

## Desarrollo de un Sistema Experto de Identificación de Hongos más Comunes en Alimentos para la Cátedra de Microbiología Agrícola

Claudia A. Panica, Delia A. Condorí, Miguel A. Azar, Analia Herrera Cognetta, Leonor Carrillo, Marcelo R. Benitez Ahrendts

Universidad Nacional de Jujuy, Facultad de Ingeniería, Facultad de Ciencias Agrarias  
claudipanica@gmail.com, dac498@hotmail.com, augux1221@gmail.com, anihco@yahoo.com.ar,  
lcarrillo@arnet.com.ar, mrba71@yahoo.com.ar

### Resumen

El presente documento, describe un trabajo interdisciplinario: el diseño y construcción del “Sistema Experto Aplicado a la Identificación de Hongos Presentes en Alimentos”, surgido como resultado de la inquietud de la cátedra de Microbiología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias, y el aporte de cogniciones y competencias en desarrollo de software a medida, de integrantes de la carrera de Licenciatura en Sistemas de la Facultad de Ingeniería, ambas Unidades Académicas de la Universidad Nacional de Jujuy.

La premisa parte de la necesidad de la cátedra de Microbiología Agrícola, de contar con modernas herramientas para la práctica y aprehensión del conocimiento de sus estudiantes, en la identificación de hongos más comunes en alimentos, y disponer de un repositorio de conocimiento para investigadores.

En primera instancia se introduce al lector en el contexto del problema y en el tema de estudio, se propone el objetivo, luego una síntesis de la investigación elaborada en cuanto a herramientas software disponibles para el propósito planteado, para especificar luego la metodología empleada en el estudio, y análisis de factibilidad de la aplicación software. Como corolario, se presenta la herramienta software desarrollada, las imágenes de la interfaz de usuario lograda, y la validación de la aplicación.

**Palabras clave:** Aprendizaje, Identificación de Hongos, Metodología IDEAL, Microbiología, Sistema Experto.

### Introducción

Resulta de particular importancia para la cátedra de microbiología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNJu), contar con nuevas tecnologías que colaboren en el aprendizaje de uno de los temas centrales de la asignatura, el Proceso de Identificación de Hongos. Los estudiantes deben reconocer de manera inequívoca qué especie puede afectar a los cultivos en el campo o cualquier alimento de interés.

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.

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 es fundamental [2].

La actividad se sistematiza de la siguiente manera: una introducción teórica y horas en laboratorio para cumplir con los siguientes pasos y llegar así a la identificación:

*Primero:* El desarrollo de cultivos a través de la siembra de cepas aisladas, en diversos medios de cultivo.

*Segundo:* Incubación de los cultivos en temperatura y tiempos preestablecidos, respetando dichas condiciones para favorecer el desarrollo (crecimiento) del cultivo.

*Tercero:* Registro de las características macromorfológicas observadas sobre el resultado del cultivo, es decir, observar y registrar, a nivel macroscópico, el aspecto de las colonias obtenidas.

*Cuarto:* Preparación de microcultivos para la observación y registro de las características y estructuras a nivel microscópico.

*Quinto:* Identificación de la especie de hongos que incluye la observación en detalle de ciertas características para luego realizar su seguimiento con las claves dicotómicas. El uso manual de estas claves requiere de atención y demanda un tiempo considerable para verificar todas las solicitudes de las claves y de este modo llegar a un resultado.

Si bien la cátedra cuenta con bibliografía, esta se encuentra en idioma inglés, lo cual dificulta la lectura para algunos estudiantes. Para subsanar el inconveniente, pone a disposición dos ejemplares en castellano, de la bibliografía que se usará en laboratorio, sin embargo es aún insuficiente, dado el considerable número de estudiantes que asisten.

Al iniciar el estudio de situación, los integrantes de la carrera de Licenciatura en Sistemas, han detectado los siguientes problemas:

- ✓ Falta de bibliografía de consulta.
- ✓ Escaso número de docentes en relación a la cantidad de alumnos para la orientación en el tema.
- ✓ Necesidad de contar con suficiente tiempo y conocimiento para relacionar las características que lleven a un resultado en la identificación.
- ✓ Uso excesivo de la clave por la falta de familiaridad con los términos utilizados en ella y la dificultad de la interpretación de cada uno de los ítems en conjunto. Esto provoca que los estudiantes pierdan concentración y se enfoquen en el procedimiento de relacionar características, y no en fijar los conocimientos. Se destaca entonces la importancia de almacenar el conocimiento del experto, de una

manera adecuada, y dejarlo disponible para los estudiantes y demás usuarios que lo requieran.

## Objetivo

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

## 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). Por este motivo, se analizaron 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):

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

Tabla 1 - Sistemas evaluados

PENNAME (presentado en el libro “Penname, a new computer key to common Penicillium species” de Pitt JI. en el año 1990): Es un software que permite identificar especies de penicilios. Usa características macromorfológicas de las colonias sobre distintos medios de cultivo, y también se necesita de las características micromorfológicas observadas en un microcultivo.

PENIMAT (*PENicillium* Identification MATrix): Creado en 1993. Programa para identificar 37 especies de penicilios, pero solamente los terverticilados. Requiere de datos fisiológicos.

Ambos programas están desactualizados al no responder a las nuevas denominaciones que se proponen y a la falta de inclusión de nuevas

especies encontradas. Además estas herramientas identifican solo especies de *Penicilium* y su idioma es el inglés.

FUSKEY (2000): Programa contenido en el sistema DELTA (DEscription Language for TAXonomy) desarrollado en el programa de recursos Naturales y Biodiversidad de la división de Entomología del CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia) que permite identificar 17 especies de hongos microscópicos del género *Fusarium*. La clave, FUSKEY, utiliza para la identificación criterios morfológicos, fisiológicos y químicos. El idioma de origen es el inglés.

Key to common Microscopic Fungi CD-ROM: Programa de identificación de hongos microscópicos, proporciona una visión completa de la clasificación de los hongos. Se realiza la identificación a través de las características físicas y de color de un organismo. Contiene información de más de 130 especies de hongos. El Software es Comercial y su idioma inglés.

A Key to Plant Pathogenic Fungi (2002): Software para identificación de hongos patógenos en plantas, basado en las características micológicas de patógenos de las plantas que se encuentran en Nueva Zelanda. La clave determina hongos de la familia Deuteromycotina, Ascomycotina, Basidiomycotina, así como algunos Zygomycotina y Mastigomycotina. El software es de uso gratuito y su idioma es el inglés.

FRIDA (Friendly IdentificAtion): Software disponible en el año 2010, que identifica 57 géneros y 215 especies de hongos. La base de datos viene con un conjunto de descripciones detalladas de cada género y especie, archivos de imágenes, glosario de términos micológicos, y referencias a descripciones; además provee los requerimientos de las condiciones del cultivo. El idioma original es el inglés.

## Marco Teórico

### Caso de estudio: Identificación de hongos

Los hongos son organismos microscópicos o macroscópicos. Los 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 de-pendiendo 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.

### Sistemas Expertos y Metodología de desarrollo

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

Los Sistemas Expertos (SSEE), 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, la metodología que guiará el proceso y los lenguajes de codificación.

Existen diferentes metodologías de desarrollo aplicables a sistemas expertos, para este caso se consideró a la metodología IDEAL [11], como 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.

## 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.

## 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.

## 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 analizó el problema y se realizó su valoración.

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:

$$VC_j = \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^{n_i} P_{ik}}{\sum_{i=1}^{n_i} \frac{P_{ik}}{V_{ik}}} + \frac{1}{2} \frac{\sum_{k=1}^{n_k} P_{ik} \cdot V_{ik}}{\sum_{i=1}^{n_i} P_{ik}}$$

VC<sub>j</sub>: Valor global de la aplicación en una dimensión dada.

V<sub>ik</sub>: Valor de la característica k en la dimensión i.

P<sub>ik</sub>: Peso de la característica k en la dimensión i.

r<sub>i</sub>: 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 del Valor final es la siguiente:

$$V_F = \frac{\sum_{j=1}^4 P_j V_j}{\sum_{j=1}^4 P_j}$$

V<sub>j</sub> : Valor obtenido en la dimensión j.

P<sub>j</sub> : Peso obtenido en la dimensión j.

VF: Valor final

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

### 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.

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.

Dimensiones	Peso	Valor global de la aplicación en una dimensión
Plausibilidad	8	VC <sub>1</sub> = (8.16.8.55.8.97.8.97)
Justificación	3	VC <sub>2</sub> = (7.8.8.8.10.10)
Adecuación	8	VC <sub>3</sub> = (5.86.7.03.8.2.8.73)
Éxito	5	VC <sub>4</sub> = (6.11.7.8.2.8.86)
Valor final		V <sub>F</sub> = (6.92.7.75.8.68.8.99)

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

Para que un proyecto sea viable con la tecnología de los SSBCC, el resultado del promedio de los componentes del vector VF, 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”.

### 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 las cuales se logró obtener un conocimiento detallado del problema que tuvo 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.

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>

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

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

- 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*).

### Conceptualización de los conocimientos

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.

### 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.

Considerando que la herramienta de implementación seleccionada será JESS (Java Expert System Shell), 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

Nombre de la regla	Regla MOHR81_1
Formalización	SI CaracterObs: CaracterMoh = vesicula con sin metulas y hialide: Y Colonias Cabeza Conical-Vesicula =con metulas y hialide: ENTONCES Identificación Nombre = <i>Aspergillus niger</i>

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

En esta etapa se enunciaron un total de 426 reglas, de las cuales se diferencian 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.

### 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). Si bien se estudió la posibilidad de utilizar otras herramientas, como por ejemplo C#, estas no resultaron beneficiosas al momento de considerar 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 fue JESS versión 7.1p2 seleccionada, 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.

## Arquitectura del Sistema

La Fig. 1 muestra la estructura de trabajo que utiliza el sistema para entregar resultados al usuario

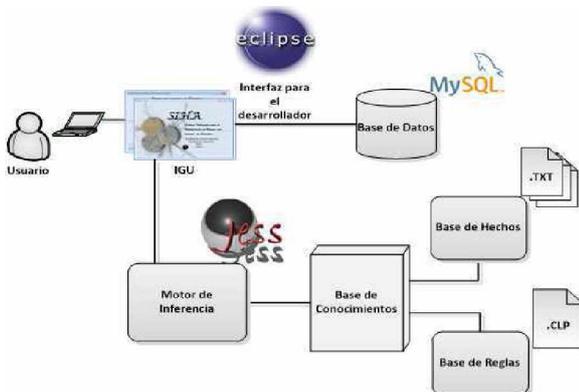


Fig. 1 - Arquitectura de SIHA

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 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. Cada vez que 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, trabaja directamente con la base de datos.

## Interfaces de usuario

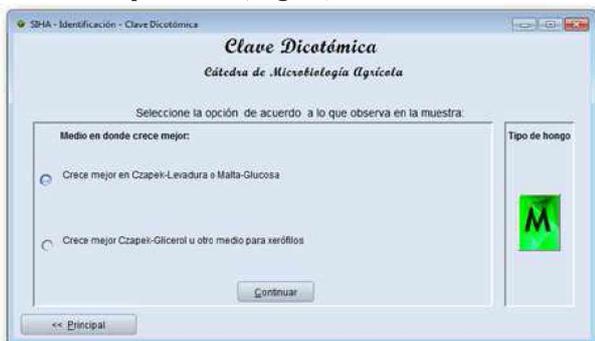
A continuación se presentan las Interfaces de Usuario más representativas del prototipo desarrollado.

**Principal:** En esta interfaz se pueden seleccionar algunas de las funciones disponibles: Identificación, Glosario, Documentos y Ayuda, para cada una se proporciona una síntesis descriptiva (Fig. 2).



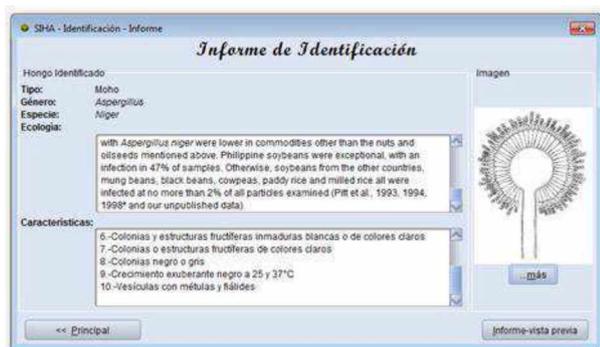
Fig. 2 - Pantalla Principal

**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. 3).



**Fig. 3 - 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. 4).

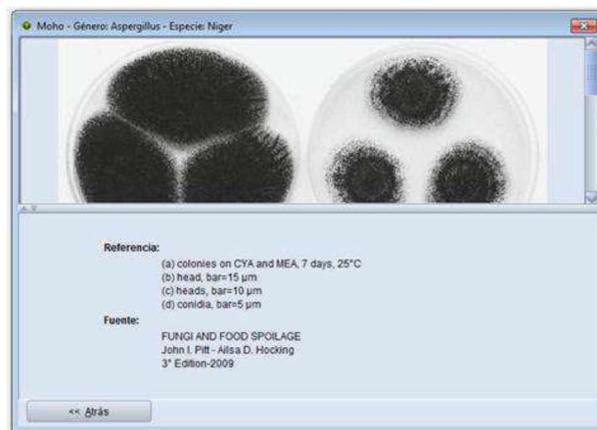


**Fig. 4 - Interfaz Informe**

**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. 5).



**Fig. 5 - 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. 6 - 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.

## Evaluación

Se realizaron dos etapas de evaluación, estudiando la corrección y validez 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 que apoya la evaluación donde se incluyen los aspectos que se deben analizar para considerar válido el prototipo presentado.

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 sí 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.

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.

## 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 que dan 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.

El resultado de todo este proceso fue el desarrollo de la aplicación aquí presentada, 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.

## 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 en 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.

## Bibliografía

- [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](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.