

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	Sistema computacional para la distribución eficiente del agua en distritos de riego, SICODE v2.1.
<i>Autor / Adscripción</i>	Martín Mundo Molina Víctor Mireles Polioptro Martínez Austria Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Fedro Zazueta Universidad de Florida, EUA
<i>Publicación</i>	Ingeniería Hidráulica en México, 12(2): 29-36
<i>Fecha de publicación</i>	1997
<i>Resumen</i>	Se presentan las principales características del sistema computacional para la distribución eficiente del agua en distritos de riego, SICODE. Uno de sus principales objetivos es auxiliar a los usuarios, jefes de operación y gerentes de módulos de distritos de riego, en la toma de decisiones para la distribución y aplicación del agua de riego en las parcelas. El sistema es altamente interactivo ya que proporciona al usuario sugerencias y criterios para el manejo, distribución y entrega del agua de riego en cantidad y tiempo adecuados.
<i>Identificador</i>	http://hdl.handle.net/123456789/1264

Sistema computacional para la distribución eficiente del agua en distritos de riego, SICODE v2.1

Martín Mundo Molina
Víctor Mireles
Polioptro Martínez Austria

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Fedro Zazueta

Universidad de Florida, EUA

Se presentan las principales características del sistema computacional para la distribución eficiente del agua en distritos de riego, SICODE. Uno de sus principales objetivos es auxiliar a los usuarios, jefes de operación y gerentes de módulos de distritos de riego, en la toma de decisiones para la distribución y aplicación del agua de riego en las parcelas. El sistema es altamente interactivo ya que proporciona al usuario sugerencias y criterios para el manejo, distribución y entrega del agua de riego en cantidad y tiempo adecuados. El SICODE se ha desarrollado en sistema modular bajo el ambiente windows. Los principales componentes son: base de datos, sistema de información geográfica, simulación de balance de agua, simulación biológica y sistema experto. Para el cálculo de riego en tiempo real, el SICODE incluye un submenú, mediante el que se enlaza con una estación agroclimatológica automatizada (Weather Watch 2000). Dicha estación cuantifica las condiciones meteorológicas que afectan el consumo de agua de los cultivos y calcula la evapotranspiración potencial (E_t_o), mediante el método de Penman-Monteith modificado. La Weather Watch 2000 cuenta con software para calcular la evapotranspiración potencial (E_t_o) y para la adquisición y análisis de datos. En 1994 el SICODE fue transferido a la asociación de usuarios del módulo tres del distrito de riego 05 en el estado de Chihuahua, durante 1997 continuará su transferencia a los distritos de riego del país.

Palabras clave: sistema experto, sistema computacional, sistema de riego, distribución del agua, sistema de información geográfica, base de datos, *software*.

Introducción

Las eficiencias de conducción y distribución del agua en los distritos de riego son en general bajas. Los sistemas de riego operan aún (en la mayoría de los casos) de manera empírica, basados en la cultura de riego y experiencia de los usuarios. Esta forma de operar no es del todo inadecuada, sin embargo continúan los dispendios que se reflejan en la baja eficiencia de los distritos.

En México se ha iniciado la transferencia de los distritos de riego a los propios usuarios, quienes se encargarán de conservarlos y operarlos. Las superficies de riego de algunos distritos ya transferidos se han dividido en módulos que agrupan a determinado número

de agricultores que, con base en esta nueva organización, se han constituido en asociaciones civiles de usuarios que administran los módulos de riego de manera independiente unos de otros. El aspecto técnico es responsabilidad de los gerentes de módulo, quienes se encargan de la operación de la red de canales, así como de la distribución y aplicación del agua a las parcelas de los agricultores.

Debido a su tamaño, estos módulos de riego funcionan con mayor facilidad que los sistemas de riego que atienden una extensión mayor. Esta nueva organización permite a los usuarios manejar sus propios recursos, tanto humanos como económicos, además de resolver los problemas que se les presentan de acuerdo a sus intereses.

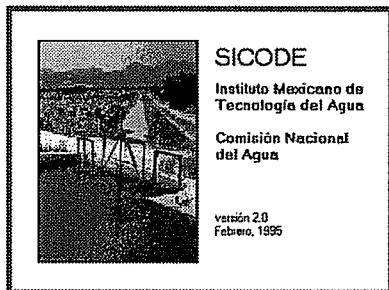
Se ha observado una mejora tanto en la conservación como en la operación de algunos de los sistemas transferidos, sin embargo el manejo del agua en la red de canales así como su distribución y aplicación, se realiza empíricamente provocando ineficiencias debido a las prácticas culturales inapropiadas. Esto obedece también a otras razones: por ejemplo, a pesar de que se dispone de la tecnología apropiada para el manejo de suelos e insumos, técnicas para calcular cuánto y cuándo regar o técnicas para la distribución, manejo y aplicación eficiente del agua de riego, su transferencia se realiza de manera independiente.

Con el objeto de auxiliar a los jefes de operación, gerentes de módulos y personal técnico de distritos de riego en la operación de los distritos de riego, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, desarrolló y transfirió el sistema computacional para la distribución y aplicación eficiente del agua en módulos de riego, SICODE, que cuenta con subsistemas (menús) que permiten tomar decisiones sobre cuándo y cuánto regar, así como seleccionar criterios para el manejo y la distribución eficiente del agua, con el objeto de entregarla en la cantidad y tiempo adecuados en las parcelas. Estas características lo hacen altamente interactivo.

El SICODE integra de manera modular los siguientes subsistemas: base de datos, sistema de información geográfica, simulación de balance de agua en el suelo, cálculo de riego en tiempo real (a través de una estación agroclimatológica automatizada), simulador biológico y sistema experto (ilustración 1).

El diseño de la base de datos del SICODE permite hacer cambios correctivos o adaptar información en función de las necesidades del usuario. Una de sus

1. Menú principal del SICODE



características es que está diseñado de tal manera que se puede emplear en cualquier región siempre que estén disponibles los datos requeridos.

El SICODE tiene un sistema de información geográfica, SIG, que permite al usuario observar en la pantalla de la computadora el módulo de riego completo, secciones de riego, canales, cultivos y aquellas zonas u obras que pueden ser de interés para él. Una de las novedades del SICODE es su sistema experto. Los sistemas expertos son una tecnología novedosa basada en el conocimiento, que semeja el comportamiento de un experto humano. El sistema experto del SICODE básicamente auxilia en la toma de decisiones y la priorización en la entrega del agua de riego a los usuarios demandantes.

Debido a la versatilidad, interactividad y a las características técnicas y prácticas del SICODE, su transferencia se inició por etapas a los principales distritos de riego del país, para ello se impartieron cursos de capacitación a jefes de operación y gerentes de módulos. En 1994 se transfirió al módulo tres del distrito de riego 05 Delicias, en el estado de Chihuahua.

Componentes del SICODE

Base de datos

La base de datos del SICODE está estructurada de la siguiente manera:

Gestión del riego

- Padrón de usuarios
- Asignaciones de agua
- Contratos de riego
- Permisos de siembra
- Cuotas de riego
- Pagos por riego

Riegos

- Riegos solicitados
- Riegos en proceso
- Riegos aplicados
- Recomendaciones técnicas de riego

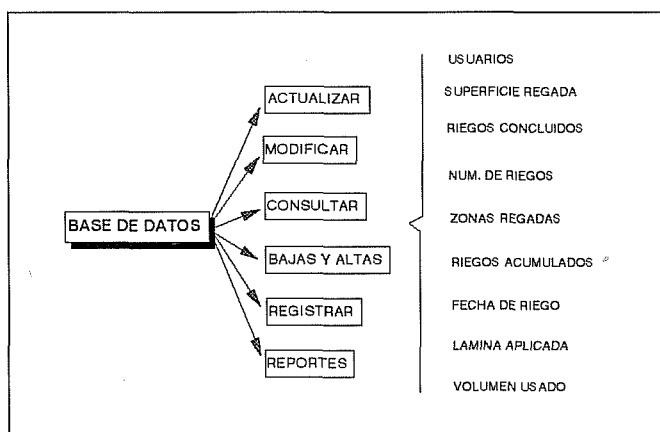
Cultivos

- Cultivos perennes del distrito
- Cultivos anuales del distrito
- Cultivos autorizados para siembra
- Información agronómica sobre cada cultivo

Suelos

- Propiedades morfológicas
- Propiedades físicas
- Propiedades químicas

2. Funciones del manejador de la base de datos



La base de datos permite actualizar, modificar, consultar, dar bajas y altas a la información contenida en la misma, así como elaborar reportes (ilustración 2). Algunas de las funciones de la base de datos del SICODE son las siguientes:

- Ordenar, organizar y actualizar la información.
- Incrementar, modificar o disminuir información sin que pierda el orden establecido inicialmente.
- Contener filtros que impidan capturar por ejemplo: números negativos, números por letras, superficies mayores a las especificadas por usuario, duplicar permisos o solicitudes de riego.
- Localizar directamente una información determinada.
- Seleccionar un conjunto de datos previamente determinados.
- Crear reportes de la información seleccionada.
- Relacionar y procesar rápidamente la información seleccionada.
- Registrar los riegos acumulados de usuarios y zonas regadas a la fecha.
- Identificar a los usuarios que han concluido el riego.
- Comparar la superficie real del usuario con la solicitada para riego.
- Generar reportes de riego para el usuario: fecha de solicitud, superficie regada, superficie por regar, volúmenes de agua usada.
- Desplegar en pantalla la información de: usuarios, canales, cultivos, suelos, clima, riegos (número de riegos, fechas y dosis).
- Servicio de reporte sobre: calendarios de riegos, dosis de riego, superficie de riego a servir, cultivo por servir, gastos por servir, volúmenes de agua a aplicar, zonas de riego a servir.
- Los reportes pueden verse en pantalla e impresos de la siguiente forma:

- Para un usuario específico.
- Para una superficie determinada de una sección de riego.
- Para toda la sección de riego.
- Para un cultivo específico.

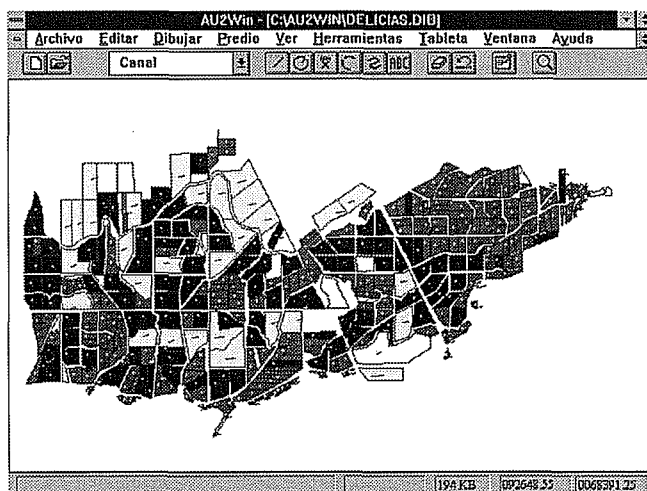
El sistema despliega gráficas de apoyo para la información anteriormente descrita. El manejador de la base de datos usado por SICODE es el Fox-Pro®.

Sistema de información geográfica, SIG

Un SIG es una herramienta que permite el procesamiento de grandes volúmenes de información, aprovechando la capacidad de los equipos de cómputo actuales (computadoras de escritorio, portátiles y de trabajo). Con el SIG se pueden desarrollar aplicaciones de registro, actualización, control, análisis, interrelación numérica-cartográfica y despliegue de la información deseada.

El AU-2 es un sistema gráfico interactivo, con el que pueden crearse, editarse y desplegarse documentos cartográficos. Cuenta con soportes lógicos desarrollados tales como generación y mantenimiento de bases de datos cartográficos con digitalización interactiva, revisión y edición de información geográfica con procedimientos de cartografía automatizada, inventario y gestión de recursos (con la creación de bases de datos que pueden consultarse para identificar automáticamente zonas geográficas con las características físicas especificadas, entre otras). AU-2 contiene un editor gráfico que permite crear, editar o revisar bases de datos cartográficos con precisión, también se pueden generar dibujos de alta calidad a cualquier escala correspondientes a la base de datos existente.

3. Ejemplo de pantalla del SIG



El programa permite hacer impresiones de gran calidad en impresoras láser o en graficadores (*plotters*), y generar con facilidad, reportes gráficos de las áreas de interés. El AU2 es el SIG integrado al SICODE para el despliegue de la información gráfica.

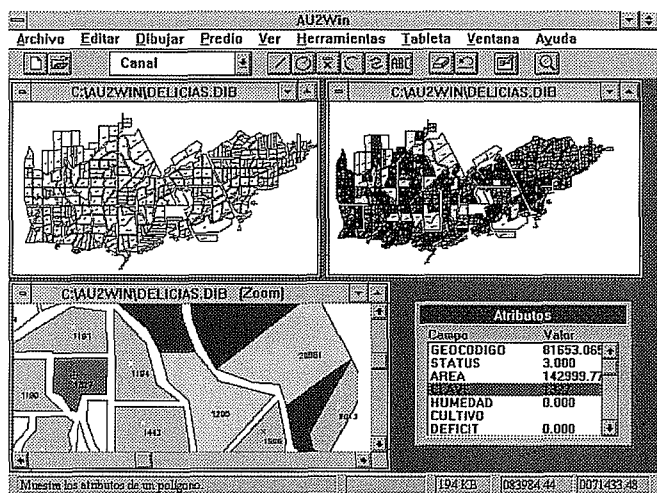
La función principal del sistema de información geográfica dentro del SICODE es mostrar en pantalla el mapa de las zonas de riego (ilustraciones 3 y 4), en la que el usuario puede observar –con base en una serie de colores– los cultivos que requieran riego inmediatamente, los que pueden esperar y los que no necesitan riego. La información sobre riegos la proporciona el submenú de simulación de balance de agua del SICODE, que la analiza y convierte por medio del SIG al conjunto de colores seleccionados (por ejemplo: rojo, riego inmediato; amarillo, el riego puede esperar una semana y verde, los cultivos no necesitan riego).

El SIG sirve para apoyar a los técnicos de los distritos de riego para decidir a quién entregar el agua. El SIG despliega los mapas correspondientes a la información contenida en la base de datos: usuarios, tipos de suelo, canales, cultivos, etc., con lo que el usuario puede revisar gráficamente la información estadística, por ejemplo: número de hectáreas sembradas con cierto cultivo, número de hectáreas con problemas de salinidad, parcelas regadas, parcelas en proceso de riego, etc., (ilustraciones 5 y 6).

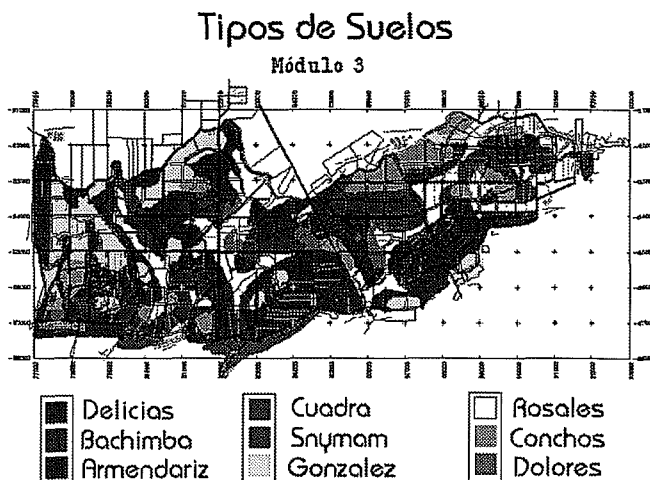
Simulación de balance de agua en el suelo

La determinación de cuándo y cuánto regar sin considerar la relación agua-planta-suelo-atmósfera, es uno de los problemas que provocan el exceso o déficit en

4. Acercamientos del plano del módulo tres (distrito 05, Delicias, Chih.)



5. Tipos de suelos del módulo tres (distrito 05, Delicias, Chih.)



la entrega del agua de riego a los cultivos. Uno de los dos métodos utilizados por el SICODE para calcular la evapotranspiración potencial y demandas de riego en tiempo real es el de Penman-Monteith modificado. El otro es el de Blaney-Criddle, para la programación del riego, como se verá más adelante.

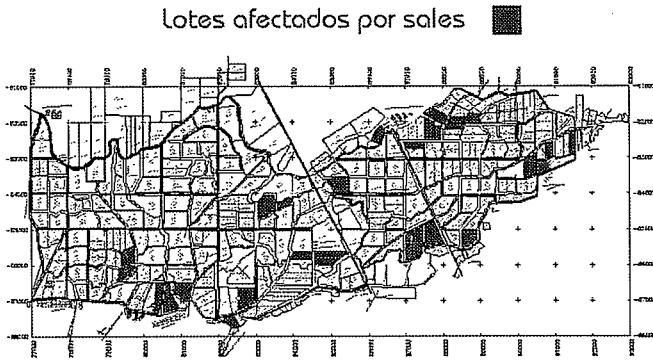
Para calcular demandas de riego en tiempo real el SICODE se apoya en una estación agroclimatológica automatizada, que incluye el *software* correspondiente. La estación mide cada diez segundos las siguientes variables:

- Temperatura.
- Humedad relativa.
- Velocidad del viento.
- Dirección del viento.
- Radiación solar.
- Precipitación y temperatura del suelo (opcional).

Estas variables son transmitidas por radio a la computadora de la asociación de usuarios del módulo de riego correspondiente. Otros cálculos que realiza este submenú del SICODE son: evapotranspiración potencial, evapotranspiración real, precipitación efectiva, balance hídrico, dosis de riego a aplicar, fechas de aplicación y volúmenes totales de agua a aplicar.

Además en este submenú del SICODE, el usuario puede manipular la siguiente información: altas y bajas de las parcelas que se desean simular, introducir datos climáticos, establecer comunicación con la estación agroclimatológica automatizada, cargar, explorar y analizar la información climática en el formato del SICODE, ejecutar el módulo de balance de agua y analizar los resultados en los periodos considerados.

6. Lotes del módulo tres con problemas de sales (distrito 05, Delicias, Chih.)



Módulo 3, Delicias Chihuahua

Programación del riego

Uno de los métodos que mejores resultados ha tenido para determinar la evapotranspiración potencial, Et_o , es el método de Penman-Monteith modificado. Para aplicarlo se requieren los siguientes datos: temperatura, humedad relativa, viento y radiación. La ecuación de Penman-Monteith modificado queda determinada por:

$$Et_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

donde:

- Et_o = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)
- R_n = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m² día)
- G = flujo de calor del suelo (Mm⁻²/día)
- T = temperatura media (°C)
- U_2 = velocidad del viento (a 2 m sobre el suelo, m/s)
- $(e_a - e_d)$ = déficit de presión de vapor
- Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)
- 900 = (kJ⁻¹kgK)

Sin embargo, si no se cuenta con los datos mínimos necesarios para calcular la Et_o con el método de Penman-Monteith modificado, el SICODE tiene como opción el método de Blaney-Criddle, cuya ecuación es (Doorembos and Pruitt, 1976):

$$Et_o = a + bf \quad (2)$$

$$f = p (0.46 T + 8.13) \quad (3)$$

donde:

- Et_o = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)
- p = porcentaje medio diario anual de horas de día (mes p/día/mes)
- T = temperatura media del aire (°C)

Demandas de riego en tiempo real

Para calcular las demandas de riego en tiempo real el SICODE enlaza una estación agroclimatológica automatizada (*Weather Watch 2000*) que cuenta con un sistema automatizado, diseñado para la agricultura comercial y para calcular calendarios de riego. La estación cuantifica las condiciones meteorológicas que afectan el consumo de agua de los cultivos y mediante un *software* específico calcula la evapotranspiración potencial (Et_o), mediante el método de Penman-Monteith modificado.

Las variables climatológicas medidas por la *Weather Watch* son procesadas para salidas horarias durante las 24 horas del día. Los datos procesados son transferidos a una computadora ubicada en el módulo tres del distrito 05, Delicias, Chih., a 20 km de la estación, a través de una radio de onda corta. El *software* del sistema permite programar la estación, revisar los datos en tiempo real y los datos almacenados y exportarlos a programas comerciales de hojas de cálculo (Lotus, Quattro Pro, etc.).

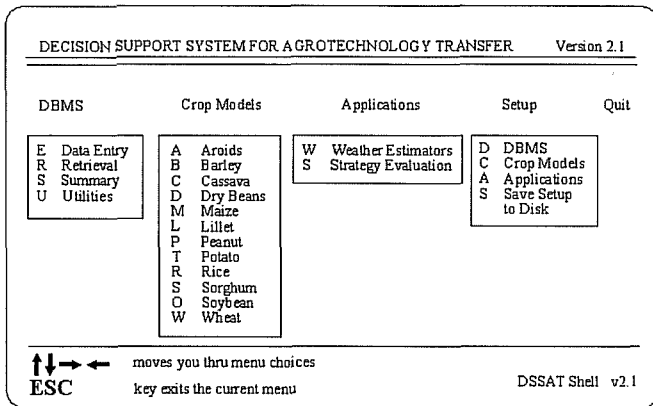
El SICODE calcula las demandas de riego en tiempo real por lote o usuario, de tal forma que permite decidir si la parcela i de las n existentes en un módulo necesita riego.

Simulación biológica, DSSAT

El sistema de decisión para transferencia agrotecnológica, DSSAT por sus siglas en inglés, es un *software* para microcomputadoras que combina bases de datos de suelos, cultivos y de clima, con modelos de cultivos y otras aplicaciones para lograr la simulación biológica de los mismos (ilustración 7). Con el DSSAT se pueden ver los resultados simulados de varios años para diferentes estrategias de manejo.

Este paquete de cómputo pertenece a la Universidad de Hawaii, EUA y fue desarrollado dentro del proyecto Red Internacional para la Transferencia de Agrotecnología, IBSNAT por sus siglas en inglés, (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer, 1988) de la misma Universidad, la cual cuenta con colaboradores en diversas partes del mundo, que desarrollan, prueban y validan los modelos de cultivos. El DSSAT incluye modelos para maíz, trigo,

7. Pantalla de presentación del DSSAT



soya y cacahuate, así como otros programas de utilerías: estimadores de clima y evaluación de estrategias; además integra bases de datos de suelos, tipos de cultivo, clima y las opciones de manejo, con lo que permite al usuario hacer preguntas del tipo *¿qué pasaría si...?* El DSSAT contiene varios componentes: modelos de cultivos; bases de datos de suelos y componentes climáticos; datos de experimentos realizados; programas de aplicaciones para la entrada y salida de los datos que enlazan los modelos de cultivos con los archivos de datos del sitio y del experimento, así como el análisis de los datos observados y los simulados. El programa de evaluación de estrategias permite calcular rápidamente las *estrategias de producción*. Algunas de las aplicaciones del DSSAT son:

- Determinación de la mejor fecha de siembra.
- Determinación de la población óptima de plantación.
- Fechas y cantidades de riego.
- Fechas y cantidades de fertilización.
- Producción potencial de cada variedad de cultivo.
- Respuesta a diversas prácticas de manejo en diferentes tipos de suelo.

Modelos de cultivos en desarrollo

Ya se mencionó que actualmente el DSSAT tiene disponibles los siguientes modelos de cultivos: maíz, trigo, soya y cacahuate. Cultivos como el arroz, frijol, papas, cebada, y sorgo entre otros, se encuentran en proceso de desarrollo. Para la aplicación eficiente de estos modelos, deben validarse mediante la comparación de las predicciones de las simulaciones con los resultados observados en un campo experimental.

Bases de datos de suelos y componentes climáticos

Este componente sirve para crear los archivos de datos de suelos y clima requeridos por los modelos de cultivos, y consta de un programa mediante el que el usuario captura la información necesaria que puede convertir, si lo desea, a otro formato. Los datos mínimos requeridos sobre el suelo son los siguientes: clasificación del tipo de suelo; profundidad de cada capa del perfil del suelo; porcentaje de arena, limo y arcilla; densidad relativa; contenidos de carbón orgánico; porcentaje de fragmentos de piedras; PH; conductividad eléctrica; pendiente y color. Los datos climáticos que se necesitan son: temperatura mínima y máxima, precipitación, radiación solar, velocidad y dirección del viento.

Datos de los experimentos realizados

Este componente sirve para generar los reportes de cada experimento (simulación):

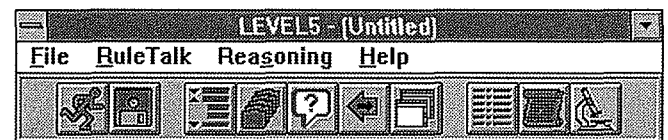
- Reporte cronológico: consiste en una lista de los eventos del experimento que incluye operaciones realizadas, estados fenológicos y eventos inusuales que afectan el crecimiento de los cultivos, ordenados por fecha.
- Reporte de sustancias totales: consiste en las cantidades totales de potasio, nitrógeno, carbonato de calcio, que recibió el cultivo. Este reporte está basado en la información contenida en el conjunto de datos mínimos.
- Resumen de datos climatológicos: este reporte muestra tablas de las temperaturas mínimas y máximas promedio, radiación solar y precipitación.

Sistema experto

Un sistema experto (EXPERTO) está estructurado de la siguiente forma: base del conocimiento, base de datos, máquina de inferencia, interfase de diálogo con el usuario y utilería (ilustración 8).

La base del conocimiento, estructurada de varias formas, contiene la información específica del dominio

8. Ventana de presentación del Level 5



de aplicación. Una de estas formas son las reglas. La máquina de inferencia es la que opera un sistema experto por medio de una serie de *ciclos* que realizan reconocimientos de las acciones a tomar. Un sistema experto tiene un componente de *resolución de conflictos* que selecciona la prioridad que debe activar. Posee también un componente de comparación que actualiza la agenda de reglas, revisando el antecedente de cada una y elimina cualquier consecuente para la cual el antecedente ya no se satisface.

Para programar el EXPERTO se utilizó el *Level 5* (Information Builders, 1990) que es un ambiente de programación para desarrollar aplicaciones que combina tecnologías de sistemas expertos, programación orientada a objetos (POO), modelos de bases de datos relacionales, capacidades de hipertexto, y herramientas gráficas y de depuración. Dentro del ambiente de programación se pueden desarrollar con relativa facilidad y rapidez, aplicaciones de diversos tipos, por ejemplo, sistemas expertos con programación orientada a objetos, bases de datos *inteligentes*, desarrollos de multimedia y aplicaciones para *Windows 3.1*.

Para establecer prioridades de riego el sistema experto se basa en tres criterios:

- Nivel de estrés hídrico.
- Sensibilidad del cultivo al estrés hídrico.
- Cercanía de las parcelas al punto de abastecimiento (canales de distribución).

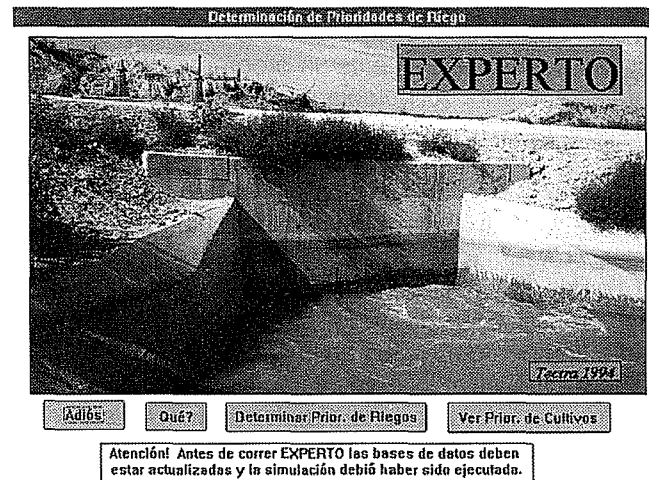
Nivel de estrés hídrico

El sistema experto utiliza como base de hechos dados, una base de datos generada por la simulación (balance hídrico), además de la base de datos con las características del cultivo. Con estos datos el sistema experto determina un índice de estrés basado en un abatimiento relativo. Este abatimiento relativo se define como la fracción de agua utilizada por el cultivo en relación a la cantidad que se puede extraer del suelo, sin producir un estrés hídrico que reduzca el rendimiento de los cultivos.

Sensibilidad de los cultivos

La sensibilidad del cultivo al estrés hídrico se determina a partir de la base de datos heurísticos utilizados por el sistema experto. Consiste en una asignación hecha por el usuario (jefe de operación o el gerente del módulo) de la sensibilidad relativa al estrés hídrico, entre los distintos cultivos autorizados (por el distrito de riego y el distrito rural).

9. Pantalla principal del sistema experto del SICODE



Distancia de las parcelas respecto al punto de abastecimiento (canal con servicio de riego)

El sistema experto utiliza como tercer criterio para establecer prioridades de riego, la cercanía que tienen las parcelas (con necesidades de riego) con respecto al canal (lateral, sublateral o ramal) que está en servicio o que puede abrirse para la entrega del agua. La prioridad se establece en función de la similitud topológica entre los predios solicitantes y los que terminaron el riego, y en función de su ubicación dentro de la red de distribución de agua.

El sistema experto proporciona al usuario la capacidad de asignar distintos niveles de importancia (asignación de pesos) a cada uno de los tres factores mencionados con anterioridad. Esto se lleva a cabo a través de asignación de pesos a cada uno de los factores. La pantalla principal del sistema experto puede verse en la ilustración 9.

Simulador

El SICODE puede emplearse como simulador, lo que le permite evaluar rápidamente las estrategias de distribución del agua de riego. Algunas de las aplicaciones del SICODE como simulador son las siguientes:

- Calendarización del riego.
- Estimación de la extracción para satisfacer las necesidades de un módulo de riego.
- Estimación de los gastos a entregar en cada toma lateral de cada sección de riego (programación de riego).
- Distribución de entrega del agua de riego a los usuarios en el tiempo y la cantidad adecuados.

Conclusiones

En este trabajo se presentaron las principales características del SICODE que es un programa de computadora que integra tecnología computacional novedosa aplicada al manejo del agua en distritos de riego. Uno de los objetivos principales del SICODE es auxiliar a los usuarios de dichos distritos en la toma de decisiones tanto en la determinación de cuánto y cuándo regar, programación y cálculo de demandas de riego en tiempo real, así como la distribución y aplicación eficiente del agua de riego, para entregarla en cantidad y tiempo adecuados en las parcelas.

El SICODE es altamente interactivo con el usuario ya que fue desarrollado en la plataforma *windows*.

El SICODE integra de manera modular los siguientes subsistemas: base de datos, sistema de información geográfica, simulación de balance de agua en el suelo, cálculo de riego en tiempo real (a través de una estación agroclimatológica automatizada), simulador biológico y sistema experto.

Debido a la versatilidad, interactividad y las características técnicas y de aplicabilidad del SICODE, se inició su transferencia (en etapas) a los principales distritos de riego del país mediante cursos de capacitación a jefes de operación y gerentes de módulo. En 1994 se

transfirió al módulo 3 del distrito de riego 05, Delicias, en el estado de Chihuahua. Durante 1997 continuará su transferencia a los distritos de riego del país.

El SICODE cuenta con un manual de operación cuya característica más importante es la facilidad de consulta, apoyado con gráficos y seguimiento paso a paso de cada uno de los procedimientos para introducir, manipular y analizar datos dentro del mismo.

Recibido: febrero, 1996

Aprobado: agosto, 1996

Referencias

- Information Builders, Inc. 1990. *Level 5 Objects, Object-Oriented Expert System*. E.U.: I.B.I.
- International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer. 1988. *Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT)*. E. U.: University of Hawaii.
- Doorenbos, J. y Pruitt, W.O. 1976. *Las necesidades de agua de los cultivos (FAO 24)* Roma: FAO.
- Mundo, Martín D.; Mireles, Victor H. y Martínez, Polioptro F. 1993. *Sistema computacional para la distribución eficiente del agua en módulos de riego*. Informe interno. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Zazueta R., Fedro. 1993. *Producción rápida de prototipos de sistemas expertos para agricultura*. E.U.: Tec. Tra.

Abstract

Mundo, M.; V. Mireles; P. Martínez-Austria; F. Zazueta. "SICODE v2.1 - a Software for the Efficient Distribution of Water in Irrigation Districts". *Hydraulic Engineering in Mexico (in Spanish)* .Vol XII. Num. 2, pages 29-36 May-August, 1997.

The Mexican Institute of Water Technology (IMTA) developed a highly interactive computational system for the distribution and management of water, SICODE. This software suggests alternatives and provides criteria for the management of the irrigation systems and makes the manager's task of delivering water in the volume and opportunity desired, easier. It includes a module which computes real time irrigation using an automated weather station; a soil water balance module; and a Geographic Information System (GIS), that displays the entire irrigation system and its subdivisions, crops and zones of interest. A biological simulation program is also included. SICODE introduces a new approach to incorporating artificial intelligence by means of an expert system that uses soil water balance data to assist in management decision -making to assign irrigation priorities to crops. The software is being validated in the irrigation district at Delicias, Chihuahua. SICODE can be implemented at any site for which the necessary information is available.

Keywords: expert system, computational system, irrigation system, water distribution, geographic information system, data base, software.