

“IRRIMODEL”

Programación Integral y Gestión del Riego a Través de Internet.

Manual del Usuario. Versión 3.0



Centro de Investigación Regional del Noroeste
Campo Experimental, Valle del Fuerte, Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa, México.
Junio 2017
Folleto técnico No. 45
ISBN: EN PROCESO

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN



30 inifap
ANIVERSARIO
Líder en ciencia y tecnología para el campo mexicano

**SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERÍA,
DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN**

Mtro. José Eduardo Calzada Roviroa
Secretario

Mtro. Jorge Armando Narváez Narváez
Subsecretario de Agricultura

Mtro. Ricardo Aguilar Castillo
Subsecretario de Alimentación y Competitividad

Mtro. Héctor Velasco Monroy
Subsecretario de Desarrollo Rural

Lic. Marcelo López Sánchez
Oficial Mayor

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,
AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

Dr. Luis Fernando Flores Lui
Director General

Dr. Raúl G. Obando Rodríguez
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

MSc. Jorge Fajardo Guel
Coordinador de Planeación y Desarrollo

Mtro. E. Francisco Berterame Barquin
Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL DEL NOROESTE

Mtro. Jorge Alberto Sáenz Félix
Director Regional

Dr. Jesús Arnulfo Márquez Cervantes
Director de Investigación

Dr. Ramón Antonio Armenta Cejudo
Director de Planeación y Desarrollo I

Lic. José Silva Constantino
Director de Administración Regional

M.C. Jesús Pérez Márquez
Director de Coordinación y Vinculación en el estado de Sinaloa

CAMPO EXPERIMENTAL VALLE DEL FUERTE

M.C. Alberto Borbón Gracia
Jefe de Campo

“IRRIMODEL”

**Programación Integral y Gestión del Riego a Través de Internet.
Manual del usuario. Versión 2.0**

**Ernesto Sifuentes Ibarra¹
Jaime Macías Cervantes²**

¹ Investigador en Uso y Manejo del Agua. ² Investigador en Sistemas de Producción. Campo Experimental Valle del Fuerte. Carretera Internacional México-Nogales Km 1609, Juan José Ríos, Sinaloa C.P. 81110



**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,
AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL DEL NOROESTE

CAMPO EXPERIMENTAL VALLE DEL FUERTE

JUAN JOSÉ RÍOS, GUASAVE, SINALOA, MÉXICO

JUNIO DEL 2017

FOLLETO TÉCNICO No. 42

DICIEMBRE DE 2015

Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Progreso 5 Barrio de Santa Catarina,

Delegación Coyoacán

C.P. 04010 México, D. F.

Teléfono (55) 38 71 87 00

ISBN PENDIENTE

Primera Edición 2015

Esta obra se terminó de imprimir en Diciembre de 2015, en los Talleres Gráficos de Editorial Panorama. Blvd. Rosendo G. Castro No. 1024-B Ote. Los Mochis, Sinaloa. Tel. (668) 824-00-30, Fax (668) 824-00-75, C.P. 81240.

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros medios conocidos o por conocer, sin el permiso previo y por escrito del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Contenido

INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVO DEL SISTEMA.....	4
BENEFICIOS.....	4
PROGRAMACIÓN INTEGRAL DEL RIEGO.....	5
PLATAFORMA COMPUTACIONAL	6
LA RED DE ESTACIONES AGROCLIMÁTICAS DEL ESTADO DE SINALOA	7
Funcionamiento	7
Variables climáticas.....	9
DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DE IRRIMODEL 2.0	11
Capacidades.....	11
Usuarios.....	12
Requerimientos de equipo	13
Descargar el programa	13
Instalación del programa.....	13
GLOSARIO DE TÉRMINOS	26
Evapotranspiración	26
Evapotranspiración de referencia (ET _o).....	26
Coeficiente del cultivo (K _c).....	26
Evapotranspiración y su relación con el estrés hídrico de los cultivos	27
Necesidades de agua de los cultivos.....	27
El suelo y su relación con el riego	27
Determinación del momento oportuno del riego	28
Capacidad de campo (θ_{cc}).....	28
Punto de marchitamiento permanente (θ_{pmp})	28
Humedad aprovechable (HA)	29
Programación del riego en tiempo real.....	29
LITERATURA CONSULTADA.....	30

“IRRIMODEL”
Programación Integral y Gestión del Riego a Través de Internet.
Manual del Usuario. Versión 3.0.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha observado alta inestabilidad climática probablemente por efecto del cambio climático, lo que ha provocado alteraciones en los ciclos fenológicos de los cultivos y en los escurrimientos hídricos del sistema de presas, incrementándose la frecuencia de períodos de escasez llegando a niveles inferiores al 50% de su capacidad de conservación. Ante esta situación resulta cada vez menos preciso el manejo tradicional del agua de riego de los cultivos.

A pesar de que en el norte de Sinaloa se han desarrollado modelos de programación integral y pronóstico de riego en tiempo real para cultivos como papa y maíz, ha sido difícil su adopción por parte de módulos de riego, técnicos y productores, debido a que no se había tenido un medio eficaz para ello, sin embargo, con el desarrollo de la tecnología de software e Internet, actualmente es posible poner a disposición de los usuarios estas aplicaciones, ya que cada vez se tiene mayor acceso a dichos medios (Valencia, 2007). A través de la red de Internet es posible tener acceso a datos climáticos en tiempo real de cualquier parte del mundo, acceder a sistemas computacionales e interactuar con varios tipos de usuarios en forma simultánea (Ojeda *et al.*, 2004).

Considerando estos elementos, durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2008-2009, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el Campo Experimental Valle del Fuerte (CEVAF), desarrolló un software denominado **IrriModel versión 1.0** para la programación integral y gestión del riego en tiempo real operado a través de Internet, el cual se validó con los productores de papa del norte de Sinaloa.

Dicho sistema se ha mejorado para la operación del usuario en la **versión IrriModel 3.0** la cual se explicara en el presente manual en forma clara y sencilla, para que un usuario con conocimientos mínimos de computación pueda operarlo.

OBJETIVO DEL SISTEMA

Ofrecer a productores una alternativa científica, confiable y práctica para la programación integral del riego a través de Internet, bajo condiciones normales y variables de clima, que interactúe con el personal técnico de módulos de riego para garantizar una adecuada gestión del recurso agua.

BENEFICIOS

El programa **IrriModel 3.0**, opera bajo una plataforma computacional que ofrece los siguientes beneficios:

- Calcula la demanda hídrica del cultivo aún bajo condiciones variables de clima

- Elabora planes de riego bajo diferentes escenarios climáticos, de disponibilidad de agua y sistemas de riego.
- Pronostica el riego con alto nivel de precisión de acuerdo al desarrollo del cultivo, determinado por la acumulación de grados día (GDA)
- Ayuda a mejorar la administración de las actividades de las unidades de producción
- Envía recomendaciones de riego vía correo electrónico
- Evalúa el manejo del riego de una o un grupo de parcelas al final de un ciclo agrícola
- Consulta de bases de datos climáticos en tiempo real e históricas.

Adicionalmente el programa ofrece la ventaja de incrementar la eficiencia de los riegos y fertilizantes, ya que es posible mantener niveles óptimos de humedad durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo mejorando también el grado de uso de los fertilizantes nitrogenados. Estas condiciones también reducen el riesgo de enfermedades como *Rizoctonia solani* y Roña de la papa, lo cual ayuda a incrementar significativamente la calidad de la producción.

PROGRAMACIÓN INTEGRAL DEL RIEGO

El objetivo de la programación integral del riego es generar automáticamente y en tiempo real programas de riego de acuerdo a la fenología del cultivo y balance hídrico, usando el concepto días grado crecimiento.

Ojeda *et al.* (2006) Generaron en el Valle del Fuerte, para el cultivo de maíz, los parámetros de programación integral: coeficiente de cultivo (K_c), profundidad dinámica de la raíz (P_r) y factor de abatimiento (F), para ello utilizaron una parcela comercial de 40 ha, donde se instaló una estación meteorológica estándar para estimar la evapotranspiración real (E_{Tr}) mediante el método de balance de energía de Bowen (Bowen, 1926). La evapotranspiración de referencia (E_{To}) se calculó con la información de otra estación localizada en la misma parcela, usando la ecuación de Penman-Monteith (Campbell, 1977; Monteith y Unsworth, 1990). Los modelos obtenidos y los valores de sus parámetros se presentan en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1. Parámetros de calendarización usados en programación integral del riego para maíz en el Valle del Fuerte (Ojeda *et al.*, 2006)

Variable	Modelo	Parámetro
Coeficiente de cultivo	$K_c = K_{\max} \operatorname{erfc}\left(\frac{x - x_{K_{\max}}}{\alpha_1}\right)^2$ <p>si $K_c < K_{co}$, entonces $K_c = K_{co}$</p>	$K_{\max} = 1.25$ $x_{K_{\max}} = 0.59$ $\alpha_1 = 0.45$ $K_{co} = 0.2$
Profundidad radical	$P_r = P_{ro} + (P_{r_{\max}} - P_{ro}) \left\{ 1 - \exp\left[-\frac{(GDA_n)^2}{\alpha_2^2}\right] \right\}$	$P_{ro} = 0.07 \text{ m}$ $P_{r_{\max}} = 1.0 \text{ m}$ $\alpha_2 = 527$
Factor de abatimiento	$f_n = \alpha_3 - \alpha_4 K_{cn}$	$\alpha_3 = 0.8$ (gravedad), 0.6 (aspersión) $\alpha_4 = 0.1$

Estos modelos pueden programarse en softwares computacionales, como el **IrriModel 2.0** y entre otras cosas pueden emplearse para: a) Programación integral bajo diferentes sistemas de riego, b) Programación integral bajo condiciones de escasez, c) Programación de la temporada de siembras, y d) Predicción del último riego.

PLATAFORMA COMPUTACIONAL

La plataforma computacional se integró por tres elementos: 1) enlace climático en tiempo real con la red agroclimática del estado de Sinaloa (administrada por el CIAD-Culiacán), 2) un portal electrónico administrado en el CEVAF, y 3) software **IrriModel 2.0**, el cual procesa modelos de programación integral del riego, bases de datos climáticas históricas y en tiempo real, bases de datos de suelos, cultivos, sistemas de riego e imágenes. A continuación se describen cada uno de estos:

Enlace climático en tiempo real. Para obtener los datos climáticos en tiempo real de las estaciones agroclimáticas, se utiliza el software ADDVANTAGE PRO conectado a un dispositivo A840 TELEMETRY GATEWAY que es un Radio Telemetry Units (RTU), donde dichos datos se obtienen por medio de Internet. Para lograr la conexión se configura el servidor ADDVANTAGE PRO, usuario y contraseña para replicar los datos climáticos de las estaciones conectadas al RTU. En la Figura 1 se puede apreciar la pantalla principal de este software.

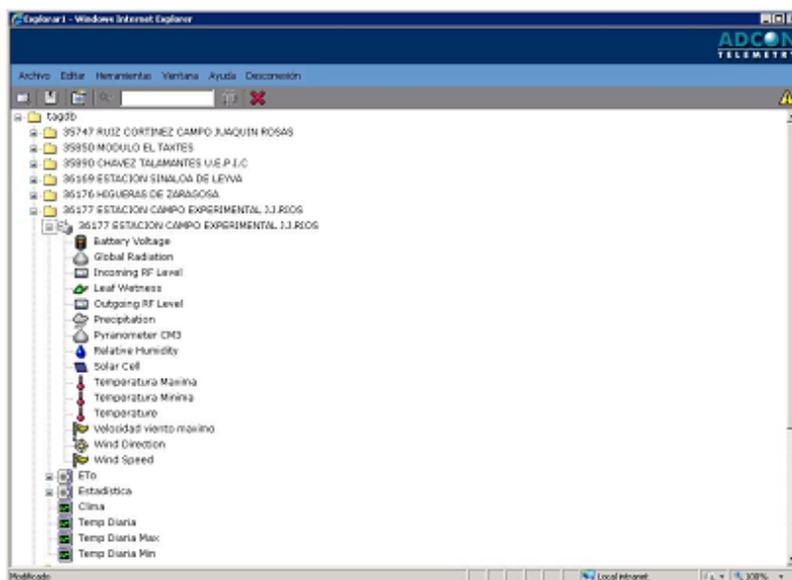


Figura 1. Pantalla principal del software comercial ADDVANTAGE PRO que administra la red climática del estado de Sinaloa

- 1- Portal electrónico: el portal electrónico permite entre otras cosas la descarga del software **IrriModel 2.0** a la computadora del usuario, la elaboración de programas de riego, publicación de proyectos y documentos técnicos en formato pdf, así como la interacción con los usuarios brindándoles asistencia técnica o capacitación.
- 2- Software para programación y gestión del riego en tiempo real (IrriModel 2.0): el software está compuesto de los siguientes catálogos: 1) Módulos, 2) Sistemas de riego, 3) Estaciones meteorológicas, 4) Tanques evaporímetros, 5) Pluviómetros, 6) Suelos, 7) Cultivos, y 8) Parcelas. El sistema fue desarrollado con una arquitectura MULTICAPA usando la tecnología DATASNAP de DELPHI, que permite separar la lógica de negocio en un servidor de aplicaciones y la presentación con los componentes VCL que pueden interconectarse por medio de Internet usando DBEXPRESS.

LA RED DE ESTACIONES AGROCLIMÁTICAS DEL ESTADO DE SINALOA

Funcionamiento

Conocer las condiciones meteorológicas de una región es imprescindible para el manejo adecuado de los cultivos, el uso de estaciones climáticas permite monitorear en tiempo real dichas condiciones en una región específica. Una red de estaciones es un conjunto de instrumentos meteorológicos automatizados, enlazados en forma inalámbrica y administrada a través de un software de procesamiento de datos (**Figura 2**). Las estaciones deben ubicarse estratégicamente en una región para que registren y envíen en forma continua información climática a una base central para su almacenamiento en un servidor (Grageda *et al.*, 2002).

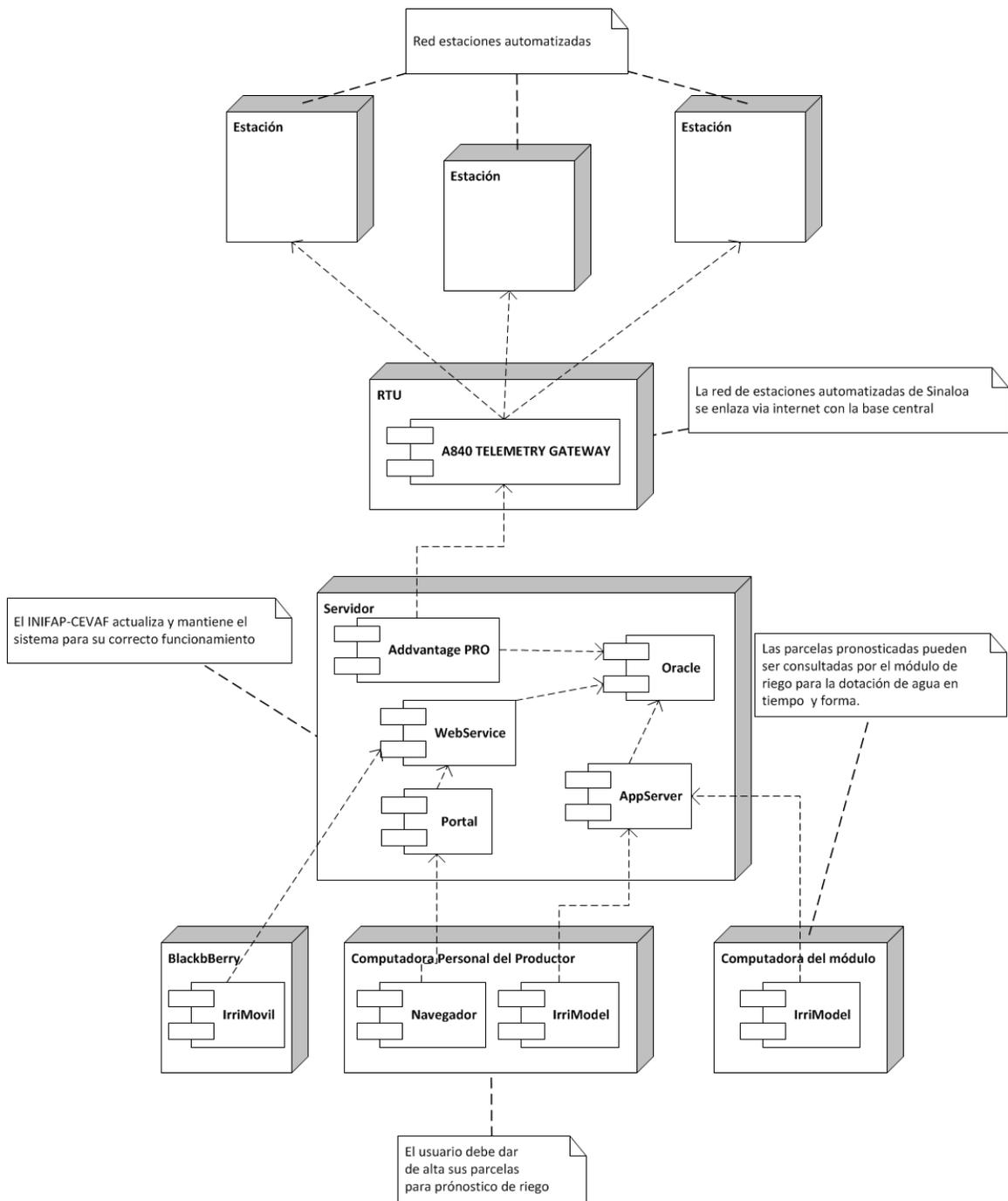


Figura 2. Diagrama de flujo del procesamiento de información climática para calendarización en tiempo real

Actualmente el estado de Sinaloa cuenta con 54 estaciones meteorológicas, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo y ancho de su territorio, la distribución de estas estaciones fue planeada para proporcionar información climática en tiempo real de las diferentes áreas agrícolas del estado, como se puede observar en la **Figura 3**. La información climática registrada se puede consultar a través de la página de Internet: www.cevaf.redirectme.net/userContent/Irrisetup.exe o bien con el programa **IrriModel 2.0** utilizando el menú **consultas**.

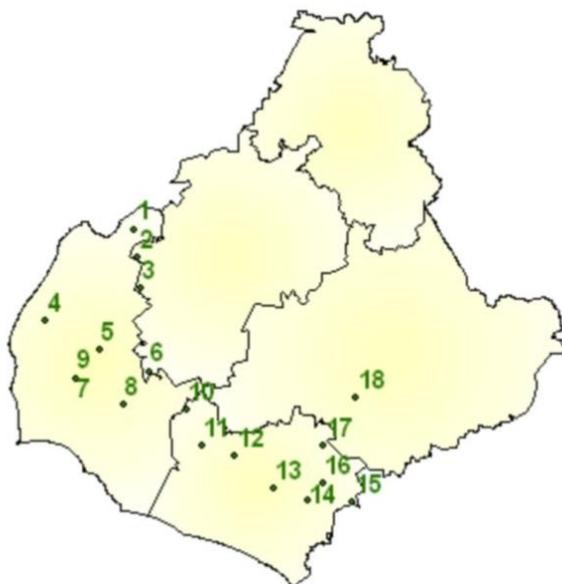


Figura 3. Distribución de las estaciones meteorológicas en el norte del estado de Sinaloa

El **Cuadro 2** presenta la relación de estaciones climáticas automatizadas ubicadas en el norte del estado de Sinaloa, las cuales forman parte de la red estatal y cubren la necesidad de información para la programación del riego de los cultivos de esta zona.

Variables climáticas

Las estaciones agroclimáticas utilizadas en la red del estado de Sinaloa se caracterizan por ser un dispositivo portátil con sensores que responden a estímulos electrónicos, con capacidad de registrar y coleccionar información meteorológica en tiempo real. Las variables climáticas que miden son: Temperatura, Humedad Relativa, Radiación Solar, Velocidad del Viento, Dirección del viento, Precipitación, Temperatura del Suelo, Humedad del Suelo y Follaje Mojado.

Cuentan además con un dispositivo de almacenamiento y transmisión de datos, el cual se compone de un Datalogger o módulo de almacenamiento que permite registrar y guardar datos, y un módem telefónico celular encargado de la transmisión de datos a la base de la red meteorológica.

La **Figura 4** muestra una vista completa de una estación meteorológica automatizada de la red Sinaloa, así como en forma independiente cada uno de los sensores que monitorean las diferentes variables climáticas con sus respectivas unidades.

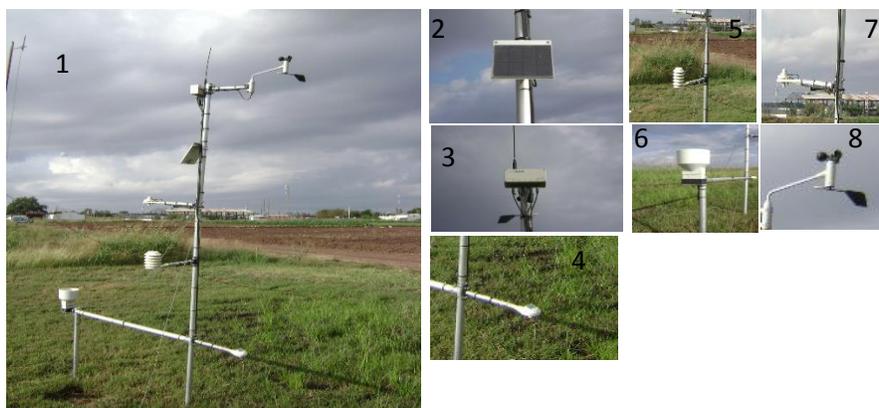


Figura 4. Prototipo de una estación climatológica automatizada y sensores de medición.

	Variable	Sensor	Unidad
1)	Estación meteorológica	----	----
2)	Fuente de poder	Celda solar	----
3)	Transmisor de datos	Datalogger, Modem telefónico	----
4)	Radiación Solar	Piranómetro	W/m ²
5)	Temperatura	Termómetro	°C
6)	Precipitación	Pluviómetro	mm
7)	Humedad relativa	Higrómetro	%
8)	Velocidad y dirección del viento	Anemómetro, Veleta	m/s, grados

Cuadro 2. Estaciones climáticas automatizadas de la red estatal ubicadas en el norte y centro norte de Sinaloa

No.	Nombre	Municipio	Latitud	Longitud	Altitud	Productor	Inicio
1	Chávez Talamante	Ahome	26.27	-109.03	27	UEPIC	15/01/2007
2	El Carrizo	Ahome	26.23	-109.01	25	Agrícola Gotsis	15/01/2007
3	Ejido Chihuahuita	Ahome	26.14	-108.99	38	Agrícola Ruelas	25/11/2006
4	Higuera Zaragoza	Ahome	26.02	-109.32	3	Campo el Cardal	18/12/2006
5	El Guayabo	Ahome	25.94	-109.13	41	Módulo Cahuinahua	20/11/2006
6	Campo el Taxtes	Ahome	25.88	-108.95	19	Módulo Taxtes	25/11/2006
7	Mapacul	Ahome	25.84	-109.21	20	Módulo Pascola	07/12/2006
8	Ejido Benito Juárez	Ahome	25.77	-109.04	38	Modulo Santa Rosa	31/10/2006
9	Poblado Camajoa	El Fuerte	25.84	-109.21	21	Módulo Nohme	25/11/2006
10	Juan José Ríos	Guasave	25.76	-108.81	7	Campo Experimental	19/10/2006
11	Ruiz Cortínez	Guasave	25.65	-108.75	21	JR SPR de RL de CV	19/10/2006
12	Batamote	Guasave	25.62	-108.64	19	Agrícola Bórquez	13/10/2006
13	Campo Díaz Carretera	Guasave	25.52	-108.49	8	Agrícola Yori	18/10/2006
14	El Pitahayal	Guasave	25.49	-108.37	15	Campo Experimental	12/10/2006
15	Las Brisas	Guasave	25.49	-108.22	36	Campo la Curva	14/02/2006
16	Palos Blancos	Guasave	25.55	-108.33	16	Agrícola el encanto	30/11/2006
17	Estación Bamoa	Guasave	25.67	-108.33	38	Agrícola Bon	12/10/2006
18	Campo AARSO	Sin. de Leyva	25.82	-108.22	79	AARSO	14/02/2007

DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DE IRRIMODEL 2.0

Capacidades

Dentro de las principales capacidades que ofrece **IrriModel 2.0** a los usuarios se encuentran las siguientes:

- Enlazarse en tiempo real a redes de estaciones climáticas automatizadas
- Procesar bases de datos de suelo, clima, riego, cultivos y modelos de programación integral del riego.
- Transferir información técnica relacionada con riego y agro meteorología.

- Plan de riegos que despliega todos los riegos recomendados para una siembra específica, calculados con datos climáticos históricos.
- Pronóstico de la fecha del próximo riego de cada parcela, así como los tiempos de cada riego de acuerdo al gasto de riego (litros por segundo) de la parcela, las cuales pueden ser enviadas a los usuarios vía correo electrónico.
- Seguridad, que ayuda a controlar los accesos.
- Reportes como un conjunto de informes con consultas especiales de los datos climáticos que pueden ser exportados a Excel.

Usuarios

El sistema **IrriModel 3.0** está diseñado para tres tipos de usuarios:

1. Administrador del sistema (CEVAF)
2. Productores y técnicos
3. Operadores de módulos de riego

Cada usuario puede tener acceso a una configuración específica del sistema de acuerdo a sus necesidades de operación, la cual es definida en coordinación por el administrador.

Este software fue diseñado para programación y gestión del riego en tiempo real, para su operación se requiere de 3 roles donde a cada uno se le incluyen diversas funciones, las cuales se muestran en la **Figura 5**:

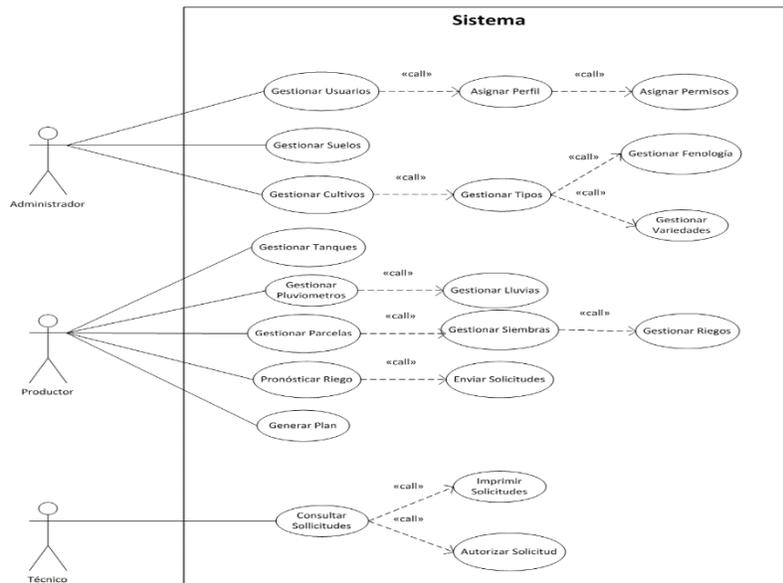


Figura 5. Diagrama de casos de uso del sistema IrriModel 2.0

Requerimientos de equipo

Los requerimientos mínimos para que pueda ejecutarse el programa son los siguientes:

- Procesador Pentium 4® o superior
- 256 MB de memoria RAM
- Windows® XP
- 30 MB de espacio en disco duro para una instalación completa
- Acceso a Internet

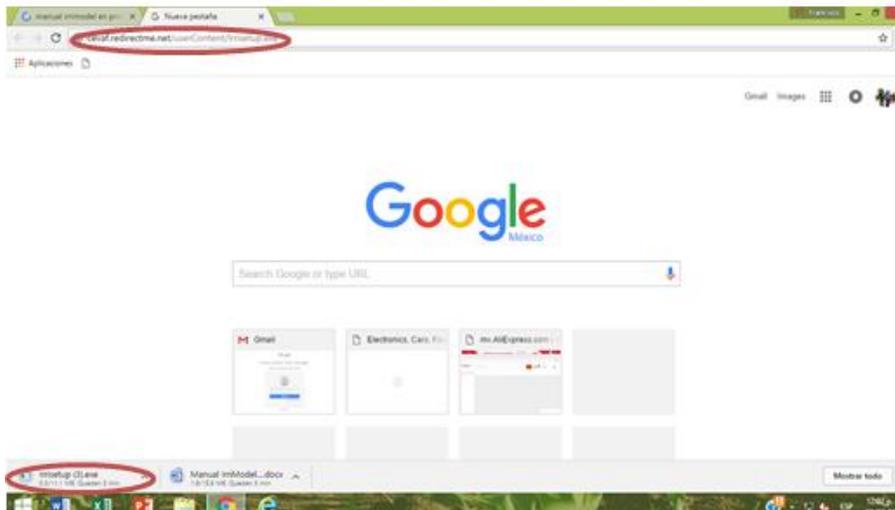
Nota: Para poder acceder al programa **IrriModel 3.0** se requiere que la configuración del teclado de la PC sea español (México).

Descargar el programa

Para descargar el programa solo hay que ingresar el link de descarga directa: <http://cevaf.redirectme.net/IrriModelSetup.exe> en el navegador de internet, la descarga comenzara de inmediato y una vez descargado solo hay que hacer doble clic en el archivo para iniciar la instalación. Otra manera es ingresando en la red social Facebook y buscar el grupo “IrriModel” dentro de esta página se encuentra publicado el link de descarga solo hay que dar clic y comenzara la descarga.

Instalación del programa

Una vez que se descarga el software en la computadora del usuario, se ejecuta el programa de instalación, siguiendo los pasos que se describen en la **Figura 6**.



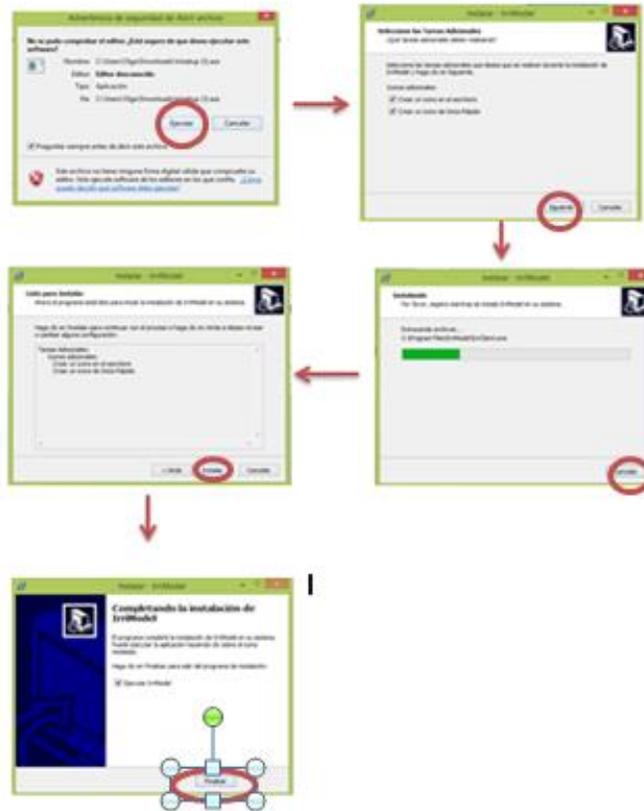


Figura 6. Instalación del programa Irrimodel 3.0

Cuando haya descargado e instalado el programa en la computadora se ingresa con un nombre de usuario y contraseña (**Figura 8**), la cual es proporcionada por los administradores con tan solo hacer la solicitud acudiendo al campo experimental del Valle del Fuerte o por medio de internet a través de “Facebook” entrando al grupo “IRRIMODEL”. Al abrir el programa aparecerá la ventana principal como se muestra en la **Figura 7**.



Figura 7. Ventana principal o interfaz del programa IrriModel 3.0



Figura 8. Requerirá un usuario y contraseña los cuales se los proporcionarán los administradores.

El programa irrimodel cuenta con un menú principal que es parcelas

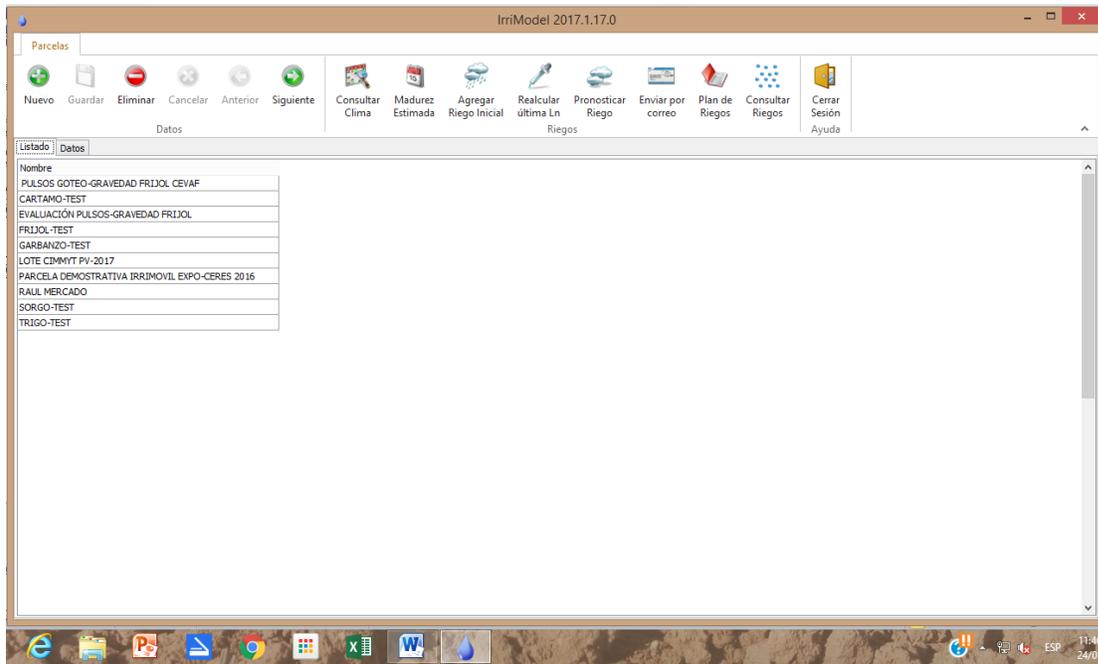


Figura 9. Alta de las parcelas

En el cual te aparece un listado en donde están dadas de alta las parcelas, para dar de alta una parcela se hace clic en Nuevo y se llenan los datos.



Figura 10. Listado de parcelas

Dando clic en el apartado “Datos” se puede conocer la información de cada parcela.

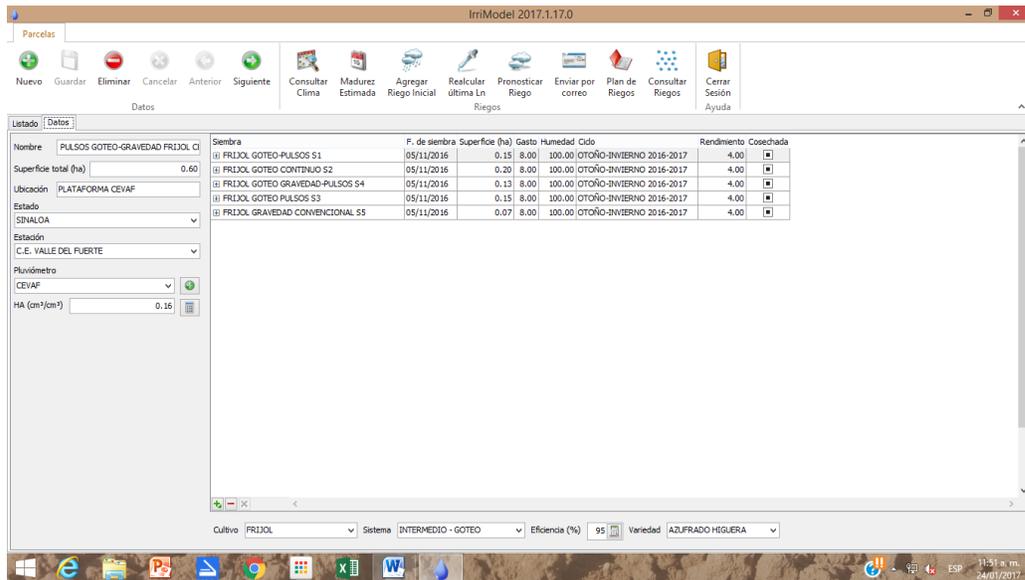


Figura 11. Información de la parcela y siembras

- Nombre: nombre de la parcela.
- Superficie total: se proporciona en hectáreas de acuerdo a las medidas de la parcela.
- Ubicación: el lugar donde se encuentra la parcela.
- Estado: estado donde se encuentra la parcela. Te da un listado para que elijas el estado correspondiente.

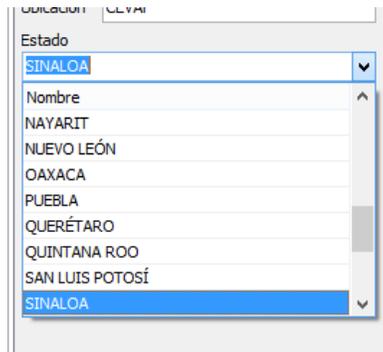


Figura 12. Elección del estado

- Estación: se debe seleccionar la estación meteorológica de la cual se van a obtener los datos, se toma la más cercana al lote. Muestra un listado de las estaciones a elegir.

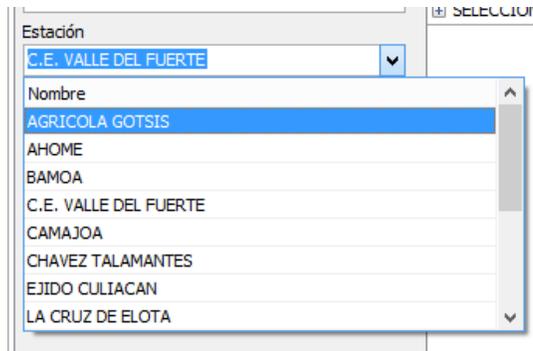


Figura 13. Elección de la estación

- Pluviómetro: proporciona los datos de humedad igualmente eliges el más cercano a la parcela.

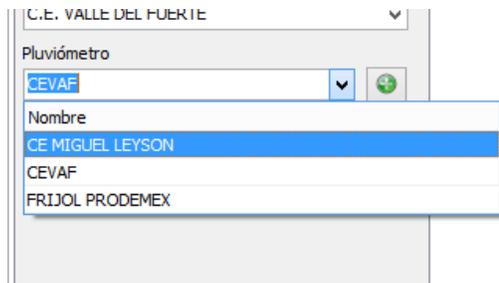


Figura 14. Pluviómetro



Hacia la izquierda este apartado  proporciona el registro de los datos arrojados por el pluviómetro.

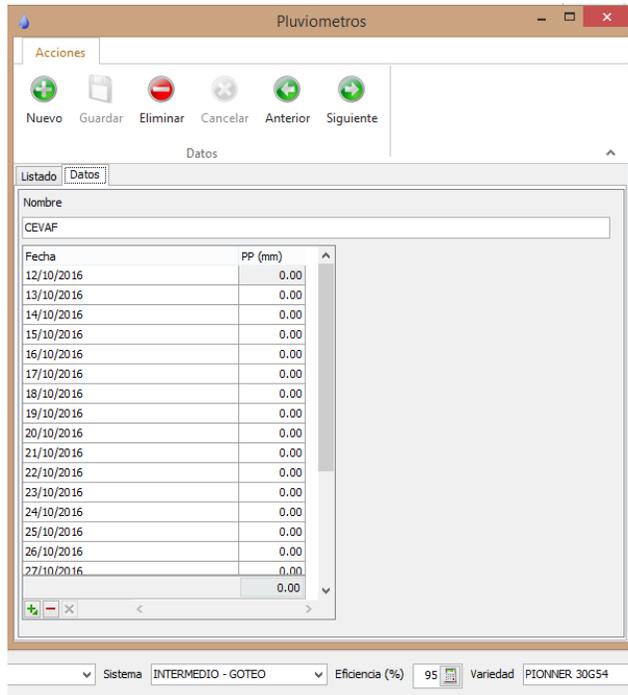


Figura 15. Datos arrojados por el pluviómetro

- HA (cm³/cm³): humedad aprovechable



Figura 16. H.A



Te da opción para seleccionar el tipo de suelo que tienes establecido.

Figura 17. Modificar H.A

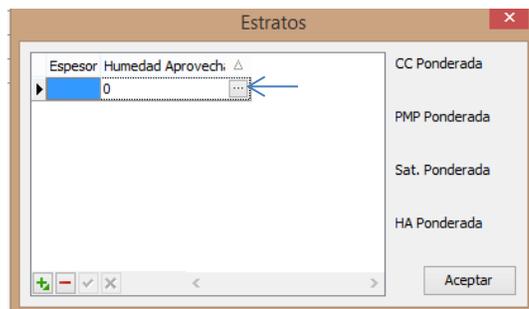


Figura 18. Estratos

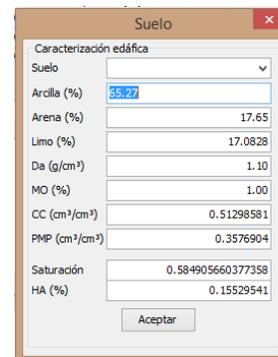


Figura 19. Suelo

El programa cuenta con un submenú llamado riegos, este tiene diferentes herramientas a utilizar



Figura 20. Herramientas IriModel

- Consultar clima

En consulta de clima podemos extraer los datos climáticos a partir de la fecha de siembra hasta la de cosecha. También da la opción de exportar los datos a Excel o enviarlos al correo para respaldar la información.

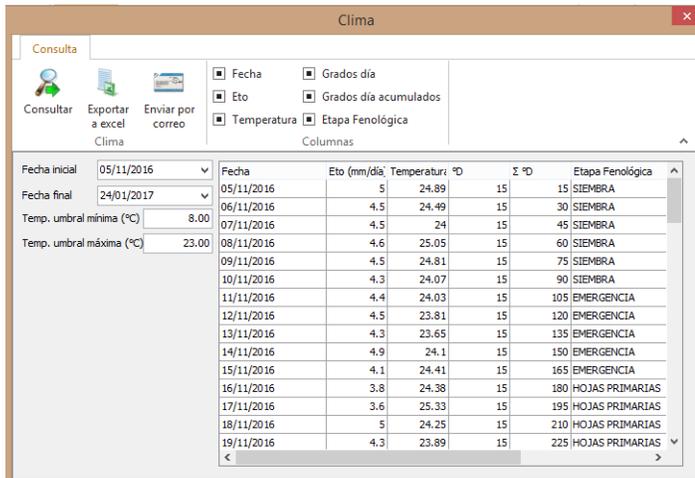
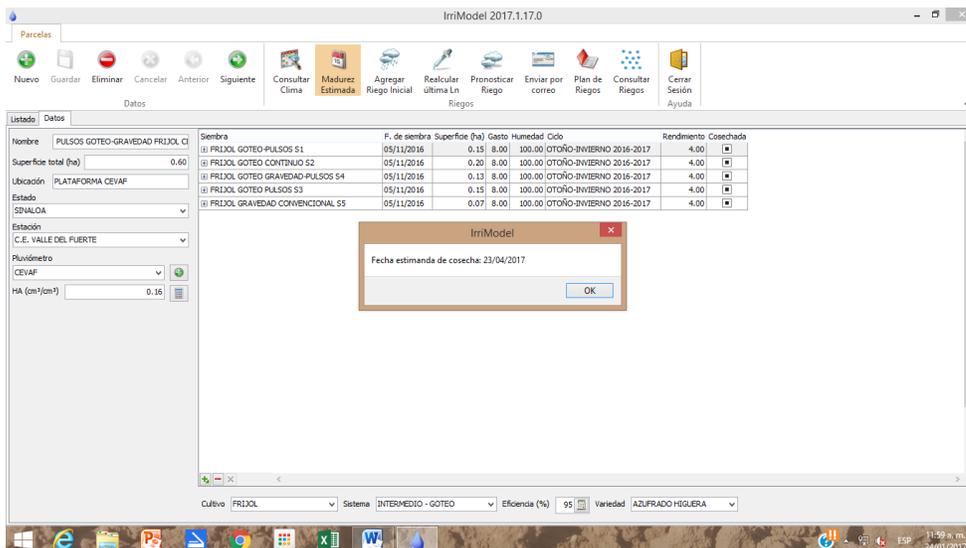


Figura 21. Consulta

- Madurez estimada

Te proporciona una fecha estimada de cosecha **Figura 22. Madurez estimada**



- **Agregar riego inicial**

Te da una lámina estimada de acuerdo al tipo de suelo que tengas registrado, este tiene la opción de modificarse de acuerdo al criterio propio.

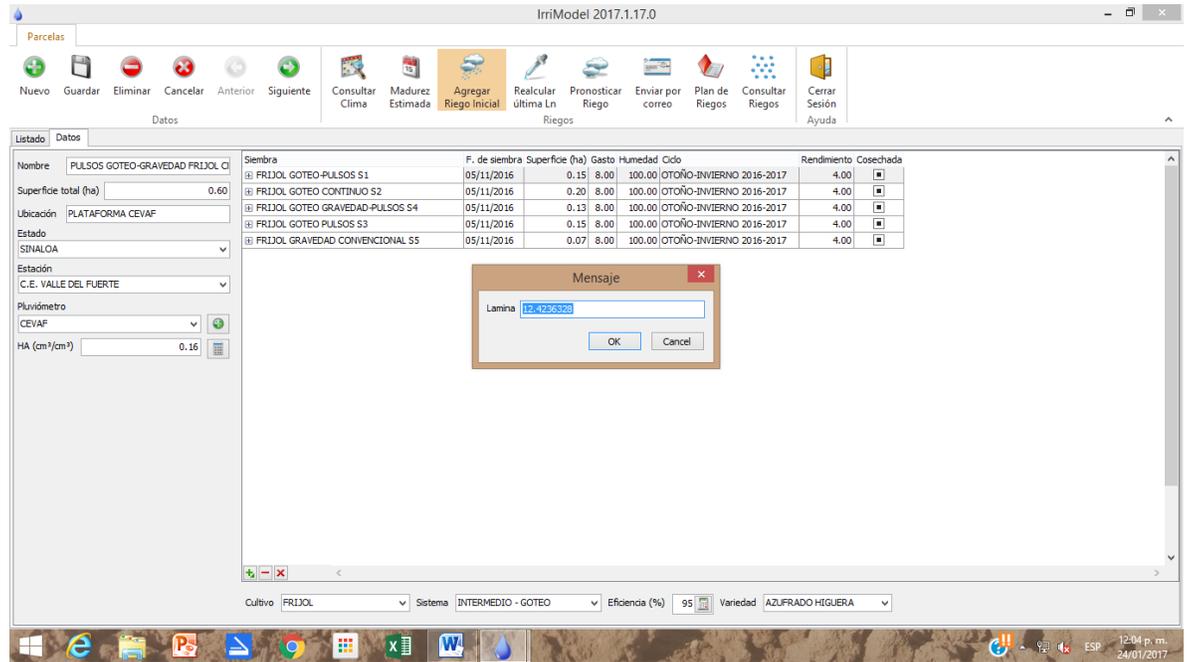


Figura 23. Agregar riego inicial

- **Recalcular ultima LN**

Recalcula los datos proporcionados anteriormente en caso de no haber seguido las indicaciones establecidas de acuerdo a irrimodel.

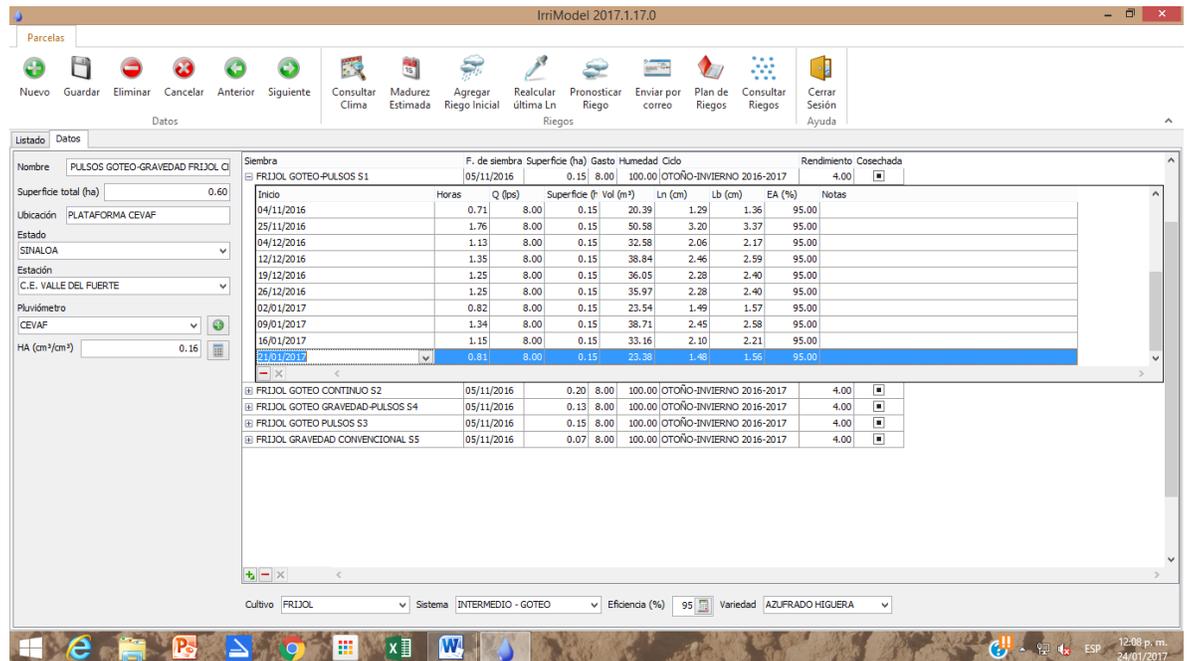


Figura 24. Recalcular ultima LN

- Pronosticar riego
Pronostica la fecha del próximo riego, lamina neta, lamina bruta y volumen.

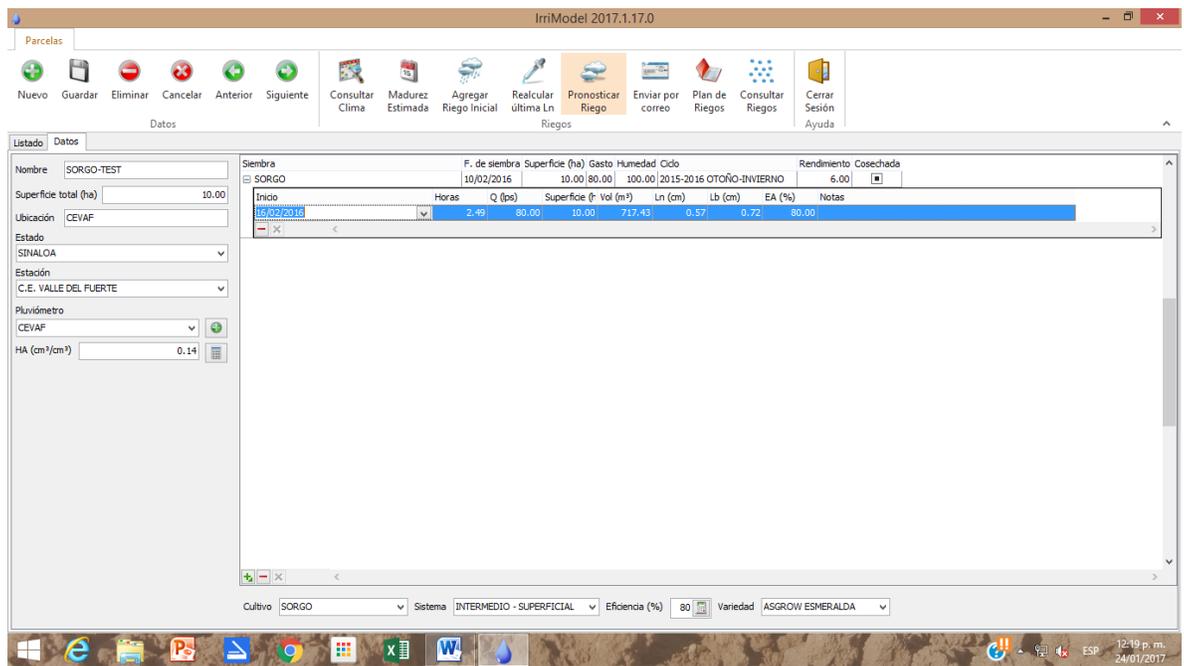


Figura 25. Pronosticar riego

- Enviar por correo

Para esto solo se tienen que agregar los usuarios que contactos que la recibirán, los cuales pueden ser el operador del sistema de riego, el productor o el supervisor de riego del módulo correspondiente

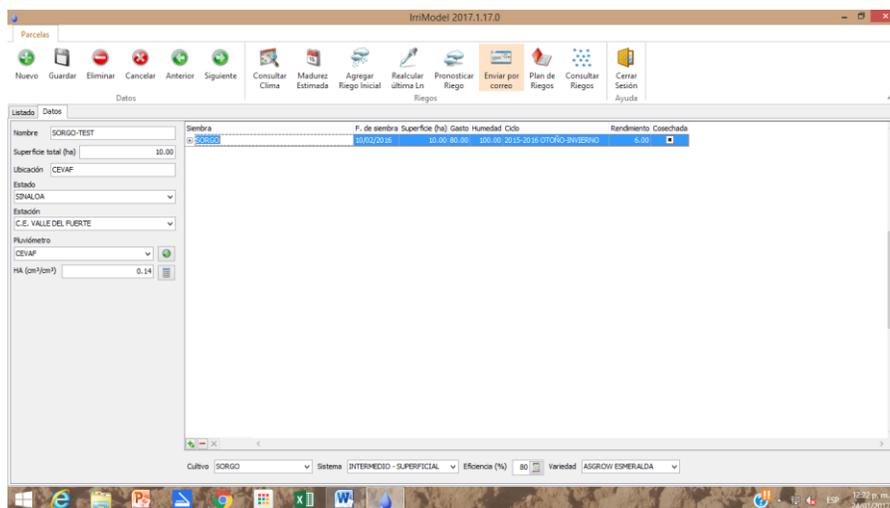


Figura 26. Enviar por correo

- Plan de riegos

Te describe todos los datos de los riegos ya efectuados.

No. de riego	Fecha	Lamina neta (cm)	Lamina bruta (cm)	Tiempo de riego (h)	GDA (°C)	Etapa fenológica
1	16/02/2016	0.57	0.66	2.29	133.35	SIEMBRA
2	20/01/2016	1.26	1.45	5.02	282.44	SEGUNDA HOJA
3	05/02/2016	1.85	2.13	7.39	416.35	TERCERA HOJA
4	19/02/2016	2.52	2.89	10.04	586.84	QUINTA HOJA
5	02/03/2016	3.30	3.80	13.19	729.55	SEPTIMA HOJA
6	13/03/2016	3.62	4.16	14.46	843.60	SEPTIMA HOJA
7	22/03/2016	3.70	4.25	14.76	959.59	SEPTIMA HOJA
8	01/04/2016	4.24	4.87	16.90	1,077.36	FLORACIÓN
9	11/04/2016	4.43	5.09	17.67	1,216.33	GRANO ACUOSO
10	20/04/2016	4.58	5.27	18.29	1,337.85	GRANO ACUOSO
11	01/05/2016	4.92	5.65	19.63	1,488.38	GRANO LECHOSO
12	17/05/2016	5.36	6.16	21.37	1,754.47	GRANO LECHOSO

Figura 27. Calendario preliminar

Dentro de estos se encuentra también submenús en los cuales se realizan diversas operaciones a través de los siguientes submenús:

- Consultar clima
- Madurez estimada
- Agregar riego inicial
- Recalcular ultima LN
- Pronosticar riego
- Enviar por correo
- Plan de riegos
- Consultar riegos

Para agregar siembras dar clic en este icono (añadir)

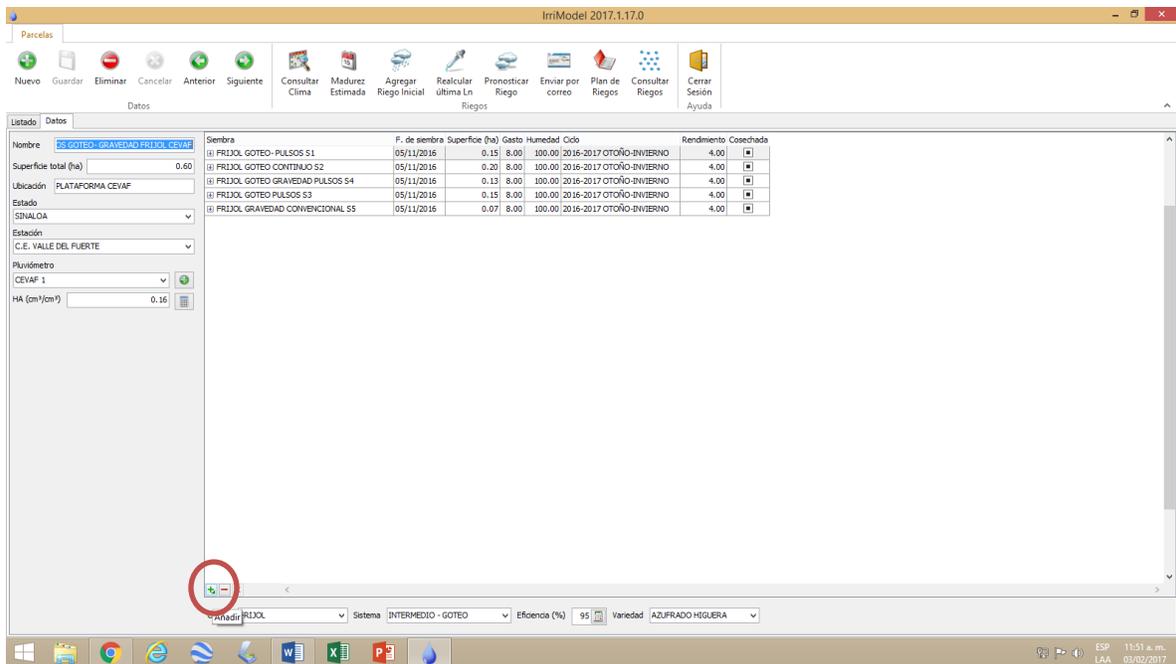


Figura 28. Agregar siembra

Te aparecerá un renglón en el cual llenaras los datos de esa siembra. También se requieren datos en la parte inferior como el tipo de cultivo, la siembra, eficiencia y la variedad.

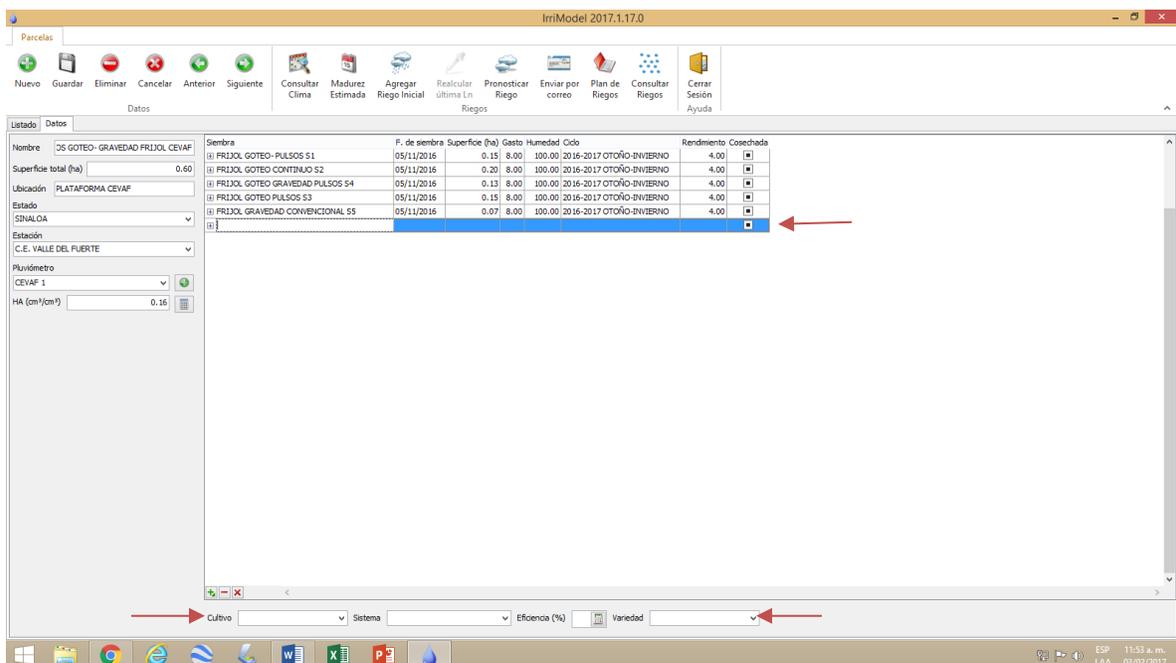


Figura 29. Llenar los datos sobre la siembra

Después de dar de alta la siembra dar clic en el icono +. Primeramente das clic en agregar riego inicial donde te va a aparecer una fecha para que des el riego (se puede modificar a elección) clic en guardar y para seguir agregando riegos clic en pronosticar riego. Cada paso que se va ejecutando se va dando clic en guardar para no perder la información.

Siembra	F. de siembra	Superficie (ha)	Gasto	Humedad	Ciclo	Rendimiento	Cosechada
FRÍJOL GOTEO-PULSOS S1	05/11/2016	0.15	8.00	100.00	2016-2017 OTOÑO-INVIERNO	4.00	<input type="checkbox"/>
FRÍJOL GOTEO CONTINUO S2	05/11/2016	0.20	8.00	100.00	2016-2017 OTOÑO-INVIERNO	4.00	<input type="checkbox"/>
FRÍJOL GOTEO GRAVEDAD PULSOS S4	05/11/2016	0.13	8.00	100.00	2016-2017 OTOÑO-INVIERNO	4.00	<input type="checkbox"/>
FRÍJOL GOTEO PULSOS S3	05/11/2016	0.15	8.00	100.00	2016-2017 OTOÑO-INVIERNO	4.00	<input type="checkbox"/>
FRÍJOL GRAVEDAD CONVENCIONAL S5	05/11/2016	0.07	8.00	100.00	2016-2017 OTOÑO-INVIERNO	4.00	<input type="checkbox"/>

Inicio	Horas	Q (lps)	Superficie (r Vol (m³))	Ln (cm)	Lb (cm)	EA (%)	Notas
05/11/2016	0.03	8.00	0.07	0.80	0.10	0.11	87.00
15/12/2016	2.31	8.00	0.07	66.65	8.28	9.52	87.00
13/01/2017	2.24	8.00	0.07	64.47	8.01	9.21	87.00

Figura 30. Revisar datos sobre la siembra

Figura 31. Agregar riego inicial

Figura 32. Guardar

Después de agregar el primer riego inicial es posible agregar más riegos iniciales en caso de ser necesario, utilizando el mismo procedimiento. Para esto debe guardar los cambios (al seleccionar agregar riego inicial aparecerá un recuadro para guardar cambios dar clic en la opción "Si").

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Evapotranspiración

La evaporación y la transpiración son procesos que ocurren de forma simultánea y no existe una forma sencilla de medirlos por separado. La evaporación de un suelo es determinada por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo, la cual a través del ciclo vegetativo de un cultivo disminuye por el incremento del dosel del mismo (Burman y Pochop, 1994). En las primeras etapas fenológicas de un cultivo las principales pérdidas de agua se deben a la evaporación directa del suelo, pero esta disminuye y empieza a ser pérdida por transpiración de la planta hasta llegar al punto de ser la transpiración el principal proceso. La evapotranspiración (ET) se expresa en milímetros (mm) por unidad de tiempo. La unidad de tiempo puede ser una hora, día, mes, temporada de crecimiento de un cultivo, o bien por periodos anuales.

Evapotranspiración de referencia (ET_o)

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ET_o (Allen *et al.*, 1994). La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas; es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo y de las prácticas de manejo, la ET_o únicamente se ve afectada por los parámetros climáticos, por lo que es un parámetro climático que puede ser calculado por datos meteorológicos. Debido a que hay una abundante disponibilidad de agua en la superficie, los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre ET_o. Este valor junto con el coeficiente de cultivo se utiliza para estimar la evapotranspiración real (ET_r); $ET_r = ET_o \times K_c$.

Coeficiente del cultivo (K_c)

El coeficiente único del cultivo o K_c se determina mediante la relación que se guarda entre la Evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la Evapotranspiración de referencia (ET_o), se utiliza para relacionar la ET_o a ET_c mediante la fórmula $ET_c = K_c \times ET_o$ (Doorenbos y Pruitt, 1977), el K_c es determinado experimentalmente y varía de acuerdo al cultivo y a su etapa de desarrollo, por lo que se puede decir que el K_c expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo.

Evapotranspiración y su relación con el estrés hídrico de los cultivos

La necesidad de agua de los cultivos está representada por la cantidad de agua que transpira y la cantidad de agua que se evapora del suelo, a lo que se le denomina evapotranspiración y se le considera en conjunto, ya que es muy difícil considerarla por separado.

El contenido de agua del suelo y la capacidad del suelo para conducir el agua a las raíces se determinan como tasa de transpiración, al igual que la sobresaturación de agua en el suelo y la salinidad (Allen *et al.*, 2006). La tasa de transpiración también se ve influenciada por las características del cultivo, los aspectos ambientales y prácticas de cultivo; diferentes tipos de plantas pueden tener diversas tasas de transpiración. No sólo el tipo de cultivo, sino también el desarrollo de los cultivos, el medio donde se produce y su manejo, deben considerarse al evaluar la transpiración.

En un estudio realizado en China se encontró que las pérdidas de agua por evapotranspiración (Eto) se incrementan durante el periodo de llenado de grano (Yongqiang *et al.*, 2004), lo cual indica la importancia de un riego oportuno en esta etapa, mientras que para el cultivo de la papa es importante en todo su desarrollo, pero sobre todo en el periodo de inicio de tuberización, ya que la escasez de esta determina la calidad y el rendimiento del cultivo.

Necesidades de agua de los cultivos

La necesidad de agua de los cultivos varía dependiendo de la etapa de desarrollo en que se encuentre la planta, de la misma manera del tipo de suelo en el cual se encuentre establecido y las condiciones climáticas propias de la región (Pierrer, 1985). Por otra parte hay etapas fenológicas en el desarrollo de un cultivo en el cual el déficit de agua podría producir pérdidas de rendimiento, dichas etapas corresponden a una fase de activo crecimiento o división celular en un breve período de tiempo, donde ocurren grandes cambios de tamaño en algún componente de producción de la planta. Así, pequeños déficit hídrico que podrían haber producido una disminución leve en el rendimiento final en otros estados fenológicos del cultivo, causan grandes mermas en la producción si ocurren en algún período crítico al déficit hídrico. Por lo tanto el efecto del déficit hídrico sobre el rendimiento final del cultivo depende directamente de la etapa fenológica en que ocurra dicha escasez de agua. En el **Cuadro 4** se presenta un resumen las etapas críticas en demanda de agua para algunos cultivos de importancia económica según Stewart y Nielsen (1990) y Millar (1993).

El suelo y su relación con el riego

El manejo adecuado del riego es uno de los factores más importantes que afectan el rendimiento de los cultivos tanto en calidad como en cantidad, ya que la mayor parte de su composición es agua. El contenido de humedad del suelo ideal para la mayoría de los cultivos es capacidad de campo (θ_{cc}). Cuando la humedad sobrepasa este nivel, el suelo llega a saturarse y los cultivos se estresan por falta de oxígeno en la zona de raíces, afectando drásticamente el rendimiento. Si la humedad del suelo se agota por debajo de θ_{cc} también se presentan mermas importantes en el rendimiento. El nivel mínimo de la

humedad aprovechable para un cultivo es el punto de marchites permanente (θ_{pmp}) en el cual la mayoría de los cultivos no pueden absorber agua y mueren. Los valores de θ_{cc} y θ_{pmp} son específicos para cada tipo de suelo y también se les conoce como constantes de humedad.

Determinación del momento oportuno del riego

Constantemente los productores agrícolas están preocupados por la necesidad de agua de los cultivos y determinar el momento oportuno de riego, así como planear la frecuencia de aplicación, para determinar cuál es el momento oportuno del riego se hace uso de distintos indicadores, los cuales permiten estimar las condiciones de humedad en el suelo, estos indicadores pueden ser: a) directos como las condiciones del propio suelo, el estado en el cual se encuentre la planta o bien mediante las condiciones climáticas que influyen en el proceso evapotranspirativo de la planta y el suelo; b) métodos indirectos, como el balance de humedad del suelo (Entradas de agua = Salidas de agua).

Capacidad de campo (θ_{cc})

Es un nivel de humedad que se consigue dejando drenar el agua del suelo saturado. Este contenido de agua es la mayor cantidad de agua que el suelo puede llegar a almacenar sin drenar

Punto de marchitamiento permanente (θ_{pmp})

Si el suelo no recibe un nuevo aporte, la evaporación de agua desde el suelo y la extracción por parte de las raíces hacen que el agua almacenada disminuya hasta llegar a este nivel en el que las raíces no pueden extraer más cantidad. Aunque el suelo aún contiene cierta cantidad de agua, las plantas no pueden utilizarla.

Cuadro 3. Períodos críticos de la demanda de agua de acuerdo a Stewart y Nielsen (1990) y Millar (1993)

Cultivo	Período crítico
Cereales	
Arroz	Durante el espigado y floración
Avena	Principalmente en espigado
Cebada	Espigado, floración y grano lechoso
Centeno	Floración y grano lechoso
Maíz	Floración y grano lechoso
Trigo	Espigado, floración y grano lechoso
Leguminosa	
Chíncharo	Durante la floración y formación de vainas
Frijol	Durante la floración, formación de vainas y vainas verdes
Haba	Principalmente en la Floración
Soya	Botón floral floración y formación de vainas
Hortalizas	
Cebolla (Bulbos)	Durante formación de bulbos
Coliflor	Riegos frecuentes desde siembra a cosecha, especialmente en formación de inflorescencia
Espárrago	Comienzo de emisión de follaje
Lechuga	Riego en el periodo vegetativo principalmente en formación de

	cabeza
Melón	Floración y desarrollo del fruto
Papas	Desde floración a cosecha especialmente en inicio de formación de tubérculos
Pepino	Desde floración a cosecha
Pimentón	Desde floración a cosecha
Rabanito	Formación y crecimiento de raíz
Repollo	Periodo vegetativo principalmente en formación de cabeza
Tomate	Floración a crecimiento de frutos
Zanahoria	Alargamiento de raíz
Frutales y otros	
Cítricos	Floración y formación de frutos
Cerezos y Duraznos	Periodo de crecimiento de fruto antes de madurez
Vid	Comienzo de crecimiento hasta pinta del fruto
Alfalfa	Inmediatamente después de un corte
Remolacha (Bulbo)	Aparentemente durante los dos primeros meses después de emergencia
Remolacha (Semilla)	Durante floración y desarrollo de semilla

Humedad aprovechable (HA)

Las plantas pueden extraer el agua del suelo desde la Capacidad de Campo (θ_{cc}) hasta el Punto de Marchitamiento Permanente (θ_{pmp}), que es lo que se conoce como Humedad Aprovechable (HA). En la práctica, la mayor cantidad de agua que el suelo puede almacenar y poner a disposición de las plantas es en torno al 70% representada por la HA.

Programación del riego en tiempo real

Consiste en lograr reponer al suelo el agua requerida en la cantidad y momento adecuado para un desarrollo óptimo de la planta. La etapa predicativa de la programación de riego tiene por finalidad establecer una prioridad en los tiempos y frecuencias de riego que permitan obtener un adecuado desarrollo de los cultivos. Para que la programación pueda funcionar adecuadamente es necesario considerar una serie de factores como:

- Condiciones del clima, que determinan la demanda evaporativa de la atmósfera o la evapotranspiración de referencia (potencial).
- Características propias del cultivo, como son estado de desarrollo, período fenológico, distribución del sistema radicular entre otros.
- Características propias del suelo, como capacidad de retención de humedad, aireación, profundidad y variabilidad espacial, entre otras.

LITERATURA CONSULTADA

- Allen, R., S. Pereira, D. Raes y M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO. Roma.
- Allen, R. G., Smith, M., Perrier, A., and Pereira, L. S. 1994. An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*. 43(2): 1-34.
- Allen R. G., L. Pereira, D. Raes and M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. (en línea <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/x0490s/x0490s00.pdf>. consultado en septiembre del 2008, verificado en enero del 2009).
- Álvarez E. V. 1992. Compendio de apuntes de meteorología. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. pp. 89-96.
- Bowen, I.S. 1926. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physics Review*, 27, 779-787.
- Burman, R. y Pochop, L.O. 1994. Evaporation, Evapotranspiration and Climatic Data. Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Campbell, G. S. 1977. An Introduction to Environmental Biophysics. Springer Verlag. New York, USA. 159 p.
- Doorenbos J., W. O. Pruitt. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. FAO Riego y Drenaje, nº24.
- Grageda, G. J., A. G. Osorio, P. R. Sabori y A. J. S. Ramírez. 2002. Usos de estaciones meteorológicas automatizadas en la agricultura. SAGARPA-INIFAP-CIRNO-CECH. Folleto Técnico. Núm. 24. pp. 28.
- Millar, Agustín A. 1993. Manejo de Agua y Producción Agrícola. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Oficina en Chile. 556p.
- Monteith, J. L., and M. H. Unsworth. 1990. Principles of Environmental Physics. 2nd. Ed. Edward Arnold. London, England. 289 p.
- OEIDRUS. 2010. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable del Estado de Sinaloa. <http://www.oeidrus-sinaloa.gob.mx>. Consultado en línea el 23 de septiembre de 2010.
- Ojeda, B. W., Sifuentes, I. E., Slack, D. C., y Carrillo, M. 2004. Generalization of irrigation scheduling parameters using the growing degree days concept: application to a potato crop. In: *Irrigation and Drainage*. 53:521-261. USA.
- Ojeda, B. W., Sifuentes, I. E. y Unland, W. H. 2006. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa. *Agrociencias* 40: 13-25. Montecillos, Edo. México.

Perrier, A. 1985. Updated evapotranspiration and crop water requirement definitions. In: Perrier, A. y Riou, C. (eds) Crop Water Requirements (ICID Int. Conf., Paris, Sept. 1984). INRA, Paris: 885-887.

Stewart, B. A. y Nielsen, D. R. 1990. Irrigation of Agricultural Crops. ASA, CSSA, SSSA Publishers. Monograph N°30. Madison, Wisconsin, USA. 2118p.

Valencia, V., N., E. 2007. Reporte Final de Residencia Profesional. Jiutepec, Morelos, México. 143pp.

www.INEGI.gob.mx. 2010/Geografía.

Yongqiang Z., Y. Qiang, L. Changming, J. Jiang and Zang Xiyong. 2004. Estimation of Winter Wheat Evapotranspiration under Water Stress with Two Semiempirical Approaches. *Agronomy Journal*. 96:159–168.

Esta publicación se terminó de imprimir en Diciembre de 2015, en los Talleres Gráficos de Editorial Panorama, Blvd. Rosendo G. Castro No. 1024-B Ote. Los Mochis, Sinaloa. Tel. (668) 824-00-30, Fax (668) 824-00-75, C.P. 81240. Su tiraje fue de 1000 ejemplares.

La serie de Publicaciones Especiales tiene el objetivo de presentar información sobre los cultivos en los cuales el INIFAP-CIRNO-CEVAF, realiza investigación, esto, con el fin de actualizar a los agentes de cambio y líderes de opinión de modo que puedan prestar una asistencia técnica actualizada y adecuada a las necesidades de los productores agrícolas del estado de Sinaloa.

El contenido de esta publicación sólo podrá ser reproducida total o parcialmente, con fines específicos de divulgación, siempre que se dé el crédito correspondiente al autor (es), al Campo Experimental Valle del Fuerte, al CIRNO, y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Para cualquier información relativa a esta publicación favor de dirigirse a:

CAMPO EXPERIMENTAL VALLE DEL FUERTE

SAGARPA-INIFAP-CIRNO

Km. 1609 Carretera Internacional México-Nogales

Apartado postal 342, Los Mochis, Sinaloa, México.

Teléfonos (01 55) 38 71 87 00 Ext: 81512 y 81503

Correo electrónico: sifuentes.ernesto@infap.gpb.mx

En el proceso editorial de la presente publicación participaron las siguientes personas:

COMITÉ EDITORIAL DEL CEVAF	Coordinador de la publicación
M.C. Alberto Borbón Gracia Presidente	M.C. Ernesto Sifuentes Ibarra CEVAF
M.C. Jaime Macías Cervantes Secretario	
Franklin G. Rodríguez Cota Dr. Edgardo Cortez Mondaca M.C. Ernesto Sifuentes Ibarra Vocales	Acabado y diseño. Nolan Paul Velderrain Parra Daniel A. Salinas Verduzco

Este programa es de carácter público, no es patrocinado ni promovido por partido político alguno y sus recursos provienen de los impuestos que pagan todos los contribuyentes. Está prohibido el uso de este programa con fines políticos, electorales, de lucro y otros distintos a los establecidos. Quien haga uso indebido de los recursos de este programa deberá ser denunciado y sancionado de acuerdo con la ley aplicable y ante la autoridad competente.