

Diseño de un prototipo sobre un Sistema experto para el diagnóstico de enfermedades de los cultivos de arroz en Panamá

Design of a prototype on an expert system for the diagnosis of diseases of rice crops in Panama

Alexis Wong, Bachelor¹, Juan Soriano, Bachelor², Rafael Barba, Bachelor³, and Luiyiana Pérez, Doctor^{1,4}

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, {alexis.wong, luiyiana.perez}@utp.ac.pa

^{2,3}Grupo de Investigación de Ingeniería de Proyectos en Tecnología de la Información y Comunicación- Centro Regional de Azuero, Panamá, {juan.soriano, rafael.barba}@utp.ac.pa

* Corresponding author: luiyiana.perez@utp.ac.pa

Resumen: En este artículo se presenta los resultados del desarrollo de un prototipo de sistema experto (SE) para el diagnóstico de enfermedades del arroz, con mayor incidencia en la provincia de Los Santos, Panamá, utilizando para su creación la metodología Buchanan, la cual consiste en 4 etapas: identificación, conceptualización, formalización y desarrollo. Para la recolección de datos se consultó bibliografía variada brindada por un experto y otras fuentes en el área agrícola. El estudio consistió en establecer las reglas de comportamiento de seis (6) enfermedades comunes y que más afectan los cultivos en la región, el diagnóstico de acuerdo con las características relacionadas a las plantas y al ambiente, y presentar su posible tratamiento, a través de una plataforma desarrollada en Java, el motor PROLOG y la base de conocimiento con MySQL.

Palabras claves-- Agente lógico, PROLOG, razonamiento dirigido por datos, sistema experto.

Abstract-- This article presents the results of the development of a prototype of an expert system (SE) for the diagnosis of diseases with greater incidence in the province of Los Santos, Panama, using the Buchanan methodology, which consists of 4 stages: identification, conceptualization, formalization and development. For the collection of data, a varied bibliography was consulted, provided by experts and other sources in the agricultural area. The study consisted in establishing the rules of behaviour of six (6) common diseases that affect the most the rice crops in the region, the diagnosis according to the characteristics related to the plants and the environment, and their possible treatment is present, through a platform developed in Java, the PROLOG engine and the knowledge base with MySQL.

Keywords-- Logic agent, PROLOG, data-based reasoning, expert system.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas expertos (SE) son software que imitan el proceso intelectual de un ser humano, especializado en determinada área de conocimiento [1], ayudando al experto a conservar su valioso conocimiento, y poder difundirlos de

formas más fáciles, en otras palabras, los sistemas expertos se basan en información muy detallada, la cual es manipulada para ser representada en la computadora y llegar a la solución de los problemas [2].

La estructura básica de un sistema experto consiste en las siguientes partes: base de conocimiento, memoria de trabajo o base de hechos, razonamiento de máquina y la interfaz de interacción humano-computador.

La idea del proyecto parte de la problemática de que en el sector agrícola de la provincia de Los Santos en Panamá, reporta grandes pérdidas en la producción de arroz, según datos publicados en el informe de cierre por el Ministerio de Desarrollo Agropecuario la pérdida de arroz para el periodo 2019 -2020 fue de 31% de la producción, esto se debe a que la mayoría de la veces no se detecta a tiempo el tipo de enfermedad que atacan el cultivo, por la similitud de los síntomas que presenta una enfermedad vs a otra, por otro lado se tiene que el productor aplica el químico innecesariamente porque no consulta la asistencia técnica a tiempo, trayendo como consecuencia pérdidas económicas y contaminación ambiental.

Esta propuesta constituye una parte del proyecto titulado "Modelo de gestión de datos para el apoyo del manejo de patógenos en los cultivos agrícolas, a partir de la caracterización de enfermedades tropicales de las plantas en Panamá". El cual se concretiza con una aplicación Web, que permitirá alimentar la base de datos por los expertos de las diferencias de las enfermedades de las plantas en Panamá, esta base de datos constituye la base de conocimiento para el Sistema Experto diseñado en esta propuesta. Ambos proyectos se complementan entre sí, con el objetivo de una vez terminado se tendrán dos productos una plataforma Web que alimenta la base de conocimiento por los expertos y una aplicación de escritorio (SE) desarrollada en Java, se proyecta el desarrollo de una app móvil para expandir

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.144>

ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

a más productores a nivel nacional y que sea fácil de utilizar en campo, como proyecto futuro.

Cabe señalar que el proyecto está en la etapa de desarrollo y validación, y pasará a una etapa de implementación después de ejecutar el Modelo de gestión de datos.

Se ha desarrollado todo el ciclo del prototipo realizando el estudio con 6 enfermedades, información certificada por un experto localizado en la región, que ayudó a levantar la base de conocimiento, o la base de hechos con los síntomas de cada enfermedad almacenada en MySQL, luego esas memorias son consultadas y pasadas a un lenguaje de máquina para la construcción de las reglas escritas en la forma de cláusulas de HORN, a través del motor de inferencia PROLOG.

El SE desarrollado cuenta con una interfaz que le permite al productor o técnico introducir las características de la enfermedad que observa en la planta, luego se aplica la lógica de la cláusula de Horn sin literal positivo o consulta (query). Se contrasta los datos introducido por el usuario con la base de hechos almacenada en MySQL para dar un diagnóstico. Se han considerado las variables visibles y no visibles para el diseño de once (11) reglas, que dan origen a un nuevo conocimiento y que permite dar un diagnóstico de la enfermedad del cultivo que observa el productor en la planta y su control respectivo.

II. DEFINICION DEL PROBLEMA

Según datos publicado por el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) [5], alrededor de 1700 productores cultivan entre 65 000 a 70 000 hectáreas por año, con una producción cercana a los siete millones de quintales de arroz húmedo y sucio, lo que en principio hace suponer que la producción nacional podría abastecer la demanda del país. No obstante, en los últimos años, después de la afectación en el campo de un ácaro en el año 2004, la superficie sembrada de arroz disminuyó, lo que provocó que la producción también se redujera y, por ende, la necesidad de aprobar contingentes extraordinarios para cubrir déficit.

Desde entonces esta situación se viene incrementando en el país, ya que no se ha podido erradicar en su totalidad las innumerables enfermedades que atacan los cultivos de arroz. Estos problemas dan origen a este proyecto, el desarrollo de un SE basado en reglas, para diagnosticar las enfermedades en etapas tempranas de los cultivos de arroz, ofreciendo a técnicos y productores agropecuarios una herramienta tecnológica que ayude a identificar qué enfermedad está atacando el cultivo y cómo contrarrestarlo adecuadamente, evitando el exceso de químicos que en lugar de matar el virus muchas veces contaminan el medio ambiente.

Si se logra conocer a tiempo el motivo de un brote de enfermedad, esta puede ser eliminada. Es lo que se quiere con este proyecto de investigación.

Panamá es uno de los países del área centroamericana con mayor consumo per cápita de arroz, uno de los alimentos indispensables en la dieta del panameño. En consecuencia, su

producción tiene una gran importancia a nivel social, político, económico y, sobre todo, en lo relacionado con la seguridad alimentaria del país [5].

El arroz es una de las especies que a menudo es afectada por problemas fitopatológicos que limitan su producción, realidad que no escapa el agro en Panamá. Estas enfermedades varían según las condiciones ambientales de las zonas productoras y el manejo de los factores de producción.

Las principales enfermedades del arroz pueden dividirse en dos grupos [6]: las infecciosas, causadas por hongos, bacterias, virus y nematodos; y las no infecciosas, causadas por exceso o defecto en las condiciones del clima, el suelo, por daños químicos o mecánicos. Estas enfermedades se presentan en la hoja, el tallo, la panícula, el grano y la raíz (ver figura 1); de diferente forma y color.

Según el experto del Instituto de Investigación Agropecuario en Panamá (IDIAP), el Ingeniero Luis Barahona, el patógeno que comúnmente ataca los cultivos de arroz es el hongo *Pyricularia oryzae*, considerado como el patógeno más antiguo y de mayor impacto en la producción del cultivo del arroz en Panamá. Las pérdidas causadas por este hongo oscilan entre 10% y 30% del rendimiento promedio, y ocasionalmente causan disminución hasta el 90%, según la variedad sembrada, la intensidad del ataque y la zona en que se cultiva.

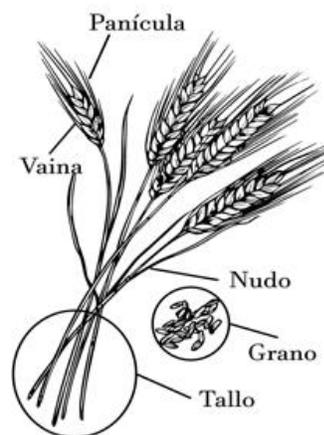


Fig. 1 Zonas donde se presentan las enfermedades.

Este patógeno puede atacar cualquiera parte de la planta: hojas, nudos, tallos, cuello de la panícula y granos, durante la etapa de crecimiento. Sin embargo, cuando ataca el cuello de la panícula ocasiona daños que disminuyen la producción del cultivo y, por tanto, trae consigo pérdidas económicas.

Existen dos tipos de diagnóstico utilizado por los productores: el diagnóstico presuntivo y el confirmativo, el primero consiste que el productor visualiza que existe un brote de enfermedad en su cultivo y procede a regar y/o fumigar productos químicos que combaten todas las enfermedades que pueden presentarse dependiendo de la etapa o el periodo de

inoculación, este método es poco efectivo y tiene como consecuencias la contaminación del aire, ríos y afecta la salud de las personas que tienen contacto con los químicos; es un método costoso a largo plazo. El método confirmativo es aquel en donde el técnico del MIDA visita al cultivo y recoge una muestra para analizar en los laboratorios del IDIAP, los productores ven está más costosa, porque la inversión total es al instante, por lo que, en su mayoría asumen quedarse con su diagnóstico presuntivo.

¿Cómo determinar el control adecuado de un brote de enfermedad en el cultivo del arroz en su fase inicial? Para dar solución a esta interrogante, se propone la realización de un SE que sirva como instrumento de apoyo, al experto humano o técnico y productor, en el diagnóstico de las enfermedades que se presenten en la planta de arroz, con el objetivo de contrarrestar su expansión y evitar pérdidas económicas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este proyecto se utilizó la investigación aplicada, la cual tiene como objetivo generar conocimiento para aplicarlo de forma directa y a mediano plazo en la sociedad y al sector productivo.

Existen muchas varias metodologías para desarrollar un SE como: la metodología de Grover, de Buchanan, Brule, KADS, ideal, etc. Todas guían a la construcción de nuevo conocimiento a través de etapas, la utilización de una u otra depende del investigador. Para este trabajo se seleccionó la metodología Buchanan [7], porque es la metodología, cuya característica más importante es que permite una relación constante entre el ingeniero de conocimiento (especialista en inteligencia artificial responsable del desarrollo del SE) y el experto en el área (especialista en fitopatología, ciencia que estudia las enfermedades en las plantas), y esto fue muy necesarios por lo complejo de lograr identificar una enfermedad, ya que las características de una y otra son muy similares, la experiencia del experto fue muy fundamental en este estudio, inclusive el SE puede dar un diagnóstico que debe ser certificarlo por el método confirmativo o prueba de laboratorio.

La codificación del prototipo desarrollado se basa en reglas, aplicando predicado de razonamiento dirigido por datos, que consistió en aplicar un rango de reglas de inferencia de un conocimiento deductivo, a un conocimiento basado en objeto y sus relaciones causales.

A. Herramientas utilizadas

1) *Prolog*: es el motor de inferencia, herramienta que permite crear las reglas a partir de la base de conocimiento.

2) *Java*: lenguaje de programación orientado a objeto, utilizado para el diseño de la interfaz de usuario, utilizando el editor NetBeans.

3) *MySQL*: Es un sistema de gestión de base de datos que permite la gestión de los mismo para llevar un control de ellos, nos permitió el almacenamiento de la base de conocimiento.

B. Procedimientos

El diseño del sistema experto se llevó a cabo en 4 (cuatro) etapas de acuerdo con la metodología Buchanan que son: identificación, conceptualización, formulación y desarrollo.

1) *Identificación*: Para la identificación del problema se realizó una entrevista a dos expertos: un ingeniero agrónomo del IDIAP el Ing. Luis Barahona y otro del MIDA, el Ing. Juan Soriano, especialista en fitopatología. También se tuvo la oportunidad de entrevistar a un productor de Los Santos, en el distrito de Pedasí. Algunos datos que se recogieron durante las entrevistas fueron:

Se identificó las características de las enfermedades, y que variables: independiente, dependiente y condicionales, pueden determinar el tipo de enfermedad que afecta la planta, clasificadas como variables visibles o variables independientes, variables no visibles o variables condicional y como variable dependiente el diagnóstico que muestra el SE.

Otra información obtenida de la entrevista y que sustenta la necesidad del proyecto tenemos:

No existe un sistema automatizado para el diagnóstico de enfermedades en el arroz. Son los técnicos e ingenieros los que diagnostican las enfermedades.

Los agricultores no suelen consultar a un experto, realizan diagnósticos presuntivos, de acuerdo a su experiencia.

Regularmente no pagan a un experto para monitorear sus cultivos.

La mayoría de los productores aplican fumigaciones preventivas, para combatir las enfermedades, sin medir el efecto secundario al medio ambiente, debido a que sus consultores agrónomos son vendedores de casas comerciales, cuyo objetivo es vender.

Se determinaron cuáles son las enfermedades más comunes en la región, con las cuales se trabajó para la realización del prototipo.

2) *Conceptualización*: Durante esta fase se definieron las reglas de comportamiento de cada enfermedad.

Para la selección de la enfermedad se consideró el criterio del experto. En la provincia de Los Santos, se han identificado 54 enfermedades comunes, clasificadas en: 24 hongos, 5 bacterias, 1 virus, 9 por insectos y 15 nemátodos [6].

Para la validación del prototipo se han seleccionado 6 (seis) enfermedades, que de acuerdo al experto son las que comúnmente atacan los cultivos de arroz en la provincia, 5 (cinco) son ocasionadas por los patógenos: *Pyricularia*, *Rhizoctonia* y *Sarocladium* y 1 (una) por el insecto *Tagosodes orizicolus*.

Es importante resaltar que en esta primera etapa del estudio se limitó solo a 6 enfermedades, que además de los sustentado en el párrafo anterior, permitió validar las reglas diseñadas y la funcionalidad del SE, pero con la implementación del proyecto "Modelo de gestión de datos para el apoyo del manejo de patógenos en los cultivos agrícolas, a partir de la caracterización de enfermedades tropicales de las plantas en

Panamá”, se proyecta alimentar la base de conocimiento e incluir dinámicamente más enfermedades a nivel nacional, con aporte de otros expertos.

El estudio fue desarrollado en la provincia de los Santos, Panamá, por lo que se trabajó con el experto accesible en la región y las características del entorno, es la región más calidad del país, propensa al surgimiento constante de enfermedades tropicales.

Entre las variables considerada en este estudio se tienen: las variables objetivo (enfermedades) y las variables de observación (síntomas), que se definen en la tabla 1 y tabla 2.

TABLA I
DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES OBJETIVOS

Variables Objetivas	
Enfermedad	Definición
Añublo del arroz o quemazón	Es una enfermedad causada por el hongo <i>Pyricularia oryzae</i> , se ha considerado como la enfermedad más antigua y de mayor impacto económico del cultivo de arroz.
Manchado del grano	Es una enfermedad transmitida por las bacterias: <i>Pseudomonas glumae</i> , <i>Pseudomonas avenae</i> , <i>Pseudomonas syringae</i> y <i>Pseudomonas fuscovaginae</i> .
Hoja Blanca	La única enfermedad que causan los virus al cultivo del arroz en América, y es transmitida por el insecto <i>Tagosodes orizicolus</i> .
Mal del pie	Es una enfermedad que inicia en las raíces y se presenta en las hojas, vaina y granos. Tiende a confundirse con exceso de hierro o deficiencias de potasio. Provocado por el hongo <i>Gaeumannomyces graminis var graminis</i> .
Añublo de la vaina	Es una enfermedad causada por el hongo <i>Rhizoctonia solani</i> , se considera actualmente una de las principales enfermedades del cultivo en las regiones arroceras tropicales, subtropicales y templadas.
Pudrición de la vaina	Es una enfermedad causada por el hongo <i>Sarocladium oryzae</i> . El hongo penetra en la planta a través de los estomas y heridas causadas por algún insecto, especialmente por el ácaro y los chinches.

Las variables observadas de acuerdo con el experto se clasifican en variables visibles y no visibles, estas variables son las que permitirán realizar el diagnóstico de la enfermedad

TABLA II
VARIABLES OBSERVABLES

Variables observables	
Síntomas visibles:	Síntomas no visibles:
-Manchas. 1. Lugar 2. Forma 3. Color primario 4. Color secundario -Presencia de insectos. -Periodo de inoculaciones -Irregularidades de la planta.	-Temperatura. -Humedad Relativa.

3) *Formulación*: Durante esta fase se levanta la base de conocimiento para todas las variables observables correspondiente a cada enfermedad de acuerdo con el experto, para lo cual se ha utilizado MySQL para su almacenamiento.

Esta base de hecho será consultada por el motor de inferencia PROLOG aplicando predicado de razonamiento dirigido por datos [8].

Para la recolección de los datos de las variables se revisaron literaturas relacionadas a las diferentes enfermedades de los cultivos de arroz, una tesis de maestría [6], y una encuesta aplicada al experto Ing. Luis Barahona, también se visitó un cultivo de arroz en el distrito de Pedasí, en donde se tomaron fotos a plantas que presentaban problemas en su hoja y tallo (ver figura 2), otras fotos fueron tomadas del banco de datos del experto, de varias etapas de crecimiento de una planta, correspondiente a las características de cada enfermedad.

Los datos recopilados fueron clasificados de acuerdo con su entidad y almacenados en la base de datos, cuyo registro son los hechos de cada enfermedad certificado por el experto, en donde cada registro tiene una imagen relacionada a las características de la enfermedad.



Fig. 2 Visita en un cultivo de arroz, en Pedasí.

4) *Desarrollo*: En esta fase se procede a desarrollar las cláusulas y predicado de cada regla, utilizando la lógica proposicional de la cláusula de Horn, es una parte de la lógica de primer orden LPO (lógica de predicado), definida por Alfred Horn. Esta cláusula tiene como máximo una literal positiva, llamada cláusula determinada (definite). En la programación lógica una cláusula de Horn sin literal positivo es llamada cláusula objetivo (goal) o consulta (query) [9].

Una cláusula de Horn es una cláusula de la forma: [9][10]

- $A_1 \vee \dots \vee A_k \leftarrow B_1 \wedge \dots \wedge B_n$, con $k=1$ o $k=0$ y $n \geq 0$, donde A y B representan átomos.
- Las cláusulas de Horn con $k=1$ y $n > 0$ son reglas.
- Las cláusulas de Horn con $k=1$ y $n=0$ son hechos.
- Las cláusulas de Horn con $k=0$ y $n > 0$ son objetivos.
- En las cláusulas de programa (reglas o hechos):
 - $A \leftarrow B_1 \wedge \dots \wedge B_n$, con $n \geq 0$
 - El átomo A es la cabeza y el conjunto de átomos B es el cuerpo.

En la figura 3 se presenta el modelo arquitectónico de la interrelación de las herramientas utilizadas para el desarrollo del SE. En donde a través de la interfaz de usuario se genera

la hipótesis de la enfermedad, la cual es pasada al predicado del motor de inferencia, el motor de inferencia consulta en la base de datos, en donde se obtienen los hechos que el motor de inferencia comprueba para dar el diagnóstico, que se muestra como resultado al experto o usuario, a través de la interfaz.

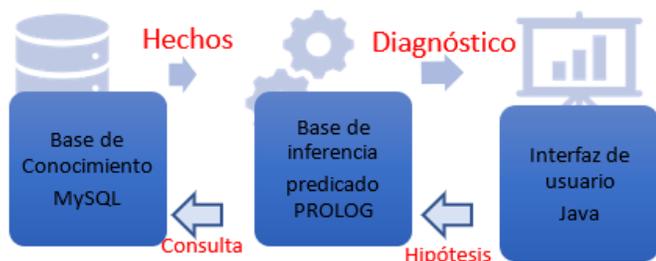


Fig. 3 Arquitectura de interrelación SE

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El prototipo desarrollado consiste en un sistema experto de escritorio para el diagnóstico de enfermedades del cultivo de arroz con razonamiento lógico proporcional dirigido por datos. Para el desarrollo de la interfaz gráfica se utilizó Java, a través del editor Netbeans 8.11 ver figura 7, y el SWI-PROLOG como el motor de inferencia, utilizando la librería JPL, como enlace entre PROLOG y Java, se estableció una comunicación entre PROLOG y MySQL a través del driver ODBC.

Para la validación del prototipo se recopiló la información dada por los expertos de 6 enfermedades más comunes de la región de Azuero, las cuales fueron desarrolladas mediante la cláusula de Horn sin literal en los predicados para consultar la base de hechos y luego a través de la lógica proporcional dar el diagnóstico de la enfermedad, a continuación, en la figura 4 y la figura 5, se muestran algunos códigos realizados en PROLOG para el desarrollo de las reglas.

```

enfermedad(Id,E):-consultaE1(Id,Consulta),
    odbc_query('bdea',Consulta,row(E)).
enfermedadId(E,Id):-consultaEId(E,Consulta),
    odbc_query('bdea',Consulta,row(Id)).
    
```

Fig. 4 Regla para obtener las enfermedades

```

diagnostico_mancha(F,L,C,I,P,E):-mancha_formaL(F,IdL),
    mancha_lugarIdE(IdL,IdE), mancha_lugarIdL(L,IdL2),
    IdL=IdL2, mancha_formaIdF(F,IdF),
    mancha_fcolor1(IdF,Color),Color=C,
    presencia_insectos(IdE,Insecto), Insecto=I,
    periodo(IdE,Pe),Pe=P, enfermedad(IdE,E),!.
    
```

Fig. 5 Regla para el diagnóstico de la enfermedad de acuerdo con las características de los síntomas visibles

Igualmente se ha recopilado una variedad de imágenes de las enfermedades en diferentes periodos de inoculaciones (ver figura 6), que se muestran dinámicamente dependiendo de la hipótesis definida en la interfaz gráfica de la aplicación, esto permitirá a los técnicos o al productor, confirmar si la

aparición observable coincide con la imagen, y verificar si la respuesta del diagnóstico es correcta de acuerdo con la experiencia.

Este es un sistema que no solo ayudará a los técnicos e ingenieros, sino que es muy funcional para los mismos productores.



Fig. 6 Ejemplo de imágenes recopiladas.

En la figura 7 se presenta la interfaz de usuario para la introducción de los síntomas o antecedentes observables en la planta (las hipótesis), estas variables son transferidas al predicado del motor de inferencia Prolog que al dar clic al botón analizar muestra el consecuente, que son las variables objetivas (ver tabla 1), junto con su descripción y control.



Fig. 7 Interfaz de usuario, solicitud de los antecedentes de la enfermedad.

La validación del prototipo se ejecutó en función a los resultados obtenidos del SE, se realizaron pruebas de usuarios de funcionalidad y se obtuvo un 80% de efectividad aplicando

IV CONCLUSIONES

un algoritmo hacia adelante, el margen de error se debe a que las variables visibles de una enfermedad a otro son muy similares a simple vista, por lo que habrá que acudir a prueba de laborarlo para confirma el diagnóstico, por lo que habrá que aplicar un algoritmo hacia atrás. Con el proyecto “Modelo de gestión de datos para el apoyo del manejo de patógenos en los cultivos agrícolas, a partir de la caracterización de enfermedades tropicales de las plantas en Panamá” se pretende incorporar otras variables y por entes nuevas reglas, así como incorporar Internet de las cosas para recolectar las variables condicionales del ambiente, para disminuir el porcentaje de error.

Se analizaron 6 casos que corresponden a las enfermedades descritas en la tabla 1, en la tabla 3 se muestran los atributos utilizados. Son 11 atributos, 9 atributos fácilmente identificados en la tabla 3, los 2 atributos adicionales se deben a que una enfermedad puede tener hasta dos colores primarios y dos colores secundarios en las manchas presentadas. Las pruebas solo fueron realizadas con el experto, no se realizaron pruebas con productores, por límite de tiempo. En esta primera etapa, se levantó la base de conocimiento de 6 enfermedades, se realizaron las reglas correspondientes en el motor de inferencia y se validó el resultado, el cual es presentado a través de un diagnóstico escrito con su correspondiente imagen.

TABLA III
ATRIBUTOS CON LOS VALORES QUE PRESENTAN LAS ENFERMEDADES ESTUDIADAS

Atributo	Valores
Lugar de la mancha	Hoja, tallo, granos, vaina, gluma, nudo, panícula
Forma de la mancha	Alargada, puntos, decoloración, Elíptica irregular, ovalada, oblongas, alargada, rayas cloróticas.
Color primario de la mancha	Café, negro, naranja, pardo claro, blanca
Color secundario de la mancha	Grisáceos, blanca, verde grisáceo, pardo oscuro, nula,
Presencia de insectos	Si, no
Período de incubación	>= 30 días, >= 40 días, >= 45 días, 30 días, 48 horas de la apertura de la flor.
Irregularidades	Granos vacíos, globitos oscuros, enanismo, muerte de los hijos, panícula erecta, hojas y tallos, blanco de menor tamaño, manchado total, manchado excesivo de la panícula.
Temperatura	25 a 28 °C 28 a 32 °C, 20 a 25°C, 32 a 37°C
Humedad relativa	> 80%, 90%, >90%

Los 7 atributos de la tabla 3, corresponden a la parte visible en la planta, son fácilmente reconocibles por el productor, por lo que el prototipo maneja dos tipos de diagnóstico, en donde uno es consecuente del otro para certificar si se trata de la misma enfermedad. El primer diagnóstico se realiza con una regla que maneja las variables observables de acuerdo con los síntomas visibles de la planta, en el otro diagnóstico, se trabaja una regla que maneja los síntomas no visibles.

El prototipo ayudó a tener resultados tangibles, validar su funcionalidad y obtener el conocimiento necesario para determinar que es un proyecto viable desde el punto de vista técnico, a pesar de que las enfermedades tienen características muy similares y exige el desarrollo de reglas complejas para el diagnóstico asertivo de una enfermedad.

Las características de las enfermedades son muy similares a simple vista, puede confundir al introducirlos los síntomas en el Sistema Experto, esto dio un margen de error del 20% al corroborarlo con las muestras del laboratorio, por lo tanto, el modelo de gestión de datos se está mejorando.

Se aplicó un control hacia adelante con el algoritmo de unicidad, tomando en cuenta que una enfermedad se da cuando son iguales los antecedentes y consecuentes. Otra solución que se tiene presente para mejorar el prototipo y disminuir el margen de error es el control hacia atrás, es cuando la muestra se lleva al laboratorio, se analizan los consecuentes para ir generando antecedentes y esos antecedentes dan con la base inicial de hechos.

AGRADECIMIENTO

Se les agradece a los expertos del IDIAP, el MIDA y al productor por su apoyo, en ofrecer la información necesaria para la realización del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Puppe, F. (1988). “Systematic Introduction of Expert System”. Springer, Berlin, Heidelberg. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-77971-8>
- [2] Rolston, D. W. (1992). “Principios de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos”. McGraw-Hill.
- [3] Haocheng Tan 2017 “A brief history and technical review of the expert system research”, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 242 012111 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/242/1/012111>
- [4] Wu, C.-C. (2011). “Expert Systems with Applications”. ELSEVIER. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.116>
- [5] Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2009, “Plan de acción para la competitividad de la cadena de arroz de Panamá”, ISBN13: 978-92-9039-983-4. Online www.iica.int.
- [6] Soriano, J. (2006), Tesis “Determinación de la incidencia de bacterias patógenas en semillas de arroz, (categorías básica, Registrada y certificada) y evaluación de alternativas químicas para su control”, Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- [7] Delgado, L., Cortez, A., & Ibáñez, E. (2016). “Aplicación de metodología Buchanan para la construcción de un sistema experto con redes bayesianas para apoyo al diagnóstico de la tetralogía de Fallot en el Perú”. *Industrial Data*, 18, 135. <https://doi.org/10.15381/indata.v18i1.12076>
- [8] Lezcano, M., Lobato, A. & Carralero, L.2000. “Prolog y los Sistemas Expertos”, Universidad de Guadalajara, México.
- [9] Kowalski, R (2014). “Logic for problem solving”. <https://www.doc.ic.ac.uk/~rak/papers/LFPScommentary.pdf>
- [10] Mauco V. 2009, “Clausulas de Horn”, Ciencias de la computación II, Facultad Cs. Exactas UNCPBA