

Desarrollo y Evaluación de un Sistema Experto (prototipo) que Auxilie en el Proceso de Irrigación DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN AGUASCALIENTES

Fernando Ramos Gourcy ¹, Víctor Enrique Ortiz López ¹,
José Manuel Mora Tabarez ², Felipe Padilla Díaz ², Félix Patlán Balandrán ²
y Jorge Eduardo Macías Luévano ²

Palabras clave: producción de maíz, sistema experto, irrigación.
Key words: corn production, expert system, irrigation.

RESUMEN

En Aguascalientes, el cultivo de maíz ocupa el primer lugar en cuanto a la superficie sembrada y cosechada. El estado se ha caracterizado por ser una cuenca lechera, habiendo registradas en el año de 1998, 72,960 cabezas de ganado. Por lo tanto, la producción de maíz se justifica ampliamente ya que es un alimento básico para la explotación del ganado. La disponibilidad de agua para todos los usos incluyendo el agrícola y pecuario es una limitante muy importante. Las condiciones climáticas son muy irregulares, donde la precipitación media anual es de 450 mm aproximadamente. La combinación de todos los elementos anteriormente descritos originan un problema y propician que los agricultores modernos requieran de consultar a los expertos en irrigación para determinar ¿cuándo?, ¿cuánto?, y ¿qué sistema de riego emplear?. El objetivo del proyecto fue: Diseño, desarrollo y validación de un prototipo de sistema experto. Para el desarrollo de la Base de Conocimiento del sistema experto se requirió, primero, consultar con los expertos para determinar que factores (del suelo, planta y climáticos) deben de considerarse para obtener la base de conocimiento, indicando, además, el valor y peso de cada factor. Los casos se obtienen combinando todos los

atributos de los factores. Se complementó la base del conocimiento agregando un atributo de clasificación de casos denominado Cantidad de riego. Se utilizó el criterio de similaridad de Kolodner para identificar casos similares. La base de conocimiento que se obtuvo es de 108 casos diferentes; 53 de los cuales recomiendan aplicar medio riego, 27 casos recomiendan mucho riego y 28 casos recomiendan poco riego. Dado los pesos que fueron asignados a cada uno de las dimensiones de la base del conocimiento y a su forma de organizarse, la mayoría de los casos (49%) recomiendan medio riego.

ABSTRACT

The cultivation of corn in Aguascalientes occupies the first place in the country in both the sowed and the harvested surface. This state has been characterized as a basin milkmaid state. For instance, 72,960 livestock heads were registered in 1998. Therefore, corn production has been broadly justified, as it is the basic food for livestock exploitation. The readiness of water for various uses including agricultural and cattle is a very important restriction. Besides, the climatic conditions are very irregular as the annual average precipitation is of approximately 450 mm. The combination of the previously described elements originates a watering problem. This problem causes that modern farmers require the consultation of irrigation experts in order to determine what watering system to use, when to use it and how much water should be employed. The objective of the project consists

Recibido 27 de Octubre de 2005, Aceptado 26 de Septiembre 2006

¹ Universidad Autónoma de Aguascalientes, Centro de Ciencias Agropecuarias. Correo electrónico: f Ramosg@correo.uaa.mx

² Universidad Autónoma de Aguascalientes, Centro de Ciencias Básicas.

of the design, development and validation of an expert prototype system. For the development of the expert system knowledge base, it was required to consult the irrigation experts in order to find out which factors should be considered for obtaining the knowledge base also indicating the value and weight of each factor. The cases were obtained by mixing all the attributes of the factors. Adding a classification attribute of cases denominated watering quantity complemented the knowledge base. The Kolodner's similitude approach was used to identify similar cases. The knowledge base resulted in 108 different cases. 53 of these cases recommend the application of HALF watering while 27 cases recommend A LOT OF watering and 28 cases recommend LITTLE watering. Given the assigned weights to each of the knowledge base dimensions and the way they were organized, most of the cases (49%) recommend HALF watering.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Aguascalientes, el cultivo de maíz ocupa el primer lugar en cuanto a la superficie sembrada. En el año 2004 el cultivo de maíz presentó una superficie sembrada de 19,328 hectáreas para la producción de grano y forraje. Del total del valor de la producción expresado en términos de dinero, el cultivo del maíz aportó \$ 198'020,202 millones de pesos. Estos datos confirman que el cultivo de maíz para la producción de grano y forraje bajo condiciones de riego es estratégico y de importancia para el estado (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA).

La disponibilidad de agua para todos los usos, incluyendo el agrícola y pecuario, es una limitante muy importante. Datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua indican que el volumen de agua disponible en el subsuelo disminuyó gradualmente por la sobreexplotación que se está haciendo de los acuíferos del Valle de Aguascalientes (principal acuífero de los cuatro que componen el estado de Aguascalientes). La extracción media anual del acuífero alojado en el Valle de Aguascalientes es de 430 millones de m³, y la recarga del manto acuífero es de alrededor de 225 millones de m³, habiendo una pérdida anual de 205 millones de m³. Los usos principales del agua extraída del subsuelo del acuífero del Valle de Aguascalientes se distribuyen de la siguiente forma: agrícola y pecuario 71.68% (308.2 millones

de m³), urbano 25.20% (108 millones de m³) e industrial 3.12% (13.4 millones de m³). Además, el abatimiento promedio anual de los pozos del Valle de Aguascalientes es de 2 metros.

Las condiciones climáticas del Valle de Aguascalientes son muy irregulares. En el estado, la precipitación media anual es de 450 mm aproximadamente. La distribución de la precipitación es torrencial y errática, ya que en algunos años la distribución puede ocurrir al inicio de la estación de cultivo (junio, julio y agosto); y en otros años puede ocurrir al finalizar el periodo del cultivo (septiembre, octubre y noviembre).

La necesidad de cultivar maíz de mayor calidad y cantidad para la alimentación de los hatoslecheros en expansión, la baja disponibilidad del agua en el subsuelo para los cultivos y el costo de su extracción, la poca disponibilidad de agua de lluvia y su errática distribución, originan un problema en el proceso de irrigación del cultivo de maíz y propician que los agricultores modernos requieran de consultar a los expertos en riego para determinar cuándo, cuánto, y qué sistema emplear.

En el estado de Aguascalientes, la tecnificación de los sistemas de riego ha sido impulsada y apoyada por los programas federales de la Alianza para el Campo. El Programa de Uso Eficiente del Agua y la Energía Eléctrica ha apoyado desde el año de 1997 hasta el 2001, a 1,160 productores y 3,500 hectáreas con equipos y sistemas de riego, aunque no se especifica si los agricultores que recibieron los apoyos son productores de maíz u otros cultivos (Comisión para el Desarrollo Agropecuario del Estado de Aguascalientes). Estos productores agrícolas son potenciales usuarios del Sistema Experto.

Un Sistema Experto (SE), también llamado Sistema Basado en el Conocimiento (SBC), es un programa de cómputo que simula el comportamiento de un experto en la solución de problemas. En la producción de maíz, los sistemas expertos pueden combinar los conocimientos y la experiencia acumulada de diversas disciplinas individuales, por ejemplo: irrigación, edafología, fitopatología, entomología, horticultura y meteorología agrícola; dentro de un sistema que dirige correctamente las necesidades específicas de los agricultores. Un sistema experto también puede combinar la experiencia y el conocimiento experimental con las habilidades

de un razonamiento intuitivo de una multitud de especialistas, para apoyar a los agricultores en la toma de la mejor decisión para sus cultivos (10).

Los sistemas expertos son, en la actualidad, un insumo estratégico que es requerido en la producción de cultivos agrícolas.

Existen en el mercado y en fase de desarrollo y evaluación sistemas expertos con aplicación en actividades agrícolas (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19). Además, en la 6ta. conferencia internacional sobre la computación en la agricultura (15), fueron presentados nueve artículos sobre sistemas expertos con aplicación en actividades agropecuarias, tales como manejo de cultivos, sistemas de irrigación, etc. (1, 2, 3, 4, 20, 21, 22, 23, 24).

El sistema experto puede ser una herramienta estratégica para apoyar a los agricultores en la toma de la mejor decisión para sus cultivos. El problema actual es grave y se va incrementando día a día. Los procesos de producción no pueden detenerse ya que los alimentos son demandados por una población humana que los requiere. El problema puede reducirse significativamente empleando un sistema experto para hacer recomendaciones a los agricultores en el proceso de irrigación del cultivo del maíz.

El objetivo general del proyecto fue el de desarrollar y validar un prototipo de un Sistema Experto que sea capaz de apoyar a los agricultores en el proceso de toma de decisiones para la irrigación del cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fase de planeación: Desarrollo del prototipo del sistema experto.

El desarrollo del sistema experto requirió de esfuerzos combinados de especialistas de muchos campos de la agricultura (irrigación, manejo del cultivo, suelos, de clima, etc.) y fue realizado con la cooperación de los agricultores y consultores, quienes harán uso del sistema. Uno de los primeros pasos en el desarrollo del sistema experto fue la adquisición del conocimiento. En este proceso, los expertos en la producción de maíz (profesores de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, investigadores del campo experimental pabellón, agricultores de la región, etc.) fueron consultados

sobre los métodos óptimos de siembra, irrigación y del desarrollo del cultivo. Ellos proporcionaron información sobre los tipos de suelo, condiciones de clima y requerimientos esenciales de agua para el desarrollo adecuado del cultivo. Información con respecto a tipo de sistemas de irrigación, propiedades químicas y físicas del suelo, etc., fue colectada y catalogada de distintas publicaciones locales y nacionales. Los ingenieros del conocimiento (coordinados por el Lic. en Informática Víctor Enrique Ortiz Flores, con amplia experiencia en programación en diversos lenguajes y plataformas) sirvieron como intermediarios entre los expertos y las computadoras que simularán sus conocimientos. Los ingenieros adquirieron el conocimiento de los expertos a través de entrevistas y análisis de documentos y, posteriormente, introdujeron estos conocimientos construyendo la base del conocimiento del sistema experto. Un prototipo del sistema experto fue desarrollado y presentado a los expertos. Ellos revisaron el conocimiento adquirido y sus comentarios fueron documentados y el prototipo fue actualizado. Los ingenieros no solamente debieron grabar el conocimiento de los expertos, ellos debieron también comprender cómo manipulan los expertos el conocimiento, esto es, discernir el proceso de razonamiento por el cual el experto toma una decisión basada en su conocimiento. En resumen, el ingeniero del conocimiento diseñó e implementó un sistema electrónico de soporte a las decisiones que simula fuertemente el razonamiento de un experto agrícola.

El manejo razonado de los recursos naturales de que dispone el agricultor (suelo, agua, etc.) fue incorporado al sistema experto. El conocimiento que fue introducido al sistema y el razonamiento heurístico con que cuenta el programa, considera el respeto al medio ambiente y a las condiciones climáticas y edáficas de las parcelas agrícolas de los productores.

Fase de implementación: Desarrollo, entrenamiento y evaluación de la base de conocimiento del sistema experto.

1.- Desarrollo de la base de conocimiento:

Para el desarrollo de la base de conocimiento del prototipo del sistema experto se requirió, en primer término, consultar con los expertos para determinar cuáles factores deben de considerarse para diseñar y construir la base de conocimiento,

indicando, además, el peso de cada uno de ellos. De forma general, los factores, con sus atributos, valores y pesos quedan entonces representados de la siguiente manera:

FACTOR NO. 1.- PLANTA

Atributo	Valor/Peso			
Tipo de cultivo (TC)	Ensilado (H)/0.20	Grano (G)/0.50	Elote (L)/0.30	---
Etapas fenológicas (EFen)	Semilla (S)/0.15	Plántula (P)/0.20	Desarrollo vegetativo (DV)/0.50	Floración y fructificación (FF)/0.15

Nota: Para la producción de grano, el ciclo de cultivo es más largo (180 días), seguido del ciclo de cultivo para elote (130 días) y finalmente, para la producción de ensilado el ciclo de cultivo es más corto (115 días). Los pesos son asignados por mayor a menor consumo de agua durante el ciclo.

FACTOR NO. 2.- SUELO

Atributo	Valor/Peso		
Tipo de textura (T)	Arena (A)/0.50	Limo (L)/0.30	Arcilla (AR)/0.20

FACTOR NO. 3.- CLIMA

Atributo	Valor/Peso		
Precipitación pluvial (PP)	Baja (B)/0.60	Media (M)/0.25	Alta (A)/0.15

Los casos se obtienen combinando todos los valores de los atributos de cada uno de los tres factores. Un caso puede ser:

No. de caso	Tipo de cultivo	Etapas fenológicas	Tipo de textura	Precipitación pluvial	Valor del caso
1	Ensilado (0.2)	Semilla (0.15)	Arena (0.5)	Alta (0.15)	$0.2 \cdot 0.15 \cdot 0.5 \cdot 0.15 = 0.00225$

Se complementó la base del conocimiento agregando un atributo de clasificación de casos denominado **cantidad de riego**. Los valores que toma este atributo son: poco, medio y mucho (referidos al proceso de irrigación de cultivos, por ejemplo; poco riego, mucho riego, etc.). El sistema experto calcula la lámina de riego en milímetros de agua que deben ser aplicados en el suelo y tener así cualquiera de los eventos denominados poco, medio o mucho riego.

La asignación del atributo poco, medio y mucho riego para cada caso, se hizo obteniendo los cuartiles de la columna denominada **valor del caso**. Esta columna representa el valor probabilístico de cada caso. La matriz fue ordenada de forma ascendente. Se calcularon los cuartiles y se hizo la asignación del valor del atributo **cantidad de riego**, de la siguiente forma:

L	Q ₁	Q ₂	Q ₃	H
POCO RIEGO	MEDIO RIEGO		MUCHO RIEGO	

Donde:

L = Valor inferior del total de casos
 Q_1 = Primer cuartil
 Q_2 = Segundo cuartil
 Q_3 = Tercer cuartil
H = Valor superior del total de casos

2.- Metodología de entrenamiento y evaluación:

En principio, se hizo la separación de la matriz del conocimiento en dos partes, una, conteniendo el 70% de los casos para ser utilizada con fines de entrenamiento, y otra, conteniendo el 30% de los casos para llevar a cabo la evaluación.

Puesto que los expertos consultados han asignado pesos a los distintos valores de los atributos que hay que tomar en cuenta para llevar a cabo un proceso de irrigación, se considera que es posible utilizar el método numérico denominado emparejamiento por vecinos más cercanos propuesto por J.L. Kolodner (17), donde la expresión es:

$$\frac{\sum_{i=1}^n W_i * \text{sim}(f_i^I, f_i^R)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

donde:

W_i = Importancia de la dimensión
 Sim = Función de similitud para las primitivas
 f_i^I, f_i^R = Valores para las características f_i , en la entrada y recuperación de casos, respectivamente.

Criterio de similaridad:

Puesto que la metodología propuesta por Kolodner para asignar de forma subjetiva números entre 0 y 1 al comparar los valores de dos casos distintos para un atributo específico, se decidió utilizar la siguiente expresión como criterio de similaridad:

$$\text{sim}(f_i^I, f_i^R) = 1 - \text{valor absoluto}(f_i^I - f_i^R)$$

donde:

f_i^I = Peso del valor en el atributo i del caso I
 f_i^R = Peso del valor en el atributo i del caso R

Se corrió el algoritmo comparando el caso 1 con el resto de los casos de entrenamiento y para cada atributo, continuando después la comparación del caso 2 con el resto de los casos y así sucesivamente. Posteriormente, se aplicó, la ecuación propuesta por Kolodner, es decir, se multiplicó el valor de la importancia de la dimensión (W_i) por la función propuesta de similaridad ($\text{Sim}(f_i^I, f_i^R)$) y se dividió entre la suma de la importancia de la dimensión para obtener el **grado de emparejamiento normalizado**.

Los valores del **grado de emparejamiento normalizado** se utilizaron para eliminar todos aquellos casos que fueran similares, esto es, se eliminaron los casos cuyo **grado de emparejamiento normalizado** sea igual a 1.

Al haber eliminado todos los casos similares de la matriz de entrenamiento (se eliminaron 15 casos que resultaron ser similares a otros), se unieron en una sola la matriz de entrenamiento y la evaluación. La matriz resultante puede ser considerada como adecuada para constituir la base de conocimiento prototipo del sistema experto que se pretende desarrollar.

El proceso de evaluación consistió en utilizar un programa (desarrollado en Acces 2.0), el cual asigna la clase (poco, medio y mucho) a cada caso de la matriz de entrenamiento, dependiendo de los valores y pesos de cada atributo que compone el caso. Se obtuvo un 80% de casos clasificados de la matriz de entrenamiento correctamente.

Justificación del algoritmo para calcular la similaridad:

- Si en una dimensión determinada; el caso recuperado junto con el nuevo caso tienen un peso idéntico en el valor de un atributo cualquiera, por ejemplo 0.2; entonces en ese descriptor tienen la máxima similaridad.

$$1 - \text{ABS}(0.2 - 0.2) = 1$$

- Para el caso donde no tienen un mismo valor; como por ejemplo, caso recuperado = 0.4 y nuevo caso = 0.2 entonces el grado de emparejamiento será:

$$1 - \text{ABS}(0.2 - 0.4) = 0.8$$

Aquí hay tres puntos en los que hay que hacer hincapié.

- Los valores de 0.2 y 0.4 están relativamente cercanos, por lo tanto su similitud es alta (cerca a 1).
- Para evitar problemas con el signo, como resultado de efectuar la diferencia entre los valores del descriptor, y no tener problemas para distinguir cuál valor es numéricamente más alto, se utiliza la función de valor absoluto, y con ello asegurar que el máximo valor no sea mayor que 1 y menor a 0.
- Teniendo ya el grado de emparejamiento, es posible aplicar el resto de la fórmula, considerando que la sumatoria de la importancia de los pesos de la dimensión se calculará con base en lo establecido por el experto. Para este estudio, la importancia de los atributos es la siguiente:

$$TC = 0.7, E_{Fen} = 1, T = 0.9, PP = 0.8$$

Por lo tanto,

$$W_i = 0.7 + 1.0 + 0.9 + 0.8 = 3.4$$

3.- Validación económica y técnica del prototipo.

a) Validación económica:

Una desventaja de los sistemas expertos es el costo del programa de *software*. En otros países, Egipto por ejemplo, el gobierno a través del Ministerio de Agricultura, del Centro de Investigaciones Agrícolas y en conjunción con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) y el Programa de Desarrollo de Naciones Unidas (UNDP), establecieron el Laboratorio Central para Sistemas Expertos en Agricultura (22), el cual realiza investigación y desarrollo de sistemas expertos. Los productos de este centro son distribuidos a los consultores y agricultores, ya que son los usuarios principales de los sistemas.

Se estimó el costo del prototipo del sistema experto que se ha desarrollado con el presente proyecto y se valoró a través de la pregunta número 7 aplicada a los usuarios potenciales del sistema (productores de maíz).

b) Validación técnica:

Para llevar a cabo una evaluación consistente del sistema, se pidió la colaboración de la Mtra. Victoria Gutiérrez Marfileño, profesora del Departamento de Educación del Centro de Ciencias Sociales y Humanidades de nuestra Institución. La metodología que propuso la maestra Gutiérrez fue:

Fase de Jueceo

Fase de Diseño de la propuesta. Validez y fiabilidad del sistema.

Una fase importante de toda propuesta de intervención, en cualquier ámbito del conocimiento, radica en la valoración de la misma tanto por parte de jueces expertos como por los usuarios de ésta. De ahí que se decida conocer la valoración de ambos tipos de actores.

Para el primer caso, llamaremos jueces expertos a aquellos especialistas en el campo de la informática que conocen acerca del diseño, aplicación y prueba de sistemas expertos.

Otro grupo de expertos está constituido por los profesionales del campo de la agronomía, particularmente, los especialistas en irrigación de cultivos.

Un tercer grupo, cuya opinión y valoración es fundamental es el conformado por los usuarios, ya que precisamente son éstos quienes están en condiciones de evaluar la aplicabilidad, viabilidad, suficiencia y economía del sistema experto que se propone.

De esta manera se seleccionaron (por invitación directa del responsable del proyecto) a representantes de los tres grupos de evaluadores citados. La estrategia de jueceo o valoración consistió en:

- a) Selección (invitación) de jueces expertos y usuarios.
- b) Presentación del sistema experto.
- c) Valoración por parte de los evaluadores a través de cuestionarios sobre los distintos rasgos del sistema experto.
- d) Análisis de las respuestas (identificación de porcentaje de consenso o valoración cualitativa).

- e) Determinación de la validez y fiabilidad del Sistema Experto a partir de las valoraciones emitidas por los jueces.

Para la dictaminación han sido elaborados algunos formatos (dirigidos a los distintos evaluadores) en los que se contempla el rasgo o aspecto a evaluar y una escala de valoración, así como un juicio sumario sobre el sistema en cuestión.

El prototipo fue valorado por dos expertos en informática y siete expertos en ciencias agrícolas en sesiones de trabajo que consistieron en presentar el prototipo, su estructura, funcionamiento y las recomendaciones que realiza para el proceso de irrigación del cultivo de maíz, según las condiciones de clima y suelo de la región. La valoración del prototipo a través de los expertos en ciencias agrícolas consistió en comparar las recomendaciones que realiza el sistema con las recomendaciones que hace un experto o un agricultor común en el proceso de irrigación del cultivo de maíz.

Cinco alumnos de la carrera de Ingeniero Agrónomo del Centro de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, participaron como evaluadores usuarios del Sistema Experto, representando de alguna forma a los agricultores y técnicos que potencialmente serían los usuarios del sistema.

4.- Limitaciones del sistema

Puesto que el sistema experto es solamente un prototipo, la base de conocimiento es reducida (108 casos). Existen otros factores que no han sido considerados y que podrían incluirse en un sistema completo. Sin embargo, los factores considerados son los más importantes para llevar a cabo el proceso de la irrigación del cultivo de maíz bajo las condiciones de suelo y clima del estado de Aguascalientes.

RESULTADOS

Los resultados del proceso de evaluación del sistema se presentan en los siguientes cuadros.

Cuadro 1.- Resultados obtenidos en la evaluación del sistema experto a través de dos expertos del área de informática.

<i>Pregunta</i>	<i>Evaluador 1</i>	<i>Evaluador 2</i>
1.- Representación del conocimiento		
1.1 El conocimiento está codificado en casos y no de reglas (contestar Sí o NO)	sí	sí
1.2 El sistema permite el aprendizaje automático en su base del conocimiento a partir de casos y no de reglas (contestar Sí o NO)	sí	sí
2.- Algoritmo: El algoritmo implementado permite:		
2.1 Codificar el caso (contestar Sí o NO)	sí	sí
2.2 Localizar y acceder a casos similares (contestar Sí o NO)	sí	sí
2.3 Diseña y crea la solución (contestar Sí o NO)	sí	sí
2.4 Almacenar un caso nuevo (contestar Sí o NO)	sí	sí
3.- Eficiencia		
3.1 El sistema es eficiente (optimiza todos los recursos del diseño de sistema experto) (contestar Sí o NO)	sí	sí
4.- Eficacia del sistema		
4.1 El sistema es eficaz (cumple con la finalidad para la que se creó) (contestar Sí o NO)	sí	sí
5.- Calidad		
5.1 Se trata de un sistema de calidad en su diseño (contestar Sí o NO)	sí	sí

6.- Aspectos generales		
6.1 En nuestro contexto, se trata de una propuesta novedosa*	2	2
6.2 El sistema simula de manera adecuada el comportamiento de un experto en el campo*	1	2
6.3 El sistema simula de manera adecuada el razonamiento intuitivo propio de un experto*	2	2

* 1 = Totalmente de acuerdo y 5 = Totalmente en desacuerdo

Cuadro 2.- Resultados obtenidos en la evaluación del sistema experto a través de siete expertos del área de Agronomía e irrigación de cultivos.

Pregunta	Mediana
1.- En nuestro contexto se trata de una propuesta novedosa (contestar SÍ o NO)	sí
2.- El sistema simula de manera adecuada el comportamiento de un experto en el campo*	2
3.- El sistema combina de manera adecuada el conocimiento de las disciplinas implicadas (Edafología, uso y manejo del agua, meteorología y climatología, fisiología vegetal, etc.)*	2
4.- El sistema combina de manera adecuada la experiencia y el conocimiento experimental de los expertos*	2
5.- El sistema simula de manera adecuada el razonamiento intuitivo propio de un experto*	1
6.- El sistema puede ser calificado como una herramienta fundamental que apoya la toma de decisiones en torno al proceso de irrigación del cultivo de maíz en el estado de Aguascalientes*	1
7.- La información que nutre al sistema (datos sobre fuentes de abastecimiento y calidad del agua, información agroclimática, información sobre propiedades físicas y químicas del suelo, datos del cultivo, información sobre los productores y características de cada parcela de producción), es adecuada al contexto (considera las características agroclimáticas y edáficas del estado de Aguascalientes, los insumos y recursos disponibles por los productores agropecuarios, el medio ambiente, etc.)*	2
8.- El sistema es aplicable en la resolución de problemas en torno al proceso de irrigación del cultivo de maíz*	2
9.- La recuperación de la información es rápida*	1
10.- La recuperación de la información es sencilla*	1
11.- La información recuperada es confiable*	1
12.- La información disponible para los usuarios aporta datos sobre:	
a) Características del cultivo*	2
b) Propiedades físico - químicas del cultivo*	2
c) Requerimientos de riego*	2
d) Control de riegos (cuándo y cuánto regar)*	1
13.- La información que se ofrece constituye un soporte efectivo para tomar decisiones*	2
14.- El sistema cumple con la finalidad para la que se diseñó*	1

* 1 = Totalmente de acuerdo y 5 = Totalmente en desacuerdo

Cuadro 3.- Resultados obtenidos en la evaluación del sistema experto a través de cinco usuarios.

<i>Pregunta</i>	<i>Mediana</i>
1.- El sistema es útil (contestar SÍ o NO)	sí
2.- El sistema es de fácil consulta*	sí
3.- El sistema permite una consulta rápida*	2
4.- El sistema permite determinar de manera adecuada cuánto y cuándo regar*	2
5.- El sistema es una herramienta útil para apoyar en la decisión en torno al proceso de irrigación del cultivo de maíz en el estado de Aguascalientes*	2
6.- El sistema brinda recomendaciones adecuadas (pueden implementarse fácilmente y son adecuadas al problema)*	3
7.- El costo del sistema y el equipo es razonable (considerando la ayuda que ofrece)*	3
8.- Considera Usted que emplear el sistema puede tener alguna ventaja competitiva en el proceso de producción del cultivo de maíz (Ej. Obtener mayor rentabilidad con el cultivo)*	2

* 1 = Totalmente de acuerdo y 5 = Totalmente en desacuerdo

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

a) Evaluación del sistema por expertos del área de informática:

Como puede verse, en el cuadro 1, los dos evaluadores consultados consideran que el sistema cumple con las especificaciones establecidas en cuanto al diseño y construcción de un sistema experto empleando la metodología de Razonamiento Basado en Casos (RBC), ya que las respuestas fueron 100% afirmativas en las preguntas 1 y 2. Además, y en términos generales, están de acuerdo en que el sistema es eficiente, eficaz y tiene calidad en el diseño y construcción del mismo.

b) Evaluación del sistema por expertos del área de Agronomía e Irrigación de cultivos:

Como puede observarse en el cuadro 2, el 100% de los evaluadores indican que el sistema experto es una propuesta novedosa.

Además, por la naturaleza de las respuestas de las preguntas 2 a la 14, se calculó la mediana de esas respuestas para cada una de las preguntas. En la columna de la mediana, puede observarse que el 44% del total de reactivos tuvieron como respuesta estar totalmente de acuerdo (1) y el 56% de los reactivos tuvieron como respuesta estar de acuerdo (2).

Los resultados anteriores indican claramente que el sistema es una herramienta eficaz para apoyar a los agricultores y técnicos agrícolas en la toma de decisiones sobre el proceso de irrigación del cultivo de maíz en el estado de Aguascalientes. Sin duda alguna, las opiniones vertidas por los expertos son muy valiosas ya que consideran que el sistema sí cumple con los objetivos que se plantearon al proponer su diseño y desarrollo a través de este proyecto de investigación.

c) Evaluación técnica y económica del sistema por usuarios:

En el cuadro 3, se presentan los resultados de la evaluación del sistema experto correspondiente a los usuarios. Como puede observarse, el 100% de los usuarios considera que el sistema es útil y de fácil consulta (preguntas 1 y 2). Para las preguntas 3, 4, 5, 6, 7 y 8, la mediana de las respuestas indican que un 67% del total de reactivos tuvieron como respuesta estar de acuerdo (2) y el 33% de los reactivos tuvieron como respuesta un valor intermedio (3), que significa estar parcialmente de acuerdo.

La respuesta a la pregunta número 7 (evaluación económica del sistema) indica que los usuarios del sistema consideran que el costo del programa de software y del equipo de cómputo no es del todo razonable pero además,

no es demasiado costoso, según el beneficio que se puede obtener del sistema (mejor aplicación del agua de riego en cantidad y oportunidad). La mediana de las respuestas indica ausencia de tendencia hacia las respuestas 1 (totalmente de acuerdo) y/o 5 (totalmente en desacuerdo).

En términos generales, la evaluación hecha por los usuarios indica que el sistema experto es una herramienta poderosa para apoyarlos en la toma de decisiones sobre el proceso de irrigación del cultivo de maíz en Aguascalientes. Sin embargo, es importante mencionar que dadas las características del sistema, su implantación y uso por usuarios, es necesario tener personal capacitado en el manejo de computadoras y programas de software. Por lo tanto, el sistema experto es una herramienta que va a poder apoyar a aquellos productores agrícolas y técnicos que cuenten con un equipo de cómputo y que además, sepan manejarlo. Es posible que si el sistema recibe información errónea, emita recomendaciones incorrectas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El prototipo del sistema experto que se ha propuesto en este proyecto de investigación fue evaluado satisfactoriamente por los expertos en el área de informática, ciencias agrícolas y usuarios potenciales del sistema. En consecuencia, es una alternativa real para apoyar a los productores de maíz del estado de Aguascalientes, ya que considera las condiciones de clima y suelo de cada municipio, los sistemas y equipos de riego con que cuentan los agricultores.

El sistema posee información climática y además, es capaz de hacer recomendaciones sobre láminas de riego, tiempo de riego e intervalos de riego, considerando la etapa fenológica del cultivo; esto con el objetivo de que los usuarios empleen el agua suficiente en el proceso de irrigación del cultivo de maíz, y que de alguna manera se eviten desperdicios de un recurso que cada día está más escaso. Sería recomendable que se desarrollara todo el sistema y que no quedara únicamente a nivel de prototipo.

BIBLIOGRAFÍA

1. AZEVEDO, C.A.V., MERKLEY, G.P., Y WALKER, W.R., The SIRTOM Software: A Real Time Surface Irrigation Decision Support System. De: <http://www.agen.ufl.edu/~compconf/6thProc/azevedo.html>, 1996.
2. DELGADO, R., SEPA: An Expert System For Farm Planning. De: <http://www.agen.ufl.edu/~compconf/6thProc/delgado.html>, 1996.
3. EL-SHEIKH, E., et al, Neper Wheat: Integrating Expert Systems And Crop Modeling Technology. De: <http://www.agen.ufl.edu/~compconf/6thProc/elsheikh.html>, 1996.
4. FERGUSON, J. J., et al, Citrus Management and Diagnostic Software. De: <http://www.agen.ufl.edu/~compconf/6thProc/ferguson.html>, 1996.
5. <http://isl.msu.edu/>.
6. <http://isl.msu.edu/int-ag/ars2.html>.
7. <http://isl.msu.edu/int-ag/ars-purdue.html>.
8. <http://isl.msu.edu/int-ag/davis.html>.
9. <http://isl.msu.edu/int-ag/france.html>.
10. <http://isl.msu.edu/int-ag/france2.html>.
11. <http://isl.msu.edu/int-ag/kentucky.html>.
12. <http://isl.msu.edu/int-ag/u-park-pa.html>.
13. <http://isl.msu.edu/int-ag/usda-ars.html>.
14. <http://potato.claes.sci.eg/>.
15. <http://www.agen.ufl.edu/~compconf/6thProc/cahome.html>.
16. <http://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/>.
17. <http://www.dina.kvl.dk/>.
18. <http://www.ento.vt.edu/Facilities/OnCampus/ISISInfo.html>.
19. <http://www.farmscape.tag.csiro.au/apsru/>.
20. MCCLURE, J. E., CALVIN, D. D. Y ESH, V., Pest Management Choices: Integrating Pesticide Toxicity Data with a Crop Management Expert System. De: <http://www.agen.ufl.edu/~compconf/6thProc/mcclure.html>, 1996.
21. MEIRA, S., HERNANDORENA, C., Y GUEVARA, E., SUR95: Decision Support System for Main Crops. De: <http://www.agen.ufl.edu/~compconf/6thProc/meira.html>, 1996.
22. MIRELES-VÁZQUEZ, V. H. Y MUNDO-MOLINA, M. D., Expert Systems in Crop Selection. De: <http://www.agen.ufl.edu/~compconf/6thProc/mireles.html>, 1996.
23. OLIVEIRA, A. J., DA SILVA, C. A., Y SANTOS, H. N., SOLAR: An Intelligent Decision Support System for Farm Planning. De: <http://www.agen.ufl.edu/~compconf/6thProc/oliveira.html>, 1996.
24. ZHU, G., NUTE, D. Y RAUSCHER, M., DSSTOOLS: A Toolkit for Development of Decision Support Systems in Prolog. De: <http://www.agen.ufl.edu/~compconf/6thProc/zhu.html>, 1996.