

SISTEMA INTERACTIVO PARA EL TRATAMIENTO INTEGRAL DE MALEZAS. I. IDENTIFICACION DE MALEZAS¹

ANA CASALI², ROSA CORTI³, ESTELA D'AGOSTINO⁴, LEONOR DIP, DELMA FACCI, EDUARDO LEGUIZAMON⁵ y JORGE JUAN PLUSS⁴

RESUMEN - La viabilidad de los sistemas agropecuarios sustentables está estrechamente vinculada con la disponibilidad de información de alta calidad que permita optimizar la toma de decisiones, maximizando la rentabilidad y disminuyendo el impacto ambiental de la agricultura. Con este propósito surge el Sistema Interactivo para el Tratamiento Integral de Malezas (SITRAMA), un sistema que se ocupa de la problemática de las malezas en cultivos de soja utilizando las técnicas de Ingeniería del Conocimiento. El conocimiento consta de cuatro módulos. El primero trata el reconocimiento de las malezas en estado de plántula; el segundo encara el problema del control de las malezas, considerando diferentes estrategias que tengan en cuenta variables del sistema de cultivo; el tercero calcula las pérdidas por competencia, teniendo en cuenta la densidad y distribución de malezas; y el cuarto realiza el análisis económico, tanto bajo un enfoque convencional (relación costo/beneficio) como novel (maximización de márgenes/ riesgo e incertidumbre). El objetivo de este artículo es presentar el desarrollo del primer módulo: el reconocimiento de una maleza en estado de plántula, destacando las estrategias seguidas para su clasificación. Esas estrategias simplifican la clasificación dicotómica, polarizando el reconocimiento en base a rasgos relevantes de las plántulas. De esta forma se minimiza la información sobre la plántula requerida al usuario, y se emula el razonamiento experto, arribando al reconocimiento de la maleza de forma mucho más rápida.

INTERACTIVE SYSTEM FOR INTEGRATED WEED MANAGEMENT. I. WEED IDENTIFICATION

ABSTRACT - The success of sustainable agroecosystems is closely linked to the availability of high quality information. This sort of information will optimize management and decision making, improving profits and lowering the agrochemicals impact in the agroecosystems. This is the aim of SITRAMA (Interactive System for Weed Management), a system that deals with the weed management within

¹ Aceptado para publicación en 3 de junio de 1997.

² Licenciada en Matemática, Dpto. de Sistemas e Informática, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, (DSEI/FCEIA/UNR). Pellegrini 250. 2000. Rosario. Santa Fe, Argentina. E-mail: acasali@unrctu.edu.ar

³ Ingeniera Electrónica, DSEI/FCEIA/UNR. E-mail: rcorti@unrctu.edu.ar

⁴ Ingeniero Electricista, DSEI/FCEIA/UNR. E-mail: estelad@unrctu.edu.ar y E-mail: jpluss@dsi.fceia.unrctu.edu.ar

⁵ Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrarias. C.C 14. 2123. Zavalla. Santa Fe, Argentina.

soybean crop context, using knowledge engineering techniques. SITRAMA comprises four modules. The first one deals with weed recognition at seedling stage; the second is concerned with the different control and management strategies which take into account the crop system variables; the third deals with crop losses taken into account weed density & distribution; and the fourth is concerned with economic analysis under conventional techniques (revenues/costs) or novel ones (margin maximisation, risks & uncertainty). The goal of this paper is to present the development of the first module, - weed recognition -, stressing the strategies followed to achieve the identification goal. The strategies used simplify the conventional dicotomic classification, focusing into relevant characters of the seedling. In such a way, information required to the user is minimized, emulating an expert reasoning.

INTRODUÇÃO

En los últimos años ha crecido la preocupación por los problemas ocasionados por el uso de las tecnologías promovidas por la agricultura convencional. La utilización masiva de fertilizantes y plaguicidas y el laboreo intensivo del suelo ha conducido a una fuerte contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, la erosión del suelo se ha incrementado, y han aparecido formas de resistencia en las plagas, registrándose inclusive residuos de plaguicidas en ciertos alimentos. A partir del diagnóstico de esta situación, se han propuesto distintas alternativas, que constituyen una combinación selectiva de las prácticas proporcionadas por la tecnología moderna, con el fin de mantener los niveles productivos actuales, pero con una sustancial reducción del uso de fertilizantes, pesticidas y energía fósil: es el concepto de sustentabilidad (Soriano, 1990). Este concepto nuevo implica necesariamente la generación de nuevos conocimientos y la reunión de los que ya existen bajo una concepción integradora: es en ese nivel en donde la informática tiene un rol fundamental.

Existen antecedentes relacionados con el uso de la informática para la identificación de malezas, pero en general estos programas están basados en la transferencia de claves dicotómicas ya disponibles, con cierta depuración, y presentadas en forma accesible (Lonchamp et al., 1991). Dichos programas, si bien suelen brindar alguna ayuda, distan mucho de actuar de la forma en que los expertos resuelven este problema taxonómico, quienes destacando pocas características relevantes llegan a determinar la especie, sin rescatar todos los elementos de las claves dicotómicas. Un avance en tal sentido, lo constituye el realizado por Ballegaard & Haas (1990), quienes han diseñado un sistema de doble entrada que permite arribar a la identificación de la maleza siguiendo una estructura no convencional. Un programa sencillo que incorpora ayudas gráficas es el desarrollado por González Andújar et al. (1990).

Respecto al software desarrollado como soporte a la toma de decisión del control de malezas, se registra un gran crecimiento en la comunidad internacional en estos últimos años, y los mismos pueden agruparse dentro de dos tipos (Mortensen & Coble, 1991): los que seleccionan los tratamientos basados en la eficacia de los herbicidas (Baandrup & Ballegaard, 1990; Linker et al.,

1990) y los que están basados en el análisis costo-beneficio (Renner & Black, 1991; Wilkerson et al., 1991) de un determinado tratamiento herbicida. En general, los programas de reconocimiento e identificación de malezas no están integrados a los que toman alguna decisión respecto al control, y estos últimos suelen contemplar sólo algún aspecto de la problemática, dada la complejidad y diversidad de los factores intervinientes.

Hasta el presente, el desarrollo de software ha sido en gran medida en el marco de metodologías convencionales; sólo en los últimos años se ha comenzado a incursionar en técnicas de la Inteligencia Artificial, y en particular en los sistemas expertos para resolver problemas en este dominio (Buchanan & Shortliffe, 1985; Rich, 1988). Existe fuerte evidencia que la utilización de sistemas expertos constituye un instrumento poderoso para problemas taxonómicos y de recomendaciones para el control (Hayes Roth et al., 1983). En este sentido, ya en 1988 diferentes organismos internacionales consideraban al área de la agricultura con un enorme potencial para aplicaciones que integren las metodologías de programación tradicionales con los sistemas expertos (Whittaker & Thieme, 1989).

Dentro de este marco, los autores de este trabajo estudiaron la viabilidad de un proyecto de inteligencia artificial en el área de reconocimiento y control de malezas. Se realizó el análisis del dominio, extrayendo sus características fundamentales. También se comenzó con el estudio de las variables intervinientes en el problema, tanto en la etapa de reconocimiento como en el control, evaluando su cantidad y complejidad, especialmente en la etapa de control. De este análisis se decidió que además de viable era recomendable encarar un sistema experto para un dominio donde intervienen muchos factores interrelacionados, algunos de los cuales son difíciles de cuantificar o son de naturaleza incierta. Por otra parte, se conocen desarrollos similares en otros sitios del mundo (González Andújar, 1991).

Se estudió, en este trabajo, la problemática del conocimiento de las malezas en estado de plántulas, para su clasificación dentro de cultivos de soja.

DESARROLLO DEL SISTEMA

Desarrollo del módulo de reconocimiento e identificación

Para el desarrollo de este módulo en primer lugar se trabajó en la especificación del problema a tratar: esto significa definir claramente el dominio en cuestión, los objetivos propuestos y la forma de alcanzarlos. En primer lugar, se estableció un listado de las especies de malezas sobre las cuales trabajar, las cuales se eligieron por su abundancia y frecuencia en el cultivo (Cuadro 1). Posteriormente se las agrupó en base a características morfológicas comunes, en latifoliadas y gramíneas, anuales y perennes.

Además se estableció que el reconocimiento se realizaría con respecto a malezas en estado de plántula. En esta etapa suele ser más difícil la tarea de clasificación, y por lo tanto, es más necesario el conocimiento de un experto. La correcta identificación de una especie tiene que ser obtenida a pesar de la gran diferencia que se observan en las características morfológicas en los

CUADRO 1. Principales malezas de la soja en la Pampa Húmeda. Especies consideradas.

Gramíneas			Latifoliadas		
Anuales	Perennes	Anuales	Anuales	Perennes	
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	<i>Sorghum halepense</i> (L.) Persoon	<i>Datura ferax</i> L.	<i>Bidens subalternans</i> DC	<i>Wedelia glauca</i> (Ort.) Hickel	
<i>Echinochloa</i> spp.	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Persoon	<i>Amarantus</i> spp.	<i>B. pilosa</i> L.	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Gris)	
<i>Elysiene indica</i> (L.) Gaertner		<i>Portulaca oleracea</i> L.	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	
<i>Setaria verticillata</i> (L.) Beauv		<i>Azida cristata</i> L. Schlecht	<i>E. dentata</i> Michx	<i>Physalis viscosa</i> L.	
<i>Brachiaria extensa</i> Chase		<i>Chenopodium album</i> L.	<i>Xanthium spinosum</i> L.		
		<i>Ipomea rubriflora</i> O'Donnell	<i>X. cavanillesi</i> Schouw		
		<i>I. purpurea</i> (L.) Roth	<i>X. strumarium</i> L.		
		<i>I. nil</i> (L.) Roth	<i>Cucurbita andreana</i> Naud		
		<i>I. grandifolia</i> (Dummer) O'Donnell	<i>Sida spinosa</i> L.		
		<i>Tagetes minuta</i> L.	<i>S. rhombifolia</i> L.		
			<i>Galinsoya parviflora</i> Cav.		

individuos en estado de plántula. Por otra parte es en este estadio donde deben tomarse las decisiones, tanto las relacionadas con su abundancia y los posibles efectos competitivos sobre el cultivo, como también las relacionadas con las medidas de control (tipo y dosis de herbicidas).

Una vez determinado el conjunto de malezas a considerar, se estableció que el sistema debía concluir en una de las especies consideradas, o, en su defecto, emitir un mensaje de imposibilidad de llegar a la clasificación, por no ser una de las especies que contiene en la base de conocimientos. Debe destacarse que el sistema experto permite en forma relativamente sencilla la inclusión de nuevas especies, si el experto lo creyese necesario. Mediante ayudas gráficas que muestren los rasgos relevantes de la plántula, se permite la confirmación por parte del usuario, en el sentido que las características de la especie concluida concuerdan con la plántula analizada.

Otro aspecto importante que se fijó, fue el modo en que debía llegar a la clasificación el sistema experto. Este debía ser similar al realizado por los expertos en el dominio. Esto significaba descubrir y representar las heurísticas o atajos utilizados, de modo que ante la presencia de ciertos rasgos distintivos, le permitiera llegar a la clasificación correcta a través de cortas cadenas de razonamiento. A partir de esta premisa, se analizaron las estrategias a seguir, para arribar a la clasificación, requiriendo al usuario sólo la información relevante. Todas estas especificaciones se engloban dentro de la etapa denominada conceptualización del dominio (Waterman, 1986), que es la primera fase del trabajo interactivo entre los ingenieros del conocimiento y los expertos en el dominio, tarea denominada adquisición del conocimiento.

Adquisición del conocimiento

Uno de los mayores obstáculos en la construcción de sistemas expertos, es el problema de la adquisición del conocimiento (Knowledge Acquisition KA). Este proceso consiste en elicitación y análisis del conocimiento de un experto en el dominio de trabajo, de forma tal que esta pericia pueda ser codificada en un sistema experto. Esta tarea es compleja y su dificultad reside, por un lado, en la complejidad de las estructuras del conocimiento humano y lo poco que se conoce aún de ellas, y por otro, a la falta de metodologías e instrumentos adecuados.

La tarea de adquisición del conocimiento es llevada a cabo por el denominado ingeniero del conocimiento, profesional que maneja los instrumentos de programación utilizados en el desarrollo de un sistema experto y por lo tanto tiene en mente el destino de este conocimiento y las estructuras en las cuales se lo va a representar. Además, el problema que enfrenta no es solamente el de acceder y trasladar lo que ya se conoce, sino el trabajo científico e ingenieril de formalizar modelos por primera vez.

Si bien existen algunos instrumentos computarizados para apoyar la adquisición del conocimiento (Knowledge Acquisition Tools KATs), aún pocos ambientes de desarrollo de sistemas expertos cuentan con este módulo, y por lo tanto se siguen utilizando fundamentalmente las técnicas manuales, entre las que se encuentran la generación de ideas (brainstorming), distintos

tipos de entrevistas que varían de las no-estructuradas a las estructuradas y las actividades de retorno (teachback), donde los ingenieros del conocimiento demuestran el entendimiento del conocimiento parafraseando o resolviendo un problema (Brulé & Blount, 1989).

El proceso manual de adquisición del conocimiento consta, básicamente, de dos fases: la primera, es la conceptualización del dominio ya citada, y la segunda, es la adquisición del conocimiento propiamente dicha.

En esta etapa se identifican fundamentalmente las técnicas de resolución de problemas, las heurísticas generales y de toma de decisión. Esto se realiza en etapas sucesivas de adquisición del conocimiento. Considerando el retorno de los modelos realizados por los ingenieros del conocimiento, y mediante la comparación de los mismos con las actividades de los expertos al resolver casos reales, se profundiza la adquisición del conocimiento y se refinan los modelos elaborados en un proceso iterativo.

Adquisición del conocimiento para el reconocimiento de malezas

La adquisición del conocimiento del dominio se realizó mediante una gran interacción con los expertos en el dominio. Esta consistió en una serie de entrevistas que comenzaron siendo no estructuradas y luego fueron estructurándose a medida que el modelo del problema se iba construyendo.

A partir de las primeras secciones de KA, los expertos comenzaron a trabajar en la clasificación de las especies latifoliadas. Esta tarea fue encarada revisando principalmente la documentación existente sobre el tema, la cual está basada en la clasificación dicotómica (Del Puerto, 1972; Cabrera & Zardini, 1978; Francescangeli & Mitidieri, 1990, 1991).

Al revisar las características de la plántula involucradas en cada caso y los caminos de clasificación así logrados, se pudo observar que eran más extensos, ya que consideraban más rasgos que los que ellos relataban al clasificar casos testigos en las entrevistas. Luego de esta primera experiencia, la KA tomó otro rumbo, y en vez de partir de la bibliografía se convocó a los expertos a trabajar sobre el análisis de casos de plántulas reales. De este modo se pudo comenzar a extraer las heurísticas utilizadas en el proceso de clasificación. Para este problema, las heurísticas consisten en aquellos conjuntos de rasgos que definen claramente a una especie, ordenados según su importancia para esa especie. Además, para tener la mayor eficiencia, se consideró el orden del requerimiento de los rasgos de modo de optimizar la estrategia de clasificación, diferenciando lo antes posible una especie del conjunto de las especies posibles que se mantiene.

Debe destacarse que la estrategia de búsqueda propuesta, simplifica a la clasificación botánica tradicional basada en claves dicotómicas. En este sentido se emuló el proceso de razonamiento utilizado por los expertos al encarar un problema concreto de taxonomía de las malezas reduciendo en forma significativa la cantidad de información requerida al usuario.

Para ejemplificar lo dicho, se presenta en primer lugar el camino dicotómico para clasificar las especies del género *Euphorbia*, donde se puede observar

que en cada paso de la clasificación se utiliza un conjunto de rasgos, sumando así un número de 12 características requeridas, para arribar a la conclusión.

Camino dicotómico

0) Latifoliadas anuales.

1) Cotiledones alargados, de forma elíptica o similar, pero siempre por lo menos dos a tres veces más largos que anchos. La forma puede ser oblonga, elíptico alargada u oblonga-alargada, pero siempre se destaca la diferencia entre el largo y el ancho.

2) Lámina del cotiledón con nervadura central y algunas ramificaciones visibles o sin nervaduras notables.

3) Primera hoja verdadera siempre entera.

4) Plántula de aspecto no craso.

5) Cotiledones sin cerosidad.

6) Hipocótilo de color verde, cotiledones elípticos, unión con el peciolo no marcada.

La especie que se concluye es: *Euphorbia heterophylla*.

Por otro lado, en el sistema se ha utilizado la característica relevante para estas especies: tiene látex como elemento polarizador de la búsqueda. De este modo, se busca a través de la adquisición del valor de otros rasgos, la clasificación final de la plántula. Así se representa el razonamiento de los expertos los cuales con pocas características importantes focalizan la búsqueda, reduciendo el espectro de posibilidades, y luego analizan algunos elementos más para confirmar la clasificación.

Camino de clasificación seguido por el sistema

0) Latifoliadas anuales.

1) Presencia de látex.

2) Cotiledones más largos que anchos.

3) Borde primer par de hojas entero.

Se concluye: *Euphorbia heterophylla*.

Esta metodología de trabajo sentó las bases para continuar con la KA de los caminos de clasificación de las especies gramíneas. Los rasgos considerados en los grupos de malezas gramíneas y latifoliadas son los que se detallan en el Cuadro 2, para lo cual fue importante una tarea de normatización de la terminología. Estos rasgos son pedidos al usuario del sistema, según sea necesario para el camino de clasificación que se esté siguiendo, por lo que no se requerirá la totalidad de ellos.

Para verificar los rasgos distintivos en cada especie, se realizó un trabajo experimental detallado de ciertos caracteres morfológicos que eran confusos o poco claros en la bibliografía disponible. Se procedió a recolectar material vivo de varios sitios y localidades. Las malezas fueron mantenidas en terrinas, llevándose un registro escrito y una documentación fotográfica de las variaciones morfológicas de las especies seleccionadas.

CUADRO 2. Rasgos en latifoliadas y gramíneas.

Usados en gramíneas	Usados en Latifoliadas		
	Plántula	Cotiledones	Primeras hojas
Pilosidad	Tamaño	Consistencia	Forma
Color	Color	Tamaño	Aspecto
Dimensiones de la primer hoja	Olor	Relación de tamaño	Borde
Sección de la plántula	Látex	Forma	Base de la lámina
Pilosidad	Cerosidad	Simetría	Envés
Lígula	Hipocótilo	Pubescencia	Pecíolo
Borde de la lámina		Apice	Angulo pecíolo/lamina
Pelos en el margen de la lámina		Haz	Pubescencia
Nervadura central		Envés	Segmento terminal de la hoja
Tamaño de la lígula.			Escotadura del ápice
			Lóbulos apicales de la hoja

Las estrategias de clasificación se implementaron en el sistema a través de una adecuada estructuración de la base de conocimientos y de la programación de un motor de inferencias, que utiliza dicho conocimiento para la resolución de problemas.

Estructura de la base de conocimiento

Un sistema experto tiene como característica fundamental que separa lo que es conocimiento del dominio, de lo que es el manejo de dicho conocimiento. Para ello tiene una estructura básica que cuenta con una base de conocimiento y un motor de inferencias. En la base, mediante un esquema de representación adecuado al problema a tratar, se representa el conocimiento del dominio, y el motor de inferencias es quien lo utiliza para alcanzar el objetivo propuesto (Coombs & Alty, 1986).

Para la implementación de este módulo se trabajó con un conjunto de instrumentos que proveen la facilidad de desarrollo de sistemas expertos con una representación del conocimiento orientada a objetos (Cox & Novobilski, 1993). Este tipo de representación se basa en la definición de categorías que agrupan objetos que reúnen características comunes. Las categorías se organizan en un árbol jerárquico que nace en la categoría más general y que por ende, engloba a todos los posibles objetos del dominio de trabajo, o sea, en este caso particular, todas las plántulas de malezas. A partir de esta categoría madre, el árbol jerárquico se desarrolla a través de una serie de subcategorías más específicas que sólo agrupan algunos de los objetos presentes en el dominio. Podría mencionarse como ejemplo una subcategoría Lanual (Latifoliada Anual), que agrupa a todas las plántulas correspondientes a ese grupo, u otra subcategoría denominada *Xanthium*, que reúne a todas las plántulas pertenecientes a las especies *Xanthium spinosum*, *Xanthium cavanillesi* y *Xanthium strumarium*.

Debe destacarse que esta estructura soporta una herencia de tipo simple. Esto es, las características propias de una categoría madre son heredadas por

sus subcategorías hijas, que a su vez pueden poseer facetas propias. Por ejemplo, la faceta *forma de hoja = no lineal* de la categoría Latifoliadas es heredada por todas las especies, agrupadas en anuales y perennes que están bajo ellas. De esta forma, este árbol que se va desarrollando hacia sus nodos terminales a través de categorías cada vez más específicas, sostiene el razonamiento que utilizan los expertos para lograr una clasificación eficiente de la plántula bajo estudio. Este razonamiento, y las heurísticas propias del problema, se plasman mediante reglas de producción. Típicamente estas reglas presentan la siguiente estructura:

SI la plántula es latifoliada anual y tiene látex y los cotiledones son tan largos como anchos y el borde del primer par de hojas es totalmente dentado,

ENTONCES la plántula es *Euphorbia dentata*.

Esta regla según la sintaxis del sistema queda escrita de la siguiente forma:

```

Defined in file: yuyo5.rul
Used by task(s): Clasificar5
defrule
regla-Euphorbia-Dentata
author
SE
explanation
Especializamos yuyo5 a Euphorbia Dentata
end-explanation
let
yuyo a Latifoliada-Anual = self^yuyo5
if
latex^yuyo = '$si and
cotiledones^yuyo = '$tan-largos-como-anchos and
borde-hojas^yuyo = '$totalmente-dentado
then
action
$(send 'prototype self^yuyo (S-find-prototype 'Euphorbia-Dentata))
$(terpri)
$(print «La especie es Euphorbia Dentata»)
end-rule

```

El motor de inferencias (Pluss & D'Agostino, 1992) maneja una agenda de tareas que organiza y reúne estas reglas en distintos grupos. Para este problema en particular, se abordó la tarea de clasificación dirigiendo la evolución de un objeto genérico inicial, plántula a clasificar, a través del árbol de categorías, para colocarlo finalmente bajo alguno de los nodos terminales, que representan las especies de malezas propias de la zona.

Interface con el usuario

Dadas las características del dominio, donde la mayoría de la información es visual, se consideró fundamental, dotar al sistema de un fuerte componente gráfico. Se trabajó en el desarrollo de una interfase bajo windows, suma-

mente interactiva, que incorporara el mouse como instrumento fundamental para ingresar la información al sistema.

Según esta concepción, se incluyeron diferentes tipos de gráficos durante la consulta, para facilitar la interacción con el usuario. Podemos distinguir tres funciones diferentes en el uso de los mismos:

1) Como ayuda para recordar las diferentes partes de una plántula.

Durante la consulta se presentan pantallas que visualizan las diferentes partes de una plántula. Un ejemplo se presenta en la Fig. 1.

2) Como medio para seleccionar las características de distintas partes de la plántula.

Se han desarrollado diferentes pantallas gráficas para adquirir la información sobre distintas partes de la plántula. Ejemplo de estas características son: presencia de órgano de propagación vegetativa, forma de hojas, forma de cotiledones entre otras. La pantalla correspondiente a la elección de esta última característica se muestra en la Fig. 2.

3) Para presentar una plántula tipo de la especie concluída.

Se confirma la especie, mediante una imagen de la planta tipo, acompañada de un conjunto más extenso de características que permiten confirmar la clasificación alcanzada. Un ejemplo se presenta en la Fig. 3.

Especificaciones de software

Se ha logrado construir un prototipo de Sistema Experto, con una importante ayuda gráfica, para seleccionar las distintas características relevantes en las diferentes especies.

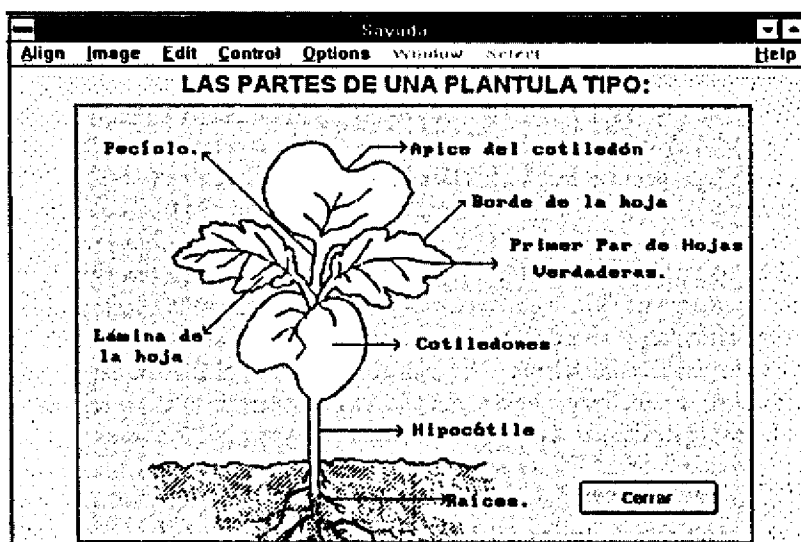


FIG. 1. Ventana gráfica de ayuda para identificar las partes constitutivas de la plántula.

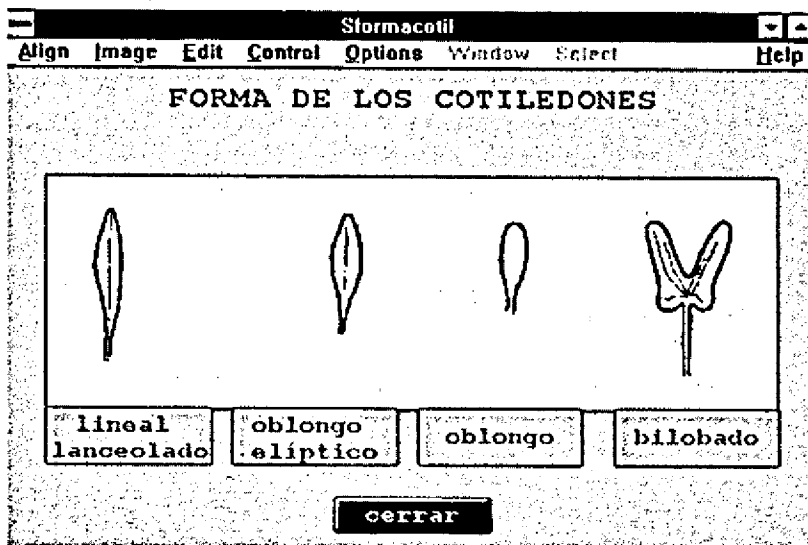


FIG. 2. Ventana gráfica para solicitar información al usuario del sistema.

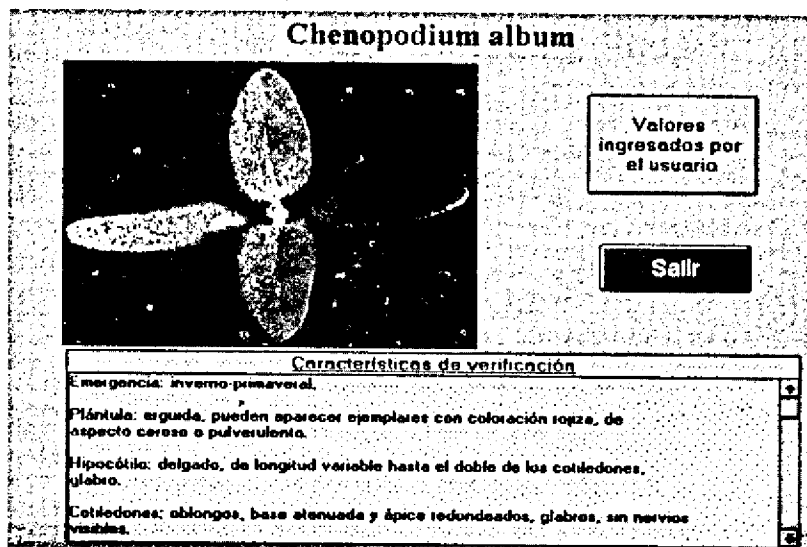


FIG. 3. Ventana gráfica de presentación de la especie concluida.

El módulo de reconocimiento de SITRAMA ha sido desarrollado utilizando un conjunto de herramientas de Inteligencia Artificial construidas sobre Lelisp. El mismo consta de un paquete de programas para la generación del sistema experto SMECI y de un instrumento para el diseño de la interfase gráfica AIDA-MASAI, de la empresa ILOG. Todos comparten el mismo ambiente, de modo que se generó una aplicación que integre la base de conocimiento y su motor de inferencias asociado, con la interfase que se comunica

con el usuario. SITRAMA está diseñado para correr en IBM-PCs 386/486 o compatibles, con 12 MB de RAM. Este mismo sistema está siendo volcado en el software KAPPA-PC de Intellicorp y corre en IBM-PCs 386/486 con 4 MB de RAM.

CONCLUSIONES

1. El prototipo de este sistema satisface los objetivos planteados; permite arribar a la identificación de una plántula desconocida en forma rápida, emulando el razonamiento de los expertos del dominio.

2. En este sistema experto de clasificación se destacan las estrategias implementadas, que permiten concluir en una especie, requiriendo solo los rasgos relevantes de la plántula; esta característica, junto a la incorporación de gráficos en el sistema, hace que su interfase sea amigable y que la consulta pueda realizarse de forma eficiente.

REFERENCIAS

- BAANDRUP, M.; BALLEGAARD, T. Advisory computer system for weed control. In: EWRS SYMPOSIUM INTEGRATED WEED MANAGEMENT IN CEREALS. Proceedings... Helsink: [s.n.], 1990. p.443-450.
- BALLEGAARD, T.; HAAS, H. Development of a Computer-Based Expert System for the identification of Weed seedlings. In: EWRS SYMPOSIUM INTEGRATED WEED MANAGEMENT IN CEREALS. Proceedings... Helsink: [s.n.], 1990. p.435-442.
- BRULÉ, J.; BLOUNT, A. Knowledge Acquisition. New York: McGraw-Hill, 1989. 256p.
- BUCHANAN, B.; SHORTLIFE, E. Expanding the horizons of expert systems. California: Addison Wesley, 1985. 342p.
- CABRERA, A.; ZARDINI, E. Manual de la flora de los alrededores de Buenos Aires. 2.ed. Buenos Aires: Acme, 1978. 755p.
- COOMBS, M.; ALTY, J. Sistemas expertos: conceptos y ejemplos. Madrid: Diaz de Santos, 1986. 216p.
- COX, B.; NOVOBILSKI, A. Programación orientada a objetos: un enfoque evolutivo. 2.ed. Salamanca: Addison-Wesley/Diaz de Santos, 1993. 350p.
- DEL PUERTO, O. Descripción de plántulas de malas hierbas del Uruguay. Montevideo: Facultad de Agronomía, Univ. de la Republica, 1972. 85p. (Boletín n.110).
- FRANCESCANGELI, N.; MITIDIERI, A. Identificación de las principales malezas de la soja de la región pampeana. San Pedro: INTA, 1990. 24p.
- FRANCESCANGELI, N.; MITIDIERI, A. Identificación de plántulas de malezas de la región pampeana (Argentina) por grupos de semejanza. San Pedro: INTA, 1991. 20p.

- GONZÁLEZ ANDÚJAR, J.L. Sistemas expertos en malherbología. In: ACTAS DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MALHERBOLOGÍA. Córdoba: SEMh, 1991. p.288-292.
- GONZÁLEZ ANDÚJAR, J.L.; RODRIGUEZ, J.; NAVARRETE, L. Development of a prototype expert system (Siexmal) for identification of weeds in cereals. In: EWRS SYMPOSIUM INTEGRATED WEED MANAGEMENT IN CEREALS. Proceedings... Helsinki: [s.n.], 1990. p.429-434.
- HAYES ROTH, F.; WATERMAN, P.; LENAT, P. Building expert system. California: Addison Wesley, 1983. 444p.
- LINKER, M.M.; YORK, A.C.; WILTHITE, D.R. Weeds-A system for developing a computer based herbicide recommendation program. *Weed Technology*, v.4, p.380-385, 1990.
- LONCHAMP, J.P.; BARRALIS, G.; GASQUEZ, J.; JANZEIN, P.; KERGUÉLEN, M.; LE CLERK, J.; MAILLET, J. Malherb, logiciel de reconnaissance des mauvaises herbes des cultures: approche botanique. *Weed Research*, v.31, p.237-245, 1991.
- MORTENSEN, D.A.; COBLE, H.D. Two approaches to weed control decision aid-software. *Weed Technology*, v.5, p.445-452, 1991.
- PLUSS, J.; D'AGOSTINO, E. Sistemas expertos: motor de inferencias USE-1. *Revista Telegráfica Electrónica*, v.937, p.297-301, 1992.
- RENNER, K.A.; BLACK, J.R. Soyherb: a computer program for soybean herbicide decision making. *Agronomy Journal*, v.83, p.921-925, 1991.
- RICH, E. *Inteligencia Artificial*. Barcelona: Ed. G. Gili, 1988. 446p.
- SORIANO, A. *Los conocimientos ecológicos y la sustentabilidad*. Buenos Aires: INTA, 1990. (Serie Agricultura Sustentable).
- WATERMAN, D. *A guide to expert systems*. California: Addison Wesley, 1986. 419p.
- WHITTAKER, D.; THIEME, R. Integration of problem solving techniques in agriculture. *AI Magazine*, v.10, n.12, p.85-87, 1989.
- WILKERSON, G.G.; MODENA, S.A.; COBLE, H.D. Herb: decision model for postemergence weed control in soybean. *Agronomy Journal*, v.83, p.413-417, 1991.