

SISTEMA INTELIGENTE PARA EL DIAGNÓSTICO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DEL ARROZ

SISTEMA INTELIGENTE PARA EL DIAGNÓSTICO DE PLAGAS EN EL CULTIVO DEL ARROZ

AUTORES: Yosvany Medina Carbó¹

Carlos Mario Alonso Echevarría²

Isabel Reinoso Castillo³

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: yosvany.medina@upr.edu.cu

Fecha de recepción: 14-06-2021

Fecha de aceptación: 29-10-2021

RESUMEN

El sector productivo y la tecnología siempre han ido de la mano, dando como resultado diversas investigaciones, y han aportado grandes avances al desarrollo de sistemas enfocados a apoyar actividades del sector productivo. La producción agrícola se ha convertido en un negocio complejo que requiere la acumulación y la integración de conocimiento, además de la información de muchas fuentes diversas. Para permanecer competitivo, el agricultor moderno a menudo confía en especialistas agrícolas y consejeros que les proporcionan información para la toma de decisiones en sus cosechas. Pero lamentablemente, la ayuda del especialista agrícola no está siempre disponible cuando el agricultor la necesita. Para aliviar este problema, los sistemas expertos se han convertido en un instrumento poderoso y que posee un gran potencial dentro de la agricultura. Este trabajo presenta un Sistema Experto para el diagnóstico de plagas y enfermedades en el cultivo del arroz. Para el desarrollo de este Sistema Experto se utilizó SWI-Prolog para la creación de la base de conocimientos por lo que trabaja con predicados y permite que el sistema se base en reglas de producción. Este sistema permite realizar un diagnóstico rápido y fiable de las plagas y enfermedades que afectan a este cultivo.

¹ Ingeniero en Ciencias Informáticas. Maestrante de la Maestría en Informática Aplicada en la Universidad de Pinar del Río. Profesor Instructor, Especialista General en Tecnología de las Comunicaciones, la Electrónica, la Automática y los servicios técnicos en el Centro Universitario Municipal "Hermanos Saiz Montes de Oca" de Consolación del Sur, Pinar del Río, Cuba. E-mail: yosvany.medina@upr.edu.cu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3590-0706>

² Licenciado en Educación en la especialidad de Geografía y en Lengua Rusa. Máster en Ciencias en Pedagogía Profesional. Profesor Asistente en el Centro Universitario Municipal "Hermanos Saiz Montes de Oca" de Consolación del Sur, Pinar del Río, Cuba. E-mail: carlosmario.alonso@upr.edu.cu. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1593-3535>

³ Licenciada en Filosofía en la Universidad de La Habana. Máster en Ciencias en Estudios de Género. Profesora Auxiliar, investigadora y directora del Centro Universitario Municipal "Hermanos Saiz Montes de Oca" de Consolación del Sur, Pinar del Río, Cuba. E-mail: isarec@upr.edu.cu.

PALABRAS CLAVE: arroz; diagnóstico; plagas y enfermedades; sistema experto; toma de decisiones.

INTELLIGENT SYSTEM FOR THE DIAGNOSIS OF PESTS AND DISEASES IN RICE CULTIVATION

ABSTRACT

The productive sector and technology have always gone hand in hand, resulting in various investigations, and have contributed great advances to the development of systems focused on supporting activities in the productive sector. Agricultural production has become a complex business that requires the accumulation and integration of knowledge, as well as information from many diverse sources. To stay competitive, the modern farmer often relies on agricultural specialists and advisers who provide information for decision making on their crops. But unfortunately, the help of the agricultural specialist is not always available when the farmer needs it. To alleviate this problem, expert systems have become a powerful tool with great potential within agriculture. This work presents an Expert System for the diagnosis of pests and diseases in rice cultivation. For the development of this Expert System, SWI-Prolog was used to create the knowledge base, so it works with predicates and allows the system to be based on production rules. This system allows a fast and reliable diagnosis of pests and diseases that affect these crops.

KEYWORDS: rice; diagnosis; pests and diseases; expert system; decision making.

INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos en Cuba constituye hoy un aspecto central en la estrategia económica y social del país, donde deberán intervenir de manera eficiente todas las formas de gestión, el encadenamiento productivo y la sustitución de importaciones. El artículo 77 de la Constitución cubana, vigente desde abril de 2019, reafirma el derecho de todas las personas a una alimentación sana y adecuada y encarga al estado crear condiciones para fortalecer la seguridad alimentaria de toda la población (Constitución de la República de Cuba, 2019).

La seguridad alimenticia global es el balance entre la creciente demanda de alimentos de la población mundial y la producción mundial agrícola, combinada con discrepancias entre suministro y demanda a escalas regionales, nacionales y locales (Savary, et al., 2012). El estado de la seguridad alimenticia global en la actualidad es alarmante y ha empeorado durante los últimos años, la crisis alimenticia del 2008 ha tenido un efecto devastador en este sentido.

La actual situación del país, precisa que la producción nacional de alimentos constituya un programa de seguridad nacional. En los últimos meses ha

aumentado el interés hacia la producción de alimentos y se ha perfilado como un objetivo estratégico de Cuba en el momento actual, pues el presidente Miguel Díaz-Canel Bermúdez ha dicho que es uno de los temas que debemos abordar con carácter holístico e integral, al ser este un problema de soberanía nacional y que abarca muchos elementos.

Como parte de la Política Económica y Social aprobada en los Lineamientos del VI Congreso del Partido Comunista de Cuba, se instrumenta la reorganización de la actividad agrícola y se prioriza la aplicación de la ciencia para la sustitución de importaciones y alcanzar la soberanía alimentaria y educación nutricional del pueblo. Para ello el Consejo de Ministros de Cuba aprobó el 22 de julio de 2020 el Plan Nacional de Soberanía Alimentaria y Educación Nutricional (SAN), primero de su tipo en la historia del país.

El Plan de Soberanía Alimentaria y Educación Nutricional contempla las directrices del estado cubano para la gestión de los sistemas alimentarios locales, soberanos y sostenibles, a partir de la articulación intersectorial y la participación de los actores vinculados con la producción, transformación, comercialización y consumo de alimentos; así como el fomento de una cultura alimentaria y educación nutricional (Periódico Juventud Rebelde, 2020). Al respecto, en una publicación en el sitio oficial de la Presidencia de la República, Gustavo Rodríguez, Ministro de la Agricultura, asegura que el Plan SAN se sustenta en la capacidad de la nación para producir alimentos de forma sostenible y dar acceso a la población a una alimentación balanceada, nutritiva e inocua, reduciendo la dependencia de medios e insumos externos, con respeto a la diversidad cultural y responsabilidad ambiental.

Este Plan es un gran esfuerzo de trabajo intersectorial que le permitirá a Cuba mantener sus logros en materia de seguridad alimentaria y nutricional y enfrentar desafíos como el autoabastecimiento y el aumento del sobrepeso en la población. Con el propósito de vincular la ciencia y la innovación a la producción de alimentos para la soberanía alimentaria y la educación nutricional, sobre la base de la gobernanza de sistemas alimentarios locales, el sistema de trabajo del plan cuenta con 18 programas, encaminados a la producción de arroz, granos, viandas y hortalizas, cítricos y frutales, café y cacao; suelos, bioproductos de uso agrícola y medicamentos veterinarios; además del desarrollo de la apicultura, porcino, avícola, ganadería bovina, acuicultura, alimento animal e industria láctea y cárnica.

En relación con el programa encaminado a la producción de arroz con más ciencia, en función de la soberanía alimentaria y educación nutricional sobre la base de la gobernanza de sistemas alimentarios locales, se puede decir que este cereal se ha convertido en la base de la alimentación del cubano. Su consumo diario es prácticamente inamovible de la dieta.

El programa de Desarrollo Integral del Arroz, aprobado desde septiembre de 2011 para reducir las importaciones de este cereal y contribuir a la soberanía alimentaria, implica, según entrevista realizada por el periódico Granma a

Lázaro Díaz Rodríguez, director de la División Tecnológica de Arroz, del Grupo Empresarial Agrícola, “una reproyección del esquema hasta 2030, con un aporte estimado desde la producción nacional, de unas 600 000 toneladas destinadas al consumo interno, que representarían el 86 por ciento de la demanda de arroz anualmente” (López, 2020).

Para dar cumplimiento a las metas planteadas por el programa de producción de arroz del plan SAN, el cual tiene relación con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 2 de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, el sector alimentario y el sector agrícola ofrecen soluciones claves para el desarrollo y son vitales para la eliminación del hambre y la pobreza. Es por ello que se debe conocer que la mayor causa de pérdida en la producción de arroz lo constituyen las enfermedades producidas por microorganismos fitopatógenos, tales como bacterias, nematodos u hongos, que provocan grandes pérdidas en el cultivo tanto en cosecha como en post cosecha.

Las enfermedades en las plantas constituyen una preocupación, no solo para las personas que dependen directa o indirectamente de la producción agrícola, sino también por los valores estéticos de las plantas y su contribución a la protección del medio ambiente (Porta-Puglia y Vannacci, 2012). Otro de los factores que influyen en la pérdida de alimentos son las plagas, quienes provocan enormes prejuicios tanto a la economía como a la seguridad alimenticia global. Nuestro país no está exento de estas afectaciones, la actividad desarrollada por hongos, bacterias y virus en los órganos de las plantas también origina disminuciones en la calidad y en los rendimientos del arroz.

El impacto negativo de estas enfermedades en los cultivos incrementa los costos de producción agrícola, por la necesidad de implementar estrategias adicionales para el control del microorganismo patógeno y la disminución de sus efectos sobre las cosechas. Es por ello que la producción agrícola se ha convertido en un proceso dinámico complejo que requiere la acumulación e integración de conocimiento e información de diversas fuentes a través de modelos o sistemas de apoyo para alertar, monitorear y controlar las diferentes plagas y enfermedades que atacan a los cultivos (Ochoa y Kemper, 2009).

El sector productivo y la tecnología siempre han ido de la mano, dando como resultado diversas investigaciones, y han aportado grandes avances al desarrollo de sistemas enfocados a apoyar actividades del sector productivo. En Cuba el programa de producción de alimentos con más ciencia es una iniciativa nacional de la Presidencia de la República que responde al llamado de buscar, en la actividad científica e innovadora, las respuestas a los grandes problemas pendientes de solución, no solo para aportar saberes sino también para enriquecer políticas y evaluar sus impactos, proyectando posibles transformaciones sucesivas.

Desde finales de los años cincuenta, el diagnóstico de enfermedades ha venido siendo un tema de interés en el área de la Inteligencia Artificial (IA). Dicha área

y una de sus ramas, los Sistemas Expertos (SE), con un enfoque totalmente diferente al resto de los sistemas existentes, brindan la posibilidad de tomar decisiones de manera más precisa y rápida de lo que un ser humano lo haría, lo que los hace una herramienta potente dado a que está en la capacidad de procesar grandes volúmenes de información, sin correr el riesgo de tomar una decisión errónea, por no tener en cuenta datos que considere innecesarios.

Los sistemas expertos surgen de las técnicas de la inteligencia artificial que han sido objeto de amplias investigaciones desde el año 1950, pero la investigación en este tema comenzó realmente en los 60's donde surgieron los primeros artículos en este campo. Sánchez y Beltrán (2009), en su trabajo sobre sistemas expertos, establecen una metodología de programación y definen un sistema experto como un conjunto de programas que son capaces, mediante la aplicación de conocimientos, de resolver problemas en un área determinada del conocimiento o saber que ordinariamente requirieran de la inteligencia humana, mientras que Kandel (1992), define un sistema experto como un sistema informático que simula los procesos de aprendizaje, memorización, razonamiento, comunicación y acción de un experto humano, en una determinada ciencia, suministrando, de esta forma, un consultor que puede sustituirle con unas ciertas garantías de éxito.

Sin embargo, todo esto sugiere que el conocimiento sólo se adquiere con un largo aprendizaje y sobre la base de experiencias, de ahí que un sistema experto deba tener ciertos elementos para su correcta funcionalidad. Se requiere que dicho sistema, al ser instalado en un ordenador, sea capaz de resolver, por medio de inferencias, problemas específicos de razonamiento con buenas probabilidades de solución. El desarrollo de los Sistemas Inteligentes (SI) y sus continuos avances han permitido su expansión y aplicación en diversas áreas del conocimiento y tecnología. En el campo de la agricultura se han desarrollado trabajos enfocados al diagnóstico de enfermedades en plantas.

En fitopatología, ciencia que se encarga del estudio de las enfermedades de las plantas, se utilizan con frecuencia estos sistemas con fines de diagnóstico, por ejemplo, identificar la causa de una enfermedad por los síntomas y las observaciones relacionadas (Quintero, et al., 2019; Riley, Williamson & Maloy, 2002). Mediante la incorporación de modelos de infección de enfermedades de cultivos en la base de conocimientos de la computadora, el SE puede asesorar a los productores sobre la probabilidad de ocurrencia real de la enfermedad, períodos de infección y recomendaciones sobre tipo, cantidad y momento de aplicación de pesticidas (Moreno, 2005; Bula et al., 2013).

Por la importancia del diagnóstico de las enfermedades en los cultivos y al analizar las ventajas de que puede tener un sistema que asista el diagnóstico de plagas y enfermedades que los afectan, se pretende en la presente investigación desarrollar un sistema experto para realizar el diagnóstico de plagas y enfermedades en el cultivo de arroz. De esta forma serán tomadas

decisiones preventivas y correctivas que ayuden a mejorar la productividad agrícola en el municipio Consolación del Sur.

Métodos utilizados en la investigación

Los principales métodos (Rubín, 2017) empleados en la investigación son los siguientes:

El método dialéctico-materialista como base metodológica que definirá el uso de los métodos científicos generales, plantea como principio: el movimiento espiral y ascendente del conocimiento, identificando las contradicciones, los nexos y las transformaciones que se evidencian a lo largo de la investigación. A través del mismo se podrá determinar las particularidades, regularidades y tendencias de los sistemas expertos para el diagnóstico de plagas y enfermedades en los cultivos.

Se utilizarán métodos teóricos como:

El método de análisis histórico y lógico, este permitirá el estudio de las distintas etapas por las que transitara el debate sobre la utilización de los sistemas expertos en el diagnóstico de plagas y enfermedades en los cultivos. Permitirá establecer el marco conceptual de la investigación, así como determinar las principales tendencias de las plagas y enfermedades que afectan al cultivo del arroz con auxilio de la Inteligencia Artificial y los sistemas expertos.

Como métodos empíricos esenciales se utilizará La medición: como método que se utiliza para obtener información numérica acerca de la cualidad de los sistemas expertos para el diagnóstico de plagas y enfermedades en el arroz, donde se comparan magnitudes medibles y conocidas. Es la atribución de valores cuantitativos a determinadas propiedades relacionadas con el uso de los sistemas expertos en función del diagnóstico de plagas y enfermedades en el cultivo del arroz. Su uso suele aparecer combinado con la técnica de las entrevistas y las encuestas.

Como técnicas de investigación se emplearon: la entrevista, la encuesta y el análisis documental.

Análisis documental: se utilizó para la consulta de documentos y la obtención de información relacionada con las plagas y enfermedades que afectan el cultivo del arroz, que permitirán el diagnóstico del objeto de estudio, la demostración del problema, así como propuestas de solución al mismo.

Entrevista: Para obtener la información necesaria acerca de la problemática. Se utiliza para obtener información en forma verbal, a través de preguntas que se proponen para conocer en detalle sobre el tema que se investiga.

Encuesta: Se utilizó como una de las formas de validar la solución propuesta utilizando la fórmula de IADOV.

DESARROLLO

Metodología computacional

En este trabajo se presenta un Sistema Experto para el diagnóstico y detección de plagas y enfermedades en el cultivo de arroz, el cual es de interés agrícola para el municipio Consolación del Sur. Este sistema permite realizar un diagnóstico rápido y fiable de las plagas y enfermedades que afectan a este cultivo. En esta sección se describe brevemente la metodología utilizada y se detalla su utilización para el desarrollo del sistema propuesto.

Metodología para la construcción del sistema experto

El estudio del presente trabajo estuvo conformado por cinco fases independientes, pero profundamente relacionadas, que fueron desarrolladas por los autores con ayuda de expertos humanos.

- La primera fase fue una investigación previa que consistió en recopilar información concerniente a la construcción de un sistema experto y en hacer un estudio detallado de las herramientas o lenguajes de programación utilizados para la construcción de estos, con la intención de elegir la herramienta más apropiada para dar solución a la problemática.
- La segunda fase fue una planeación, la cual tenía como objetivo producir un documento estructurado y organizado que permitiera el desarrollo del Sistema Experto. Para ello se establecieron procesos tales como: determinación de las Tareas del Sistema Experto, definición de los requisitos de alto nivel.
- La tercera fase fue definir la base de conocimiento sobre la cual se tomarían las decisiones que permitieran diagnosticar las plagas y enfermedades en el cultivo de arroz, mediante su sintomatología, para esto lo primero que se hizo fue adquirir el conocimiento necesario relacionado con el tema objeto de estudio, el cual se obtuvo de revisión de literatura como libros, artículos y revistas, pero principalmente de entrevistas personales con especialistas en el cultivo.
- La cuarta fase fue la de codificación y verificación, esta consistió en diseñar las reglas de inferencia que se tendrían en cuenta en la base del conocimiento, concerniente al diagnóstico de las plagas y enfermedades en el cultivo de arroz mediante su sintomatología. De otro lado en esta fase también se diseñó la arquitectura del sistema experto, para integrar todos los módulos y permitir a los usuarios la interacción con el sistema mediante una interfaz para la toma de decisiones.
- La quinta y última fase consistió en evaluar el sistema, esto se logró mediante la realización de una prueba detallada del sistema, sin errores de compilación, para así poder construir el manual del usuario.

Sistema experto para el diagnóstico de plagas y enfermedades en el cultivo del arroz

Uno de los mayores problemas en el sector agrícola es el azote de plagas y enfermedades, llegando a ser muy perjudiciales y generan grandes pérdidas, tanto de cultivos como monetarias. Si bien es cierto, esto genera muchas dificultades para los agricultores, ya que repercute en su trabajo, también se debe tener en cuenta que no todos poseen el conocimiento necesario, ni la capacidad para poder afrontar este tipo de desastres. En consecuencia, se planteó el desarrollo de un sistema inteligente que, gracias a los conocimientos de un agente humano experto, será capaz de diagnosticar, prevenir y tratar a este tipo de problemas para que cualquier persona, y más aún, los agricultores se vean beneficiados al tomar algunas acciones inmediatas que los ayude a combatir estas plagas y enfermedades.

Se buscó a un experto humano que proporcionó la base del conocimiento para el sistema inteligente. Las ideas, experiencia e información de este experto humano sirvieron para que el sistema pueda responder a muchas de las preguntas que un agricultor se plantea al momento que una plaga o una enfermedad azota a su cultivo.

Después de la realización de un análisis intensivo de la toda la información proporcionada por el experto humano y por la bibliografía consultada, se determinó usar las reglas de producción en lenguaje Prolog, por adaptarse mejor a las condiciones del problema. Para ello la organización del conocimiento quedó dividida en un módulo, que dispone de un predicado principal que será el responsable de invocar al conocimiento almacenado en esa parte.

El sistema permite realizar el diagnóstico de diferentes tipos de plagas y enfermedades en el arroz. En la Tabla 1 se aprecian los tipos de plagas y enfermedades que pueden afectar a este cultivo.

Tabla 1 Plagas y enfermedades diagnosticados por el sistema experto

Cultivo	Plagas y enfermedades
Arroz	✓ Piricularia (<i>Pyricularia oryzae</i>), Chilo Supressalis o Barrenador del Arroz, <i>Pyricularia grisea</i> del arroz, Rosquillas, Pudenta (<i>Eysarcoris ventralis</i>)

El diseño del sistema cuenta con tres capas fundamentales (Figura 1): la base de conocimiento, el motor de inferencia y la interfaz de usuario.



Figura 1. Estructura del sistema experto

Base de conocimientos: contiene el conocimiento especializado que se extrae del experto en el dominio, es decir, contiene el conocimiento general sobre el dominio en el que se trabaja.

Motor de inferencia: modela el proceso de razonamiento humano, es decir, controla el proceso de razonamiento que seguirá el sistema experto, utilizando los datos que se le suministran, recorre la base de conocimiento para alcanzar una solución.

Interfaz del usuario: permite que el usuario pueda describir el problema al sistema experto, por medio de preguntas e información ofrecida.

La base de conocimiento está dividida por un bloque de preguntas y un bloque que muestra información sobre la plaga o enfermedad. El bloque de preguntas está formado por reglas donde se define la pregunta a realizar al usuario y la respuesta a la pregunta la cual puede ser afirmativa o negativa (Figura 2).

```

$PRINCIPAL
espregunta('es cultivo de arroz ?',X):-esrespuesta(X) .

principal(P1):-
espregunta('es cultivo de arroz ?',P1),P1='si',
ph.

```

Figura 2. Ejemplo de reglas de un bloque de preguntas

Por su parte el bloque de diagnóstico contiene reglas que permiten determinar la plaga o enfermedad que afecta al cultivo, ofreciendo tanto el nombre científico como el nombre común (Figura 3).

```

af002 (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12):-
espregunta('se observa amarillamiento y reducción acopada de hojas en plantas jóvenes?',P1),P1='no',
espregunta('se observan grandes manchones de plantas con menor crecimiento?',P3),P3='si',
espregunta('se observa una coloración oscura en las raíces, la base del tallo, o en toda la planta?',P2),P2='no',
espregunta('se observa presencia de manchas amarillas en hojas de plantas adulta?',P4),P4='no',
espregunta('se observan hojas cloróticas, algunas con necrosis parcial en diferente grado?',P5),P5='si',
espregunta('se puede observar el sistema radicular disminuido, con raíces necrosadas, más oscuras?',P12),P12='si',
espregunta('se observa presencia de manchas de color marrón en hojas de plantas adultas?',P7),P7='no',
espregunta('se observa esporulación en hojas?',P10),P10='no',
espregunta('se observa una afectación en las raíces, que se tornan necróticas?',P5),P5='no',
espregunta('las plantas se marchitan ligeramente durante el período más caluroso del día, pero se recuperan por la noche?',P6),P6='no',
espregunta('se observa un desarrollo raquítico?',P8),P8='no',
espregunta('el sistema radicular es destruido y provoca pérdidas considerables en el cultivo?',P11),P11='no',

pf2('C:/Programa/phytium.jpg','PHYTIUM APHANIDERMATUM (DAMPING OFF)', 'C:/Programa/phytium.bmp').

```

Figura 3. Ejemplo de reglas de un bloque de diagnóstico de plaga o enfermedad

Finalmente, el bloque de reglas que muestra la plaga o enfermedad que padece el cultivo, así como información de la misma y posible tratamiento (Figura 4).

```

pf2 (X, Y, Z) :-new(D, dialog('IMAGEN DE LA PLAGA O ENFERMEDAD')),
mostrar2(X, D, 20, 40),
new(L, label(n, '')),
send(D, append(label(n, 'PLAGA O ENFERMEDAD'))),
send(D, append(label(n, Y))),
send(D, append, L),
mostrar2(Z, D, 20, 350),
send(D, open).

```

Figura 4. Ejemplo de reglas de un bloque de información sobre la plaga o enfermedad

Implementación del sistema experto

Para el desarrollo de este sistema experto, se utilizó Swi-Prolog Editor por ser un entorno de desarrollo para programar en prolog cuya diferencia principal con otros editores es que las consultas y la base de conocimiento están en el mismo lugar.

Se utilizó Swi-Prolog por ser un sistema basado en un lenguaje de programación que utiliza los paradigmas de programación declarativa y funcional, y que además cuenta con un motor de inferencia integrado, lo cual facilita trabajar de una manera eficiente.

SWI-Prolog es una implementación en código abierto (open source) del lenguaje de programación Prolog, licenciada bajo la GNU Lesser General Public License. Su autor principal es Jan Wielemaker, quien inició su desarrollo en 1987. Actualmente SWI-Prolog se utiliza ampliamente en la investigación y la educación, así como para aplicaciones comerciales. Una de sus ventajas es que puede ser utilizado en plataformas Unix, Windows y Macintosh. Por estas razones se seleccionó a SWI-Prolog como motor de inferencia para el desarrollo del sistema.

El diseño del sistema experto cubrió los requisitos de aprendizaje rápido del manejo, evitó la entrada de datos erróneos y las preguntas y resultados se presentaron en forma comprensible para el usuario.

Se desarrolló la siguiente interfaz gráfica para el sistema experto de diagnóstico de plagas y enfermedades en los cultivos de arroz, tabaco, tomate, pimiento, maíz, pepino y frijol. En las figuras 5, 6 y 7 se muestran las pantallas del sistema experto, en donde se puede ver la pantalla inicial, un cuestionario y la recomendación que el sistema arroja. En la figura 6 se presentan las preguntas realizadas para determinar el tipo de cultivo afectado.

La figura 7 muestra el test de preguntas realizadas por el sistema experto al usuario para determinar la plaga o enfermedad que afecta al cultivo del arroz. En la figura 8 se muestra un cuestionario de las posibles plagas o enfermedades que afectan al cultivo del arroz y se han seleccionado en si 4 preguntas del cuestionario para que el sistema determine cuál es la plaga o enfermedad presente en la planta. La figura 9 es el resultado del diagnóstico de una de las plagas o enfermedad que pueden afectar al cultivo del arroz en la cual se muestra el tipo de plaga o enfermedad y una explicación de la misma de forma breve.



Figura 5. Pantalla inicial del sistema experto.

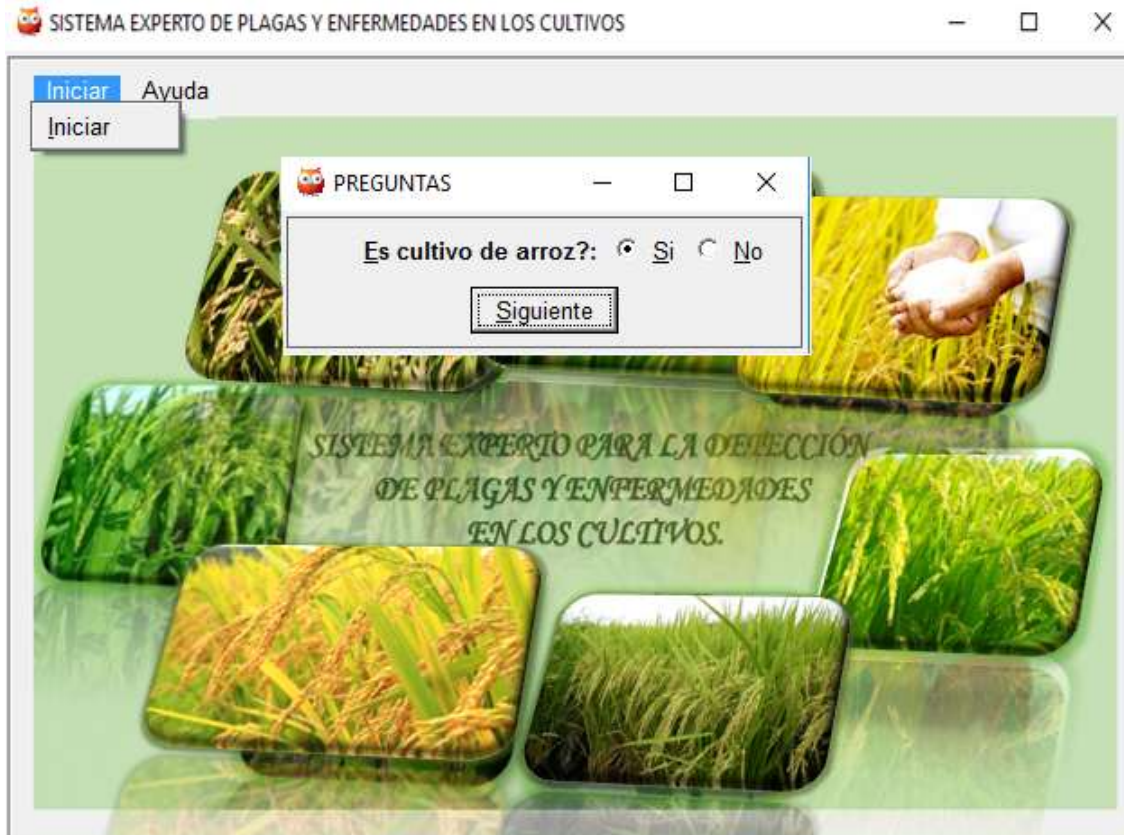


Figura 6. Preguntas realizadas para determinar el tipo de cultivo afectado

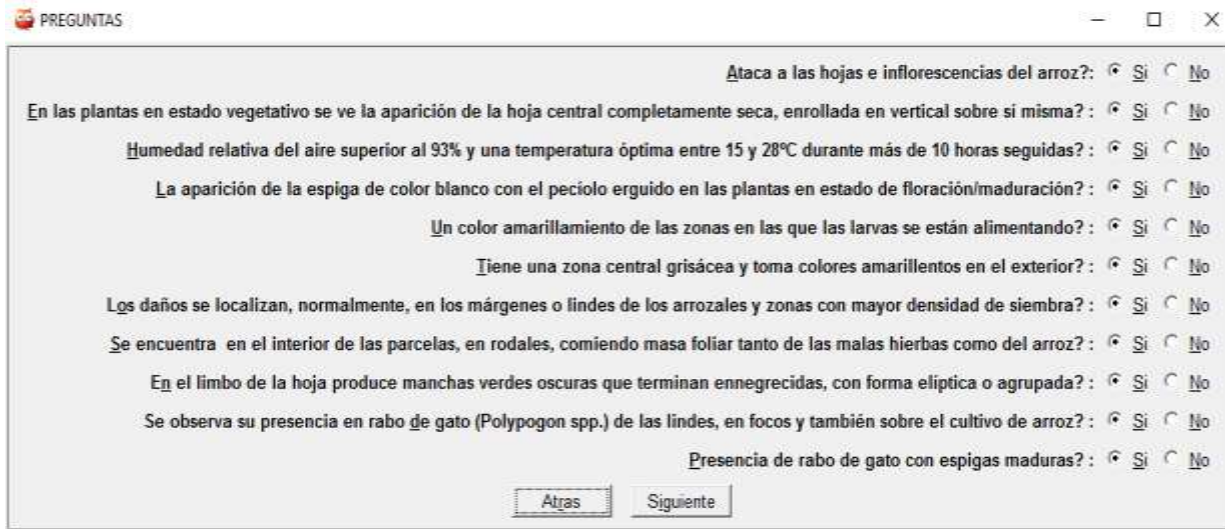


Figura 7. Test de preguntas realizadas por el sistema experto al usuario

Ataca a las hojas e inflorescencias del arroz?: Sí No

En las plantas en estado vegetativo se ve la aparición de la hoja central completamente seca, enrollada en vertical sobre si misma?: Sí No

Humedad relativa del aire superior al 93% y una temperatura óptima entre 15 y 28°C durante más de 10 horas seguidas?: Sí No

La aparición de la espiga de color blanco con el peciolo erguido en las plantas en estado de floración/maduración?: Sí No

Un color amarillamiento de las zonas en las que las larvas se están alimentando?: Sí No

Tiene una zona central grisácea y toma colores amarillentos en el exterior?: Sí No

Los daños se localizan, normalmente, en los márgenes o lindes de los arrozales y zonas con mayor densidad de siembra?: Sí No

Se encuentra en el interior de las parcelas, en rodales, comiendo masa foliar tanto de las malas hierbas como del arroz?: Sí No

En el limbo de la hoja produce manchas verdes oscuras que terminan ennegrecidas, con forma elíptica o agrupada?: Sí No

Se observa su presencia en rabo de gato (*Polypogon spp.*) de las lindes, en focos y también sobre el cultivo de arroz?: Sí No

Presencia de rabo de gato con espigas maduras?: Sí No

IMAGEN DE LA PLAGA O ENFERMEDAD



PLAGA O ENFERMEDAD
 PYRICULARIA (PYRICULARIA ORYZAE) DEL ARROZ

Ataca hojas, tallos, inflorescencias y ocasionalmente al grano. Los momentos, en que la planta de arroz es más susceptible, son el estado de plántula y durante la floración. Sobre las hojas produce unas manchas características, que se inician por un punto color castaño con halo más claro y que luego se trasforman en una mancha alargada con una zona central de color gris en la cual se pueden observar los conidios y una zona intermedia castaña y un halo difuso castaño amarillento o de color rojizo. Cuando estas manchas confluyen ocasionan la muerte de la hoja, pero la planta renueva las hojas y sigue vegetando.

Figura 8. Cuestionario que diagnostica la plaga o enfermedad pyricularia oryzae del arroz.

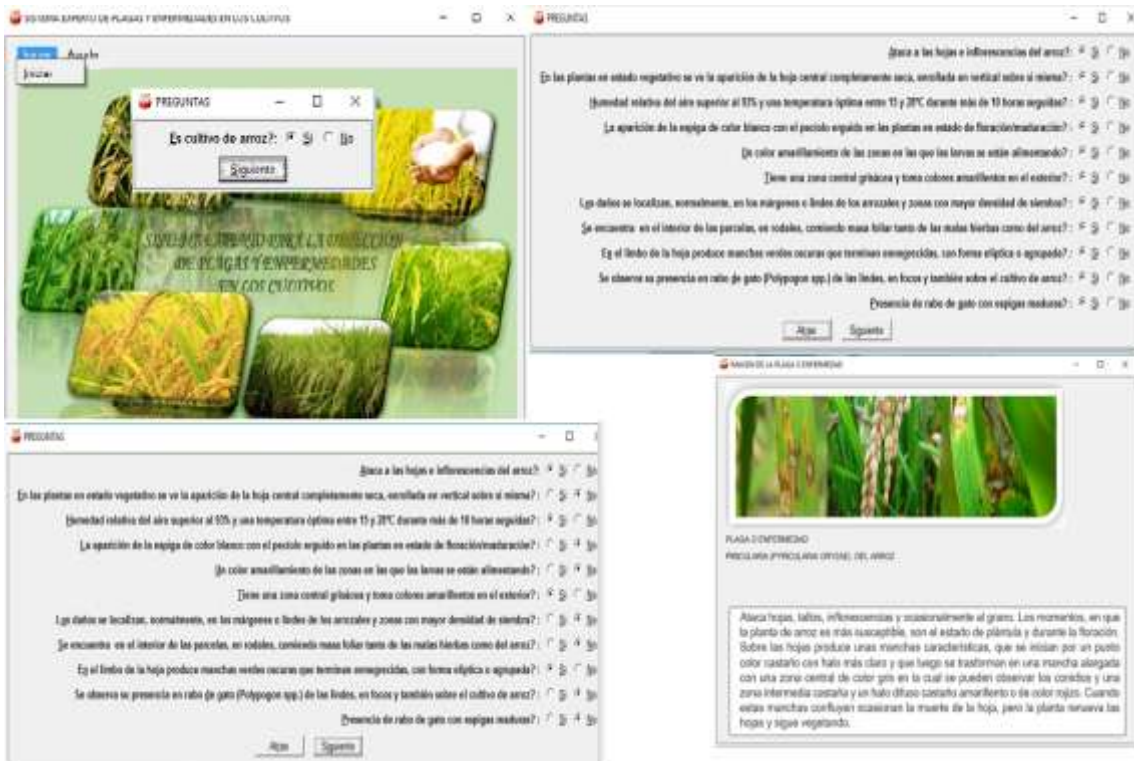


Figura 9. Resultado del diagnóstico de una de las plagas o enfermedad que pueden afectar al cultivo del arroz

CONCLUSIONES

Se logró desarrollar un sistema fácil de usar y con una interfaz amigable que interactúa con el cliente mediante preguntas, mostrando posibles curas para contrarrestar el azote de las plagas.

Se puede concluir que un sistema inteligente como el que se plantea, tiene una función de prevención y de informar a los agricultores de las posibles plagas que puedan existir en sus cultivos, dándoles así datos acerca de ellas y una posible solución a este problema.

Este sistema inteligente no solo es una herramienta de prevención, sino que brinda la información necesaria para poder darle solución a los problemas que tiene el sector agrícola en cuanto al control de plagas.

Gracias a este sistema inteligente, los usuarios se verán beneficiados debido a los resultados proporcionados, mejorando así su productividad y evitando los posibles daños que afectarían sus cultivos.

REFERENCIAS

Bula, H. D., Aramendiz, H., Salas, D., Vergara, W. E., and Villadiego, A. L. (2013). Sistema Experto para el diagnóstico de plagas y enfermedades en los cultivos de

- berenjena (*Solanum Melongena L.*) en la región Caribe de Colombia. Ingeniería e Innovación, 1(1).
- Constitución de la República de Cuba (2019). *Constitución de la República de Cuba*. Recuperado 4 de febrero de 2021, de <http://media.cubadebate.cu/wp-content/uploads/2019/01/Constitucion-Cuba-2019.pdf>
- Kandel, A. (1992). *Fuzzy Expert Systems*, editorial CRC, 1ª edición, Londres.
- López, V. (19 de julio de 2020). El arroz que necesitamos, las dificultades que sorteamos. *Guerrillero*. Recuperado de <http://www.guerrillero.cu/el-arroz-que-necesitamos-las-dificultades-que-sorteamos/>
- Moreno, C. (2005). Sistema Experto de Ayuda a la Decisión para el Mantenimiento de un Olivar. Tesis doctoral, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España.
- Ochoa, L. y Kemper, N. (2009). Diseño y desarrollo de un sistema inteligente para el diagnóstico y monitoreo de plagas y enfermedades en frutas y hortalizas. Recuperado de: <http://www.iiis.org/cds2008/cd2009csc/cisci2009/paperspdf/c657kc.pdf>
- Periódico Juventud Rebelde (2020). *Por una legislación sobre soberanía alimentaria y educación nutricional en Cuba*. Recuperado de <http://www.juventudrebelde.cu/cuba/2020-09-21/por-una-legislacion-sobre-soberania-alimentaria-y-educacion-nutricional-en-cuba>
- Porta-Puglia A, y Vannacci G. (2012). Fungal plant diseases in Europe and in the Mediterranean Basin. In: Lal R, editor. *Agricultural Sciences*. Oxford: Eolss Publishers.
- Quintero, L.A., Ríos, L.R., Quintana, D., León, B.Y. (2019). Sistema Experto para el diagnóstico presuntivo de enfermedades fúngicas en los cultivos. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 13(1), 61-75. Recuperado de: <https://rcci.uci.cu/?journal=rcci&page=article&op=download&path%5B%5D=1829&path%5B%5D=736>
- Riley, M.B., Williamson, M.R. & Maloy, O. (2002). *Plant disease diagnosis*. The Plant Health Instructor. DOI: 10.1094/PHI-I-2002-1021-01
- Rubín, A. (19 de agosto de 2017). *lifeder.com*. Obtenido de Los 6 Pasos del Método Científico y sus Características: <https://www.lifeder.com/pasos-metodo-cientifico/>
- Sánchez y Beltrán, J. P. (1990). *Sistemas Expertos una metodología de programación*, Editorial Macrobit.
- Savary, S., Ficke, A., Aubertot, J.-N., and Hollier, C. (2012). Crop losses due to diseases and their implications for global food production losses and food security. *Food Security*, 4(4), 519–537.