

Sistema Experto para el Diagnóstico de Plagas Insectiles del Cultivo de Maíz (*Zea mays*) en Centroamérica¹

*F.L. Merino-Cisneros**; *J.B. French***; *J.L. Saunders****; *P.J. Shannon****; *L. Ugalde*****; *J. Arze^o*

ABSTRACT

An "expert system" to diagnose insect pests of maize in Central America was developed to facilitate integrated pest management of this crop. The work was based on knowledge acquired from experts at the Tropical Agricultural Research and Training Center (CATIE) in Costa Rica. The expert system can identify 52 insect pests of maize through six inference models. Criteria used were: plant phenology, plant part damaged, general form of the insect, specific damage, insect order and insect family. Additional information is presented on synonyms, common names, life cycle, damage, pest status, and control. The system works with IBM-compatible MS-DOS and VP-EXPERT shell, 512 Kb RAM and two disk drives, 360 Kb or 720 Kb diskettes, or a hard disk.

INTRODUCCION

Las alternativas que el agricultor selecciona con respecto al agroecosistema maíz, específicamente al subsistema manejo de plagas insectiles, están influenciadas por factores tales como: sus percepciones sobre las plagas, los daños observados, su nivel de conocimiento sobre estos hechos y sus valores personales.

¹ Recibido para publicación el 10 de agosto 1990. Se agradece al Programa USAID/ROCAP por el financiamiento de este estudio. Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Programa de Posgrado y Mejoramiento de Cultivos Tropicales/Proyecto Manejo Integrado de Plagas, por el apoyo en equipo y materiales necesarios para este trabajo. A los Drs. Pedro Oñoro, Pedro Ferreira y B.S. David Elizondo, CATIE, por la revisión del manuscrito y sugerencias aportadas. Basado parcialmente en la tesis de MSc. presentada por el primer autor al Programa de Estudios de Posgrado, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

* Consultor, CATIE, 7170 Turrialba, Costa Rica.
** Escuela Agrícola para la Región del Trópico Húmedo (EARTH) Apartado 4442-1000 San José, Costa Rica.
*** Entomólogo Jefe Proyecto RENARM/MIP, Programa Mejoramiento de Cultivos Tropicales, CATIE, 7170 Turrialba, Costa Rica.
**** Especialista en Manejo de Sistemas de Información. MADELEÑA, CATIE, 7170 Turrialba, Costa Rica.
^o Especialista en Sistemas de Producción Socioeconómica CATIE, 7170 Turrialba, Costa Rica.

COMPENDIO

Se construyó un sistema experto para el diagnóstico de plagas insectiles de maíz en América Central, con el propósito de poner a disposición de otros usuarios el conocimiento técnico para el diagnóstico de insectos plagas, y de esta manera facilitar el manejo integrado de plagas en este cultivo. El trabajo se basó en el conocimiento adquirido de expertos del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Costa Rica. El sistema experto diagnostica 52 insectos plagas de maíz, por medio de seis módulos de inferencia. Se usan como criterios: la fenología de la planta, el órgano afectado de la planta, la forma general y la forma específica del insecto, el daño general y específico, el orden y la familia del insecto. Brinda además información adicional sobre el insecto referentes a sinonimias, nombre común, ciclo de vida, daño, situación de la plaga y control. Se emplea el sistema operativo MS-DOS compatible con IBM y con el Shell VP-EXPERT, una capacidad de memoria principal de 512 Kb y con dos manejadores de diskettes de 360 Kb, o con uno de 720 o con disco duro.

La percepción del agricultor sobre la importancia de una plaga y el daño que causa, afecta las decisiones sobre el método y el nivel de control de esa plaga en particular. No todas las plagas ni sus daños son correctamente percibidos por los agricultores, a quienes a veces les es difícil hacer una asociación correcta entre el daño observado en el cultivo y la plaga que lo causa (1).

Una mayor información y conocimiento disponible sobre las plagas, es la base para ayudar al agricultor a tener una visión amplia de las opciones más eficientes entre los métodos de control. Esta información permitirá al agricultor tomar decisiones sobre el control de las plagas insectiles, desde los puntos de vista del diagnóstico, el manejo y la decisión económica (1, 2).

Es difícil obtener toda la información necesaria para resolver un problema causado por plagas en un momento oportuno. La información práctica sobre el tema se encuentra principalmente en dos fuentes: en el conocimiento público que aparece publicado y en el conocimiento particular de las personas que trabajan en este campo concreto. A veces los agricultores y

extensionistas necesitan mucho más tiempo del que disponen para diagnosticar el problema y encontrar la solución por estos dos medios.

El disponer de la información adecuada, que pro venga del conocimiento público o particular, ayudaría a optimizar la producción de maíz, bajar los costos de producción y facilitar la toma de decisiones en el momento oportuno. Por lo tanto, el conocimiento de manejo integrado de plagas debería estar a disposición de los responsables de la divulgación de información, tales como los extensionistas, los comunicadores y los investigadores. De esta manera, se incrementaría la información que recibe el agricultor y optimizaría su proceso de toma de decisiones.

Las microcomputadoras se han convertido en una herramienta que facilita el desarrollo de sistemas para ayudar a tomar decisiones. Los programas de computación son la base para el desarrollo de sistemas expertos los cuales son una forma de manejar la información en forma integrada y ayudar a tomar decisiones sobre problemas planteados en campos específicos (3, 4). La aplicación de un sistema experto tiene la ventaja sobre otros mecanismos tradicionales, en que eleva el desempeño del trabajador promedio (6, 13).

Los avances en la tecnología de la computadoras han hecho posible el desarrollo de sistemas expertos en área específicas. Aplicados a la agricultura, estos pueden ser útiles para resolver problemas sobre aspectos tales como: riego, nutrición y fertilización, control de malezas, de insectos y de enfermedades.

En el campo de la entomología, el sistema experto es relevante en la solución de problemas de diagnóstico. Tiene potencial para integrar diversos tipos de conocimiento dentro de un programa fácil de usar en la toma de decisiones, convirtiendo al sistema experto en una herramienta poderosa en la investigación y extensión entomológica (2, 4, 12).

El presente es el primer esfuerzo en América Central para desarrollar un sistema experto en el diagnóstico de plagas insectiles de maíz. Además, se ha trabajado en la estructuración y registro sistemático de datos para ser utilizados como un instrumento de referencia entomológico (10, 11).

En la parte entomológica se han desarrollado algunas aplicaciones de sistemas expertos como el SYSTEX, para la identificación del insecto del género *Signiphora*, otro caso es el sistema integrado llamado FLEX para la producción de algodón en Texas (8, 12).

El objetivo de este estudio fue el desarrollo de un sistema experto para el diagnóstico de plagas insectiles de maíz en América Central. Se realizó también una prueba de la variable facilidad de su uso, así como una comparación de la capacidad de diagnóstico, entre este sistema experto y una guía de plagas insectiles frecuentemente usada para tal propósito en América Central (5).

MATERIALES Y METODOS

La elaboración del presente trabajo se llevó a cabo en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.

Diseño del modelo conceptual y operativo. Se diseñó el modelo conceptual o Shell y el modelo operativo del sistema experto, así como la codificación de éste en lenguaje del sistema experto VP-EXPERT. Se elaboraron bases de datos con el manejador de bases de datos DBASE IV y la base de textos con MICROSOFT WORD versión 5 (Se considera como Shell al cascarón o concha formada por la estructura de razonamiento que puede ser utilizado con diferentes conocimientos en campos específicos).

Adquisición del conocimiento. El conocimiento utilizado se obtuvo de la revisión de literatura, pero principalmente de entrevistas personales con tres especialistas en entomología. El material recabado incluye: la fenología de la planta cuando es atacada; el órgano o parte de la planta afectada; descripción del daño general y del daño específico; la forma general y la forma específica del insecto; el orden y la familia del insecto; un texto que describe al insecto en su distribución geográfica; su ciclo de vida; los huéspedes; el daño; la situación de la plaga; y el tipo de control.

Verificación y evaluación del sistema. El sistema experto fue verificado por el principal especialista que dio el conocimiento, éste se realizó permitiendo que el experto revisara las respuestas previstas en el sistema y se corrigieran las que se consideraron inadecuadas. La evaluación consistió en que otros especialistas revisaban el sistema, señalando posibles errores o desacuerdos, los que se presentaban de nuevo al especialista principal para lograr un consenso, y en caso de no ser así, se le agregaba la observación como conocimiento adicional.

Validación del sistema. Se llevó a cabo mediante una prueba de facilidad de uso y una comparación entre dos procedimientos de diagnóstico, uno automatizado y uno manual.

— Estudio de la facilidad de uso del sistema. Se evaluó la facilidad de uso del sistema experto, en donde se comparó el tiempo, los aciertos y la opinión de facilidad de los participantes. Para hacer la evaluación, se utilizó un diseño completamente al azar, en donde hubo cinco repeticiones y siete tratamientos. Estos consistieron en la participación de 35 personas con diferentes grados académicos: secretarías, auxiliares de laboratorio, extensionistas, técnico medio (Ingeniero o Licenciado), técnico medio que conoce de plagas (Ingeniero o Licenciado), master (M Sc), doctor (Ph D)

La información de las variables se obtuvo al pasar a cada persona una guía de seguimiento, luego tomar el tiempo empleado y los aciertos alcanzados; por último, se registró su opinión acerca de la facilidad que había experimentado

— Comparación de dos métodos de diagnóstico. Se realizó una comparación del uso del sistema experto para el diagnóstico de plagas insectiles de maíz en América Central y el empleo del libro guía, "Las plagas invertebradas de los cultivos anuales alimenticios en América Central" (5)

En los dos sistemas de diagnóstico se comparó el número de aciertos logrados al realizar 12 diagnósticos con el libro guía y con el sistema experto, también se tomó como dato el tiempo empleado en la realización de los diagnósticos. Cada diagnóstico se llevó a cabo con material traído del campo, el cual se

entregó a los expertos, quienes seleccionaron aquel que era característico del daño, del insecto o de ambos

Se utilizó un diseño de bloques al azar con dos tratamientos y 18 repeticiones realizadas por estudiantes de maestría en el área de manejo integrado de plagas, pero que no eran especialistas en entomología.

En cada repetición se hicieron en total 24 diagnósticos, 12 con el libro guía y 12 con el sistema experto, éstos fueron intercambiados en cada repetición

RESULTADOS

Estructura del sistema. La estructura del modelo conceptual del sistema experto (Fig 1) muestra la manera lógica de identificar un insecto plaga de maíz según el razonamiento del especialista. Esta estructura es el resultado de la sistematización del diagnóstico cuando se combina la información observada en el campo, la cual permite flexibilidad en la entrada de información.

Base de conocimiento. El sistema experto tiene la capacidad de diagnosticar 53 insectos plaga del maíz (Cuadro 1). El conocimiento necesario para efectuar este proceso de diagnóstico se detalla más adelante.

Los estados fenológicos que se usaron en maíz fueron: GERMINANDO, PLANTULA, PLANTA GRANDE

Los órganos o partes de la planta afectadas por los insectos plaga, que fueron considerados por los especialistas fueron: RAIZ, TALLO, HOJAS, COGOLLO y MAZORCA

Los órdenes de insectos y ácaros plagas encontrados en maíz y usados en el sistema fueron: ACARINA, HOMOTERA, COLEOPTERA, HIMENOPTERA, DIPTERA, LEPIDOPTERA, HEMIPTERA, ORTHOPTERA, THYSANOPTERA

Las familias de insectos y ácaros plagas encontrados en maíz y usados en el sistema fueron: ACRIDIDAE, GRYLLOTALPIDAE, ANTHOMYIIDAE, LIGAEIDAE, ANTHRIBIDAE, MIRIDAE, APHIDIDAE, NITIDULIDAE, CHRYSOMELIDAE, NOCTUIDAE, CICADELLIDAE, OTITIDAE, COSMOTERIGIDAE, PYRALIDAE, CURCULIONIDAE, ROMELAIIDAE, CIDNIDAE, SCARABAEIDAE, DELPHACIDAE, SILVANIDAE, ELATERIDAE, TETRACHINYDAE, FORMICIDAE, TETTIGONIDAE, GRILLIDAE, THRIPIIDAE.

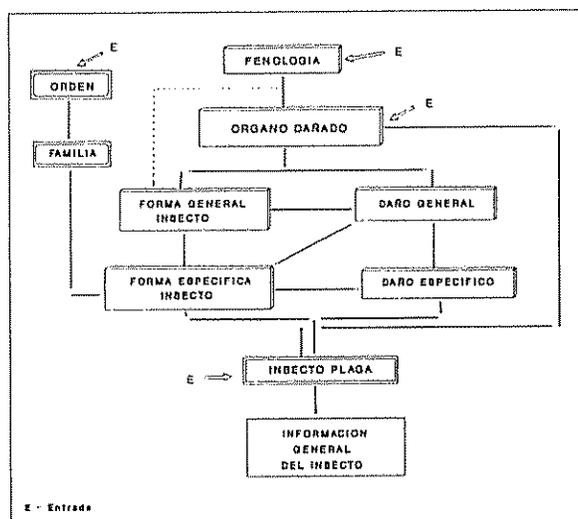


Fig 1. Modelo conceptual del Sistema Experto para el diagnóstico de plagas insectiles de maíz

Cuadro 1. Principales plagas insectiles de maiz de América Central.

ACRIDIDAE	<i>Acheta</i> sp	<i>Acromyrmex</i> sp
<i>Agrotis ipsilon</i>	<i>Anomala</i> sp	<i>Araecerus</i> sp
<i>Atta</i> sp	<i>Blissus</i> sp	<i>Cathartus</i> sp
<i>Chaetocnema</i> sp	<i>Chaetopsis</i> sp	<i>Collaria</i> sp
<i>Colopterus</i> sp	<i>Conotelus stenoides</i>	<i>Crambus</i> sp
<i>Cyrtomenus bergi</i>	<i>Dalbulus maidis</i>	<i>Diabrotica balteata</i>
<i>Diabrotica porracea</i>	<i>Diabrotica</i> sp	<i>Diabrotica viridula</i>
<i>Diatraea</i> spp	ELATERIDAE	<i>Elasmopalpus lignosellus</i>
<i>Euethola</i> sp	<i>Eumecosomyia</i> sp	<i>Euxesta</i> sp
<i>Feltia subterranea</i>	<i>Frankliniella</i> sp	<i>Geraeus</i> sp
<i>Helicoverpa zea</i>	<i>Hylemya</i> sp	<i>Ligyryus</i> sp
<i>Listronotus dietrichi</i>	<i>Metachroma</i> sp	<i>Metamasius</i> sp
<i>Mocis latipes</i>	<i>Mythimna</i> sp	<i>Neocurtilla hexadactyla</i>
<i>Oligonychus</i> sp	<i>Peregrinus maidis</i>	<i>Phyllophaga</i> spp
<i>Pococera</i> sp	ROMELAEIDAE	<i>Rhopalosiphum maidis</i>
<i>Sathrobrotia</i> sp	<i>Sitophilus zeamais</i>	<i>Solenopsis invicta</i>
<i>Spodoptera frugiperda</i>	IETTIGONIDAE	<i>Tomionotus</i> sp
<i>Typophorus</i> sp	<i>Conoderus</i> sp	

Las formas generales encontradas en los insectos plaga de maiz y usados en el sistema fueron: ACARO, GRILLO, AFIDO, HORMIGA, CHAPULIN, LARVA, CHINCHE, PICUDO, ESCARABAJO, SALTAHOJA, GORGOJO, TRIPS, ZOMPOPO

Las diferentes formas específicas encontradas y utilizadas por el sistema fueron 48, además de 19 daños generales y 30 daños específicos.

Validación del sistema. La opinión del usuario sobre la facilidad de uso del sistema fue el único criterio de evaluación en donde se mostró significancia estadística entre los grupos de usuarios de diferentes niveles académicos (Cuadro 2)

La prueba de Tukey muestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre las opiniones del técnico medio y las secretarias, extensionistas y los técnicos medios que conocen de plagas. Para los Master, Doctores y auxiliares de laboratorio no se encontró diferencia significativa. Sin embargo las medias de este criterio quedaron entre fácil y muy fácil.

En el análisis de variancia de la comparación del sistema experto y el libro guía, los factores en estudio mostraron que hubo diferencias significativas en las variables: porcentaje de aciertos, tiempo en minutos y la relación aciertos/tiempo (Cuadro 3).

La prueba de medias muestra que existe diferencia estadísticamente significativa entre el sistema experto y el libro guía (Cuadro 4). El sistema experto tiene mayor porcentaje de aciertos y relación aciertos/tiem-

po que el libro guía. El tiempo utilizado en el proceso de diagnóstico mediante el sistema experto es menor que el tiempo utilizado a través del libro guía. Además, el coeficiente de variación del sistema experto fue 6.09 y el del libro guía fue 24.65.

DISCUSION

El presente sistema experto para el diagnóstico de plagas insectiles en maiz, fue realizado como un instrumento de sistematización del conocimiento de las plagas insectiles más comunes de América Central, con el objeto de ponerlo a disposición de otros usuarios.

El mayor trabajo se concentró en la adquisición del conocimiento, especialmente sobre la descripción de las características del daño y de la forma del insecto.

Cuadro 2. Probabilidades y significancias estadísticas de las variables evaluadas como resultado del análisis de variancia, en el estudio de facilidad de uso.

Variables	F calculada	Pr>F	Signif.
Número de aciertos	0.90	0.5137	NS
Porcentaje de aciertos	0.90	0.5137	NS
Tiempo de respuesta	0.45	0.8343	NS
Facilidad	5.39	0.0012	**
No aciertos/Tipo resp.	0.29	0.8790	NS

NS = No significativo

** = Altamente significativa

to plaga, para evitar interpretaciones equivocadas en cada descripción, por lo cual hubo necesidad de ser lo más claro y universal posible

También la metodología de adquisición de la información tuvo que ser modificada constantemente, tratando de sacar la mayor cantidad de información del experto en corto tiempo, ya que los especialistas son personas muy ocupadas, y se trató de quitarles el menor tiempo posible durante las frecuentes consultas.

La representación del conocimiento se limitó a construir las bases de hechos y códigos con el administrador de bases de datos DBASE IV, y hacer los archivos ASCII con el procesador de palabras WORD. El uso del Shell simplificó este paso (9)

La verificación y la validación fueron importantes para lograr la calidad y la precisión de la información, ya que la observación del comportamiento del sistema, por parte de los expertos, condujo a eliminar errores del sistema

El uso del modelo conceptual y del Shell, así como la correcta selección de los especialistas y de la metodología, facilitan la construcción e implantación de los sistemas expertos para la identificación de plagas insectiles

Para la prueba de facilidad de uso, los análisis de todas las variables con excepción de la variable Facilidad, no mostraron diferencias significativas. Esto se debe a que la estructura del Shell ayuda a que el usuario, independientemente de su nivel educacional, sea capaz de mantener una secuencia de preguntas y respuestas planteadas por el programa. Es difícil cometer un error por la interacción que tiene el Shell con el usuario a través de la utilización de varios menús. Ante una pregunta planteada, éstos le permiten obtener las respuestas posibles que el sistema experto es capaz de responder. En consecuencia, los aciertos y el tiempo son similares para los diferentes niveles académicos.

Cuadro 3. Probabilidades y significancia estadística de las variables analizadas en la comparación de los dos métodos de diagnóstico.

VARIABLES	F calculada	Pr>F	Signif.
Porcentaje de aciertos	12.75	0.0024	**
Tiempo de respuesta	41.61	0.0001	**
No aciertos/Tipo resp.	55.39	0.0001	**

** = Altamente significativa según el ANDEVA.

La definición de la variable Facilidad es de carácter subjetivo y dependió del criterio de cada una de las personas que participó en el experimento. Por eso es razonable pensar que las diferencias significativas que hubo en el nivel académico, se deben a las diferencias de opinión de cada participante. Sin embargo, la diferencia se encontró entre la respuesta fácil (calificación 2.0) y muy fácil (calificación 1.0) y solamente los técnicos medios (Ingeniero o Licenciado) encontraron que era fácil el uso del Shell, los demás niveles académicos lo catalogaron como muy fácil o se mostraron indecisos entre fácil y muy fácil. En general, se puede concluir que el uso del Shell es fácil y con un poco de práctica llegaría a ser muy fácil para todos los niveles académicos, ya que no hubo opiniones en contra del uso del sistema experto.

Cuadro 4. Comparación de medias del sistema experto y libro guía con la prueba de Tukey al 5%, para diferentes variables.

VARIABLES	Libro guía	Sistema experto
Porcentaje de aciertos	75.93 B	92.59 A
Tiempo en minutos	38.76 A	19.43 B
Aciertos/tiempo	0.26 B	0.60 A

Letras iguales no son significativamente diferentes

Se evidenció ventaja del uso del sistema experto sobre el uso del libro guía (Cuadro 4), donde el sistema experto tiene un 92.59% de aciertos contra el libro guía con un 75.93%. Esto es particularmente interesante debido a que uno de los participantes en la creación del libro guía también proporcionó su conocimiento al sistema experto. Esto hace pensar que no debería haber diferencia entre los dos métodos ya que el conocimiento es similar y si agregamos que el sistema experto tuvo como base el libro guía, este hecho lo comprobaría. Sin embargo, el libro guía fue publicado cinco años antes de que se desarrollara el sistema experto. Esto señala una acumulación de más experiencia por parte del especialista, así como la asimilación y comprensión de las dificultades que el libro guía presenta y que no afectaron al sistema experto. Por otro lado, además del conocimiento del experto principal se agregó el conocimiento de otros dos especialistas, que también verificaron el conocimiento del experto principal. Por lo tanto, el conocimiento que posee el sistema experto se presenta en forma más clara y fácil de entender que el del libro guía. Lo cual se evidencia con los resultados obtenidos.

El tiempo que se tomó con el sistema experto en hacer los diagnósticos fue de 19.43 minutos, significativamente menor que el tiempo utilizado a través del

libro guía. 38 76 minutos. La relación de tiempo entre el sistema experto y el libro guía tiene sentido si se piensa como una comparación mecánica de búsqueda de la información en donde la computadora y el sistema experto encuentran las respuestas más rápidamente que si se hace manualmente en el libro guía. Esto ha sido probado ya en las bases de datos que han mostrado sus bondades al facilitar la búsqueda de información en forma muy rápida

La relación entre el número de aciertos y el tiempo muestra la ventaja del sistema experto con una media de 0 60 contra 0 26 aciertos/minuto del libro guía que representa una eficiencia de 230.77% del sistema experto. Otra observación importante es el coeficiente de variación de los aciertos en donde el sistema experto tiene un valor de 6 1% y el libro guía 24 7%, evidenciando una tendencia a las respuestas

más lejanas de la media, en el caso del libro guía y, mucho más cercanas de la media, en el caso del sistema experto. La especificidad del sistema experto puede ser una explicación a este fenómeno, ya que solo incluye conocimiento de plagas insectiles de maíz, y el libro guía cubre conocimiento de plagas insectiles sobre una amplia variedad de cultivos. Esto permite al usuario tener más posibilidades de distracción y un proceso más complicado de selección al hacer la búsqueda. Esto no sucede con el sistema experto el cual da mayores posibilidades de acierto, a la vez que baja el coeficiente de variación.

Con la observación de los resultados anteriores se confirma que con el uso del sistema experto se es más eficiente que con el libro guía en la identificación de las plagas insectiles de maíz

LITERATURA CITADA

1. ANDREWS, K.L.; QUEZADA, J.R. 1989. Manejo Integrado de Plagas Insectiles en la Agricultura: Estado Actual y Futuro. El Zamorano, Escuela Agrícola Panamericana. 623 p.
2. CROFT, B.A. 1985. Integrated pest management: The agricultural-environmental rationale. In Integrated Pest Management on Major Agricultural Systems. Ed. by R.C. Frisbie, P.L. Adkinsson, USA, Texas A and M University p. 712-728.
3. HARMON, P.; KING, D. 1985. Expert Systems: Artificial Intelligence in Business. New York, Wiley. 283 p.
4. HORN, D.J. 1988. Ecological Approach to Pest Management. New York, Guilford. 285 p.
5. KING, A.B.S.; SAUNDERS, J.L. 1984. Las Plagas Invertebradas de los Cultivos Anuales Alimenticios en América Central. Londres, ODA. 182 p.
6. McKINION, J.M.; LEMMON, H.E. 1985. Expert system for agriculture. Computers and Electronics in Agriculture 1(1):31-40.
7. MERINO-CISNEROS, F.L. 1990. Desarrollo de un sistema experto para el diagnóstico de plagas insectiles: Una aplicación a maíz (*Zea mays*) en Centro América. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 140 p.
8. NAEGELE, J.A.; COULSON, R.N.; STONE, N.D.; FRISBIE, R.E. 1985. The use of expert systems to integrate and deliver IPM technology. In Integrated Pest Management on Major Agricultural Systems. Ed. by R.C. Frisbie, P.L. Adkinsson. USA, Texas A and M University p. 692-711.
9. PARSAYE, K.; CHIGNELL, M. 1988. Expert System for Experts. New York, Wiley. 461 p.
10. REYES, C.L.; HERNANDEZ, D.A. 1987. Sistema de referencia entomológico computarizado. In Congreso de Manejo Integrado de Plagas (4, 1987, Guatemala). Memorias Guatemala. p. 441-447.
11. SAUNDERS, J.L.; KING, A.B.S.; VARGAS, S.C.L. 1983. Plagas de los cultivos en América Central: Una lista de referencia. Turrialba, C.R., CATIE. (Serie Técnica Boletín Técnico/Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza no. 9) 92 p.
12. STONE, N.D.; COULSON, R.N.; FRISBIE, R.E.; LOH, D.L. 1986. Expert system in entomology: Three approaches to problem solving. Bulletin of the ESA. p. 161-166.
13. WISIOL, K.I.H.; HESKETH, J.D. 1987. Plant Growth Modeling for Resource Management. Florida, CRC v. 2, 170 p.