

## **Sistema inteligente para la identificación de hongos más comunes en alimentos**



**Autores.** Claudia A. Panica<sup>1</sup>, Delia A. Condori<sup>1</sup>

**Director.** Esp.Lic. Analía Herrera Cognetta<sup>1</sup>

**Asistente.** Ing. Miguel A. Azar<sup>1</sup>

**Asesores.** Dr. Ing.Agr. Marcelo Benitez Ahrendts<sup>2</sup>, Dra. Leonor Carrillo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional de Jujuy.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional de Jujuy.

**2012**

## **Sistema inteligente para la identificación de hongos más comunes en alimentos**

**Resumen.** El presente proyecto consiste en un trabajo interdisciplinario, realizado entre estudiantes de la carrera de Licenciatura en Sistemas de la Facultad de Ingeniería y docentes de la cátedra de Microbiología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de Jujuy. Esta presentación describe el resultado que se obtuvo de esta interacción, y que consiste en el diseño, y construcción del “Sistema Experto Aplicado a la Identificación de Hongos Presentes en Alimentos”. El que surge de la necesidad e iniciativa, plantea por la cátedra de Microbiología Agrícola, de contar con una herramienta capaz de facilitar el estudio e identificación a estudiantes, así como el de disponer de un repositorio de conocimiento para investigadores.

**Palabras clave:** alimentos, identificación de hongos, inteligencia artificial, metodología IDEAL, microbiología, sistema experto.

### **1 Introducción**

En el ambiente abundan gran variedad de hongos, algunos pueden transformar las propiedades de un alimento de una forma beneficiosa [1] mientras que existen otros que producen efectos perjudiciales provocando la contaminación del alimento.

La importancia del reconocimiento de la contaminación fúngica en los alimentos no se debe solamente al daño o deterioro que produce sobre los mismos, sino que además se adiciona el hecho de que ciertas especies son capaces de producir micotoxinas que aunque el hongo ya no esté presente, ellas aún persisten, y si esos alimentos son consumidos pueden producir efectos tóxicos a personas o animales. Por estas razones, la demanda para la identificación y caracterización exacta de los hongos que descomponen alimentos se ha convertido en urgente [2].

Debido a su relevancia y con el fin de incorporar nuevas tecnologías en la enseñanza, la cátedra de Microbiología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNJu ha propuesto implementar una herramienta informática que permita la identificación de este tipo de hongos que facilite la tarea de aprendizaje.

### **2 Objetivo**

Elaborar una herramienta software que permita la identificación de hongos de alimentos a efectos de facilitar el proceso tanto de enseñanza-aprendizaje de alumnos como el de investigación en el dominio de la Micología de Alimentos.

### 3 Antecedentes

En la actualidad existen varios programas software relacionados con el tema de hongos pero pocos son específicamente del tipo Micromicetos, la mayoría son de identificación de Setas (hongos macroscópicos u hongos de sombrero).

Se ha realizado un relevamiento de programas orientados al estudio e identificación de hongos del tipo micromicetos en alimentos. Los sistemas evaluados son los mostrados en la siguiente tabla (Tabla 1):

**Tabla 1** - Sistemas evaluados

Software evaluado	Año	Referencia
PENNAME	1991	[3]
PENIMAT(PENicillium Identification MATrix)	1993	[4]
FUSKEY	2000	[5]
The Key to common Microscopic Fungi CD-ROM	2002	[6]
A Key to Plant Pathogenic Fungi	2002	[7]
FRIDA (FRiendly IDentificAtion)	2010	[8]

Los sistemas estudiados presentan una serie de inconvenientes para ser utilizados en este contexto, en general se encuentran en inglés, algunos de ellos son comerciales o no responden a las nuevas denominaciones y a las nuevas especies encontradas que se proponen en el área micológica. Otros se especializan en la identificación de un solo género, limitando así la identificación a una variedad reducida de especies de hongos.

### 4 Solución propuesta

Se propone el desarrollo de un Sistema Experto (SE) orientado al alumnado y profesionales que trabajan en el área de la microbiología. La aplicación permitirá al usuario inexperto desempeñar eficientemente la tarea y organizar la actividad de recabar y analizar información. Mediante su utilización se proporciona asistencia similar a la ofrecida por los docentes, es decir que el sistema servirá de guía durante el proceso de identificación de especies de hongos.

El desarrollo consiste en un módulo para la identificación de hongos más comunes de alimentos, un glosario conteniendo texto e imágenes relacionadas a términos específicos usados en el proceso de identificación, un banco de imágenes de todas las especies que se pueden identificar a través del sistema y documentos auxiliares diseñados para que el usuario se familiarice con la observación morfológica de los hongos y su identificación.

## **5 Marco teórico**

### **5.1 Caso de estudio: Identificación de hongos**

Los hongos son organismos microscópicos o macroscópicos. Los hongos macroscópicos también llamados macromicetos o setas, viven en el suelo o en plantas de forma parásita. Los hongos microscópicos o micromicetos, de los que trata este trabajo, se dividen en dos tipos: Mohos y Levaduras. La importancia del estudio de los hongos microscópicos es la alteración que produce de manera natural a los alimentos y dependiendo del tipo de hongo puede ser o no perjudicial. En el caso de los mohos, las sustancias producidas por estos microorganismos contaminan diversos alimentos, por lo cual se genera un riesgo latente al ingerir dichas sustancias. Por otro lado, si esas sustancias son usadas como antibióticos pueden resultar de gran beneficio para el hombre [9].

El proceso de identificación de un hongo comienza desde que se toma la muestra de la parte deteriorada del alimento sujeto a análisis hasta la obtención del nombre del hongo. Dicha identificación se realiza a través del uso de claves dicotómicas, las cuales son diseñadas por expertos en micología, las mismas tienen en cuenta los caracteres macro y micromorfológicos de un hongo cultivado bajo un conjunto estándar de condiciones. El estudio de las características encontradas permitirá diferenciar e identificar el género y la especie del hongo analizado.

### **5.2 Sistemas Expertos y Metodología de desarrollo**

El problema se enmarca en un dominio estable y con un gran capital intelectual que se podría poner a disposición a través del análisis del conocimiento de un experto. Este contexto conduce al diseño de un sistema, a través de las herramientas de gestión de conocimientos disponibles, en uno de los campos de la Inteligencia Artificial, más precisamente el de la Ingeniería del Conocimiento (INCO) para la construcción de un Sistema Experto.

Los Sistemas Expertos (SSEE), dentro del campo de la Inteligencia Artificial, son sistemas que representan el conocimiento proveniente de expertos en un dominio determinado, de tal forma que dicha representación sea procesable por un programa informático. Es decir que, son capaces de realizar algo muy parecido a “razonar y pensar” en un espacio restringido de conocimientos, siguiendo los pasos que tomaría un experto humano en una determinada especialidad [10]. Estos sistemas son un caso particular de los Sistemas Basados en Conocimientos (SSBBCC) y emplean en su estructura en general los siguientes elementos: Base de Hechos, Base de Reglas y Motor de Inferencias.

Al inicio de un proyecto de esta naturaleza es muy importante realizar un reconocimiento de las herramientas disponibles y elegir las que se ajusten mejor al caso, teniendo en cuenta desde la metodología que guiará el proceso hasta los lenguajes de codificación.

Existen diferentes metodologías de desarrollo aplicables a sistemas expertos pero en este caso se considera la metodología IDEAL [11], la elección más apropiada en función de las características del dominio bajo estudio. Las estructuras propuestas por

esta metodología permiten configurar y arribar a la implementación de un SE robusto y con las prestaciones esperadas.

## 6 Estudio de viabilidad

El estudio de viabilidad permite evaluar si el problema a resolver conviene ser tratado con las técnicas de INCO para el desarrollo de un SE. La evaluación a la que se hace referencia se realiza a través del test de Viabilidad propuesto por la metodología IDEAL donde se determina si el proyecto es posible, está justificado, es apropiado y si será exitosa su construcción.

### 6.1 Consideraciones referentes al test de viabilidad

El test de viabilidad consta de varias características que se deben tener en cuenta antes de desarrollar un SE. Esas características están divididas en cuatro dimensiones: Plausibilidad, Justificación, Adecuación y Éxito [12].

Para el estudio completo de las características, se analiza el problema y se realiza su valoración (Apéndice, Tabla A.1).

Las características tienen asociadas una serie de propiedades que las representan, y deben ser consideradas en el uso del test de viabilidad: Categoría, Peso, Naturaleza del valor asociado a la característica, Tipo, Umbral y Valor.

Finalizada la valoración de las características, se comienza con el cálculo del test de viabilidad. La siguiente fórmula se aplica a las dimensiones de Adecuación, Plausibilidad y Éxito. Para cuantificar cada dimensión el método propone obtener la media armónica y la media aritmética del conjunto de intervalos y luego calcular la media aritmética de los dos valores obtenidos:

$$VC_j = \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^{r_i} P_{ik}}{\sum_{i=1}^{r_i} V_{ik}} + \frac{1}{2} \frac{\sum_{k=1}^{r_i} P_{ik} \cdot V_{ik}}{\sum_{i=1}^{r_i} P_{ik}} \quad (1)$$

En (1):

$VC_j$ : Valor global de la aplicación en una dimensión dada.

$V_{ik}$ : Valor de la característica k en la dimensión i.

$P_{ik}$ : Peso de la característica k en la dimensión i.

$r_i$ : Número de características en la dimensión i.

El estudio de viabilidad del proyecto concluye con el cálculo del valor final, mediante la media aritmética ponderada de los valores obtenidos en cada una de las dimensiones. La fórmula final es la siguiente:

$$V_F = \frac{\sum_{j=1}^4 P_j \cdot V_j}{\sum_{j=1}^4 P_j} \quad (2)$$

En (2):

$V_j$ : Valor obtenido en la dimensión  $j$ .

$P_j$ : Peso obtenido en la dimensión  $j$ .

$V_F$ : Valor final

Para que un proyecto sea viable es necesario que el valor final presente un valor mayor o igual a 6.

## 6.2 Evaluación de viabilidad del proyecto

La información necesaria para realizar esta evaluación se obtuvo de las primeras entrevistas efectuadas al equipo de expertos, lo que permitió analizar y valorar las características de la tarea en estudio. Ver Apéndice: Evaluación de las características del problema.

Basados en la métrica propuesta, se llega a los resultados que se presentan en la Tabla 2, en la que se detallan las dimensiones, el peso que le corresponde a cada una de ellas y los valores calculados. Las magnitudes establecidas para los pesos son los recomendados por los autores de la métrica en base a su experiencia.

**Tabla 2** - Valor final del estudio de viabilidad

Dimensiones	Peso	Valor global de la aplicación en una dimensión
Plausibilidad	8	$VC_i = (8.16, 8.55, 8.97, 8.97)$
Justificación	3	$VC_i = (7.8, 8.8, 10, 10)$
Adecuación	8	$VC_i = (5.86, 7.03, 8.2, 8.73)$
Éxito	5	$VC_i = (6.11, 7.8, 8.2, 8.86)$
Valor final		$V_F = (6.92, 7.75, 8.68, 8.99)$

Para que un proyecto sea viable con la tecnología de los SSBBCC, el resultado del promedio de los componentes del vector  $V_F$ , debe ser mayor o igual a 6.

$$\overline{X_{V_F}} = 8,085$$

La media general obtenida para el test de viabilidad supera el valor 6, por lo tanto se concluye que “el desarrollo del sistema es Posible, está Justificado, es Adecuado y tendrá Éxito”.

## 7 Adquisición de conocimientos

El proceso de adquisición de conocimientos es una de las tareas más importantes en el desarrollo de los SSEE, es una tarea activa durante todas las etapas de construcción del sistema, es decir, se lleva a cabo desde que inicia el estudio de viabilidad hasta que se usa el sistema.

Para la adquisición de conocimientos se trabajó desde dos perspectivas, extracción y educación de conocimientos. La primera fue realizada a través de un estudio de la documentación en base a dos fuentes: bibliografía [2] [9] [13] y presentaciones de la cátedra.

En cuanto a la educación de conocimientos, la investigación se basó en visitas, a través de la técnica de observación de tareas habituales, en las que se pudo determinar y asimilar el trabajo desarrollado en laboratorio. Esto permitió comprender la tarea del experto, así como también se logró captar conocimientos y procedimientos básicos del dominio. Además se llevaron a cabo, entrevistas a expertos y alumnos. A través de los cuales se logró obtener un conocimiento detallado del problema y que luego tuvieron gran relevancia en el desarrollo del sistema.

Es en la educación de conocimientos donde se logra obtener la mayor parte de los conocimientos que se integran al sistema. Para ello se trabajó en 11 sesiones, en las cuales se han aplicado distintas técnicas. Una de las sesiones más enriquecedoras fue en la que se aplicó la técnica de Análisis de Protocolos, que consiste en el seguimiento de un procedimiento desarrollado en el laboratorio por uno de los expertos. La aplicación de esta técnica permitió obtener un protocolo de 49 líneas, a partir de las cuales se pudieron identificar Conceptos, Características y Valores para conocer las primeras inferencias, las cuales se incluirían posteriormente entre las inferencias finales. A modo de ejemplo se cita un fragmento de la tabla donde se inicia una clasificación del conocimiento obtenido en la sesión.

**Tabla 3** – Fragmento de la tabla conceptos, características, y valores aplicando Análisis de Protocolos

Concepto	Características	Valores
Colonias	Crece sobre medios comunes en una semana.	Crece No crece.
	Aspecto	Pastosas Filamentosas
	Color	Amarillo Verde ... Blancas
	Diámetro	más de 35 mm sobre Czapek menos de 35 mm sobre Czapek ... con más de 6mm sobre Czapek y Malta
...	...	...
Cleistotecios	Color	Amarillos sobre Czapek Glicerol
	Presencia	Con cleistotecios, sin cleistotecios
Ejemplar	Identificación	<i>Aspergillus restrictus</i>

A partir de la información contenida en la Tabla 3 se obtuvieron las primeras 15 inferencias. Como ejemplo se exponen las siguientes inferencias:

- SI (crece-en-uno-o-más-medios-comunes) ENTONCES (ver-el-aspecto-de-las-colonias).
- SI (colonias-filamentosas) ENTONCES (considerar-medios-en-donde-mejor-crece).
- SI (colonias-que-no-exceden-los-30-milímetros-de-diámetro-sobre-Czapek) ENTONCES (ver-tamaño-de-colonias).
- SI (colonias-con-más-de-6-milímetros-de-diámetro-y-conidios-cilíndricos-o-con-forma-de-barril-en-columnas-bastante-persistentes) ENTONCES (el-ejemplar-es *Aspergillus-restrictus*).

## 8 Conceptualización de los conocimientos

Esta etapa implica la organización de los conocimientos adquiridos en la etapa de Adquisición de Conocimientos, y el modelado del comportamiento del experto en la solución de problemas de su competencia.

Todos los pasos desarrollados en la etapa de conceptualización se dirigen a obtener el Modelo Conceptual, que permite entender cómo la estructura de los conceptos implementa su función. El comportamiento del experto se modela en un Mapa de conocimientos que representa el proceso de inferir valores de los atributos.

La Fig. 1 muestra el mapa de conocimientos obtenido en el que se representan lasseudoreglas y se comunican visualmente enlaces y relaciones complejas, de forma clara y concisa.

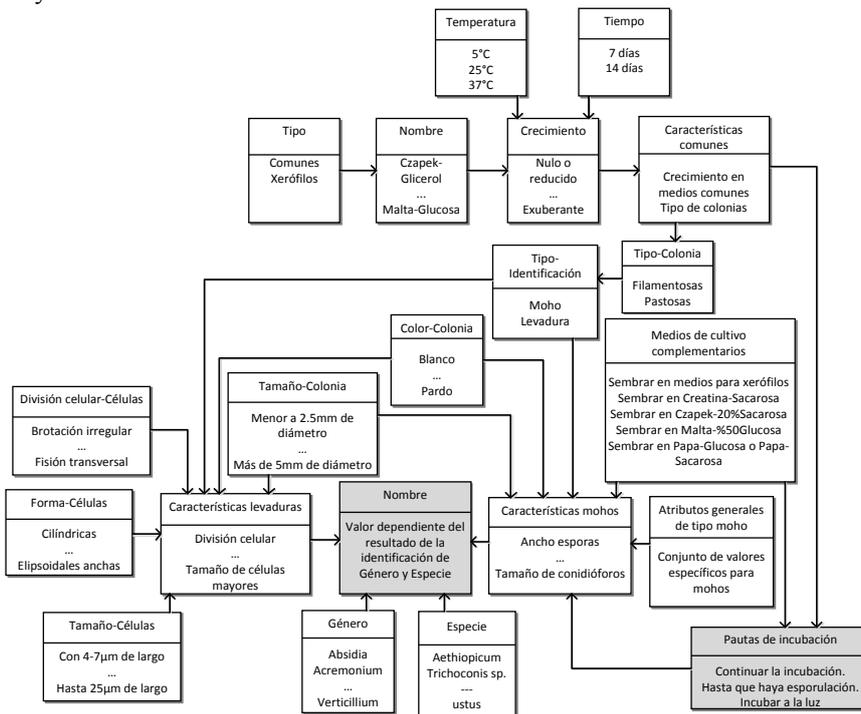


Fig. 1 - Mapa de conocimientos para la identificación de hongos.

## 9 Formalización

La formalización se basa en representar los modelos obtenidos en la etapa de conceptualización desde la perspectiva del sistema. El proceso consiste en tomar el modelo conceptual y modelar los conocimientos por medio de representaciones simbólicas, usando distintos formalismos que permiten expresar los conocimientos en estructuras semicompatibles con la forma de trabajo de las computadoras.

Tomando en consideración que la herramienta de implementación correspondiente es JESS, el cual es un entorno para el desarrollo de sistemas expertos mediante la generación de reglas de producción [10] y que el conocimiento del dominio se organiza de manera natural en forma de reglas, se puede concluir que la técnica de formalismo más adecuada son los sistemas de producción.

De acuerdo a las seudoreglas obtenidas en la Conceptualización cada una de las reglas se formalizan según:

SI Concepto1. Atributo1= Valor1 Y... ConceptoN. AtributoN = ValorN  
**ENTONCES**  
 ConceptoM. AtributoM = ValorM

A continuación se muestra un ejemplo representativo del formalismo en reglas de producción:

**Tabla 4** – Regla de producción MOHR81\_1

Nombre de la regla	Regla MOHR81_1
Formalización	SI CaractObs.CaractMoh = vesícula con/sin métulas y fiálides Y Colonias.Cabeza Conidial-Vesícula =con métulas y fiálides <b>ENTONCES</b> Identificación.Nombre = <i>Aspergillus niger</i>

En esta etapa se enunciaron un total de 426 reglas, de las cuales se diferencian en tres grupos, el primero corresponde a 4 reglas que valoran las características comunes de los hongos, luego se definieron 388 reglas específicas para identificación hongos de tipo moho y por último, 28 reglas para la valoración e identificación de hongos de tipo levadura.

## 10 Detalles de Implementación

Para la implementación del sistema se han tenido en cuenta dos opciones, primero, el desarrollo completo de un sistema a medida a través del uso de lenguajes de alto nivel, y en segundo lugar se ha considerado la opción de usar herramientas de desarrollo, denominadas Shells. Debido a las ventajas que representa el uso de un Shell para la implementación del sistema en este caso de estudio, se ha optado por evaluar las herramientas disponibles en el mercado. Entre los Shells disponibles se ha considerado como la opción más conveniente para la implementación, a la herramienta JESS (Java Expert System Shell).

### 10.1 Arquitectura del sistema

La Fig. 2 muestra la estructura de trabajo que utiliza el sistema para entregar resultados al usuario:

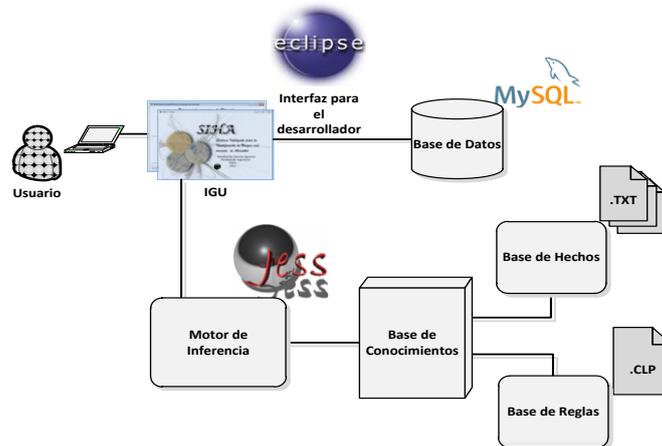


Fig. 2 - Arquitectura de SIHA.

El proceso se inicia con la interacción entre el usuario y el sistema experto a través de la interfaz gráfica. Dicha interfaz está diseñada mediante el entorno de desarrollo Eclipse V.3.4.1, que permite por un lado explotar todas las ventajas al emplear sus librerías, mientras que por otro es el más apropiado para interactuar con el engine elegido. Dependiendo de la solicitud del usuario, el sistema ingresa al módulo de Identificación, para el que se usó el motor de inferencia de la herramienta JESS V.7.1p2, permitiendo centrar el trabajo en la configuración de la Base de Conocimientos.

Existen distintas formas de cargar la Base de Hechos, no obstante en este caso se optó por efectuarla en archivos de texto sin formato, por el volumen de conocimientos que debe manejar. Dicha carga se realizó desde Eclipse, aprovechando la comunicación con JESS. La Base de Reglas, se encuentra contenida en un archivo con extensión .CLP y sus reglas están escritas en lenguaje JESS. Si el módulo de identificación reconoce un ejemplar, a partir de las características ingresadas por el usuario, se dispondrá de una conclusión y se generará un informe por pantalla cuyos resultados provienen de la consulta de todos los datos correspondientes a la especie informada en la base de datos creada con MySQL V.5.5.13. Los resultados se pueden presentar por pantalla y en caso de que se necesite una constancia escrita, el sistema dispone de una opción para generar un informe en un archivo con formato .PDF. Si el usuario prefiere el uso de las otras funcionalidades disponibles, Glosario, Documentos o Ayuda, se trabaja directamente con la base de datos.

### 10.2 Interfaces de usuario

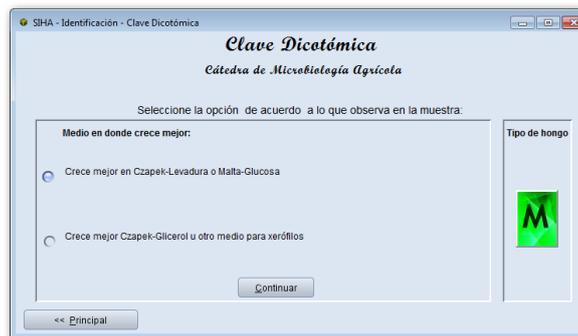
A continuación se presentan las Interfaces de Usuario más representativas del prototipo desarrollado.

**Principal:** En esta interfaz se pueden seleccionar algunas de las funciones disponibles, las cuales son Identificación, Glosario, Documentos y Ayuda, para cada una se proporciona una síntesis descriptiva (Fig. 3).



**Fig. 3 -** Pantalla Principal.

**Identificación-Clave Dicotómica:** Se activa a través de la ventana Principal. El sistema solicita al usuario el ingreso de características observadas en el kit de identificación para realizar el proceso (Fig. 4).



**Fig. 4 -** Interfaz Identificación - Clave Dicotómica.

**Identificación-Informe:** Muestra el resultado obtenido del proceso de identificación. La ventana contiene, la denominación del ejemplar encontrado, la ecología, las características verificadas, y una imagen representativa de dicha especie. También incluye botones para mostrar una fotografía más detallada, generar un archivo que almacenará el informe, o volver a la pantalla principal (Fig. 5).

**Identificación-Representación Fotográfica:** Se accede a través del botón "...más" de la ventana informe. En la barra de título de la ventana se especifica el tipo de hongo y nombre que le corresponde, expone una representación en forma real del ejemplar reconocido, además de su respectiva fuente de información (Fig. 6).

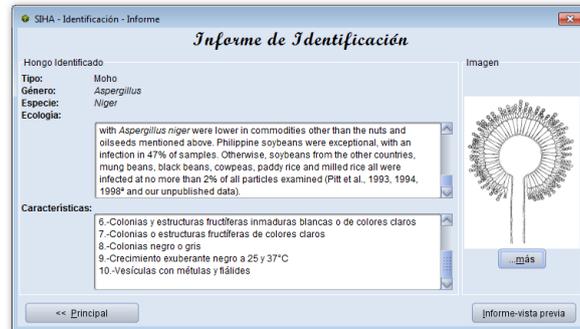


Fig. 5 - Interfaz Informe.

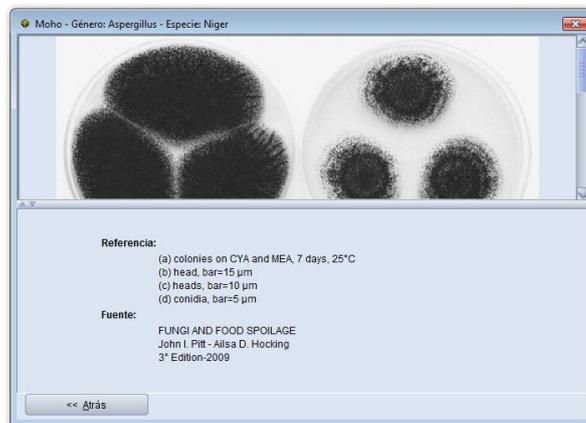


Fig. 6 - Interfaz de fotografía representativa del hongo identificado.

**Pantalla Recomendación:** Aporta sugerencias sobre la manera de proceder en caso de que las características no sean suficientes para llegar a una identificación. En la pantalla Datos Informe, se muestra la ventana al momento de que el usuario presione el botón “Informe-vista previa” de la pantalla Informe. Para completar el informe se solicita el ingreso de nombre de la cepa analizada y su procedencia.

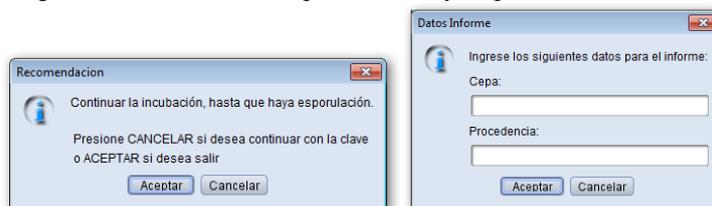


Fig. 7 - Interfaz Recomendación y Datos Informe.

El sistema cuenta, además, con funcionalidades extras tales como Ayuda, Glosario de términos integrado por imágenes y textos, documentos diseñados para recabar

información en el procedimiento y guiar los pasos que debe realizar el usuario en la identificación.

## 11 Evaluación

Se realizaron dos etapas de evaluación, estudiando la corrección (Tabla 5) y validez (Tabla 6) de las distintas iteraciones desarrolladas hasta llegar al producto final. Los criterios de corrección y validación son dos de las cuatro etapas que recomienda la metodología IDEAL.

La corrección se realiza en conjunto con expertos en el campo de la informática para verificar los modelos obtenidos y el sistema resultante en forma interna, a partir de comunicaciones periódicas con los evaluadores, a fin de revisar las representaciones derivadas del trabajo en cada fase de la metodología.

La validación es el segundo paso de la evaluación, teniendo como objetivo el comprobar que el conocimiento contenido en el sistema simula adecuadamente la resolución de problemas en el dominio. La evaluación estuvo a cargo de profesionales en microbiología. Para concretar la validación se diseñó un cuestionario (Tabla 7) que apoya la evaluación donde se incluyen los aspectos que se deben analizar para considerar válido el prototipo presentado.

**Tabla 5** - Criterios de corrección

Criterio	Categoría	Resultados
Redundancia	Identidad sintáctica y semántica	No se detectaron reglas con identidad sintáctica. Durante el proceso de desarrollo se detectaron reglas con antecedentes con identidad semántica, que luego fueron corregidas.
	Subsunción o reglas embebidas	No se encontraron reglas embebidas.
	Condiciones SI innecesarias	Tras la revisión de las reglas no se presentó este tipo de redundancia.
	Callejones sin salida	Todas las reglas se encadenan para conducir a un estado final ya sea una identificación o una recomendación.
	Reglas circulares	No se repiten reglas indefinidamente.
Compleitud	Reglas ausentes.	Se han revisado la totalidad de las reglas verificando que existe un camino para cada estado final y que los estados intermedios conducen a una conclusión. Por lo tanto no existen reglas ausentes.
	Reglas inalcanzables	Los antecedentes de las reglas se verifican a partir de datos ingresados por el usuario o por las conclusiones alcanzadas por alguna regla.
Consistencia	Lógica	No existen reglas contradictorias.
	Semántica	No se encontraron reglas con incompatibilidad semántica.

Conforme al análisis de las respuestas obtenidas en el cuestionario se llega a la conclusión de que los evaluadores están de acuerdo en que la propuesta es buena y

relativamente novedosa. Se considera que la herramienta no es esencial pero es una muy buena alternativa para asistir en el proceso de identificación. El sistema diseñado se acerca al comportamiento del experto pero no lo reemplaza, la razón es que los expertos tienen mayor conocimiento para actuar en caso de que se les presenten características no contempladas en el sistema. En términos generales, los evaluadores están totalmente de acuerdo en que esta herramienta es eficiente, sencilla de interpretar y confiable.

Tomando como referencia las sesiones de presentación del prototipo y en base a las repuestas del cuestionario, la validación del sistema se resume en la Tabla 6.

**Tabla 6 - Criterios de validación**

Criterio	Categoría	Resultados
Calidad de las respuestas	Exactitud	Se confrontaron los resultados del sistema con los dados por el experto, considerando las respuestas aceptadas por parte de los expertos.
	Adecuación	Los expertos, en base a las investigaciones, han propuesto la identificación de 198 especies y a partir del desarrollo del sistema se logrado cubrir la totalidad de estos ejemplares.
Satisfacción de requisitos o Co-respondencia	Requisitos de competencia	Según la evaluación emitida por el experto se considera que el sistema completo cumple con los requerimientos planteados al inicio del proyecto.
	Requisitos de servicio	Se tuvieron en cuenta todos los aspectos para facilitar la interacción con el usuario, en cuanto a la presentación, cantidad de información y formato de la presentación de resultados. Luego de la evaluación se han considerado acuerdos para el usuario.

**Tabla 7 - Resultados obtenidos en la validación del sistema**

Preguntas	Evaluador 1	Evaluador 2
1- Para el desarrollo de la tarea, ¿la implementación de este sistema es una propuesta novedosa?	2	3
2- ¿El sistema puede ser calificado como una herramienta esencial para la asistencia en el proceso de identificación?	2	2
3- ¿El sistema simula de manera adecuada el comportamiento de un experto en el campo?	2	3
4- ¿El sistema dispone y muestra de manera adecuada el conocimiento acerca de la tarea?	1	2
5- ¿La información que nutre al sistema es adecuada al contexto?	1	2
6- ¿El sistema es aplicable a la resolución de problemas en torno al proceso de identificación de hongos?	1	1
7- ¿El tiempo de respuesta del sistema se considera rápido?	1	1
8- ¿La información que brinda el sistema es sencilla de interpretar?	1	1
9- ¿La información recuperada es confiable?	1	1

Preguntas	Evaluador 1	Evaluador 2
10- En el Glosario: ¿Considera que el contenido es suficiente para aclarar términos que ayuden en el proceso de identificación?	1	1
11- ¿Considera que la información que se ofrece constituye un apoyo efectivo para la tarea?	1	1
12- ¿El sistema cumple con la finalidad con la que se diseñó?	1	1

En el caso de evaluar la utilidad, los beneficios que se pueden producir a partir del empleo del sistema implican una mayor eficiencia y eficacia en la realización de la tarea, así como también un aumento en la capacidad de resolver nuevos tipos de problemas. Esta evaluación necesita de un periodo de prueba para que el usuario tenga la posibilidad de integrar el uso del sistema a su entorno de trabajo cotidiano, sólo después de haber transcurrido este lapso de tiempo se puede evaluar si el sistema es útil o no para el dominio de implementación.

## 12 Conclusiones

El empleo de la metodología IDEAL, a través de su estructura y técnicas de educación de conocimientos, permitió la investigación y análisis de toda la documentación proporcionada por el experto y en base a su experiencia, se obtuvieron 426 seudoreglas, donde la consistencia de los atributos y los correspondientes valores de atributos quedan comprobados mediante el mapa de conocimientos. Por lo tanto, la base de reglas queda constituida por 426 reglas, que permiten identificar 198 especies de hongos.

Respecto al estudio de las múltiples herramientas de desarrollo existentes se optó por el empleo de JESS. Después de haber explorado otras herramientas como ser C#, descartada para aprovechar las herramientas existentes en el mercado que permiten reducir el tiempo de implementación de un prototipo. Otra opción considerada fue Kappa PC, que presenta como limitante la cantidad de sesiones que se pueden crear. Por estos motivos se optó por JESS versión 7.1p2 como motor de desarrollo, Eclipse SDK versión 3.4.1 y un motor de base de datos MySQL versión 5.5.13. JESS está diseñado para integrarse al entorno Eclipse como un conjunto de plugins, por lo tanto se trabajó para el entorno gráfico en código Java y para la implementación de reglas se usó el lenguaje JESS.

El resultado de todo este proceso fue el desarrollo de la aplicación planteada, la cual sistematiza la identificación de hongos en alimentos, a través del reconocimiento de características usando claves dicotómicas. Su funcionamiento cumple con las especificaciones del experto quien ha validado y verificado los resultados obtenidos en diferentes pruebas.

## 13 Trabajos futuros

- Implementar una función adicional que muestre con cada ingreso de datos una lista de las posibles identificaciones, y a medida que se avance en la especificación de las características se reduzca el resultado a una única conclusión.

- Adicionar la posibilidad de retroceder opciones seleccionadas por el usuario para corregir el proceso de identificación.
- Ampliar el sistema para reconocer dos tipos de usuarios e incorporar un módulo para profesionales e investigadores que automatice el ingreso de datos y obtenga en forma directa los resultados sin el seguimiento de las características paso a paso.
- Investigar entornos de desarrollo para aplicaciones destinadas a dispositivos móviles, de este modo se cumpliría con el objetivo de difundir el conocimiento de los expertos de manera que le sea útil para la comunidad que se desempeña en esta área de estudio.

## 14 Referencias Bibliográficas

- [1]- ADAMS, M. R ; MOSS, M. O.: Microbiología de los Alimentos. Ed. Acribia S.A., Zaragoza, España (1995).
- [2]- PITT, J.I.; HOCKING, A.D.: Fungi and Food Spoilage (3ra ed.). Ed. Springer Science + Business Media, New York, USA (2009).
- [3]- PITT J.I.:PENNAME: a computer key to common Penicillium species. CSIRO Division of Food Processing, North Ryde, Australia (1991).
- [4]- KOZAKIEWICZ, Z.; BRIDGE, P.D.; PATERSON R.R.M.: PENIMAT: a computerised identification scheme for terverticillate Penicillium species.  
Web: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830593900443>. Accedido el 4 de Mayo de 2012
- [5]- ULF THRANE.: *FUSKEY, an interactive computer key to common Fusarium species.*  
Web: <http://www.springerlink.com/content/fu4x5n31t6407722/>. Accedido el 17 de Abril de 2012.
- [6]- NEO SCI.: *The Key to common Microscopic Fungi CD-ROM. Comprehensive introduction to the structure & function of fungi.* Web: [http://www.neosci.com/catalog.asp?sid=536696670&showID=2088&content=cn\\_showitem](http://www.neosci.com/catalog.asp?sid=536696670&showID=2088&content=cn_showitem)  
Accedido el 17 de Abril de 2012.
- [7]- NEILSON, H., STEWAR, T. *A Key to Plant Pathogenic Fungi.* Web: [http://plant-protection.massey.ac.nz/resources/software/lucid\\_key.htm](http://plant-protection.massey.ac.nz/resources/software/lucid_key.htm). Accedido el 17 de Abril de 2012.
- [8]- VARESE et al. *Tools for Identifying Biodiversity: Progress and Problems* – pp. 183-187. Documento: bioidentify.pdf. Web: <http://www.slideshare.net/pmihnev/a-whole-2010-book-quottools-for-identifying-biodiversity-progress-and-problemsquot>. Accedido el 4 de Mayo de 2012.
- [9]- CARRILLO, L.: Los hongos de los alimentos y forrajes, Universidad Nacional de Salta-Universidad Nacional de Jujuy. (2003).
- [10]- CÉSARI, M.: Sistemas Expertos. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. Web: <http://dharma.frm.utn.edu.ar/cursos/ia/2012/material/APUNTES-FILMINAS/U2/SEapuntesCesari.pdf>. Accedido el 13 de Junio de 2012.
- [11]- GARCÍA MARTÍNEZ, R., BRITOS, P.V.: Ingeniería de Sistemas Expertos (1er ed.). Ed. Nueva Librería, Buenos Aires, Argentina (2004).
- [12]- GÓMEZ, A., JURISTO, N., MONTES, C., PAZOS, J.: Ingeniería del Conocimiento. Ed. Centro de estudios Ramón Areces, S.A., Madrid, España (1997).
- [13]- CARRILLO, L.: Micología de los alimentos, Universidad Nacional de Jujuy-Universidad Nacional de Salta. Ed. Hemisferio Sur S. A.

## Apéndice Evaluación de las características del problema

La siguiente tabla contiene un análisis y valoración asignado a cada característica considerada para su evaluación.

**Tabla A. 1** - Análisis de las características de la tarea.

<b>Análisis de las características de la tarea</b>				
<b>N°</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Denominación de la característica</b>	<b>Análisis</b>	<b>Valor</b>
1	P1	Existen expertos, están disponibles y son cooperativos	Para el desarrollo del proyecto se dispone de dos expertos en el área de estudio, Micología de los alimentos, los cuales se desempeñan como docentes de la cátedra Microbiología Agrícola, de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNJu	Sí
2	P2	El experto es capaz de estructurar sus métodos y procedimientos de trabajo.	El equipo de expertos trabaja de forma ordenada y estructurada, esto se demuestra por el aporte de documentación escrita, “Micología de los Alimentos”- Leonor Carrillo. A esto se suman los procedimientos utilizados y la experiencia en el área.	Todo
3	P3	La tarea está bien estructurada y se entiende.	A través del documento “Micología de los Alimentos”, se dispone de información estructurada, lo que permite entender la tarea.	Todo
4	P4	Existen suficientes casos de pruebas y sus soluciones asociadas.	Por la pericia del experto en el área y bibliografía se cuentan con casos de prueba.	10
5	P5	La tarea sólo depende de los conocimientos y no sólo del sentido común.	Para el desarrollo de la tarea es necesario el conocimiento.	10
6	J1	Resuelve una tarea útil y necesaria.	La disponibilidad de un sistema que asista en la identificación de hongos permite asegurar la respuesta correcta, así como también permite ahorrar tiempo en el análisis de características de cada caso.	Todo
7	J2	Se espera una alta tasa de recuperación de la inversión.	En cuanto a productividad se logrará un importante avance debido al ahorro de tiempo en el análisis de las características presentadas y la respuesta correspondiente.	9

<b>Análisis de las características de la tarea</b>				
<b>N°</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Denominación de la característica</b>	<b>Análisis</b>	<b>Valor</b>
8	J3	Hay escasez de experiencia humana	La cátedra cuenta con un equipo de trabajo que no es suficiente con relación al número de alumnos.	Mucho
9	J4	Hay necesidad de tomar decisiones en situaciones críticas o ambientes hostiles, penosos y/o poco gratificantes.	No existen situaciones críticas para el caso de estudio o ambientes hostiles, penosos o poco gratificantes.	Nada
10	J5	Hay necesidad de distribuir los conocimientos.	La necesidad de transmitir los conocimientos es prioritaria, ya que el sistema será implementado en un entorno académico.	Todo
11	J6	Los conocimientos pueden perderse de no realizarse el sistema.	Existe documentación escrita disponible dónde se encuentra plasmado conocimiento del experto, sin embargo, la experiencia adquirida por el experto puede perderse en caso de no ser transmitida	Poco
12	J7	No existen soluciones alternativas.	Existen sistemas que realizan la misma tarea, pero presentan como inconvenientes la barrera del idioma, ya que el idioma de origen es el inglés y que son productos comerciales.	Si
13	A1	La transferencia entre humanos es viable.	Se transfiere el conocimiento a través del uso de bibliografía, documentos desarrollados por la cátedra y el guiado de los docentes.	Mucho
14	A2	La tarea requiere "experiencia".	Si se requiere de experiencia para la realización de la tarea.	Todo
15	A3	Los efectos de la introducción del Sistema Experto no pueden preverse.	Se espera que los efectos de la introducción del Sistema sean positivos en los alumnos, ya que ellos serán los usuarios directos. Por lo tanto se prevee que se produzcan efectos positivos.	Poco
16	A4	La tarea requiere razonamiento simbólico.	De acuerdo a la información que nos provee el experto, se puede ver que la tarea requiere de razonamiento simbólico, esto se fundamenta por la forma de estructurar el conocimiento, el cual es representado mediante pseudoreglas, las cuales para relacionarlas es necesario aplicar	Mucho

Análisis de las características de la tarea				
N°	Dimensión	Denominación de la característica	Análisis	Valor
			conocimiento simbólico.	
17	A5	La tarea requiere el uso de heurísticas para acotar el espacio de búsqueda.	Para poder realizar la identificación de hongos es necesario precisar las características presentadas al momento de la observación, de manera correcta.	Todo
18	A6	La tarea es de carácter público y más táctica que estratégica.	La tarea sigue un procedimiento que ayuda a la identificación del tipo de hongo, por lo cual la tarea se considera más táctica que estratégica y de carácter público.	Si
19	A7	Se espera que la tarea continúe sin cambios significativos durante un largo periodo de tiempo.	Si, la información que se maneja en el área se mantiene en el tiempo con cambios poco significativos.	Mucho
20	A8	Se necesitan varios niveles de abstracción en la resolución de la tarea.	No requiere niveles de abstracción porque la tarea tiene una base práctica a partir de la cual se realizan observaciones para la determinación de características que permiten la identificación del hongo.	Poco
21	A9	El problema es relativamente simple o puede descomponerse en subproblemas.	Es posible descomponer el problema en subproblemas ya que el conocimiento se estructura en dos clases diferenciadas para la identificación de hongos. Una es específica para la identificación de mohos y la otra para levaduras.	Mucho
22	A10	El experto no sigue un proceso determinista en la resolución del problema.	El proceso de identificación varía de acuerdo a las características observadas.	Si
23	A11	La tarea acepta la técnica de prototipado gradual.	Ya que es posible descomponer el problema en subproblemas, se puede desarrollar un prototipo en forma gradual	Si
24	A12	El experto resuelve el problema a veces con información incompleta o incierta.	En la determinación de un ejemplar se necesitan de una serie de características para ser analizada, por lo tanto el proceso requiere de información lo más completa posible.	Poco
25	A13	Es conveniente justificar las soluciones adoptadas.	Resulta muy conveniente marcar cuales son las características que derivaron en la identificación.	Todo
26	A14	La tarea requiere in-	No requiere investigación básica.	No

<b>Análisis de las características de la tarea</b>				
<b>N°</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Denominación de la característica</b>	<b>Análisis</b>	<b>Valor</b>
		investigación básica.		
27	A15	El sistema funcionará en tiempo real con otros programas o dispositivos.	No se requiere que el sistema a desarrollar interactúe con otros sistemas ni que cumpla con las características de un sistema en tiempo real.	Nada
28	E1	Existe una ubicación idónea para el SE.	El sistema será instalado en las computadoras disponibles de la cátedra, como así también en el laboratorio de informática de la Facultad de Ciencias Agrarias.	Todo
29	E2	Problemas similares se han resuelto mediante INCO.	En Argentina, no se han encontrado referencias de algún sistema específico de esta área resuelto con INCO. Sin embargo, existen sistemas similares desarrollados en otros idiomas.	Si
30	E3	El problema es similar a otros en los que resultó imposible aplicar esta tecnología.	No se han encontrado referencias sobre la imposibilidad de aplicar esta tecnología en algún problema similar.	No
31	E4	La continuidad del proyecto está influenciada por vaivenes políticos.	No se espera que la comunidad del proyecto se vea influenciada por algún vaivén político.	Poco
32	E5	La inserción del sistema se efectúa sin traumas, es decir, apenas se interfiere en la rutina cotidiana.	La inserción del sistema se podría realizar sin interferir con las tareas habituales de la cátedra.	Mucho
33	E6	Se dispone de experiencia en INCO.	No existe experiencia previa. Pero, la cátedra de Microbiología Agraria dispone de material bibliográfico desarrollado por una de las docentes de la cátedra, experto en el área y además se cuenta con el asesoramiento de los docentes de dicha cátedra que apoyarán el desarrollo del proyecto	Regular
34	E7	Se dispone de los recursos humanos, hardware y software necesarios para el desarrollo e implementación del sistema.	Se dispone de los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto.	Mucho
35	E8	El experto resuelve el problema en la actualidad.	El experto resuelve el problema en la actualidad con el apoyo de una guía escrita y este método	Todo

<b>Análisis de las características de la tarea</b>				
<b>N°</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Denominación de la característica</b>	<b>Análisis</b>	<b>Valor</b>
			también es transmitido a los alumnos.	
<b>36</b>	E9	La solución del problema es prioritaria para la institución.	La solución del problema por medio de un sistema asegura una respuesta correcta donde se han evaluado todas las características posibles de manera rápida. Contribuir con un sistema informático a la cátedra, les permite insertar una nueva herramienta para la enseñanza, la cual permitirá agilizar sus tareas, así como estimular el uso de nuevas tecnologías en sus tareas cotidianas. Por lo tanto se considera de una prioridad media-alta.	Mucho
<b>37</b>	E10	Las soluciones son explicables.	Por estar el sistema dirigido a la enseñanza de un tema en particular, toda solución debe ser justificada a través de una explicación.	Todo
<b>38</b>	E11	Los objetivos del sistema son claros y evaluables.	Los objetivos del sistema están definidos en forma clara y pueden ser evaluados a través de una serie de casos de prueba.	Todo
<b>39</b>	E12	Los conocimientos están repartidos entre un conjunto de individuos.	El equipo de expertos está compuesto por dos docentes de la cátedra de "Microbiología Agrícola".	Poco
<b>40</b>	E13	Los directivos, usuarios, experto e IC están de acuerdo en las funcionalidades del SE.	Las funciones de sistema han sido establecidas en forma conjunta con la totalidad de implicados en el desarrollo del sistema.	Mucho
<b>41</b>	E14	La actitud de los expertos ante el desarrollo del sistema es positiva y no se sienten amenazados por el proyecto.	Los expertos han tomado una postura positiva en cuanto al desarrollo del sistema.	Mucho
<b>42</b>	E15	Los expertos convergen en sus soluciones y métodos.	Al formar parte del mismo equipo de trabajo utilizan los mismos métodos para el desarrollo de sus tareas, por lo tanto convergen en las soluciones.	Todo
<b>43</b>	E16	Se acepta la planificación del proyecto propuesta por el IC.	En principio se propuso una planificación para el proyecto, la cual estuvo sujeta a correcciones. Por lo tanto, se flexibilizaron los plazos de entrega.	Si

Análisis de las características de la tarea				
N°	Dimensión	Denominación de la característica	Análisis	Valor
44	E17	Existen limitaciones estrictas de tiempo en la realización del sistema.	No se exige un tiempo límite para la implementación del sistema, pero es conveniente obtener el producto a corto plazo, de manera que los alumnos usen el sistema al momento de incorporar el tema de identificación de hongos.	Mucho
45	E18	La dirección y usuarios apoyan los objetivos y directrices del proyecto.	Las distintas partes implicadas están conformes con los objetivos planteados para el sistema.	Mucho
46	E19	El nivel de formación requerido por los usuarios del sistema es elevado.	El sistema estará dirigido para el uso como herramienta en enseñanza- aprendizaje, principalmente, de alumnos con conocimientos básicos de aplicaciones informáticas.	Regular
47	E20	Las relaciones IC – Experto son fluidas.	La predisposición por parte del equipo de expertos permite entablar una relación fluida.	Todo
48	E21	El proyecto forma parte de un camino crítico con otros sistemas.	No, el proyecto será el primer sistema informático que se implementará para el trabajo específico en la cátedra.	No
49	E22	Se efectuará una adecuada transferencia tecnológica.	La transferencia tecnológica se efectuará a través de la presentación del software a los usuarios finales de acuerdo a una planificación previa.	Todo
50	E23	Lo que cuenta en la solución es la calidad de la respuesta.	El sistema debe entregar la respuesta correcta en cada caso que se le presente, ya que el objetivo del sistema es la “identificación de hongos”. Por lo tanto, es muy importante llegar a la respuesta correcta.	Si

El análisis realizado previamente en la Tabla A. 1, se lleva a una segunda etapa, en la cual se presenta el valor de cada una de las características asociadas a otras propiedades para elaborar el test de viabilidad. Las propiedades que las representan son: Categoría, Peso, Naturaleza del valor asociado a la característica, Tipo, Umbral y Valor. Finalizada la valoración de las características, se comienza con el cálculo del test viabilidad, esto se lleva a cabo reemplazando los valores booleanos y lingüísticos por intervalos difusos y aplicando fórmulas matemáticas que conducirán a obtener el valor final de dicho test.