

**FUNDACIÓN
PRODUCE**
Sinaloa A.C.
ENLACE, INNOVACIÓN Y PROGRESO



GOBIERNO
DEL ESTADO
DE SINALOA

IrriModel: programación integral y gestión del riego a través de Internet



Ernesto Sifuentes Ibarra
José G. Quintana Quiroz
Jaime Macías Cervantes
Víctor M. González calderón



RESULTADOS DE PROYECTOS

IrriModel: programación integral y gestión del riego a través de Internet

Ernesto Sifuentes Ibarra*
José G. Quintana Quiroz*
Jaime Macías Cervantes*
Víctor M. González Calderón*

* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noroeste y Campo Experimental Valle del Fuerte.

ÍNDICE

Introducción	7
Objetivo del sistema	8
Beneficios	8
Descripción agroclimática del norte de Sinaloa	8
Programación integral del riego	12
Plataforma computacional	13
La red de estaciones agroclimáticas de Sinaloa	14
El entorno del portal electrónico	18
Descripción y operación de IrriModel 2010	20
Ejemplo de aplicación	38
Glosario de términos	45
Bibliografía	43

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha observado alta variabilidad climática, probablemente por efecto del cambio climático y el fenómeno de El Niño¹, lo que ha provocado alteraciones en los ciclos fenológicos² de los cultivos y en los escurrimientos hídricos del sistema de presas, incrementándose la frecuencia de periodos 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. A través de Internet es posible tener acceso a datos climáticos en tiempo real de cualquier parte del mundo, a sistemas computacionales, e interactuar con varios tipos de usuarios en forma simultánea.

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 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.

En el presente manual se presenta en forma clara y sencilla la operación del *software* (programa computacional) IrriModel 2010 para que un usuario con conocimientos mínimos de computación pueda operarlo.

1 El Niño es un fenómeno que produce un calentamiento anormal en la superficie del mar en el Océano Pacífico, se presenta usualmente entre mayo (año en que se forma) y marzo o abril (del año siguiente). Si es fuerte, en Sinaloa puede propiciar lluvias por arriba de lo normal entre noviembre y febrero, y también puede ocasionar sequía durante el verano. Después de El Niño, cuando las temperaturas se normalizan, usualmente aparece el fenómeno de La Niña, el cual consiste en un enfriamiento anormal de la superficie marítima. El impacto de La Niña en Sinaloa consiste en que inhibe las lluvias de otoño-invierno (noviembre-febrero), y acondiciona el invierno para que sea más frío. Otro efecto es que provoca que se formen menos ciclones en el Pacífico, disminuyendo la precipitación.

2 Fenología o etapa fenológica: cambio de apariencia que sufren las plantas durante las estaciones. Está determinado por los factores físicos del ambiente y por mecanismos de regulación internos de las plantas. Por ejemplo, la producción de hojas jóvenes, la floración, la fructificación y la caída de hojas.

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 2010 opera bajo una plataforma computacional que ofrece los siguientes beneficios:

- Calcula la demanda hídrica del cultivo aun 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.
 - Genera y envía solicitudes de riego al módulo que le presta el servicio de riego.
 - 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.

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 *Rhizoctonia solani* y roña de la papa, lo cual ayuda a incrementar significativamente la calidad de la producción.

DESCRIPCIÓN AGROCLIMÁTICA DEL NORTE DE SINALOA

El norte del estado cuenta con condiciones favorables para el desarrollo de actividades agropecuarias, los ambientes climáticos permiten el adecuado desarrollo de cultivos, lo que da sustento a gran parte de la economía estatal. Así como gracias a su sistema de presas, construidas sobre las cuencas de los ríos Fuerte y Sinaloa y su red de distribución de canales, que permiten regar los valles de Guasave, El Fuerte, El Carrizo y la región Fuerte-Mayo en el sur de Sonora. La mayor parte de la superficie sembrada en esta región se desarrolla bajo condiciones de riego (82.6 %) y la infraestructura en vías de comunicaciones terrestres y

marítimas permite el transporte de las cosechas para su comercialización (Figura 1).

Características climáticas del norte del estado

El norte de Sinaloa cuenta con diversos ecosistemas, debido a las características naturales de la región es posible encontrar costa, valles y montañas, que generan nueve unidades climáticas de acuerdo a la clasificación presentada en la Figura 2.

El clima BW(h)hw, corresponde a un clima desértico muy cálido con

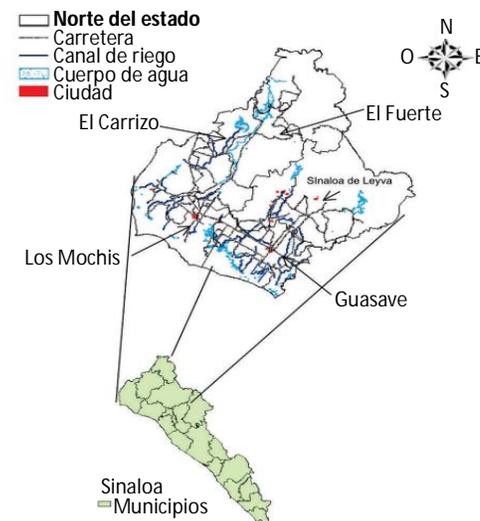


Figura 1. Ubicación geográfica de la región norte del estado de Sinaloa.

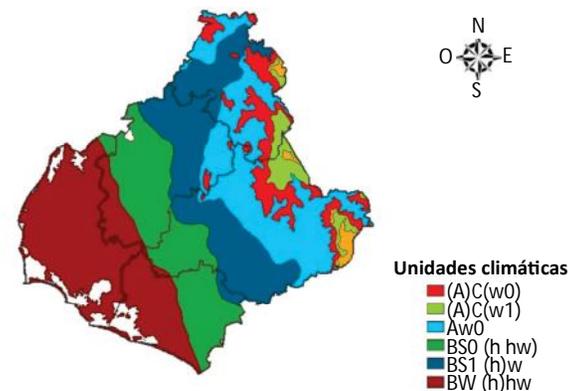


Figura 2. Unidades climáticas del norte de Sinaloa (INEGI, 2010).

lluvias de verano y un porcentaje de lluvias invernales entre 5 y 10.2 % del total anual, una temperatura media anual mayor a 22 °C, una temperatura del mes más frío inferior a 18 grados centígrados (°C), siendo influenciada por los vientos provenientes del Golfo de Baja California: este tipo de clima se presenta en la región noroeste del estado de Sinaloa, influyendo en un gran espacio territorial de los municipios de Ahome y Guasave y, en menor superficie, a los municipios de El Fuerte y Sinaloa.

El clima BS0(h)hw está catalogado como clima seco muy cálido con una temperatura media anual mayor a 22 °C, lluvias en verano y un porcentaje de lluvias invernales respecto al total anual entre 5 y 10.2 %. Este clima es característico de los municipios de El Fuerte, Sinaloa y Guasave, dentro de la zona serrana del norte del estado.

Dentro de la zona serrana, en los municipios de El Fuerte, Sinaloa y Choix se tiene un clima BS1(h)w, el cual es seco-semiseco, muy cálido, con temperatura media anual de 22 °C y temperatura en el mes más frío inferior a los 18 °C.

El clima Aw0 que comprende la mayor parte de la serranía de Sinaloa y Choix, se clasifica como cálido, subhúmedo, con una precipitación del mes más seco menor a 60 milímetros (mm) y una temperatura media anual superior a los 22 °C.

En los límites con Chihuahua se distingue un clima (A)C(w0), semicálido, subhúmedo, con temperatura media anual superior a los 18 °C y una precipitación en el mes más seco inferior a los 40 mm.

En los municipios de Choix y Sinaloa se tiene un clima (A)C(w1), catalogado como clima templado, semicálido, subhúmedo, con temperatura media anual superior a 18 °C y una precipitación, en el mes más seco, inferior a 40 mm.

Ocupando una pequeña extensión territorial en los municipios de Sinaloa y Choix se tiene un clima del tipo C(w2), el cual se describe como templado, subhúmedo, con temperatura media anual que oscilan entre 12 y 18 °C.

Estas unidades climáticas, se pueden agrupar en tres grupos climáticos: templado, cálido y seco; este último ubicado en altitudes medias y bajas, mientras que los otros dos en las partes serranas como se muestra en la Figura 3.

En la Figura 4 Se puede observar que la mayor parte de los suelos agrícolas bajo condiciones de riego, son suelos de textura fina constituidos por arcillas (franco-arcillosos, franco-arenoso-arcillosos, franco-limoso-arcilloso, arcilloso-arenoso, arcilloso-limoso, arcilloso) y que la mayor superficie se encuentra principalmente en los municipios de Guasave, Ahome y —en menor proporción— en los municipios de Sinaloa y en

el centro del municipio de El Fuerte. Mientras que los de textura media (franco arenoso, franco, franco limoso y limoso) se localizan en el área agrícola de riego del municipio de Ahome.

Como se mencionó al inicio de este apartado, la mayor parte de la superficie de siembra (82.6 % del total) se establece con riego (Figura 5), cuya fuente principal de agua proviene de las presas del norte del estado, mientras que los cultivos de temporal solamente ocupan el 17.4 % del total de la superficie sembrada.

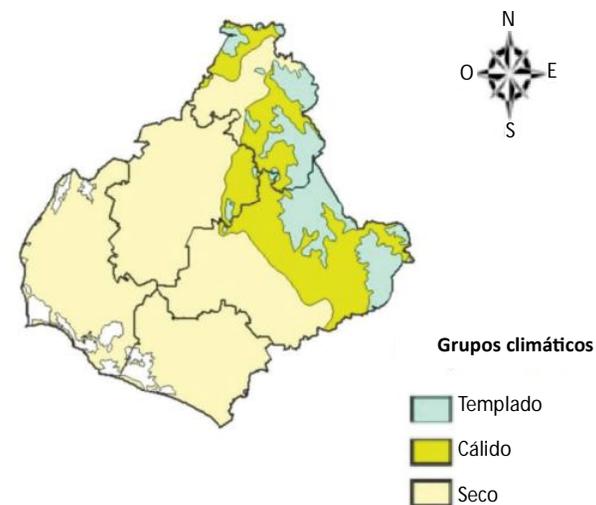


Figura 3 . Grupos climáticos de la región norte del estado de Sinaloa (INEGI, 2010).

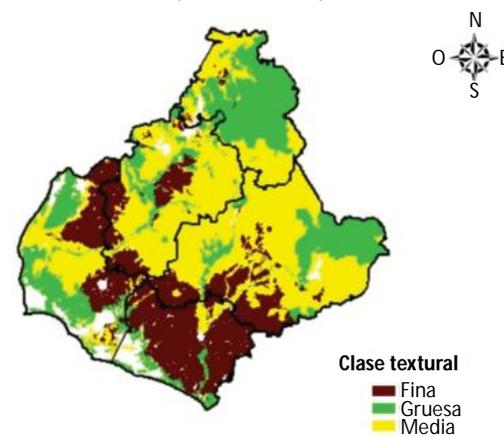


Figura 4. Clasificación textural de los suelos del norte de Sinaloa (INEGI, 2010).

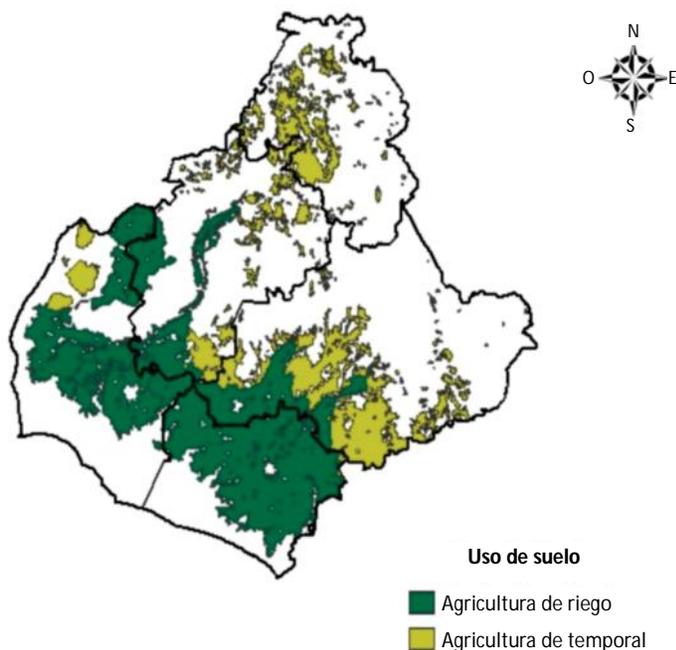


Figura 5. Ubicación de la agricultura de riego y temporal en el norte de Sinaloa (INEGI, 2010).

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 y colaboradores (2006) generaron en el valle del Fuerte los parámetros de programación integral para el cultivo de maíz: 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 hectáreas (ha), donde se instaló una estación meteorológica estándar para estimar la evapotranspiración real (E_{Tr}) mediante el método de balance de energía de Bowen. La evapotranspiración³ de referencia (E_{To}) se calculó con la información de otra estación localizada en la misma parcela, usando la ecuación de Penman-Monteith. Los modelos obtenidos y los valores de sus parámetros se presentan en el Cuadro 1.

³ Evapotranspiración: suma de las cantidades de vapor de agua evaporadas del suelo y de las plantas.

Cuadro 1. Parámetros de calendarización usados en programación integral del riego para maíz en el valle del Fuerte.

Variable	Modelo	Parámetro
Coeficiente de cultivo	$K_c = K_{max} \operatorname{erfc}\left(\frac{x - x_{K_{max}}}{\alpha_1}\right)^2$ $\dot{s} \quad K < K_o, \text{ entonces } K_c = K_o$	$K_{max} = 1.25$ $XK_{max} = 0.59$ $\alpha_1 = 0.45$ $Kc_o = 0.2$
Profundidad radical	$P_r = P_o + (P_{r,max} - P_o) \left\{ 1 - \exp\left[-\frac{(GDA_n)^2}{\alpha_2^2}\right] \right\}$	$P_r_o = 0.07 \text{ m}$ $P_{r,max} = 1.0 \text{ m}$ $\alpha_2 = 527$
Factor de abatimiento	$f_n = \alpha_3 - \alpha_4 K_n$	$\alpha_3 = 0.8$ (gravedad), 0.6 (aspersión) $\alpha_4 = 0.1$

Estos modelos pueden establecerse en programas computacionales, como el IrriModel, y entre otras cosas pueden emplearse para:

- Programación integral bajo diferentes sistemas de riego.
- Programación integral bajo condiciones de escasez.
- Programación de la temporada de siembras.
- Predicción del último riego.

PLATAFORMA COMPUTACIONAL

La plataforma computacional que soporta la operación del *software* está compuesta por información climática en tiempo real proveniente de la red agroclimática del estado de Sinaloa, un portal electrónico administrado en el Campo Experimental Valle del Fuerte, modelos de programación integral del riego, bases de datos climáticas históricas y en tiempo real, bases de datos de suelos, cultivos y sistemas de riego.

Los elementos de la plataforma se describen a continuación:

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.

Portal electrónico

El portal electrónico permite entre otras cosas la descarga del *software* IrriModel 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.

Software para programación y gestión del riego en tiempo real (IrriModel)

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
- 8) Parcelas

El sistema fue desarrollado con una arquitectura multicapa⁴ 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 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 6).

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.

Actualmente, el estado de Sinaloa cuenta con 54 estaciones meteorológicas, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo y ancho

⁴ Sistemas multicapa: son aquellos en los que el servidor se descompone en diferentes programas que pueden ser ejecutados por diferentes computadoras aumentando así el grado de distribución del sistema.

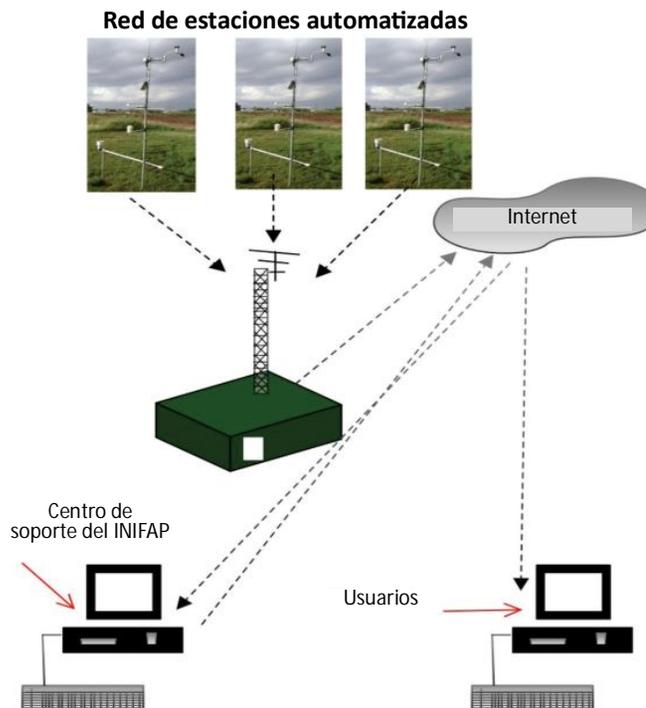


Figura 6. Diagrama de flujo del procesamiento de información climática para calendarización en tiempo real.

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 7. La información climática registrada se puede consultar a través de la página de Internet: <http://www.ciad.edu.mx/clima/pc.asp>, o bien con el programa IrriModel utilizando el menú *Consultas*.

El Cuadro 2 presenta la relación de estaciones climáticas automatizadas ubicadas en el norte 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 se caracterizan por ser un dispositivo portátil, con sensores que responden a estímulos electrónicos y con capacidad de registrar y coleccionar información meteorológica en tiempo real.

Las variables climáticas que miden son: temperatura, humedad relativa,

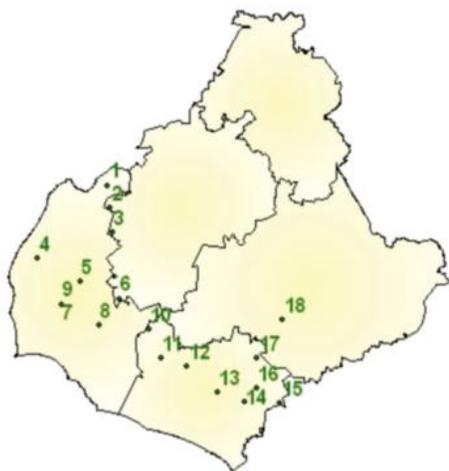


Figura 7. Distribución de las estaciones meteorológicas en el norte del estado de Sinaloa.

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* (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 8 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.



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

Número	Nombre	Municipio	Latitud	Longitud	Altitud	Productor	Inicio
1	Chávez Talamantes	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 de 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	7/12/2006
8	Ejido Benito Juárez	Ahome	25.77	-109.04	38	Módulo 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 Borquez	13/10/2006
13	Campo Diaz 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 Bamao	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

Variable	Sensor	Unidad
Estación meteorológica	----	----
Fuente de poder	Celda solar	----
Transmisor de datos	Datalogger, Módem telefónico	----
Radiación solar	Piranómetro	W/m ²
Temperatura	Termómetro	°C
Precipitación	Pluviómetro	mm
Humedad relativa	Higrómetro	%
Velocidad y dirección del viento	Anemómetro, Veleta	m/s, grados

Figura 8. Prototipo de una estación climatológica automatizada y sensores de medición.

EL ENTORNO DEL PORTAL ELECTRÓNICO

El portal electrónico cuenta con un entorno amigable diseñado para que los usuarios una vez que accedan a la página puedan localizar de forma sencilla las diferentes opciones. Como se mencionó anteriormente, el usuario debe contar previamente con una cuenta de usuario y contraseña, acceder a la dirección de Internet: <http://cevaf.org.mx>, dentro de esta se dirigirá al menú principal que despliega al margen izquierdo las siguientes opciones:

- Inicio
- Directorio
- Contacto
- Mapa del sitio

Menú principal

El menú principal constan de las opciones *Inicio*, *Directorio*, *Contacto* y *Mapa del sitio*; así como opciones más específicas de proyectos, donde están los investigadores y el personal.

INICIO

Este menú permite regresar a la página de inicio.

DIRECTORIO

Dentro de este menú se encuentra la relación de investigadores, personal administrativo y personal de apoyo del Campo Experimental Valle del Fuerte (CEVAF).

CONTACTO

Mediante esta opción el usuario puede estar en comunicación directa con el administrador del sistema y los investigadores del CEVAF.

MAPA DEL SITIO

Indica la estructura del sitio web.

Figura 9. Página principal <http://cevaf.org.mx> desde donde se descarga el programa IrriModel 1.0.

En el margen derecho de la página se encuentra una encuesta del sitio, la cual permitirá conocer las opiniones de los usuarios, esto servirá para mejorar la calidad del servicio que se presta tanto a productores y técnicos.

En la parte inferior izquierda se encuentra el *Login*, donde el productor ingresará su nombre de usuario y contraseña proporcionados por el administrador del sitio (Figura 10).

Cuando se ingresa en *Login* el usuario y la contraseña activando el botón iniciar sesión, inmediatamente aparecerá en el submenú de la parte superior izquierda la opción de *Descargas*. Con esta opción se podrá tener acceso a diferentes programas de aplicaciones agrícolas y actualizaciones de los mismos, como el programa IrriModel (Figura 10).



Figura 10. Diagrama de descarga del programa IrriModel 2010.

DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DE IRRIMODEL 2010

Capacidades

Dentro de las principales capacidades que ofrece IrriModel 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 agrometeorología.
- 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 al módulo de riego correspondiente como solicitud de riego.
- Autorizaciones del módulo de riego, a través de las cuales el productor

puede consultar las solicitudes de riego que le fueron autorizadas por el módulo.

- Seguridad, que ayuda a controlar los accesos.
- Reportes como un conjunto de informes con consultas especiales de los datos climáticos que pueden ser exportados al paquete computacional Excel.

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.

Es importante señalar que para poder acceder al programa IrriModel se requiere que la configuración del teclado de la computadora personal (PC) sea español de México.

Usuarios

El sistema IrriModel 1.0 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.

Nuevo usuario

El usuario interesado en utilizar esta tecnología deberá solicitar por escrito al INIFAP (CEVAF), manifestando su interés y el uso que se le dará al sistema. Una vez aprobada la solicitud se le asignará una cuenta de usuario y contraseña para poder descargar el programa desde el sitio web.

Instalación

Una vez que se descarga el *software* desde el portal en la computadora del usuario, se ejecuta el programa de instalación, siguiendo los pasos que se describen en la Figura 11.

Menú principal

En el Cuadro 3 se describe en forma detallada el menú de operaciones del programa IrriModel 1.0.

Cuadro 3. Descripción del menú principal del programa IrriModel 2010.

Menú	Submenú	Descripción
Catálogos	Tanques	Se pueden dar de alta tanques evaporímetros o pluviómetros que el productor decida instalar en sus predios con fines de llevar un registro de la situación climática que ocurre en su parcela, si el productor decide instalar estos equipos puede utilizar la información generada de evapotranspiración (tanque evaporímetro) y precipitación (pluviómetro) para programación de riego, sin necesidad de utilizar la información de las estaciones meteorológicas.
	Pluviómetros	
	Parcelas	En el submenú <i>Parcelas</i> , el usuario podrá dar de alta los predios que utilizará en el pronóstico de riego.
Operaciones	Plan	Permite realizar un calendario de riego, el cual es una herramienta para la planeación de las actividades agrícolas del productor.
	Pronóstico	Dentro de este submenú se realiza el pronóstico de riego, indicando la fecha en la que el cultivo requiere la aplicación del mismo, así como el volumen, gastos y tiempos de riego.
	Autorizaciones	Una vez realizado el pronóstico se envía la solicitud al módulo de riego correspondiente, la cual automáticamente aparece en el submenú <i>Autorizaciones</i> .
Consultas	Datos climáticos básicos	Muestra las principales variables climáticas históricas de todas las estaciones climáticas con frecuencias horarias.
Reportes	Climáticos especiales	Son reportes especiales complementarios que le pueden servir al usuario para el control de otras variables.
Parámetros	Configuración	Se configuran los parámetros para el funcionamiento del programa.
Seguridad	Cambiar clave	A través de este se administra el uso del programa.
	Cerrar sesión	
Ayuda	Acerca de	Presenta los créditos y la ayuda en modo de búsqueda rápida.

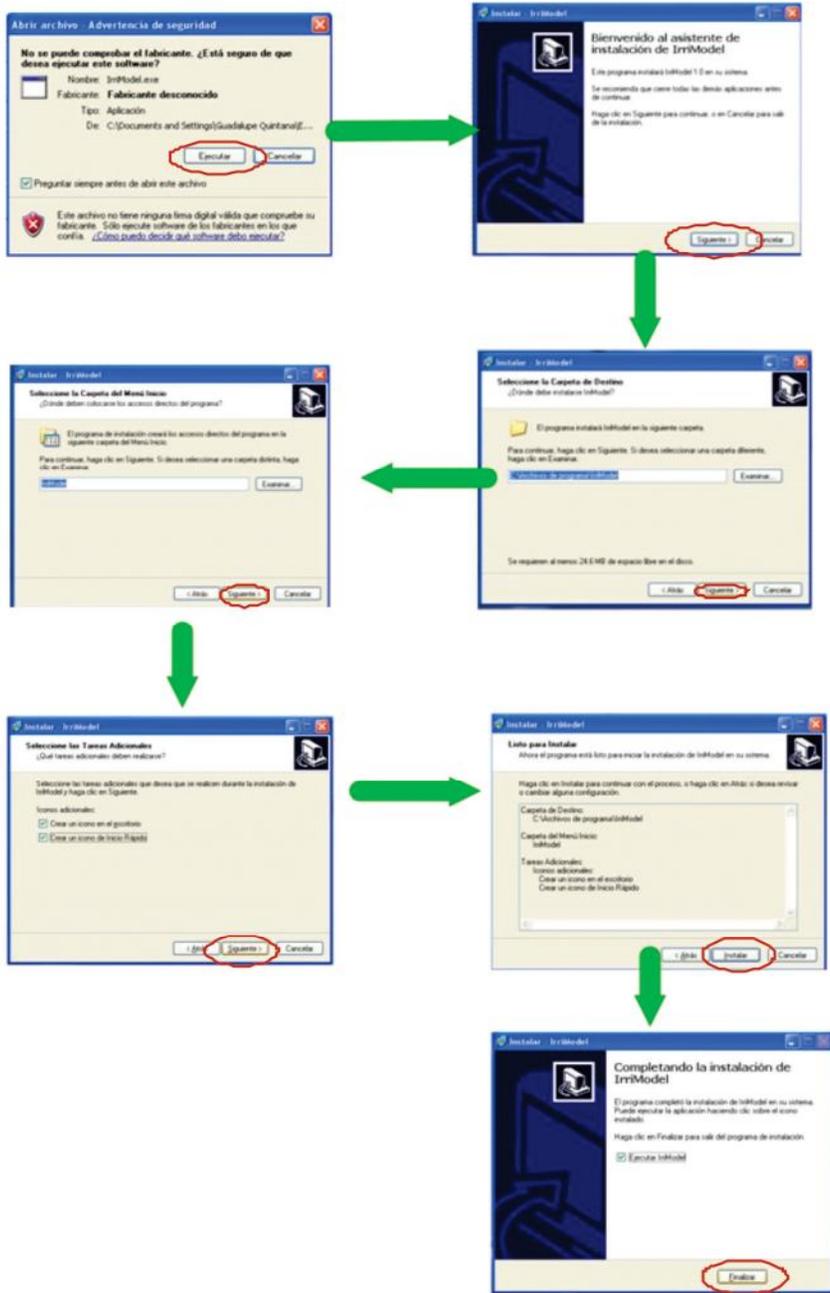


Figura 11. Proceso de instalación del programa IrriModel 1.0.

En la Figura 12 se puede observar la pantalla principal del programa donde aparece el menú principal y las variables climáticas en tiempo real, en formato de reloj, las cuales se actualizan al dar un clic con el ratón en las flechas de la parte superior izquierda de cada variable

Proceso de programación integral y gestión del riego en tiempo real

Para lograr el proceso de programación integral y gestión del riego en tiempo real a través de Internet, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y el Campo Experimental Valle del Fuerte (CEVAF) han integrado la infraestructura necesaria para tal propósito. Cuenta con un servidor y sitio web exclusivos, base de datos y desarrollo del *software* especializado IrriModel 1.0.

El *software* es la parte medular del sistema, ya que en forma continua

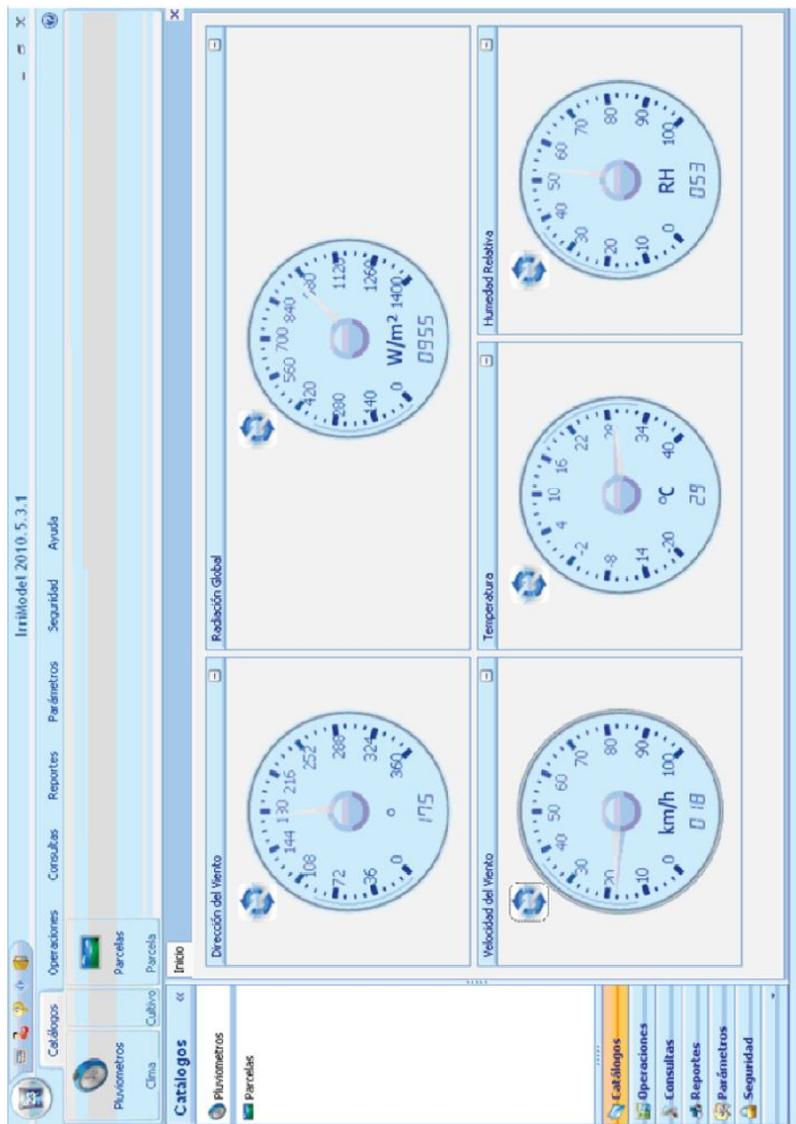


Figura 12. Interfase principal del programa IrriModel 1.0.

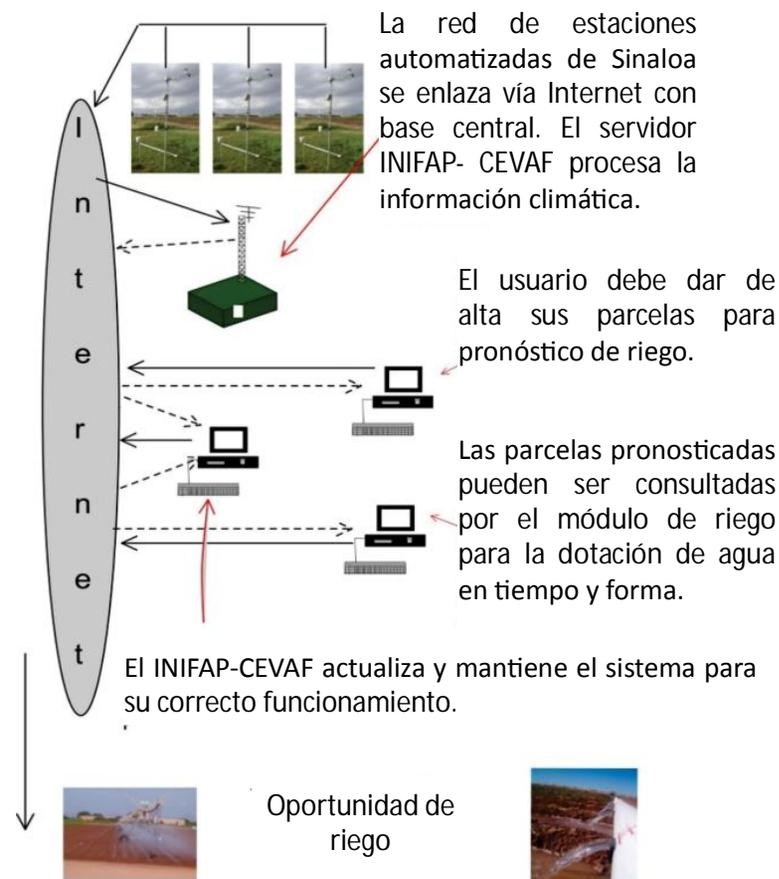


Figura 13. Diagrama de flujo para programación integral y gestión del riego en tiempo real, a través de Internet, INIFAP-CIRNO-CEVAF.

se enlaza vía Internet a la red de estaciones climáticas del estado de Sinaloa y ejecuta los procesos de programación integral del riego de un número indefinido de parcelas manejadas por el usuario, que pueden ser productores, técnicos y operadores de módulos de riego. Para lograrlo, el usuario debe estar conectado a Internet y dar de alta parcelas y siembras con la información requerida por el mismo programa, tales como tipo de suelo, estación meteorológica más cercana, fecha de siembra, cultivo, variedad, sistema de riego, etc. Posteriormente estará en condiciones de pronosticar riegos y enviar solicitudes de servicio de riego al módulo correspondiente.

Si se envían las solicitudes de riego, el técnico correspondiente debe revisarlas para incluirlas en las demandas semanales de agua del módulo, y este módulo posteriormente regresará las solicitudes autorizadas al productor para que disponga en tiempo y forma del servicio de riego y satisfacer las necesidades hídricas del cultivo.

El área de soporte del CEVAF mantendrá actualizada la base de datos climáticos, revisará el correcto funcionamiento del programa y atenderá los problemas que pudieran surgir durante el proceso de programación (Figura 13).

Programación integral y gestión del riego (paso por paso)

PASO UNO

Para que el productor pueda pronosticar el riego de su(s) parcela(s), debe establecer previamente los parámetros con los cuales se realizarán los cálculos del riego. Una vez que ingrese al programa debe entrar a la pestaña de *Parámetros* e ingresar a *Configuración*, debe seleccionar el tipo de cálculo, que puede ser *Estándar* (FAO) o *Integral* (grados-día). También debe seleccionar el módulo de riego que proporciona el servicio al o los predios a regar, ya que este recibirá las solicitudes de riego generadas (Figura 14).

PASO DOS

El productor debe dar de alta parcelas (Figura 15), a través del menú *Catálogos* y el submenú *Parcelas*. Los datos requeridos para esto son:

- Número de cuenta de la parcela. Este es único e intransferible y lo puede obtener del padrón de usuarios del módulo de riego correspondiente.
- Capturar las hectáreas que conforman el predio.
- Seleccionar la estación meteorológica más cercana.
- Si cuenta con un pluviómetro en su predio, el usuario puede dar de alta su equipo en el submenú *Pluviómetro*.



Figura 14. Pantalla del programa IrriModel 1.0 donde se configura el modo de trabajo.

Figura 15. Pantalla para alta de parcelas.

- Seleccionar el módulo de riego al que pertenece su lote, así como la zona y sección de riego.
- No olvidar dar de alta las características edáficas⁵ de la parcela.

PASO TRES

Después de dar de alta la parcela, el usuario estará en condiciones de dar de alta la siembra. En la parte central de la pantalla (Figura 15) se encuentra la ventana de siembras. Cabe aclarar que en una parcela puede establecerse más de un cultivo, y se considera siembra toda sección que cuente con un cultivo diferente o el mismo cultivo con diferente fecha de siembra. La información solicitada es la siguiente:

- Nombre de lote.
- Superficie de siembra.
- Cultivo.
- Ciclo vegetativo del cultivo (corto, intermedio o largo).
- Variedad.
- Fecha de siembra.
- Rendimiento esperado.
- Gasto de riego (litros por segundo).
- Sistema de riego (aspersión, goteo o riego superficial).
- Subsistema de riego (pivote central, avance frontal, cintilla, surcos, camas, etc.).

En la Figura 16 se puede observar la pantalla completa para ingresar siembras dentro de la pantalla de parcelas.

PASO CUATRO

Antes o después de dar de alta las parcelas, con sus respectivas siembras, el productor puede hacer un plan de riego (Figura 17); para esto debe entrar al menú *Operaciones*, submenú *Plan* y seleccionar los siguientes datos:

- Método de cálculo (estándar o integral).
- Seleccionar el cultivo.
- Tipo de suelo.
- La estación meteorológica que proporcionará los datos de clima.
- Fecha de siembra.
- Sistema de riego y subsistema de riego.
- Método de cálculo (puede utilizar los datos climáticos del año, utilizar el promedio de dos años o más, o bien el comportamiento del clima según sea un año climático Niño o Niña).

⁵ Edáfico: perteneciente o relativo al suelo, especialmente en lo que respecta a las plantas.

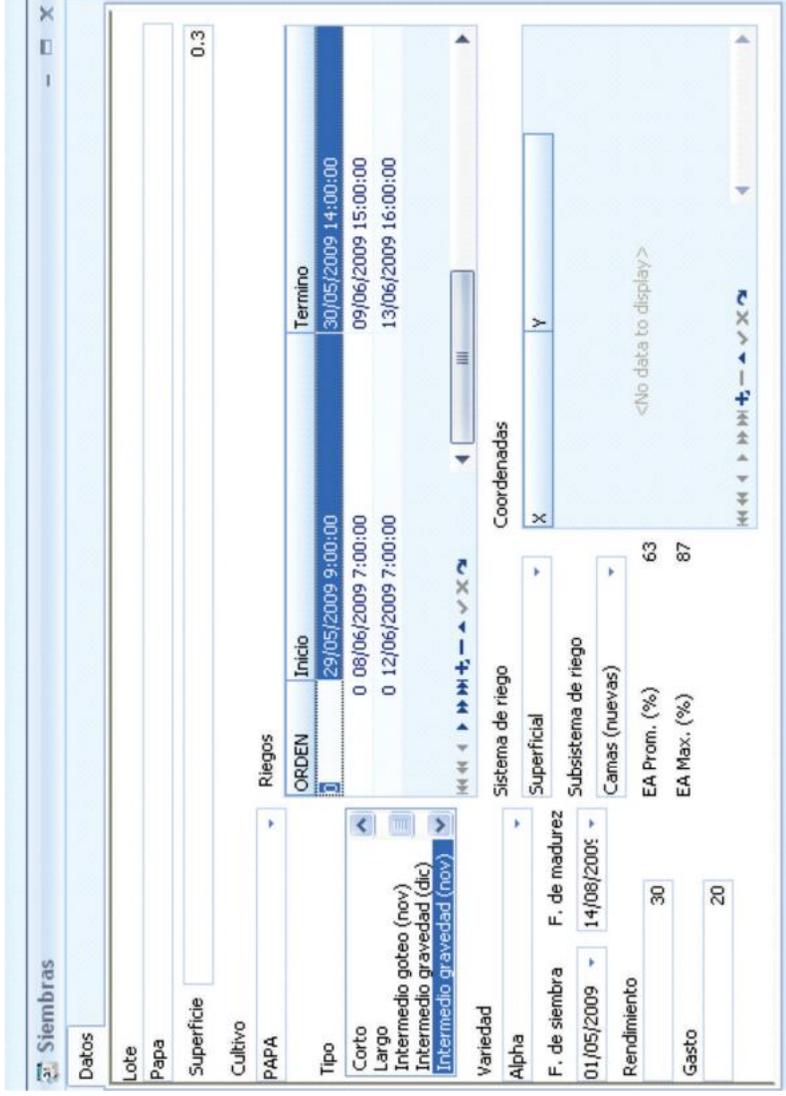


Figura 16. Pantalla para dar de alta siembras dentro de una parcela.

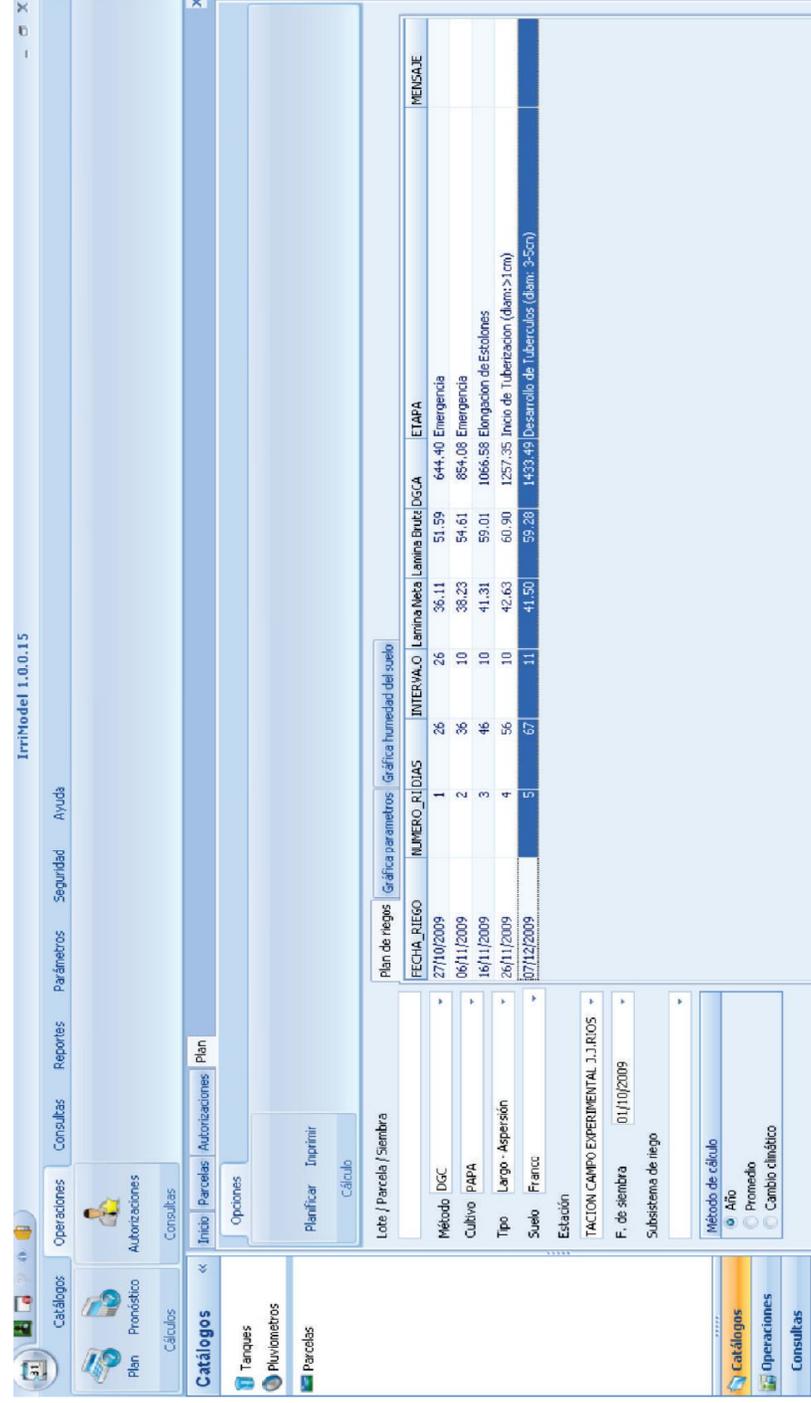


Figura 17. Planificación del riego.

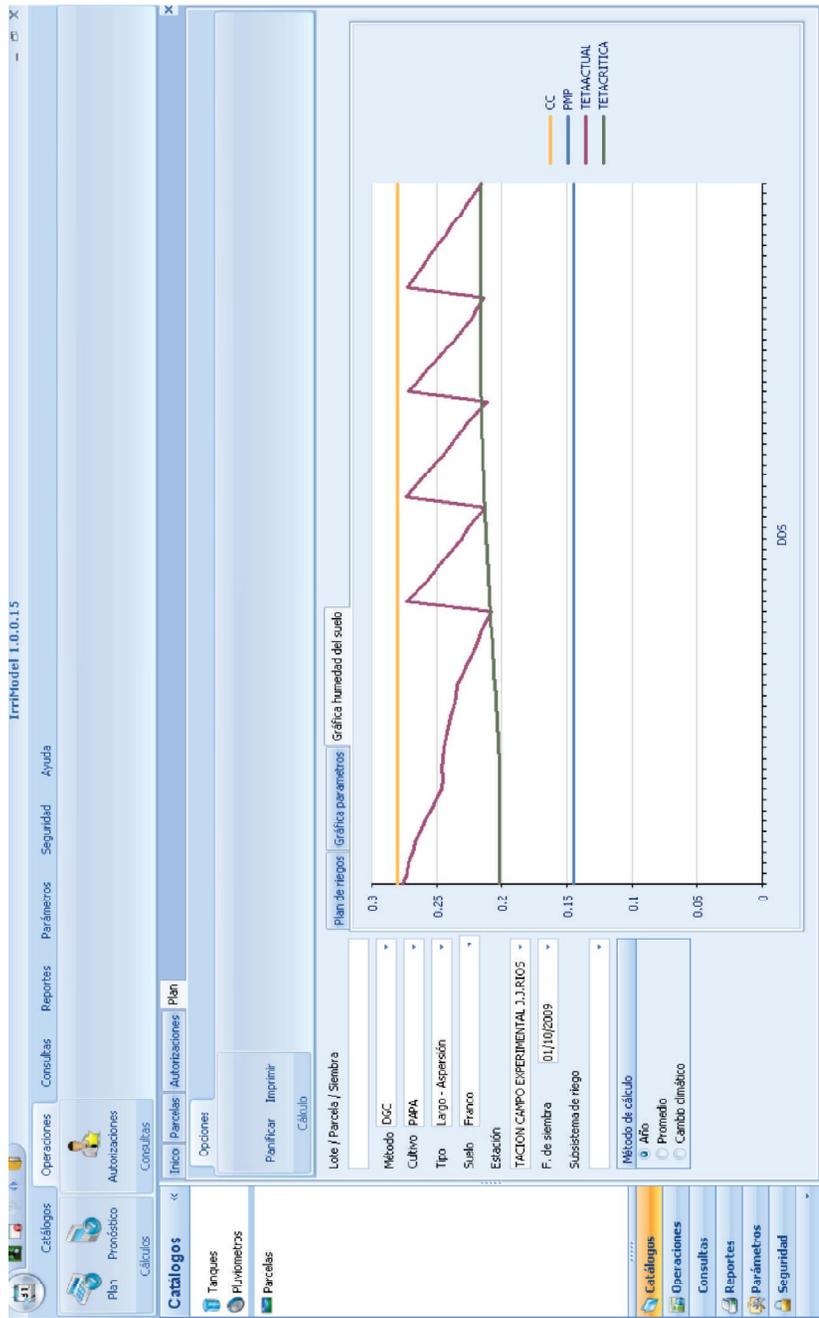


Figura 18. Visualización gráfica de la programación del riego.

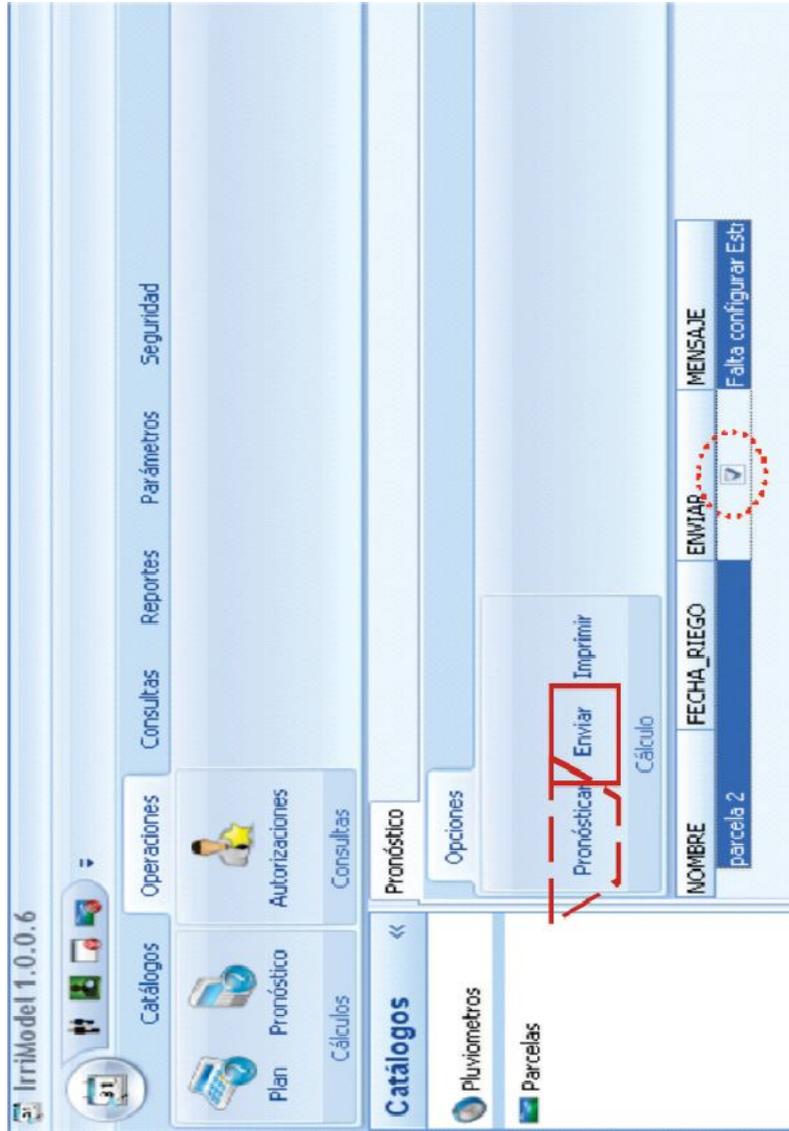


Figura 19. Envío de solicitud al módulo de riego.

El programa despliega la planificación de riego en dos opciones, en forma de tabla o bien en forma gráfica (Figura 18).

La gráfica muestra los niveles de humedad que mantiene el suelo, la línea horizontal amarilla representa la humedad del suelo a capacidad de campo, que es la ideal para los cultivos, sin embargo, en la práctica es muy complicado mantener el suelo en este nivel. Debido a esto se utiliza un criterio de riego representado por la línea verde que depende del cultivo, etapa fenológica y sistema de riego. La línea rosa representa la pérdida diaria de humedad del suelo provocada por la evapotranspiración y nunca debe estar por debajo de la línea verde. La línea de color azul muestra el punto de marchitamiento permanente, en el cual la mayoría de los cultivos mueren por estrés hídrico⁴.

PASO CINCO

Para hacer la solicitud al módulo de riego se debe acceder al submenú *Pronóstico*, seleccionar la opción *Pronosticar*; posteriormente, se despliegan la(s) parcela(s) que el productor tiene registradas, se debe seleccionar la parcela y hacer el envío (Figura 19).

PASO SEIS

En el submenú *Autorizaciones* el productor recibirá respuesta a su solicitud, para terminar el proceso de solicitud de riego se debe seleccionar la opción *Aplicar* (Figura 20). Si por algún inconveniente el productor no pudiese aplicar el riego en la fecha establecida por el módulo, antes de aplicar el riego el usuario tiene la opción de cambiar la fecha de inicio del mismo.

Recalcular lámina neta

Esta opción le permite al usuario recalcular la lámina neta sugerida por el programa en situaciones en las que se desea modificar la fecha recomendada para la aplicación del riego, al elegir esta opción se calculará automáticamente la lámina neta a aplicar según la fecha modificada para la aplicación del riego (Figura 21).

Humedad inicial

Esta opción permite al productor introducir el porcentaje de humedad aprovechable inicial que contiene el suelo al momento de la siembra

⁴ Estrés hídrico: alteraciones en los procesos metabólicos de las plantas, que originan efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de estas. El estrés hídrico se origina cuando se reduce la cantidad de agua en el suelo (déficit hídrico), lo que afecta el contenido hídrico de las plantas.

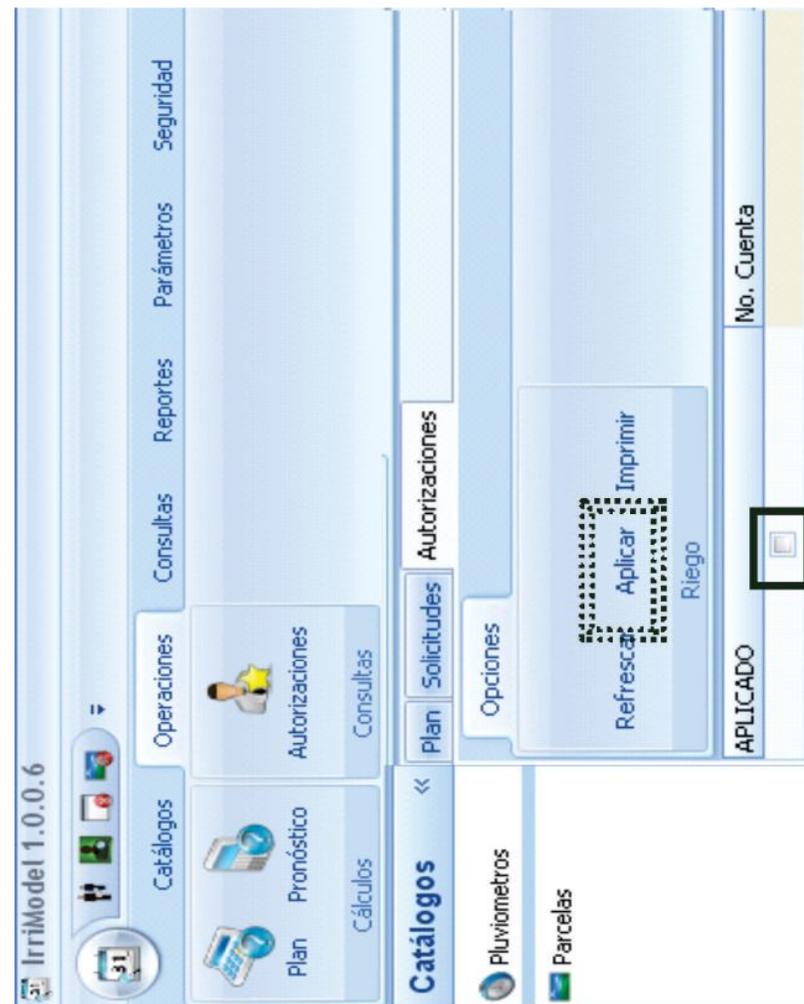


Figura 20. Proceso final para la autorización del riego.

Figura 21. Ventana para recalcular la lámina neta.

(Figura 22), esto lo puede saber realizando una prueba de manera manual al tacto o con el uso de sensores de humedad TDR, siendo esta última la forma más precisa, este dato se toma en cuenta al momento de calcular el primer riego de auxilio. Si el productor no desea ingresar este dato el programa ingresa el valor máximo (100 por ciento) que representa la capacidad de campo del suelo.

Fecha de madurez

Esta opción del programa permite al productor pronosticar con clima histórico, de manera aproximada, la fecha de madurez del cultivo a partir de la fecha de siembra (Figura 23).

Reportes

Al elegir la opción de *Reportes* aparecerá una lista de cada una de las siembras del productor con datos de cultivo, variedad, ubicación de la parcela, sistema de riego, superficie sembrada y fecha de siembra de cada una de ellas (Figura 24).

Exportar plan de riegos

La opción de exportar plan de riegos permite al productor guardar y manipular los datos, ya que la información se guarda en una hoja de cálculo Excel; al elegir esta opción se abre una ventana donde se elige guardar la información (Figura 25).

Exportar riegos

Al igual que la función de exportar plan de riegos, el programa permite exportar la información contenida en los riegos aplicados durante el desarrollo del cultivo (Figura 26).

EJEMPLO DE APLICACIÓN

Si se desea pronosticar el riego de un cultivo de papa variedad Adora, el cual fue sembrado en húmedo el 29 de octubre de 2009 en el Campo Experimental Valle del Fuerte, se utiliza un sistema de riego por aspersión tipo pivote central. El primer riego de auxilio que se aplicó fue el 16 de noviembre de 2009, con un gasto de 70 litros (L) por segundo.

Al utilizar el programa IrriModel 1.0, se requiere primeramente registrar el riego inicial aplicado. Para llevar a cabo el registro se ingresa al programa, y se accede al menú *Catálogos*, posteriormente se selecciona el submenú *Módulos* y se ingresa a *Siembras*. Se debe registrar previamente la siembra con los datos de método de siembra, sistema de riego, tipo de cultivo y variedad.

Siembras

Datos

Lote: 9 DE DICIEMBRE

Superficie: 27 Responsable: []

Riegos: []

Exportar a excel []

Recalcular última Ln []

Agregar Riego Inicial []

F. de siembra: 09/10/2010 - Pronosticar fecha de madurez

No. Inicio: 1 18/09/2010 Superficie (ha): 150

Cultivo: FRIJOL Horas Q (ps): 140

Tipo: Corto - Superficial

Variedad: AZUFRAADO REGIONAL87

Subsistema de riego: []

Surcos (nuevos): X

EA Prom. (%): 55

EA Max. (%): 80

Rendimiento: 3

Gasto: 120

Humedad de siembra: 100

Coordenadas: X Y

<No hay datos a mostrar >

Figura 22. Ventana para ingresar la humedad inicial.

Siembras

Datos

Lote: 9 DE DICIEMBRE

Superficie: 27 Responsable: []

Riegos: []

Exportar a excel []

Recalcular última Ln []

Agregar Riego Inicial []

F. de siembra: 09/10/2010 - Pronosticar fecha de madurez

No. Inicio: 1 18/09/2010 Superficie (ha): 150

Cultivo: FRIJOL Horas Q (ps): 140

Tipo: Corto - Superficial

Variedad: AZUFRAADO REGIONAL87

Subsistema de riego: []

Surcos (nuevos): X

EA Prom. (%): 55

EA Max. (%): 80

Rendimiento: 3

Gasto: 120

Humedad de siembra: 100

Coordenadas: X Y

<No hay datos a mostrar >

Figura 23. Pronosticar la fecha de madurez.

Reporte de siembras por productor				
PROPIETARIO / LOTES	RESPONSABLE	VARIEDAD	UBICACIÓN SISTEMA DE RIEGO	SUPERFICIE FECHA DE SEMBRADA SIEMBRA
Elmer Roman Berrelleza B.				
marosy cadena borquez calle 2			Surcos (nuevos)	48 20/10/2009
mario cadena payan 8810				13 30/10/2009
maria rosario borquez leon 8813				17.31 04/11/2009
rosa irene cadena borquez 7343-0				480 05/11/2009
mario cadena payan 7632-3				10 31/10/2009
jose mario cadena borquez 8814				12 28/10/2009
8814				12 04/12/2009
mario cadena payan calle 6				16 26/10/2009
mario cadena payan 7636-1				10 31/10/2009
mario cadena payan 7632-2				5 31/10/2009

Figura 24. Ventana de reportes.

The screenshot shows the 'Siembras' window with the following data:

- Lote:** 9 DE DICIEMBRE
- Superficie:** 27
- Responsable:** [Empty]
- F. de siembra:** 09/10/2010
- Cultivo:** FRIJOL
- Tipo:** Corto - Superficial
- Variedad:** AZUFRAADO REGIONAL87
- Rendimiento:** 3
- Gasto:** 120
- Humedad de siembra:** 100
- Riegos:**

No.	Inicio	Horas (Q (ps))	Superficie (ha)	Vc
1	18/09/2010	140	150	27
- Subsistema de riego:** Surcos (nuevos) Y, EA Prom. (%) 55, EA Max. (%) 80
- Coordenadas:** X [Empty]

Figura 25. Ventana para la opción exportar plan de riegos.

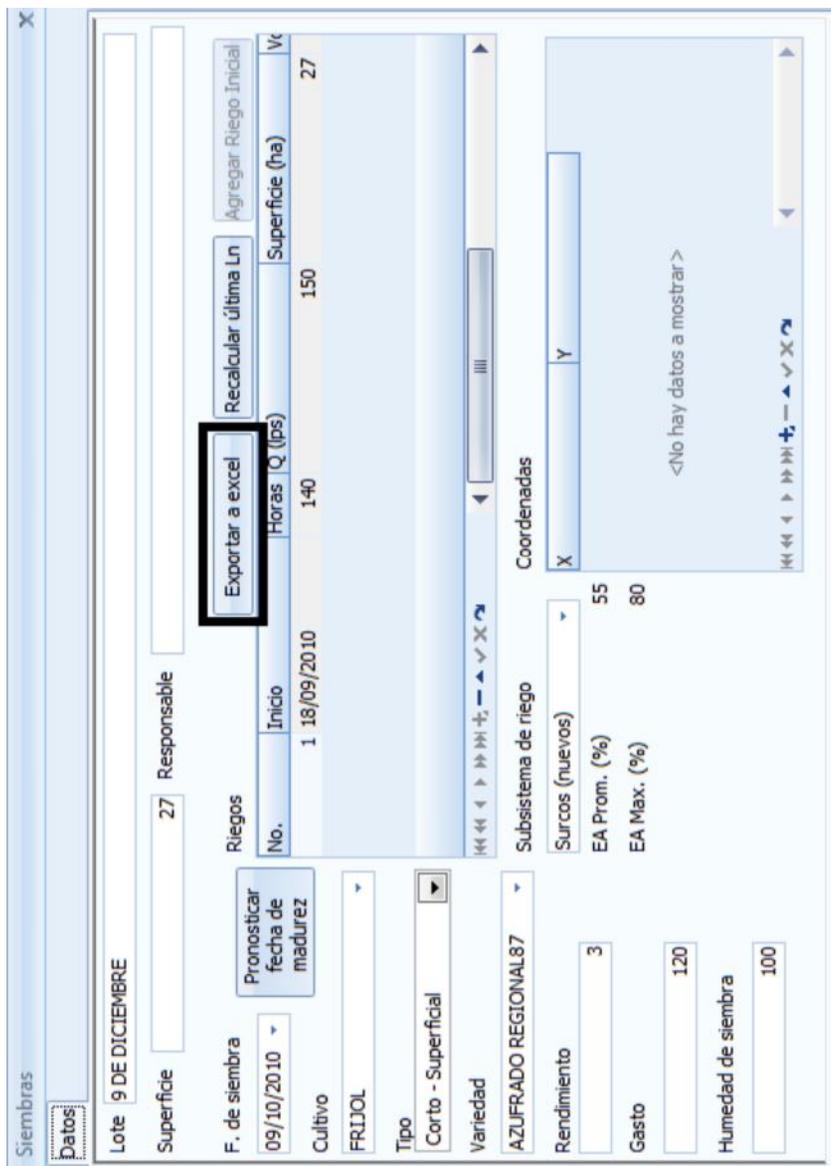


Figura 26. Ventana para exportar a Excel.

Cuadro 4. Períodos críticos de la demanda de agua de acuerdo a Stewart, Nielsen (1990) y Millar (1993).

CULTIVO	PERIODO 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
Leguminosas	
Chicharo	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

Posteriormente acceder al menú *Operaciones* y al submenú *Pronóstico*, seleccionar pronosticar y enviar la solicitud (Figura 27).

El módulo recibirá la solicitud y enviará la solicitud autorizada para la aplicación del riego, señalando la hora de inicio del riego.

De acuerdo a los datos proporcionados al programa IrriModel 2010, este determinó proporcionar el segundo riego de auxilio el 3 de diciembre de 2009 con un gasto de 70 litros por segundo, con una eficiencia de aplicación de 80 % y una lámina bruta de 4.7 centímetros, como se muestra en la Figura 28.

Una vez aplicado el riego, en el programa automáticamente se registra con toda la información de operación del mismo recomendada en el menú *Siembras*, como se muestra en la Figura 29. Dentro de este menú, se presenta la opción de agregar comentarios acerca de los acontecimientos ocurridos durante el riego; además, se podrán agregar fotos, lo cual permitirá al productor almacenar y registrar las condiciones del riego, permitiéndole funcionar como herramienta para mejorar prácticas de manejo del cultivo en el futuro.

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 (regiones superiores de los árboles) del mismo. 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 perdida 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. 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

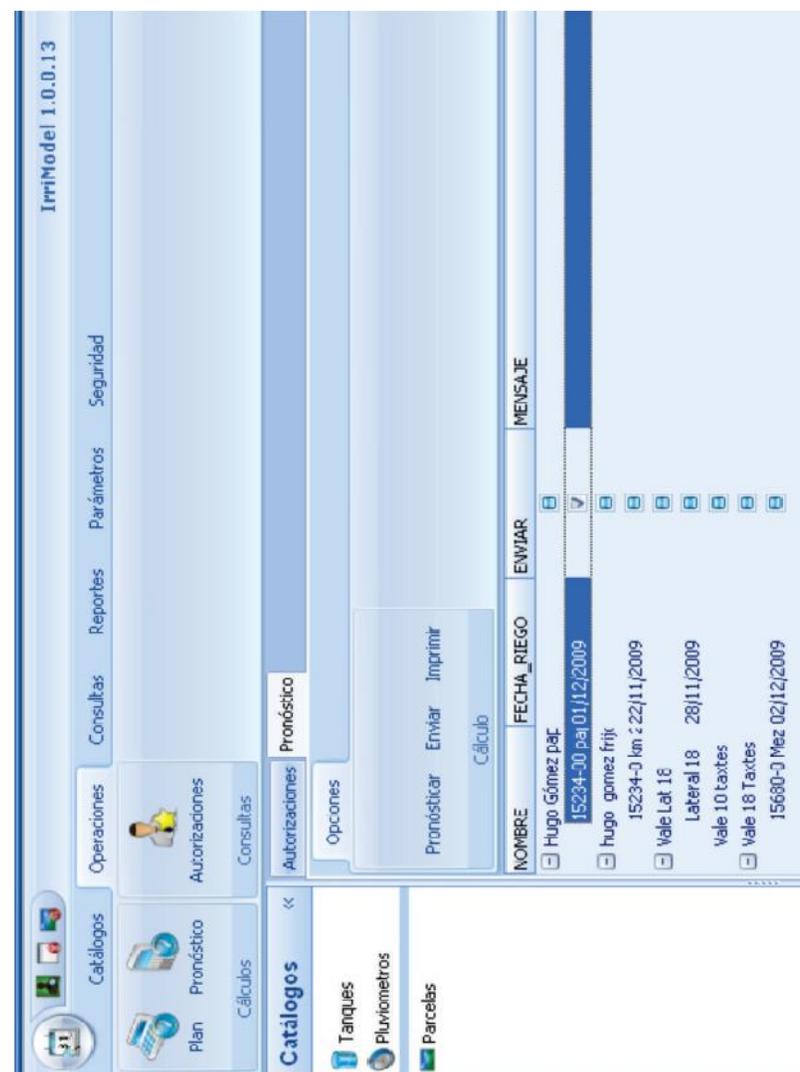


Figura 27. Pronóstico de riego mediante el programa IrriModel 2010.

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 ETo. Este valor junto con el coeficiente de cultivo se utiliza para estimar la evapotranspiración real (ETr); $ETr = ETo \times Kc$.

Coefficiente del cultivo (Kc)

El coeficiente único del cultivo se determina mediante la relación que se guarda entre la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la evapotranspiración de referencia (ETo), se utiliza para relacionar la ETo a ETc mediante la fórmula $ETc = Kc \times ETo$, el Kc es determinado experimentalmente y varía de acuerdo al cultivo y a su etapa de desarrollo, por lo que se puede decir que el Kc 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. 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 solo 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, 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 (cuando los tubérculos empiezan a engrosarse), 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. Por otra parte, hay etapas fenológicas en el

APLICADO	Nº DE CUENTA	PRODUCTOR	ZONA	SECCION	CULTIVO	SUPERFICIE (Ha)	FECHA DE SIEMERA
<input checked="" type="checkbox"/>	15234-00	Hugo Gómez	9	46	PAPA	20	29/10/2009
FECHA ULTIMO RIEGO	Nº RIEGO	FECHA DE RIEGO	LAMINA META	LAMINA BRUTA	EFICIENCIA DE APLICACION	GASTO (l)	TIEMPO (HORA)
16/11/2009	3	3/12/2009	3.8	4.7	80	70	37.55

Figura 28. Recomendación de riego generada por el programa IrriModel 1.0.

Figura 29. Manejo del riego recomendado por el sistema presentado en el menú de Siembras.

desarrollo de un cultivo en el cual el déficit (carencia) de agua podría producir pérdidas de rendimiento, dichas etapas corresponden a una fase de activo crecimiento o división celular en un breve periodo de tiempo, donde ocurren grandes cambios de tamaño en algún componente de producción de la planta. Así, pequeños déficits hídricos 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 periodo crítico. 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.

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 la capacidad de campo también se presentan mermas importantes en el rendimiento. El nivel mínimo de la humedad aprovechable para un cultivo es el punto de marchitez y 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

Los productores agrícolas están constantemente 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:

- Directos. Las condiciones del propio suelo, el estado en el cual se encuentre la planta, o las condiciones climáticas que influyen en el proceso evapotranspirativo de la planta y el suelo,
- Métodos indirectos. 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.

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:

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

BIBLIOGRAFÍA

- 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, pp. 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. pp. 159.
- Doorenbos J., W. O. Pruitt, 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. FAO Riego y Drenaje, núm. 24.
- 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. pp. 556.
- Monteith, J. L., and M. H. Unsworth, 1990. Principles of environmental physics. 2 nd. Ed. Edward Arnold. London, England. pp. 289.
- 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, Estado. 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. pp. 2118.

Valencia, V., N., E., 2007. Reporte final de residencia profesional. Jiutepec, Morelos, Mexico. pp. 143.

www.INEGI.gob.mx, 2010/Geografía.

Yongqiang Z., Y. Qiang, L. Changming, J. Jiang and Zang Xiying, 2004. estimation of winter wheat evapotranspiration under water stress with two semiempirical approaches. Agronomy Journal. 96:159–168.



FUNDACIÓN PRODUCE SINALOA, A. C.

CONSEJO CONSULTIVO
ZONA NORTE
Carretera México-Nogales, km 1609
Tel. (687) 896-16-70
Juan José Ríos, Guasave
Sinaloa, México

OFICINAS CENTRALES
Gral. Juan Carrasco No. 787 Nte.
Culiacán, Sinaloa, México.
Tel./Fax (667) 712-02-16 y 46
Correos electrónicos:
direcciongeneral@fps.org.mx
divulgacion@fps.org.mx
En Internet:
www.fps.org.mx

