

Notas del Director

El Centro de Investigación en Palma de Aceite, al igual que otras instituciones que generan una gran cantidad de información, la cual en ocasiones es dispersa, poco organizada y difícil de consultar por parte de los usuarios; la información y el conocimiento pueden perderse, lo mismo que la experiencia adquirida en años. Por esto, el Sistema Experto de la Palma de Aceite (SEPAL) que está desarrollando Cenipalma, pretende optimizar el recurso mas valioso que es el conocimiento.

Uno de los objetivos del SEPAL es generar una herramienta informática capaz de integrar el conocimiento de varios especialistas en diferentes áreas del conocimiento (Manejo Integrado de Suelos, Plagas y Enfermedades) que sirva de apoyo a los palmicultores para la toma de decisiones en el manejo integrado de la palma de aceite. Sin embargo, en el desarrollo de los diferentes módulos se han detectado oportunidades de mejora en los medios de transferencia de tecnología de Cenipalma. Por ejemplo en el manejo integrado de la nutrición, se quiere probar la aplicabilidad de las recomendaciones que genera el Sistema, en cuanto a dosis, época y costo de la aplicación de fertilizantes frente a varios escenarios de producción del cultivo.

El módulo de Sanidad Vegetal ha sido diseñado para facilitar que las personas interesadas (palmicultores, técnicos u otros funcionarios de plantaciones, estudiantes, etc.) puedan conocer más de cerca las enfermedades e insectos plagas de la palma de aceite, aunque no sean profundamente conocedores de la materia. Este módulo contiene una serie de preguntas acerca del problema que ocupa el interés del usuario, las cuales se van encadenando, según las respuestas del usuario, en una ruta crítica que conduce a diagnosticar de qué enfermedad o plaga se trata. Diagnosticado el problema, el módulo propone prácticas de manejo tomadas del menú de opciones generado o adaptado por Cenipalma y de las normas legales existentes. Además, se ofrece una ficha técnica más completa con vínculos a literatura especializada.

PEDRO LEÓN GÓMEZ CUERVO
Director Ejecutivo

Sistema experto para el manejo del cultivo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq)*



Figura 1. Esquema del Sistema Experto de Palma de Aceite versión Beta

INTRODUCCIÓN

Durante sus quince años de labores el Centro de Investigación de la Palma de Aceite (Cenipalma), ha generado soluciones tecnológicas para las distintas áreas que conforman el sistema agroindustrial de la palma de aceite. La socialización de este conocimiento se ha realizado por medio de publicaciones especializadas para el cultivo (mas de 303, entre libros, artículos y cenipalances) y su adopción, se ha fomentado mediante eventos de transferencia (más de 320 entre días de campo, cursos y seminarios). Pero en muchos casos esto no es suficiente para los usuarios que necesitan información, ya que ésta puede ser de difícil acceso, estar poco organizada o simplemente su consulta y comprensión, se torna en un proceso que implica mucho tiempo y dedicación.

Por otra parte, también se encuentran dificultades desde el punto de vista de los investigadores, ya que la información producto de los proyectos en los que participan o el conocimiento adquirido mediante la experiencia, no se le ha sacado el suficiente provecho por la falta de instrumentos que permitan una recopilación y organización práctica de la información.

Estos inconvenientes se han identificado en el proyecto de Transferencia de Tecnología en las actividades relacionadas con las campañas fitosanitarias, en donde detectaron limitantes como: deficiente manejo y organización de la información para la identificación y detección oportuna

de problemas fitosanitarios. Por otra parte, dentro de las actividades de difusión de resultados se encuentran problemas de tipo logístico como el manejo, la interpretación y uso técnico de la información. (Cenipalma, 2004)

Las situaciones descritas anteriormente, afectan en algún grado la proyección de la

sostenibilidad y la competitividad de la palmicultura colombiana, ya que por deficiencias en el uso adecuado de la información, pueden generar sobrecostos en las labores agronómicas del cultivo o no alcanzar el rendimiento esperado.

De otra parte, en el contexto internacional los costos de producción de aceite crudo de palma en Colombia son altos comparado con sus principales competidores, lo cual es un punto desfavorable para la competitividad de esta agroindustria. El costo total para producir una tonelada de fruto es de US \$ 469 de los cuales el 30.41% corresponde a la fertilización y el 4.25% a la sanidad del cultivo (plagas y enfermedades). Bajo estas premisas los desafíos actuales de la palmicultura colombiana se enfocan principalmente en disminuir los costos de producción y aumentar sus rendimientos, además de generar productos con valor agregado, aprovechar eficientemente sus subproductos, aumentar la inversión, mejorar las condiciones de convivencia y abrirse más decididamente al mercado internacional.

Un complemento a los avances de la investigación realizados por Cenipalma, es el desarrollo de alternativas tecnológicas como los programas denominados sistemas expertos, que se pueden definir en términos sencillos, como sistemas que reproducen el proceso intelectual de un experto humano en un campo en particular (Samper, 2005), permitiendo que los conocimientos especializados, que hacen parte de la memoria institucional de Cenipalma y otras instituciones de investigación, se guarden y difundan, de forma que no se pierdan aunque los especialistas desaparezcan. Es decir recogen la esencia de los problemas que se quieren resolver y programan la aplicación de los conocimientos para su solución.

*Ricardo Martínez B. Investigador Titular, Programa de Economía y Biestadística, Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma. Autor para correspondencia: ricardo.martinez@cenipalma.org

Diana Carolina Forero. Investigador Auxiliar, Programa de Economía y Biestadística, Cenipalma

El sistema experto que se está desarrollando en Cenipalma, constituye una herramienta eficaz para la transferencia de tecnología mediante la optimización de su recurso más valioso que es el conocimiento, sus objetivos son: generar un sistema confiable para el acceso a las recomendaciones generadas por el experto para ayudar a los palmicultores en el proceso de toma de decisiones; diseñar, sistematizar e implementar los diferentes componentes del sistema experto en un software de prueba; fomentar el trabajo interdisciplinario a través de la integración de los resultados de investigación de Cenipalma, junto con las recomendaciones de los expertos a nivel nacional e internacional en el manejo integrado del cultivo de palma de aceite. Lo anterior en las áreas de suelos y nutrición, manejo de plagas y enfermedades.

Además, se contribuirá en la conservación de la memoria institucional de Cenipalma.

METODOLOGÍA

La metodología aplicada para el desarrollo del sistema experto consta de diferentes fases, que en algunos momentos, pueden ejecutarse simultáneamente, sin que se afecte la construcción del sistema. Las etapas para la construcción del sistema experto son:

1. Etapa de búsqueda y recopilación de la información en las áreas de suelos y sanidad vegetal.

2. Etapa de abstracción de la información.

3. Diseño y construcción de los componentes del sistema.

Casi al mismo tiempo de la etapa de abstracción, se desarrolla el diseño y construcción de los componentes del sistema (Figura 1). Se destaca la generación de:

- **Bases de conocimientos:** contienen el conocimiento especializado extraído del experto en el área determinada. El método más común para representar el conocimiento es mediante reglas de producción en las cuales el dominio del conocimiento representado se divide, pues, en pequeñas fracciones de conocimiento o reglas de la forma **SI condición ENTONCES acción**.

- **Bases de datos:** Son una parte de la memoria del ordenador que se utiliza para almacenar los datos recibidos inicialmente para la resolución de un problema.

- **Motor de inferencia:** es un programa que controla el proceso de razonamiento que seguirá el sistema experto.

- **Interfaz del usuario:** permite que el usuario pueda describir el problema al sistema experto. A la inversa, formula la información generada por el sistema mediante respuestas a las preguntas, explicaciones y justificaciones.

- **Módulo de explicación:** diseñado para aclarar al usuario el uso de los diferentes módulos del sistema, además de profundizar en aspectos relacionados con la consulta que está realizando el usuario.

- **Módulo de adquisición del conocimiento:** mediante este módulo se pueden añadir, eliminar o modificar elementos de conocimiento (en la mayoría de los casos reglas) en el sistema experto.

4. Prueba del sistema. Esta etapa incluye todos los ajustes y pruebas del software, partiendo de la aprobación de los expertos.

5. Masterización del CD. Una vez aprobado el contenido del software se llevan a cabo los correspondientes diseños de las carátulas y el menú principal del software, luego se elabora el programa para que sea masterizado (almacenado en CD).

AVANCES EN LA CONSTRUCCION DEL SISTEMA EXPERTO

Construcción del "Shell"²

En general se tiene el "Shell" o armazón del sistema, con los menús principales para los módulos de suelos y plagas, además se tiene un módulo de explicación o de ayuda (F1), el cual contiene información relacionada con el uso de cada componente del sistema, información técnica, bibliografía consultada, descargos y especificaciones del sistema. También cuenta con mecanismos y algoritmos de encriptación¹, para el manejo de los perfiles de usuario que permita realizar cambios en los parámetros del sistema mediante claves.

Construcción de la base de conocimientos

Los módulos contemplados para la primera etapa del sistema experto son Manejo Integrado de Suelos y Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades. Dentro de estos dos grandes grupos se han desarrollado las siguientes aplicaciones:

MÓDULO DE MANEJO INTEGRADO DE SUELOS

1. Herramienta para selección de tierras aptas para el cultivo de palma de aceite

En ella se incluye una matriz de decisión, la cual confronta la oferta ambiental con los requerimientos del cultivo (Munévar.2004), con el fin de calificar las tierras por aptitud basada inicialmente en las condiciones climáticas y de suelos (Tabla 1). Además usa información complementaria, las clases de limitaciones agrupadas en los siguientes seis grupos: Limitaciones climáticas (precipitación, meses secos, radiación solar, brillo solar y temperatura media anual), facilidad para la labranza del suelo (pendiente, pedregosidad, textura de la capa arable), disponibilidad de oxígeno para la raíz (drenaje, encharcamientos, conductividad hidráulica), riesgo de inundaciones, propiedades físicas del suelo: condiciones para el enraizamiento (profundidad efectiva) y textura, propiedades químicas del suelo (salinidad y sodicidad), disponibilidad de nutrientes (capacidad de intercambio catiónico efectivo, saturación de aluminio, saturación de bases y disponibilidad de nutrientes). Las prácticas o metodologías más comunes para la adquisición de la información por parte del usuario dependen del tiempo disponible y del grado de confiabilidad requerido

Tabla 1. Sistema de calificación de tierras en palma de aceite

Orden	Clase	Definición
	Apta	Tierras sin limitaciones o limitaciones menores para el cultivo sostenible de palma de aceite
Apta	Moderadamente Apta	Tierras que en su conjunto para el cultivo ofrecen limitaciones moderadamente severas para el cultivo sostenible de palma de aceite
	Marginal	Estas tierras en su conjunto ofrecen limitaciones severas para el cultivo sostenible de palma de aceite, influenciando
No Apta	No Apta	Las características de estas tierras definitivamente no son aptas para la siembra de palma de aceite

2. Módulo de Manejo de la Nutrición.

Este módulo le permite al usuario, en primer lugar, hacer un diagnóstico del estado nutricional del cultivo y del suelo, mediante la calificación de los resultados de análisis de laboratorio, y se complementa con una clave visual para el diagnóstico de deficiencias nutricionales. En un segundo nivel le permite calcular las necesidades de nutrientes para la nivelación nutricional del cultivo y del suelo, para que finalmente convierta estas necesidades en forma de óxidos, con lo cual, a través de la selección de una oferta de fuentes de fertilizantes y enmiendas, calcule la cantidad de kg. de fuente a aplicar por hectárea y por palma.

Fase de diagnóstico nutricional. La etapa 1 tiene como objetivo desarrollar una ayuda para la interpretación de análisis foliares y de suelos; la cual hace parte del diagnóstico junto con la clave visual de síntomas de deficiencia de nutrientes.

1. Shell: Parte fundamental de un sistema operativo encargada de ejecutar las órdenes básicas para el manejo del sistema. Suelen incorporar características tales como control de procesos, redirección de entrada/salida y un lenguaje de órdenes para escribir programas por lotes

2. Encriptar: proteger archivos expresando su contenido en un lenguaje cifrado. Los lenguajes cifrados simples consisten, por ejemplo, en la sustitución de letras por números.

MODULO MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS

1) Sub-módulo de enfermedades.

En Colombia una de las principales limitantes en la producción de la Palma de Aceite son las enfermedades, puesto que reducen significativamente los rendimientos. La base de conocimientos en lo referente a enfermedades se construye en la medida que se tenga información pertinente, válida, sustentada o simplemente verificable. El criterio de inclusión de enfermedades para el Sistema Experto tiene como base la importancia relativa de los principales problemas patológicos en cada zona productora del país, dentro de los que se encuentran enfermedades relacionadas con el complejo Pudrición del Cogollo, Anillo Rojo, Pestalotiopsis, Marchitez Sorpresiva, Pudrición de Estípites, Mancha Anular y Anillo Clorótico.

Se ha definido un rango mínimo de datos (RMD) de tal forma que al organizar la documentación sobre enfermedades, se consiga relacionar variables en los procesos de inferencia para fortalecer la base de conocimientos formulada.

El RMD se ha esquematizado en tres niveles diferentes para examinar críticamente la literatura y para organizar la información disponible con respecto a sintomatología, diagnóstico, factores predisponentes y manejo, lo que posteriormente apoya la elaboración de los procesos de inferencia. Los niveles corresponden a las categorías enfermedad, patógeno y/u organismos asociados cuando estén involucrados.

El propósito del modelo para Enfermedades en Palma, más que generar un sub-módulo para el Sistema Experto, pretende formular un protocolo de trabajo enfocado a la consolidación de un Sistema de Soporte de Decisiones (DDS). Para ello se ha recurrido a metodologías que incluyen el concepto de incertidumbre en la inferencia, con el ánimo de modelar, de la manera más real posible, la conducta de un experto frente a un problema de carácter patológico.

Este modelo utiliza sistemáticamente la simbología de circuitos, para permitir la participación de especialistas en la validación del modelo (transparencia) y la incorporación de ajustes sobre la marcha en las matrices de decisión.

2) Sub-módulo insectos plaga

Los insectos plaga que afectan el cultivo de palma de aceite se han especializado en consumir las diferentes estructuras de la palma, por lo que se pueden encontrar insectos plaga que consumen las raíces, como el caso de *Sagafassa valida*, insectos vectores de enfermedades y que actúan como barrenadores del estípites como *Bynchophorus palmarum* y *Metamasius hemipterus*; insectos que atacan los folíolos de la palma como el caso de insectos chupadores *Leptopharsa gibbicarina*; insectos defoliadores como *Euclea diversa* y *Euprosterna eleasa*, así como insectos que deterioran la calidad del fruto como *Imatidium neivai*.

El manejo integrado de insectos plaga en el cultivo de palma, por las mismas características de producción, debe ser considerado con visión de largo plazo y de manejo de grandes extensiones de producción, inclusive con visión regional. Es allí donde las herramientas de un programa de manejo integrado de plagas definidas por los componentes de prevención y observación juegan un papel de gran importancia en el manejo de las plagas mencionadas.

Como principio básico del componente de prevención, se busca emplear aquellas herramientas disponibles que eviten el daño del insecto plaga al cultivo, como barreras físicas que eviten el daño a las estructuras de la palma o trampas para captura de adultos e inmaduros. En cuanto a las herramientas de observación, se busca generar sistemas de muestreo eficientes, confiables y económicos que permitan determinar la densidad de población de la plaga en un momento determinado.

En la actualidad, los adelantos obtenidos con la generación del módulo en manejo de insectos plaga, se ha enfocado en la revisión de literatura y compilación de la información más relevante sobre aspectos de biología, hábitos, síntomas, muestreo y manejo para los insectos plaga *Sagafassa valida*, *Bynchophorus palmarum* y se encuentra en desarrollo el documento para el insecto *Leptopharsa gibbicarina*. Así mismo, se elaboró una propuesta de matriz de decisión con la cual el usuario tendrá la opción de consultar diferentes temáticas de acuerdo con sus necesidades. En general la matriz de decisión propuesta contemplará los siguientes aspectos:

El ingreso de variables de reconocimiento, la identificación del insecto plaga, el esquema de muestreo, la comparación de la densidad de la plaga con el respectivo umbral económico y las respectivas medidas de manejo.

Con ello se espera generar un sub-módulo donde la información suministrada mediante el sistema experto le permita al usuario tener una herramienta confiable y segura en la toma de decisiones.

Figura 6. Lista [check box] para la selección de fuentes de fertilizantes a utilizar

CONSIDERACIONES FINALES

Actualmente se están completando las bases de conocimientos de los módulos del sistema para someterlas al criterio de especialistas en las distintas áreas del conocimiento, con el fin de realizar una depuración y prueba del sistema para llevarlo a la fase de masterización (grabación del CD) y creación de las ayudas en línea (f1) y el manual para el usuario. Finalmente se socializará este software entre potenciales usuarios con el fin de retroalimentar el sistema y realizar mejoras que permitan que esta herramienta se convierta dentro de poco tiempo, en un soporte en la toma de decisiones de los palmicultores.

BIBLIOGRAFÍA

Cenipalma, 2004. Informe de Labores 2004, pág 66-67.
 Gómez, J. 2005. Conjuntos y Sistemas Difusos. Curso introductorio de conjuntos difusos. Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación. Universidad de Málaga. En <http://www.lcc.uma.es/~ppgg/FSS/>.
 Munevar, F. 2001. Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos. Palmas. Palmas (Colombia) 22(4): 9-17.
 Munevar, F. 2004. Criterios agroecológicos útiles en la selección de tierras para siembras nuevas de palma de aceite en Colombia. Palmas (Colombia) 23(2):148-159.
 Paramanathan, S. 2003. Land Selection for oil palm. Singapore, pág 27-57.
 Samper, J.J. 2005. Introducción a los sistemas expertos. RED científica www.redcientifica.com/ ISSN: 1579-0223.

cenipalma
 Director: Pedro León Gómez Cuervo
 Revisión de textos: Comité de Publicaciones de Cenipalma
 Coordinación editorial: Oficina de Prensa
 Diseño y diagramación: Briceño Gráfico
 Impresión: Molher Ltda. Impresores
 Esta publicación contó con el apoyo del Fondo de Fomento Palmero