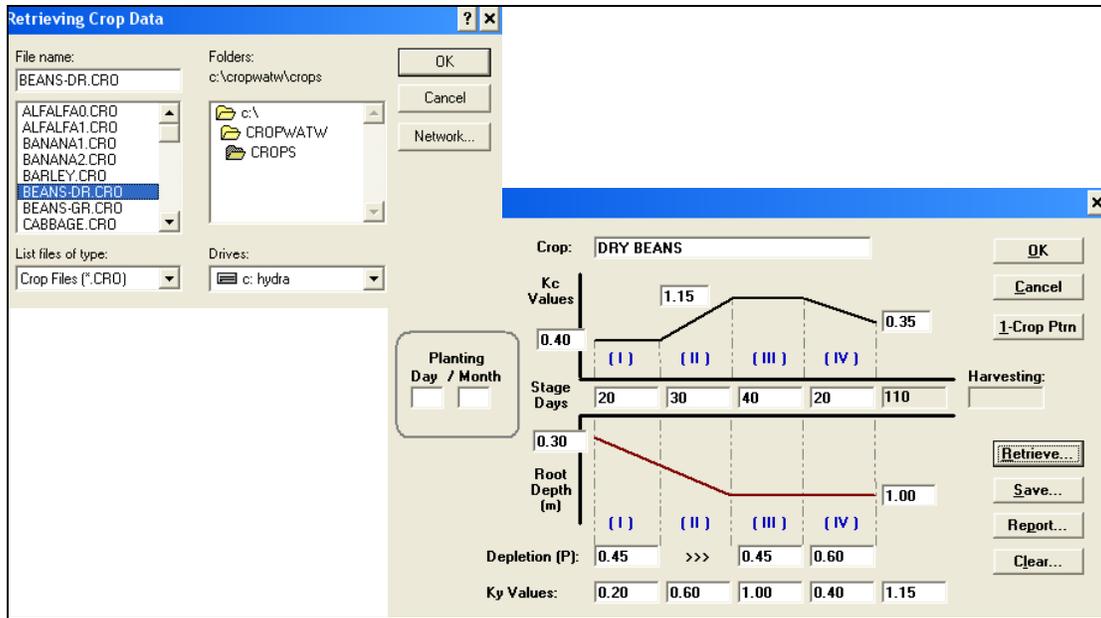
**Crop** : cultivo ; **Kc values** : valores de Kc correspondientes a la etapa inicial, intermedia y final; **Planting Day/Month**: Día y Mes de siembra;

**Stage Days**: Longitud de las etapas de desarrollo del cultivo (inicial, desarrollo, intermedia, final); **Root Depth**: Profundidad radicular (valor inicial  $\cong$  0,25 – 0,30 m y valor final = profundidad máxima que alcanzan las raíces del cultivo)

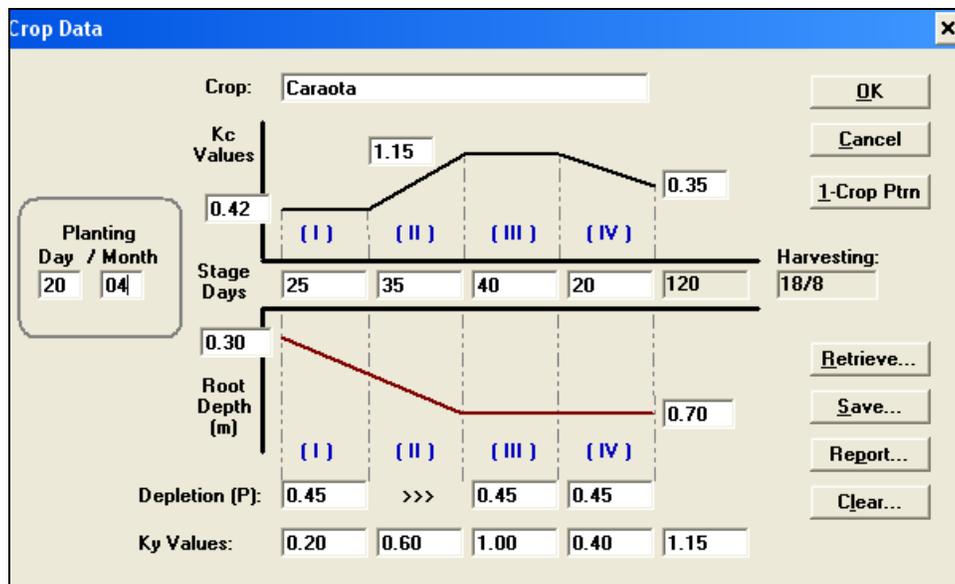
**Depletion**: umbral de riego para las etapas inicial, intermedia y final;

**Ky Values**: valores de Ky para las cuatro etapas de desarrollo del cultivo.

Una buena manera de llenar esta tabla cuando no se tiene alguna información (por ejemplo los valores de Ky) es de darle clic a “**Retrieve**” y buscar en la biblioteca del CROPWAT el cultivo a utilizar (o uno similar). En nuestro caso buscamos el archive de “**Beans Dry**” que es el más aproximado a las caraotas negras.

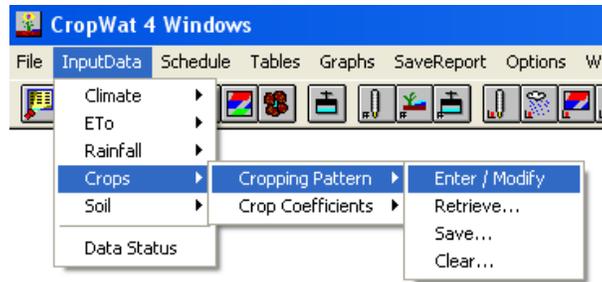


Posteriormente cambiamos el archivo modelo introduciendo nuestra información particular. Por ejemplo Crop = caraota; Kc inicial = 0.42; Longitud etapa inicial = 25 días; Longitud etapa de desarrollo = 35 días; Depletion (umbral) = 0.45 para todas las etapas.



Finalmente damos clic en “Save” y salvamos el archivo como **caraota.cro**.

b) Posteriormente se introducen los datos del patrón del cultivo seleccionando **InputData > Crops > Cropping Pattern > Enter/Modify**



Se abra la siguiente ventana:

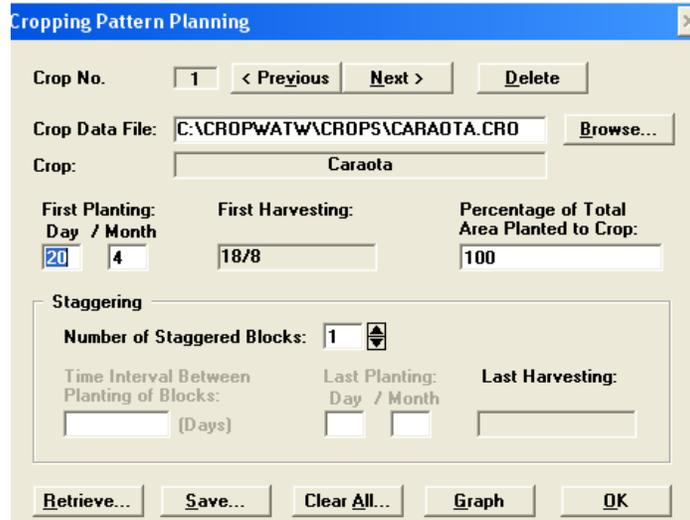


**Crop No.** : número del cultivo; **Crop Data File**: nombre del archivo que tiene los datos del cultivo (con el botón **Browse** se puede buscar el archivo). En nuestro caso debemos introducir aquí al archivo creado en el primer paso **caraoa.cro** ;

**First Planting Day/Month** : Día y Mes de la primera siembra; **First Harvesting**: Primera cosecha; **Percentage of Total Area Planted to Crop**: porcentaje del área total que se encuentra sembrada con el cultivo.

**Number of Staggering Blocks**: número de bloques de siembra, si se selecciona 1 significa que todo el cultivo será sembrado en la misma fecha de siembra en un solo bloque; si se selecciona 2 sembraremos el cultivo en dos bloques: el primero según la fecha de siembra introducida como **First Planting** y la segunda unos días después de sembrada la primera (este número de días se introduce en la celda “**Time interval; Between Planting of Blocks**” que se activará al colocar el número 2 mencionado).

En nuestro caso sembraremos el cultivo en un solo bloque el día 20 de Mayo. Sembraremos toda la finca con ese cultivo (100 % del área). En nuestro caso debemos introducir como **Crop Data File** al archivo creado en el primer paso **caraoa.cro**. Por lo tanto:



Finalmente damos clic a “Save” y le damos como nombre **caraota.cpt**

### **5. Datos del Suelo**

Antes de introducir los datos del suelo, debemos calcular la lámina almacenable por metro de profundidad utilizando la siguiente ecuación:

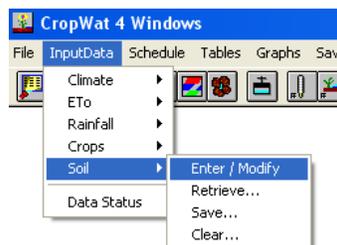
$$La(mm/m) = \frac{CC - PMP}{100} * Da * 1000$$

donde La = lámina almacenable (mm/m); CC = capacidad de campo (%); PMP = punto de marchitez permanente (%); Da = densidad aparente (gr/cm<sup>3</sup>).

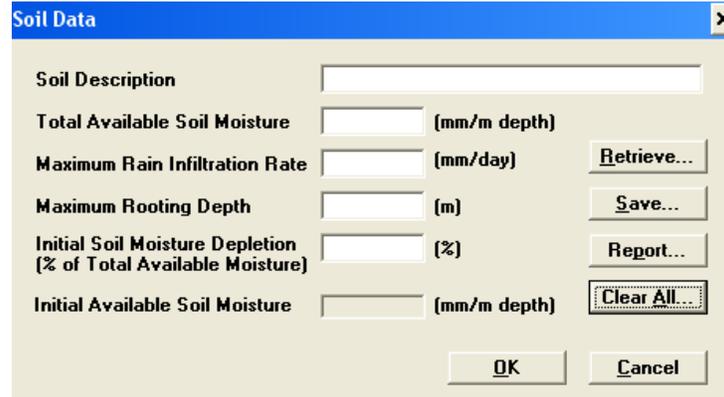
En nuestro caso tenemos el siguiente resultado:

$$La(mm/m) = \frac{24 - 13}{100} * 1.3 * 1000 = 143 \text{ mm/m}$$

- a) El próximo paso consiste en introducir los datos del suelo. En el menú principal seleccionamos **InputData > Soil > Enter/Modify**. Se abre la ventana de entrada de datos del suelo (**Monthly Rainfall Data**).



- Se abre la ventana de “Soil Data”



The screenshot shows a dialog box titled "Soil Data" with a close button (X) in the top right corner. The dialog contains several input fields and buttons:

- Soil Description:** An empty text box.
- Total Available Soil Moisture:** An empty text box followed by "(mm/m depth)".
- Maximum Rain Infiltration Rate:** An empty text box followed by "(mm/day)", with a "Retrieve..." button to its right.
- Maximum Rooting Depth:** An empty text box followed by "(m)", with a "Save..." button to its right.
- Initial Soil Moisture Depletion (% of Total Available Moisture):** An empty text box followed by "(%)", with a "Report..." button to its right.
- Initial Available Soil Moisture:** An empty text box followed by "(mm/m depth)", with a "Clear All..." button to its right.

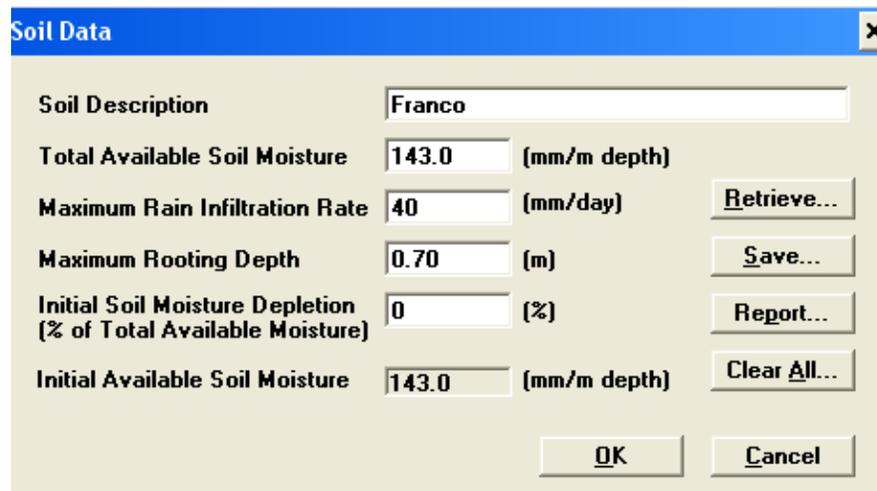
At the bottom of the dialog are two buttons: "OK" and "Cancel".

**Soil Description:** descripción del suelo; **Total Available Soil Moisture** : lámina almacenable total en mm/m; **Maximum Rain Infiltration Rate:** tasa de infiltración máxima del suelo.

**Initial Soil Moisture Depletion:** Agotamiento Inicial de humedad en el suelo. Si el suelo se encuentra a capacidad de campo, el agotamiento es de 0 %; si el suelo esta seco el agotamiento es de 100%;

**Initial Available Soil Moisture:** Humedad disponible inicial en el suelo en mm/m

En nuestro caso tenemos un suelo franco, con una infiltración básica de 40 mm/día, una lámina almacenable de 143 mm/m. Consideremos además que el suelo se encuentra a capacidad de campo para el inicio del calendario de riego.



The screenshot shows the same "Soil Data" dialog box, but now with the following values entered in the input fields:

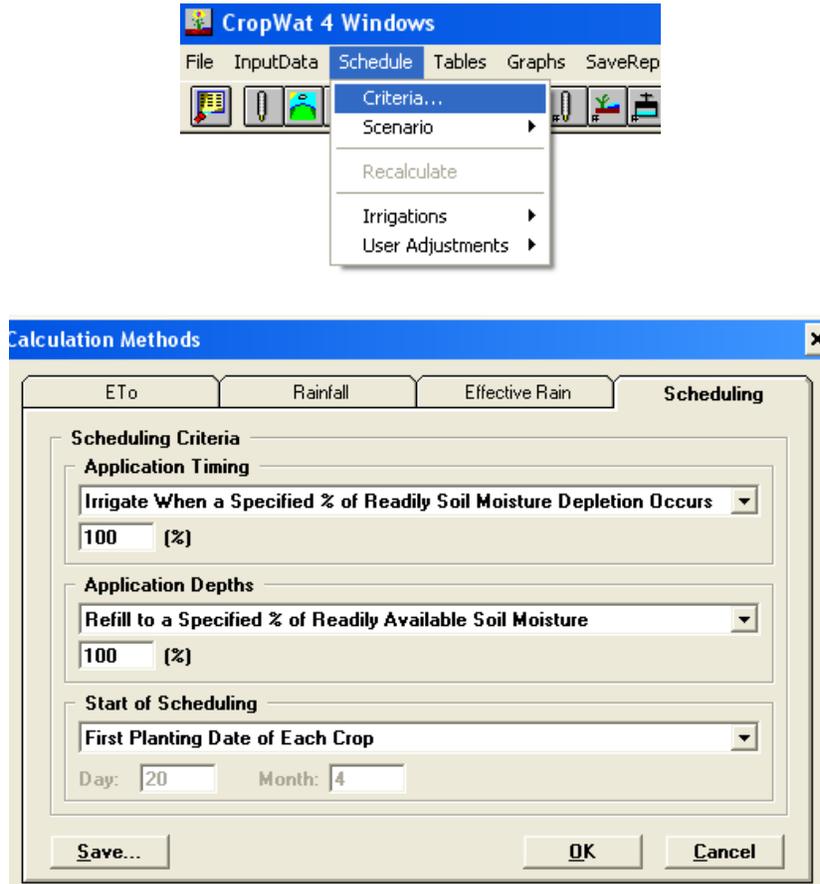
- Soil Description:** Franco
- Total Available Soil Moisture:** 143.0 (mm/m depth)
- Maximum Rain Infiltration Rate:** 40 (mm/day), with the "Retrieve..." button highlighted.
- Maximum Rooting Depth:** 0.70 (m), with the "Save..." button highlighted.
- Initial Soil Moisture Depletion (% of Total Available Moisture):** 0 (%), with the "Report..." button highlighted.
- Initial Available Soil Moisture:** 143.0 (mm/m depth), with the "Clear All..." button highlighted.

The "OK" and "Cancel" buttons remain at the bottom.

Finalmente demos clic a “Save” y guardemos el archivo como **franco soi**

## 6. DEFINICION DE LOS CRITERIOS PARA EL CALENDARIO DE RIEGO

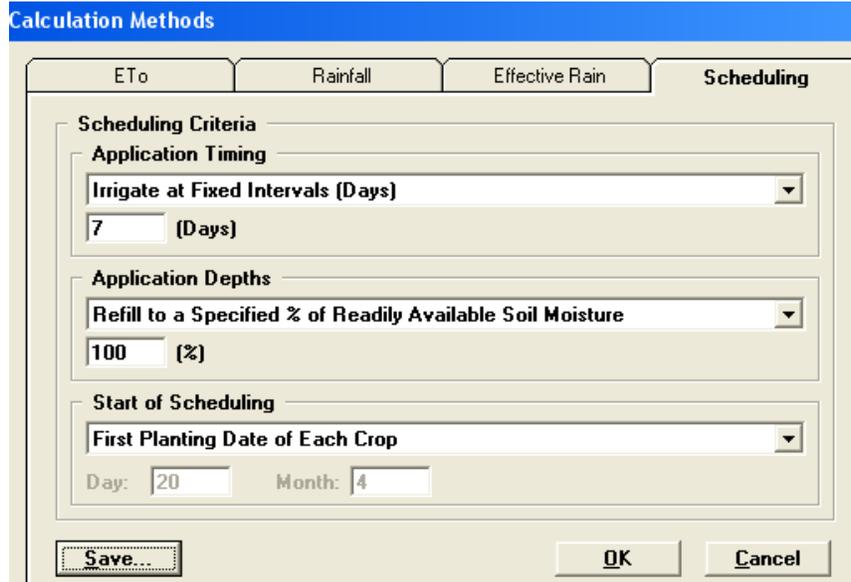
Ahora necesitamos introducir los criterios para la definición del calendario de riego. En el menú principal seleccionamos **Schedule > Criteria**. Se abre la ventana de los criterios para el calendario de riego (**Scheduling**) en la ventana de “**Calculation Methods**”:



Todas las opciones fueron explicadas anteriormente en el manual. En nuestro caso seleccionemos lo siguiente:

1. En “**Application Timing**” (momento de aplicación) seleccionemos aplicar el agua con una frecuencia fija de 7 días (**fixed interval = 7 days**).
2. En “**Application Depth**” (Lámina de agua aplicar) seleccionemos que vamos a llevar siempre el suelo a capacidad de campo (**Refill to a Specified % of Readily Available Water = 100 %**)
3. Para el comienzo del calendario (**Start of Scheduling**) seleccionemos el primer día de siembra de cada cultivo (**First Planting Date of Each Crop**).

En resumen nuestra ventana lucirá como:



- salvemos nuestros criterios dando clic al botón de “Save” y guardando como **criterio.cwg**

## RESULTADOS

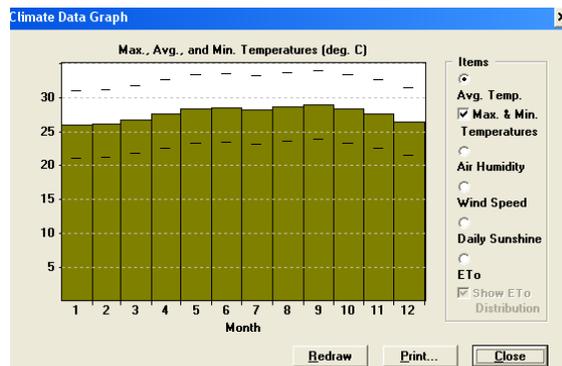
Los resultados se presentan en Tablas y gráficos entrando al menú principal o dando clic a los íconos correspondientes en la barra de herramientas:

### 1. Datos climaticos

#### Tables > Climate and ETo

Month	Max Temp. (C)	Min Temp. (C)	Humidity (%)	WindSpeed (km/d)	SunShine (hours)	Solar Radiation (MJ/m2/d)	ETo (mm/d)
January	31.0	21.0	76.0	199.0	7.6	18.3	4.3
February	31.2	21.2	73.0	242.0	8.0	20.2	5.0
March	31.7	21.7	67.0	242.0	9.1	23.1	5.8
April	32.7	22.7	83.0	251.0	7.1	20.5	4.9
May	33.4	23.4	78.0	156.0	8.0	21.5	5.1
June	33.6	23.6	74.0	156.0	8.7	22.2	5.3
July	33.3	23.3	70.0	164.0	9.2	23.0	5.5
August	33.7	23.7	69.0	156.0	9.1	23.3	5.6
September	34.0	24.0	79.0	138.0	7.6	20.9	4.9
October	33.4	23.4	79.0	130.0	7.4	19.6	4.5
November	32.6	22.6	81.0	147.0	7.0	17.7	4.0
December	31.4	21.4	78.0	164.0	7.3	17.3	4.0
Average	32.7	22.7	75.6	178.8	8.0	20.6	4.9

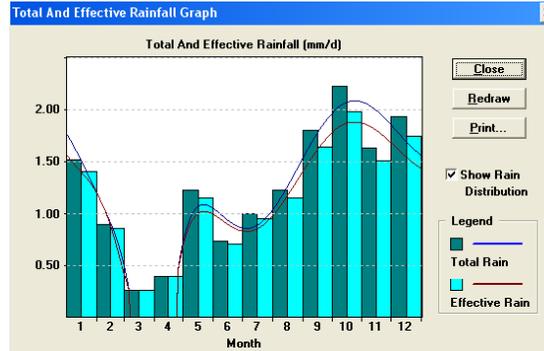
#### Graphs > Climate and ETo



## Tables > Rainfall

	Total	Effective	
January	47.0	43.5 (mm/month)	OK
February	25.0	24.0 (mm/month)	Cancel
March	8.0	7.9 (mm/month)	Retrieve...
April	12.0	11.8 (mm/month)	Save...
May	38.0	35.7 (mm/month)	Report...
June	22.0	21.2 (mm/month)	Clear
July	31.0	29.5 (mm/month)	Clear All...
August	38.0	35.7 (mm/month)	Effective
September	54.0	49.3 (mm/month)	
October	69.0	61.4 (mm/month)	
November	49.0	45.2 (mm/month)	
December	60.0	54.2 (mm/month)	
Total	453.00	419.40	

## Graphs > Rainfall



## Tables > CWR

Crop Water Requirements Table								
Caraota		Time Step (Days): 10		Update		Report...		
[All Blocks]		Irrigation Efficiency (%): 70		Close				
Date	ET <sub>o</sub> (mm/period)	Crop Area (%)	Crop Kc	CWR (ET <sub>m</sub> ) (mm/period)	Total Rain (mm/period)	Effect. Rain (mm/period)	Irrig. Req. (mm/period)	FWS (l/s/ha)
20/4	53.92	100.00	0.42	22.65	2.83	2.73	19.92	0.33
30/4	54.35	100.00	0.42	22.83	8.63	8.14	14.69	0.24
10/5	54.65	100.00	0.45	24.67	10.52	9.87	14.80	0.24
20/5	54.81	100.00	0.64	35.03	10.80	10.17	24.85	0.41
30/5	54.83	100.00	0.85	46.48	10.27	9.75	36.73	0.61
9/6	54.72	100.00	1.06	57.79	9.50	9.09	48.70	0.81
19/6	54.47	100.00	1.15	62.64	8.87	8.55	54.10	0.89
29/6	54.09	100.00	1.15	62.21	8.61	8.31	53.90	0.89
9/7	53.60	100.00	1.15	61.64	8.83	8.49	53.15	0.88
19/7	53.00	100.00	1.15	60.95	9.54	9.10	51.85	0.86
29/7	52.30	100.00	0.93	48.66	10.69	10.08	38.58	0.64
8/8	51.51	100.00	0.53	27.33	12.18	11.36	15.97	0.26
Total	646.26			532.85	111.27	105.64	427.21	[ 0.59 ]

Nótese que en promedio se requieren 0.59 l/s para regar cada hectárea de caraota (ir al final de la columna de FWS y ver el valor entre corchetes) ; el requerimiento en la etapa de máxima demanda es de 0.89 l/s/ha. Estos valores de FWS toman en cuenta la eficiencia del sistema de riego (en este caso 70%). Todos los valores (ET<sub>o</sub>, K<sub>c</sub>, Lluvia, Lluvia efectiva, Requerimiento de Riego “Irrig. Req”) corresponde al periodo de 10 días seleccionado para la representación de los datos (que el CROPWAT toma por defecto). El valor de FWS es calculado como:

$$FWS = \frac{\text{Irrig. Req} * 10000}{(\text{Irrig. Efficiency} / 100) * \text{Time Step}(\text{days}) * 24 * 3600}$$

$$FWS = \frac{19,92 * 10000}{(70/100) * 10 * 24 * 3600} = 0,33 \text{ l/s/ha}$$

## Table > Irrigation Schedule

Representa la tabla mas importante. En ella aparece el cultivo Caraota y la reducción de la producción debido a estrés hídrico (**Yield Reduction**); en nuestro caso este valor es de 0.0 % lo que significa que nuestro intervalo de tiempo seleccionado (7 días) es conveniente para evitar estrés hídrico en el cultivo. De producirse una reducción importante en la producción entonces se deberá proceder a reducir la frecuencia de riego (regar más frecuentemente) o cambiar algún otro criterio.

Date	Day No.	TAM (mm)	RAM (mm)	Rainfall (mm)	Efct. Rain (mm)	ETc (mm)	ETc/ETm (%)	SMD (mm)	Irr. Interval (Days)	Net Irr. (mm)	Lost Irr. (mm)	User Adjust. (mm)
25/4	6	47.7	21.5	2.8	2.8	2.3	100.0%	10.7				
27/4	8	49.6	22.3	0.0	0.0	2.3	100.0%	15.3	7	15.3	0.0	
30/4	11	52.4	23.6	3.9	3.9	2.3	100.0%	2.9				
4/5	15	56.2	25.3	0.0	0.0	2.3	100.0%	12.0	7	12.0	0.0	
5/5	16	57.2	25.7	4.7	0.0	2.3	100.0%	2.3				
10/5	21	62.0	27.9	5.1	5.1	2.3	100.0%	8.6				
11/5	22	62.9	28.3	0.0	0.0	2.3	100.0%	10.9	7	10.9	0.0	
15/5	26	66.7	30.0	5.4	5.4	2.4	100.0%	3.9				
18/5	29	69.6	31.3	0.0	0.0	2.8	100.0%	11.8	7	11.8	0.0	
20/5	31	71.5	32.2	5.4	2.9	3.0	100.0%	3.0				
25/5	36	76.3	34.3	5.4	5.4	3.6	100.0%	14.3	7	14.3	0.0	
30/5	41	81.0	36.5	5.2	5.2	4.1	100.0%	14.3				

Double Click Any Cell in the 'User Adjust.' Column to Adjust the Soil Moisture Balance

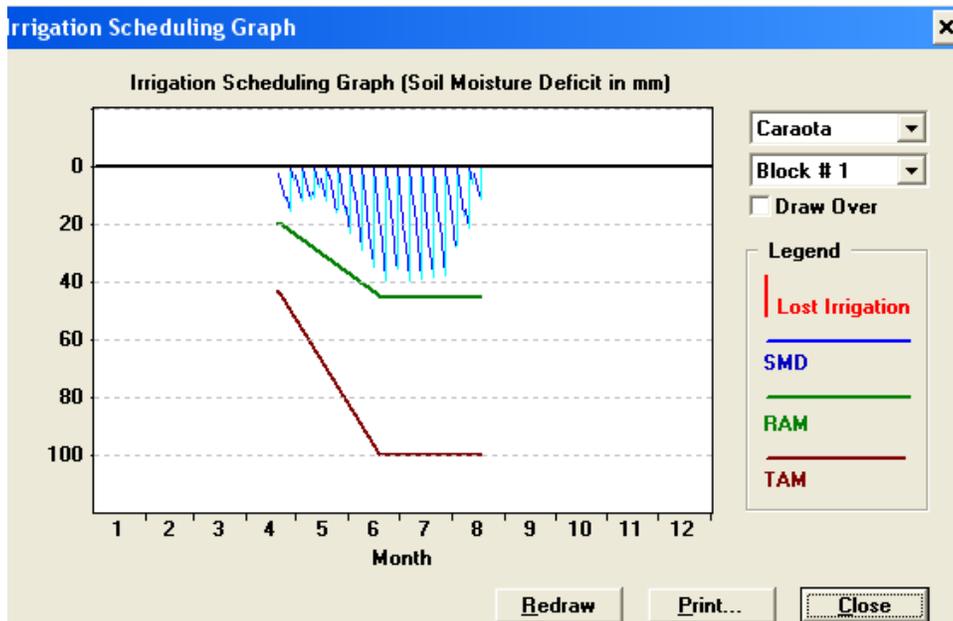
En la columna de “**Net.Irrig.**” se puede observar las láminas netas de riego a aplicar y en la columna “date” las fechas correspondientes. Por ejemplo se puede observar que el día 27 de Abril (7 días después de la siembra, según nuestra frecuencia fija) debemos aplicar una lámina neta de riego de 15.3 mm. La lámina bruta de riego será  $15.3 / 0.70 = 21.9$  mm (recuérdese que la eficiencia de riego es de 70%).

Posteriormente, 7 días después, el 4 de Mayo debemos aplicar una lámina neta de riego de 12.0 mm. Si seguimos viendo hasta el final de esta columna (ver figura abajo) veremos que debemos aplicar un total de 438.6 mm en toda el ciclo del cultivo. La ETc total es de 532.9 mm y la precipitación efectiva total es de 94.3 mm.

La lámina total de 438.6 mm es la demanda neta; para estimar la demanda bruta (cantidad real a aplicar) debemos dividir este valor entre la eficiencia del sistema de 70 % ( $438.6/0.70 = 626.6$  mm)

Date	Day No.	TAM (mm)	RAM (mm)	Rainfall (mm)	Efct. Rain (mm)	ETc (mm)	ETc/ETm (%)	SMD (mm)	Irr. Interval (Days)	Net Irr. (mm)	Lost Irr. (mm)	User Adjust. (mm)
14/7	86	100.1	45.0	4.5	0.0	6.2	100.0%	6.2				
19/7	91	100.1	45.0	4.7	4.7	6.1	100.0%	32.2				
20/7	92	100.1	45.0	0.0	0.0	6.1	100.0%	38.3	7	38.3	0.0	
24/7	96	100.1	45.0	4.9	4.9	6.1	100.0%	19.5				
27/7	99	100.1	45.0	0.0	0.0	6.1	100.0%	37.7	7	37.7	0.0	
29/7	101	100.1	45.0	5.2	5.2	5.8	100.0%	6.7				
3/8	106	100.1	45.0	5.5	5.5	4.8	100.0%	27.2	7	27.2	0.0	
8/8	111	100.1	45.0	5.9	5.9	3.7	100.0%	14.7				
10/8	113	100.1	45.0	0.0	0.0	3.3	100.0%	21.4	7	21.4	0.0	
13/8	116	100.1	45.0	6.3	5.9	2.6	100.0%	2.6				
17/8	120	100.1	45.0	0.0	0.0	1.8	100.0%	11.0	7	11.0	0.0	
<b>Total</b>				111.3	94.3	532.9	100.0%			438.6	0.0	0.0

## Graph > Irrigation Schedule



Como se puede observar en ningún momento  $SMD > RAM$  lo que indica que el cultivo no es sometido a estrés hídrico durante su ciclo vegetativo.