



Revista Cubana de Ciencias Informáticas

ISSN: 2227-1899

Editorial Ediciones Futuro

Quintero-Domínguez, Luis A.; Ríos Rodríguez, Lydia
Rosa; Quintana Sánchez, Danay; León Ávila, Bernardo Y.
Sistema Experto para el diagnóstico presuntivo de enfermedades fúngicas en los cultivos
Revista Cubana de Ciencias Informáticas, vol. 13, núm. 1, 2019, pp. 61-75
Editorial Ediciones Futuro

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=378360617005>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org



Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Desarrollo de aplicaciones informáticas
Recibido: 23/04/2018 | Aceptado: 13/11/2018

Sistema Experto para el diagnóstico presuntivo de enfermedades fúngicas en los cultivos

Expert System for the presumptive diagnosis of fungal diseases in crops

Luis A. Quintero-Domínguez ^{1,2}[0000-0002-3527-0516]*, Lydia Rosa Ríos Rodríguez ¹[0000-0001-5176-931X], Danay Quintana Sánchez ¹[0000-0002-9549-532X], Bernardo Y. León Ávila ¹[0000-0001-7985-0224]

¹ Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez". Comandante Manuel Fajardo s/n, Olivos 2, Sancti Spíritus, Sancti Spíritus, Cuba.

² Universidad Central "Marta Abreu de Las Villas". Carretera a Camajuaní km 3. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

* Autor para correspondencia: lqdominguez@uniss.edu.cu

Resumen

El impacto negativo de los hongos fitopatógenos es una amenaza importante para la seguridad alimentaria en varios países. El diagnóstico rápido del tipo de hongo que afecta a los cultivos es indispensable para detener la proliferación de la enfermedad y de esta manera lograr minimizar las pérdidas. Este trabajo presenta el Sistema Experto Fungi, para el diagnóstico presuntivo de enfermedades fúngicas en los cultivos. Para el desarrollo de este Sistema Experto se utilizó SWI-Prolog para la creación de la base de conocimientos y Java para la creación de la interfaz de usuario. Este sistema permite realizar un diagnóstico rápido y fiable de los hongos que afectan a los cultivos, específicamente los cultivos que pueden ser diagnosticados con Fungi son: arroz, frijol, tabaco, plátano, ajo, cebolla, maíz, café y cacao. También Fungi se destaca por estar desarrollado sobre las bases del software libre. Además, la comparación de los diagnósticos realizados por expertos humanos y los realizados por Fungi permitió validar el conocimiento formulado en la base de conocimiento. La aplicación de las pruebas de caja negra y del criterio de especialistas permitieron corroborar el correcto funcionamiento del sistema experto propuesto.

Palabras clave: cultivos, diagnosticar, enfermedades fúngicas, sistema experto.

Abstract

Countries all over the world have experienced the negative impact that phytopathogenic fungi have on food security. A fast diagnose of the kind of fungus that affect to the crops is essential to stop the disease proliferation and so minimize the losses. This work presents an Expert System for the presumptive diagnosis of fungal diseases in the crops, call Fungi. To the development of this Expert System was used SWI-Prolog for the creation of the knowledge base and Java to the graphic user interface. This system allows a fast and reliable diagnosis of the kind of fungus that is affecting the crops, the specific crops that can be diagnosed with Fungi are: rice, bean, tobacco, banana, garlic, onion, corn, coffee and cocoa. Fungi is developed under free software license. Besides, the comparison of human experts diagnoses and Fungi diagnoses allowed to validate the knowledge base of the system. The application of the black box tests and specialist criterion allowed corroborating the correct operation of the proposed expert system.

Keywords: *crops, diagnose, expert system, fungal diseases.*

Introducción

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 (FAO, 2015).

Las enfermedades producidas por microorganismos fitopatógenos, tales como bacterias, nematodos u hongos, constituyen la mayor causa de pérdida en la producción agrícola, tanto en cosecha como en post cosecha. Dentro de los distintos fitopatógenos, los hongos constituyen uno de los principales grupos tanto por la diversidad de especies existentes como por las pérdidas que originan (Carnero et al., 2013; Fisher et al., 2012).

Las pérdidas de alimentos por concepto de plagas provocan enormes prejuicios tanto a la economía como a la seguridad alimenticia global. En (de los M Orberá et al., 2014) se plantea que «cada año el 10 % de la producción mundial de alimentos se pierde por la incidencia de las enfermedades y plagas que atacan los cultivos de interés agroalimentario: el 50 % de ellas provocadas por especies de hongos y oomicetos fitopatógenos».

Cuba no está exenta 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 de los cultivos. Estudios como los

presentados en (Ricardo Paz et al., 2014; González Arias et al., 2013) muestran las profundas afectaciones que se producen en la producción de alimentos debido al efecto de las enfermedades y plagas en los cultivos. Durante la última década del siglo pasado, en Cuba, la pata prieta en el cultivo del tabaco, causada por *Phytophthora nicotianae*, causó gastos significativos por la fumigación con bromuro de metilo y aplicación de fungicidas sistémicos; el damping off, cuyo incremento progresivo provocó afectaciones entre 70 y 80% en los semilleros de tomate y otras hortalizas, y la marchitez del pimiento (*Phytophthora capsici*), que entre 1990 y 1993 afectó la producción y exportación del cultivo, atendido principalmente por pequeños agricultores (Stefanova Nalimova, 2012). Para contrarrestar estas enfermedades los productores nacionales utilizan numerosos fungicidas sin lograr el control deseado, situación que incrementa los costos de producción, disminuye los rendimientos y por lo tanto reduce los beneficios del productor (Cruz Triana y Rivero González, 2012; Muiño García et al., 2012).

El impacto negativo de tales 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. Entre las medidas para el control de las enfermedades en las plantas se incluyen la cuarentena, la certificación de la manipulación de semillas y material vegetal, la selección de prácticas culturales apropiadas, y el uso de variedades resistentes a enfermedades, así como de medios de control químico y biológico (de los M Orberá et al., 2014).

Las pérdidas producidas por las plagas pueden ser reducidas si estas plagas son detectadas y diagnosticadas con prontitud. El diagnóstico de enfermedades de las plantas es uno de los aspectos más importantes en el proceso de la protección vegetal. En él se integran conocimientos de Fitopatología, Genética, Fisiología Vegetal, Edafología, Climatología, Manejo Agronómico y Estadística, con la finalidad de tomar decisiones acertadas en el momento en que se requieran. El diagnóstico de enfermedades o plagas se lleva a cabo a través del monitoreo de las plantaciones de cultivos, donde el objetivo es detectar anomalías presentes sobre las plantas, como por ejemplo tallos secos, presencia de pústulas en alguna parte de la planta, presencia de insectos nocivos, entre otros. Así, teniendo un conjunto de síntomas visibles dentro del campo de cultivo se puede realizar un diagnóstico que permita tomar las medidas para minimizar los daños (Téllez Martínez, 2012).

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). Uno de los principales objetivos de los investigadores en IA es la reproducción automática del razonamiento humano, donde juegan un papel importante los Sistemas Expertos (SE).

Varios autores han dado una definición de SE, una de las más concisas es la presentada en (Raynor, 1999) donde se define un SE como “(...) un sistema computarizado que intenta modelar el conocimiento de un dominio que posee un experto humano. Estos sistemas pueden ser usados en lugar de, o para asistir, expertos humanos en la toma de decisiones”. Una característica decisiva de los SE es la separación entre conocimiento (reglas, hechos) por un lado y su procesamiento por el otro. A ello se añade una interface de usuario y un componente explicativo (Gálvez Lío, 2006). De manera general podemos decir que los SE son programas informáticos que intentan superar la lógica y habilidad de un profesional experto en la resolución de problemas, que requieren experiencia, conocimiento, juicio e interacciones complejas. La fiabilidad de dichos sistemas es proporcional al conocimiento de los expertos que lo produjeron (Castillo et al., 1999).

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. 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 Gadeo, 2005; Bula et al., 2013).

Por la importancia del diagnóstico de las enfermedades fúngicas en los cultivos, nos proponemos desarrollar un sistema experto para realizar el diagnóstico presuntivo de enfermedades fúngicas en los cultivos de interés agrícola en la provincia de Sancti Spíritus.

Metodología computacional

En este trabajo se presenta el sistema Fungi, el cual es un SE para el diagnóstico de enfermedades fúngicas en los cultivos de interés agrícola de Sancti Spíritus. Este sistema permite realizar un diagnóstico rápido y fiable de los hongos que afectan a los cultivos de: arroz, frijol, tabaco, plátano, ajo, cebolla, maíz, cafeto y cacao. En esta sección se describe brevemente la metodología utilizada y se detalla su utilización para el desarrollo del sistema propuesto.

Metodología para la construcción de Fungi

Para el desarrollo de Fungi se siguió la metodología para escribir sistemas expertos descrita por Mateo Lezcano en (Lezcano Brito, 1995). De acuerdo con esta metodología el primer paso a seguir es el estudio del dominio, con vista a determinar si es realmente propicia la construcción del sistema experto o no. Después de hecho este análisis, si se

determina que es posible la construcción del sistema experto, se pasa a las diferentes etapas que se mencionan a continuación:

1. **Identificación:** Se determina, básicamente, cuál es el problema que se quiere resolver y sus características, así como quienes van a participar en el levantamiento de la base de conocimiento y el papel de cada cual en ese proceso.
2. **Establecer conceptos:** Se definen los conceptos para la representación del conocimiento. El experto y el ingeniero del conocimiento determinan los aspectos claves del problema, las relaciones entre ellos y sus características con el objetivo de llevar a cabo la descripción del proceso de solución del problema.
3. **Formalización:** Se formalizan los conceptos claves y subproblemas que estaban aislados durante la conceptualización. Se diseñan las estructuras para organizar el conocimiento.
4. **Implementación:** Este es el momento en que se lleva a cabo la implementación de las reglas que abarcan todo el conocimiento, obteniéndose un primer prototipo, que muestra sobre un esquema elemental, la forma en que opera el sistema. Este prototipo es sometido a un proceso de refinamiento hasta obtener una versión estable del sistema.
5. **Prueba:** Este es un periodo de validación del conocimiento ya formulado. Se hace una valoración del sistema en su conjunto, probándolo con un grupo amplio de ejemplos, de forma que se cubran todos los casos posibles. Se hace con el objetivo de determinar insuficiencias en la base de conocimiento y/o en las estrategias para la solución del problema.

Después que se han hecho todas las críticas, se incorporan las correcciones a la formalización final y se pasa a la implantación del sistema.

Sistema Experto Fungi

Para el desarrollo de Fungi, primeramente, se procedió a la identificación de los elementos del dominio y los conceptos descriptivos de sus propiedades, definiendo además las relaciones que se establecen entre ellos, en base a las cuales se organiza el conocimiento. En esta etapa se determinó, básicamente, que el problema que se quiere resolver está basado en cómo contribuir con el proceso de diagnóstico de enfermedades fúngicas llevado a cabo en la Empresa de Sanidad Vegetal, así como quienes participaron en el levantamiento de la base de conocimiento y el papel de cada cual en ese proceso.

De forma conjunta, se determinaron los elementos del dominio con sus elementos descriptivos, los que se relacionan seguidamente:

- Plantas:
 - Conceptos descriptivos: hojas, tallos, raíz, frutos
- Manifestaciones de enfermedad:
 - Conceptos descriptivos: cambios de color, necrosis, desarrollo anormal, marchitamiento

Luego se definieron los conceptos para la representación del conocimiento, se determinaron los aspectos claves del problema, las relaciones entre ellos y sus características con el objetivo de llevar a cabo la descripción del proceso de solución del problema. En esta etapa se establecieron una serie de elementos esenciales, tales como:

- Los tipos de datos disponibles son exactos e incompletos (hasta el momento).
- No se trabaja con factor de certidumbre.
- Los datos de salida lo constituyen los nombres de los hongos que se diagnostican que están afectando a los cultivos.

El conocimiento se organizó atendiendo a los diferentes elementos de dominio planteados con anterioridad y los conceptos descriptivos de estos, y en base al elemento del dominio que el usuario desee consultar es que se realiza el proceso de razonamiento.

Durante la formalización se diseñaron las estructuras básicas para organizar el conocimiento, se formalizaron los conceptos claves y los subproblemas que estaban aislados durante la conceptualización. Después de la realización de un análisis intensivo, se determinó usar las reglas de producción en lenguaje Prolog, por adaptarse mejor a las condiciones del problema.

La organización del conocimiento quedó dividida en 8 módulos, uno por cada cultivo, excepto ajo y cebolla que se incluyen en un mismo módulo. Cada uno de estos módulos dispone de un predicado principal que será el responsable de invocar al conocimiento almacenado en esa parte.

El sistema Fungi permite realizar el diagnóstico de diferentes tipos de hongos en 9 cultivos. En la Tabla 1 se aprecia cada uno de los cultivos y los tipos de hongos que los puede afectar.

Tabla 1. Cultivos y hongos diagnosticados por Fungi

Cultivo	Hongos
Arroz	Bipolaris oryzae (Mancha parda), Pyricularia oryzae (Pyricularia del arroz)
Frijol	Uromyces appendiculatus (Roya del frijol), Botrytis aclada (Mildio Polvoriento), Macrophomina phaseolina (Tizón ceniciento), Corticium rolfsii curzi (Tizón sureño), Phyrenochaeta (Rhizoctoniosis), Fusarium solani (Fusariosis)
Ajo y Cebolla	Alternaria porri (Mancha púrpura), Botrytis aclada (Podredumbre del cuello), Phyrenochaeta (Raíz rosada)
Cafeto	Colletotrichum gloesporioides (Antracnosis de cafeto), Ceratocystis fimbriata (Llaga macana), Mycosphaerella coffeicola (Mancha de hierro), Mycena citricolor (Ojo de gallo), Hemileia vastatrix (Roya del cafeto)
Cacao	Glomerella cingulata (Antracnosis), Crinipellis perniciosa (Escoba de bruja), Botryodiplodia theobromae (Podredumbre parda del cacao), Phytophthora palmivora (Pudrición negra de la mazorca del cacao)
Tabaco	Pythium aphanidermatum (Damping off), Peronopora hyoscyami (Moho azul del tabaco), Phytophthora (Pata prieta)
Plátano	Cordana musae (Mancha por cordana), Mycosphaerella musicola (Sigatoka amarilla), Mycosphaerella fijiensis (Sigatoka negra)
Maíz	Ustilago maydis (Carbón del maíz), Gibberella zeae (Fusarium)

El diseño del sistema cuenta con tres capas fundamentales (Figura 1): la base de conocimiento, el motor de inferencia y la interfaz de usuario. La base de conocimiento está dividida por tipo de cultivo y para cada uno de los cultivos se cuenta con un bloque de preguntas, un bloque de diagnósticos y un bloque de tratamientos.



Figura 1. Estructura de Fungi

El bloque de preguntas está formado por reglas donde se define la pregunta a realizar al usuario y la próxima pregunta a realizar en caso de que responda afirmativa o negativamente (Figura 2).

```
pregunta1('¿Se ven afectadas tanto las semillas como las hojas y las plántulas? ').
pregunta1('¿Se ven afectadas tanto las semillas como las hojas y las plántulas? ', 'si', 'pregunta2').
pregunta1('¿Se ven afectadas tanto las semillas como las hojas y las plántulas? ', no', 'pregunta6').
```

Figura 2. Ejemplo de reglas de un bloque de preguntas en Fungi

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

```
diagnostico:-      afectadas_tanto_semillas_como_hojas_y_plantulas(si),
                   hojas_presentan_manchas_ovaladas_longitudinales(si),
                   manchas_claras_bordes_difusos_oscurecen(si),
                   semillas_lesiones_irregulares_pardo_rojiza(si),
                   sobre_plantulas_sintomatologia_damping_off(si),
                   resp_mancha_parda_arroz(X).
resp_mancha_parda_arroz('El cultivo es afectado por Bipolaris oryzae, conocida comúnmente como
Mancha parda del arroz.').
```

Figura 3. Ejemplo de reglas de un bloque de diagnósticos en Fungi

Finalmente, el bloque de tratamientos permite proponer medidas agrotécnicas, químicas y biológicas, de acuerdo con la enfermedad que padece la planta (Figura 4).

```
trat_agro_mancha_purpura('1- Las áreas para semilleros y planteaciones deberían estar ubicadas en suelos
con buen drenaje.').
:
trat_quim_podredumbre_del_cuello('1- Folpet, mancozeb, maneb, oxiclورو de cobre, propineb y zineb.').
:
trat_bio_mancha_purpura('1- Efectuar tratamientos a los suelos para semilleros con el hongo antagonista
Trichoderma harzianum.').
```

Figura 4. Ejemplo de reglas de un bloque de tratamientos en Fungi

Implementación del sistema

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 de Fungi.

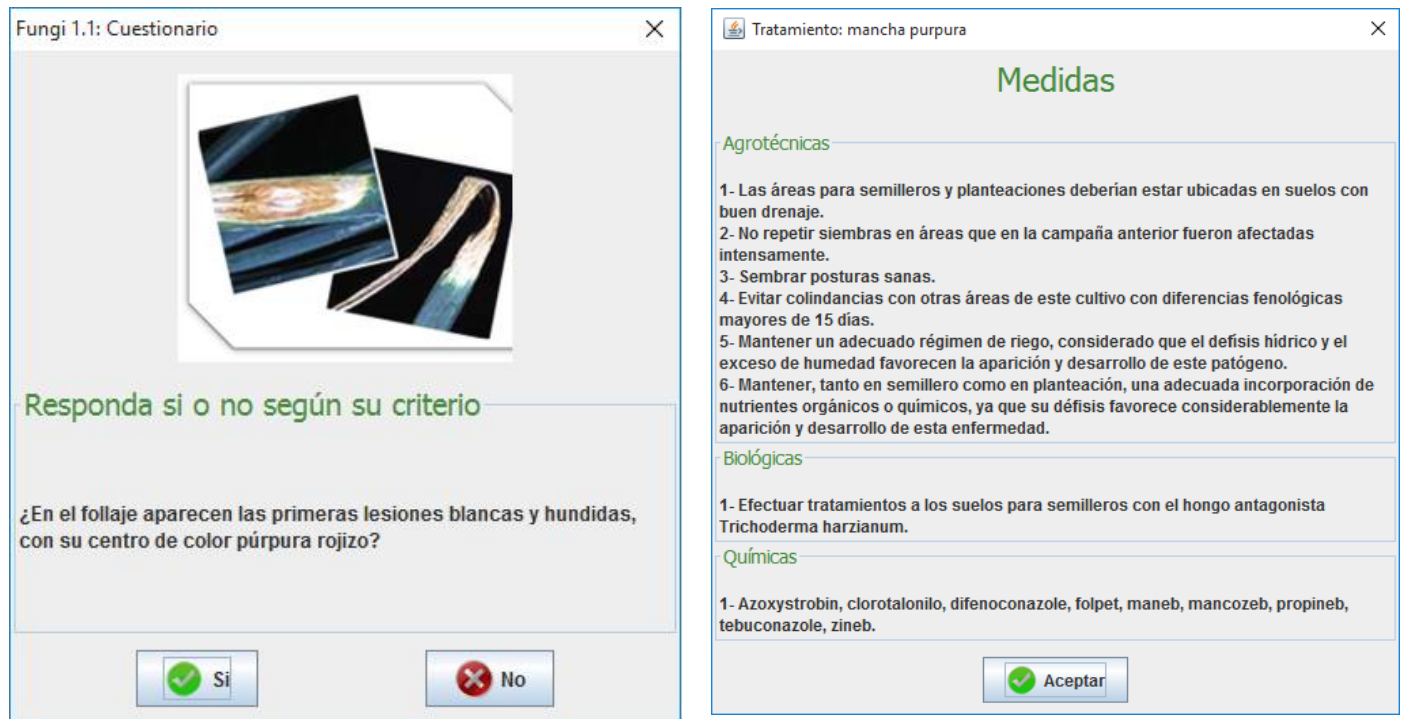
Para la interfaz de usuario se utilizó el lenguaje Java. Este es un lenguaje de programación de propósito general, concurrente y orientado a objetos, que está liberado bajo la licencia GNU General Public License. Desde que fue publicado Java ha tenido un desarrollo creciente y se ha convertido en uno de los lenguajes de programación más utilizados del mundo. Además, la comunicación entre SWI-Prolog y Java se realiza de manera sencilla mediante la utilización de la biblioteca JPL que ofrece Swi-Prolog.

La selección de SWI-Prolog y Java para el desarrollo de Fungi permitió que este pueda ser utilizado en diferentes sistemas operativos y está en sintonía con la política del país de desarrollo del software libre.

La última etapa de la metodología utilizada es la etapa de pruebas al sistema, en la sección Resultados y Discusión se muestran y discuten los resultados de las pruebas realizadas.

Interacción con Fungi

El sistema experto presentado en este trabajo permite al usuario identificar el tipo de hongo que está afectando a un cultivo, para lo cual primeramente debe seleccionar el tipo de cultivo que está afectado y luego debe responder una serie de preguntas hasta que el sistema brinda un diagnóstico (Figura 5). Luego de diagnosticado el hongo, Fungi brinda una lista de medidas agrotécnicas, biológicas y químicas que pueden ser aplicadas como tratamiento para combatir a este patógeno (Figura 5). Además, el sistema ofrece la posibilidad de buscar los conceptos de algunos términos que pueden causar dudas al usuario.



(a) Cuestionario

(b) Tratamientos

Figura 5. Vistas de Fungi

Resultados y discusión

En esta sección se comparan los diagnósticos de Fungi ante casos reales con los realizados por expertos humanos. Además, se muestran los resultados que se obtuvieron al aplicar las pruebas de caja negra a Fungi. Posteriormente se utiliza el criterio de especialista tanto para microbiólogos como para informáticos.

Comparación con el diagnóstico realizado por expertos humanos

La última fase de la metodología de Mateo Lezcano Brito contempla la realización de pruebas al sistema. Durante el desarrollo de Fungi en esta etapa se validó el conocimiento ya formulado con el objetivo de determinar insuficiencias en la base de conocimiento y/o en las estrategias para la solución del problema. En el intercambio con los especialistas de la Dirección Provincial de Protección Fitosanitaria, se determinó que para probar el sistema experto era pertinente comparar los resultados de los diagnósticos hechos por Fungi con otros realizados por la especialista en

enfermedades fúngicas. Para ello se decidió utilizar un total de 30 casos reales atendidos en la Dirección Provincial de Protección Fitosanitaria.

Entre los 30 casos reales había representación de los 10 tipos de cultivos que Fungi es capaz de diagnosticar. Del total de casos analizados 28 fueron diagnosticados correctamente y solo 2 de ellos no pudieron ser diagnosticados por Fungi, logrando así una tasa de acierto del 93.3% (Figura 6). El motivo de los 2 casos que no pudieron ser diagnosticados se debe a una sintomatología atípica que impide a Fungi realizar un diagnóstico correcto.



Figura 6. Vistas de Fungi

Prueba de caja negra

La prueba de caja negra es una de las pruebas más utilizadas para la evaluación de un sistema informático. «En teoría de sistemas y física, se denomina caja negra a aquel elemento que es estudiado desde el punto de vista de las entradas que recibe y las salidas o respuestas que produce, sin tener en cuenta su funcionamiento interno. En otras palabras, de una caja negra nos interesará su forma de interactuar con el medio que le rodea (en ocasiones, otros elementos que también podrían ser cajas negras) entendiendo qué es lo que hace, pero sin dar importancia a cómo lo hace. Por tanto, de una caja negra deben estar muy bien definidas sus entradas y salidas, es decir, su interfaz; en cambio, no se precisa definir ni conocer los detalles internos de su funcionamiento» (Noa Galvez, 2013).

Para probar el funcionamiento de Fungi seleccionó la prueba de caja negra por su claridad, al permitir la verificación del funcionamiento correcto del sistema a partir de las entradas y las salidas que debe ofrecer, sin analizar cómo lo hace. Los casos de prueba seleccionados fueron aquellos que responden a los requerimientos más importantes del sistema. Al realizar las pruebas de caja negra planificadas para Fungi se verificó su correcto funcionamiento, ante las distintas entradas el sistema ofreció las salidas esperadas.

Validación mediante el criterio de los especialistas

Para aplicar el criterio de especialistas se seleccionaron especialistas en enfermedades en cultivos de la Dirección Provincial de Protección Fitosanitaria y especialistas en informática de la Universidad de Sancti Spíritus.

Para conocer si Fungi es apropiado para el diagnóstico de enfermedades fúngicas en los cultivos se utilizó el criterio de 3 especialistas en microbiología agrícola de la Dirección Provincial de Protección Fitosanitaria. A estos especialistas se les aplicó una encuesta para conocer su criterio acerca de Fungi. En esta encuesta los especialistas en microbiología agrícola tenían que evaluar una serie de indicadores dándole a cada uno una puntuación de 1 a 5 puntos. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la encuesta aplicada a los especialistas en microbiología agrícola

Indicadores	Puntuación				
	1	2	3	4	5
Facilidad de uso	-	-	-	1	2
Corrección del diagnóstico	-	-	-	-	3
Utilidad práctica	-	-	-	-	3
Novedad del sistema	-	-	-	-	3
Utilización del lenguaje técnico	-	-	-	1	2
Totales	-	-	-	2	13

Entre las valoraciones emitidas por los especialistas encuestados se encuentran: que la interfaz es sencilla e intuitiva y que el sistema logra utilizar adecuadamente los conocimientos adquiridos por los especialistas en sus años de experiencia. Además, los encuestados resaltaron la utilidad que posee el sistema debido a la escasez de especialistas en enfermedades fúngicas fundamentalmente en las Estaciones Territoriales de Protección de Plantas. También en las encuestas se destacó la utilidad del sistema para el entrenamiento de las personas que quieran especializarse en enfermedades fúngicas.

Para validar la aplicación desde el punto de vista informático se consultaron 5 especialistas, todos con más de 5 años de graduados y con experiencia en el estudio de la inteligencia artificial, sistemas basados en el conocimiento y en el

diseño y desarrollo de sistemas expertos. Estos especialistas fueron encuestados para conocer sus criterios sobre Fungi. Los resultados de esta encuesta se exponen en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la encuesta aplicada a los especialistas en informática

Indicadores	Puntuación				
	1	2	3	4	5
Diseño de la interfaz de usuario					5
Facilidad de uso	-	-	-	-	5
Personalización del sistema	-	-	-	2	3
Mensajes de fácil comprensión	-	-	-	-	5
Facilidad de diagnóstico	-	-	-	-	5
Calidad de la ayuda	-	-	-	1	4
Formalización de la base de conocimiento	-	-	-	-	5
Porcentaje total (%)	-	-	-	8.6	91.4

Como se muestra en la tabla anterior, los elementos sometidos al criterio de especialistas son evaluados en su totalidad entre cuatro y cinco, siendo la evaluación máxima el 91.4% del total de evaluaciones. Aunque los resultados de la encuesta fueron favorables en sentido general, también demuestran que hay aspectos de Fungi que son perfectibles como es el caso de la personalización del sistema y la ayuda.

La encuesta también ofrecía a los expertos la posibilidad de dar valoraciones adicionales a las puntuaciones ofrecidas en los aspectos evaluados en la pregunta 1. Entre las opiniones plasmadas se destaca que Fungi es un sistema muy intuitivo y además se resalta el valor de la utilización de tecnologías de código abierto como SWI-Prolog y Java. Otra característica que fue resaltada por los expertos fue la posibilidad de utilizar Fungi en múltiples plataformas, tanto de la familia Windows como de la familia Linux. Esta última característica facilita el despliegue de la aplicación en disímiles ambientes. Luego del análisis realizado de las evaluaciones y comentarios de los especialistas en microbiología agrícola y los especialistas en informática se puede concluir que Fungi es una solución adecuada para el diagnóstico presuntivo de enfermedades fúngicas en los cultivos.

Conclusiones

En este trabajo se presentó el sistema experto Fungi que permite el diagnóstico presuntivo de enfermedades fúngicas en cultivos de gran importancia como son: arroz, frijol, tabaco, plátano, ajo, cebolla, maíz, café y cacao. Para el

desarrollo del sistema experto se demostró la factibilidad de la utilización de las reglas de producción y el lenguaje Prolog para la base de conocimiento, así como de SWI-Prolog como motor de inferencia y Java como lenguaje para la interfaz de usuario. El sistema presentado puede ser utilizado fácilmente por el usuario final pues posee una interfaz gráfica intuitiva y sencilla, además, fue desarrollado siguiendo los principios del software libre y es multiplataforma.

La comparación de los diagnósticos realizados por expertos humanos y los realizados por Fungi permitió validar el conocimiento formulado en la base de conocimiento. Además, la aplicación de las pruebas de caja negra y la valoración del criterio de un conjunto de especialistas (en microbiología y en informática), complementaron la validación del sistema experto propuesto permitiendo corroborar el correcto funcionamiento del mismo.

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).
- Carnero, K. G., Medina, E. L., Salvatierra, C. Z., Castillo, J. D. L. C., and Miranda, W. M. (2013). Efecto biofungicida de *Trichoderma harzianum* y de extractos de *Eucalyptus globulus*, *Rosmarinus officinalis* y *Ricinus communis* sobre *Rhizoctonia solani*. *Revista REBIOLEST*, 1(1):43–48.
- Castillo, E., Gutiérrez, J. M., and Hadi, A. S. (1999). *Sistemas Expertos y Modelos de Redes Probabilísticas*. Editorial Academia de Ingeniería, Universidad de Cantabria, España.
- Cruz Triana, A. and Rivero González, D. (2012). Efecto del OleoNim 50 CE sobre el crecimiento y desarrollo in vitro de hongos fitopatógenos del arroz (*Oryza sativa* Lin.). *FITOSANIDAD*, 13(4):271–276.
- de los M Orberá, T., de Jesús Serrat, M., and Ortega, E. (2014). Potencialidades de la cepa SR/B-16 de *Bacillus subtilis* para el control de enfermedades causadas por hongos en cultivos de interés agrícola. *Biotecnología Aplicada*, 31(1):7–12.
- FAO (2015). FAO.
- Fisher, M. C., Henk, D. A., Briggs, C. J., Brownstein, J. S., Madoff, L. C., McCraw, S. L., and Gurr, S. J. (2012). Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. *Nature*, 484(7393):186–194.

- Gálvez Lío, D. (2006). *Sistemas Basados en el Conocimiento*. Ediciones Universidad Central de las Villas, Santa Clara, Cuba.
- González Arias, G. A., Arencibia Gómez, N., Ruiz Guardado, M., and Pérez, Y. (2013). Estimación de pérdidas producidas por el virus del mosaico del maíz (MMV) y comportamiento de tratamientos con medios biológicos contra su vector *Peregrinus maidis* Ashm (Homoptera: Fulgoridae). *FITOSANIDAD*, 11(4):57–60.
- Lezcano Brito, M. (1995). *Prolog y los Sistemas Expertos*. Ediciones Universidad Central de las Villas.
- Moreno Gadeo, C. (2005). *Sistema Experto de Ayuda a la Decisión para el Mantenimiento de un Olivar*. PhD thesis, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España.
- Muiño García, B. L., Pérez Vicente, L., Polanco Aballe, Á. G., Ponciano, I., Lorenzo Nicao, M. E., Martín Triana, E. L., González Valdés, M. d. I. Á., Arévalo Arévalo, R., Rodríguez Núñez, J., Trujillo Albelo, M., and Santana Torres, Y. (2012). El monitoreo y manejo de la resistencia a los fungicidas en Cuba. *FITOSANIDAD*, 11(3):91–100.
- Raynor, W. J. (1999). *The International Dictionary of Artificial Intelligence*. The Glenlake Publishing Company, Ltd.
- Ricardo Paz, N. S., Polanco Aballe, Á. G., Reyes Gómez, S., and Noris Noris, P. (2014). Comportamiento del tizón temprano del tomate (*Alternaria solani*) en las condiciones del municipio de Holguín, Cuba. *FITOSANIDAD*, 17(2):75–81.
- 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.
- Stefanova Nalimova, M. (2012). Introducción y eficacia técnica del biocontrol de fitopatógenos con *Trichoderma* spp. en Cuba. *FITOSANIDAD*, 11(3):75–79.
- Téllez Martínez, D. (2012). Creación y desarrollo de los primeros consultorios fitosanitarios del país y su impacto para el trabajo de la ETPP. *FITOSANIDAD*, 13(4):281–285.