



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

**ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
EXPERTO PARA LA AYUDA EN EL DIAGNOSTICO Y
TRATAMIENTO DE ENFERMEDADES DEL JITOMATE EN
CULTIVO HIDROPÓNICO.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES**

PRESENTAN

**LAURA BELEN MUÑOZ GONZÁLEZ
CARLOS BENITO MUÑOZ GONZÁLEZ**

ASESORES:

DR. VIRGILIO LÓPEZ MORALES

DR. OMAR LÓPEZ ORTEGA

PACHUCA DE SOTO, Hgo. Junio de 2007

AGRADECIMIENTOS

A nuestros Asesores, por habernos dado la oportunidad de desarrollar la presente Tesis, así como por el tiempo dedicado y el interés mostrado en todo momento para el correcto avance de la investigación.

A nuestros Sinodales, por el tiempo que nos brindaron al leer la presente Tesis, haciéndole las correcciones necesarias para una mejor presentación.

A nuestros Profesores, que con su sabiduría y paciencia nos han ayudado a abrir las puertas del conocimiento, además de darnos su valiosa amistad.

A nuestros Padres, por creer siempre en nosotros y por apoyarnos en todos nuestros sueños, gracias a ellos hemos podido llegar hasta aquí.

A nuestros Abuelos, porque con su experiencia y dulzura nos han colmado de bendiciones a lo largo de nuestra carrera.

A nuestra Familia, que con su ayuda y cariño logramos cumplir nuestros objetivos.

A aquellas personas especiales que nos brindaron su apoyo y paciencia en los momentos más difíciles en la realización de la presente Tesis.

Con mucho Cariño y Respeto...

Belén y Carlos

A mi Esposa: porque es maravilloso vivir a tu lado compartiendo dichas y alegrías, problemas y sinsabores, quiero que sepas que a tu lado estaré siempre que me necesites, eres una mujer muy valiosa te amo por lo que eres y por lo que has traído a mi vida, por que te admiro y respeto, por que cada vez que estamos separados ansío volver a verte, en fin seguir juntos como hasta ahora y sobre todo... amarte eternamente.

A mis Hijos: porque mi corazón es suyo y le pido a Dios que ilumine sus caminos.

Con Amor Carlos

Le doy gracias a Dios por iluminar mis ojos para abrir más mi corazón hacia el estudio y a la vida, a Él principalmente le dedico todo lo mejor de mí.

Por todo el amor que me brindan a cada momento, escuchándome y dándome los mejores consejos, les obsequio todo mi amor, entrega, lucha y esfuerzo que es algo tan pequeño para las personas más grandes de corazón y de alma que he conocido en mi vida, yo se que aún en la distancia siempre han estado conmigo y ahora que concluye esta etapa estamos de nuevo juntos, gracias por no dejarme nunca sola, por llenar mi vida de bendiciones y amor, porque tan solo bastaba una sola palabra suya para motivarme hasta lograr todo lo que me propusiera, porque la batalla más grande hasta ahora en mi vida la vencimos juntos y ahora soy más feliz que nunca, los amo papás.

Abuelitos míos, son parte de mi alma, de mi corazón y de mi persona, no me alcanzará la vida para agradecerles el amor que me han brindado, los adoro.

Con Amor Belén

Paso a Paso, no concibo ninguna otra manera para lograr el objetivo

ÍNDICE

Antecedentes	i
Definición del Problema	iii
Propuesta de Solución	iv
Objetivos	v
Justificación	vi
Introducción	viii
Marco Teórico	ix
Materiales y Métodos	xxx
Capítulo 1. Enfermedades del Jitomate en Cultivo Hidropónico	
1.1 Enfermedades en el Jitomate y sus causas	2
1.1.1 Inducción de Enfermedades por Hongos	2
1.1.2 Inducción de Enfermedades por Bacterias	11
1.1.3 Inducción de Enfermedades por Nemátodos	14
Capítulo 2. Análisis y Desarrollo del Sistema	
2.1 Arquitectura del Sistema	9
2.2 Diseño de la Base de Datos	20
2.2.1 Problema	20
2.2.2 Reglas de Negocio	20
2.3 Diagramas UML	21
2.3.1 Diagrama de Casos de Uso	21
2.3.2 Diagrama Entidad Relación	31
2.3.3 Diagrama de Secuencias	32
2.3.4 Diagrama de Clases	34
2.4 Variables del Sistema Experto	35
2.5 Diseño de la Base de Reglas	36
Capítulo 3. Implementación y Ejecución del Sistema	
3.1 Accesando a la Página Web	41
3.2 Manejo y Uso de la Base de Datos	45
3.3 Consultas al Sistema Experto	64

Capítulo 4. Conclusiones y Perspectivas

4.1	Conclusiones	88
4.2	Propuestas de Trabajo Futuro	89
4.3	Limitaciones del Sistema	90

Glosario de Términos	91
-----------------------------	----

Referencias	96
--------------------	----

Apéndices

A.	Manual de Instalación del Sistema	99
B.	Modificación e Incorporación de Reglas	101

ANTECEDENTES

La creación del presente proyecto surge ante la necesidad de construir un Sistema Experto que diagnostique enfermedades en un cultivo hidropónico a partir de síntomas reales presentados en la plantación del Jitomate, utilizando imágenes del diagnóstico para ayudar al usuario final a tomar decisiones.

Dicho proyecto pretende optimizar el proceso de búsqueda, que para el campo de la agricultura es de gran importancia debido a que un tratamiento tardío puede ocasionar graves consecuencias.

A continuación de forma resumida se presentan dos de los Sistemas Expertos que fueron decisivos para el éxito del avance en el campo de la Inteligencia Artificial, y que de alguna u otra manera se relacionan con el presente proyecto. Así, el lector se podrá dar una idea, con un ejemplo real, de cual es la esencia y las posibles aplicaciones de los Sistemas Expertos en forma general.

MYCIN es un Sistema Experto para la realización de diagnósticos médicos, iniciado por Ed Feigenbaum y posteriormente desarrollados por E. Shortliffe y sus colaboradores en 1994. Su función es la de aconsejar a los médicos en la investigación y determinación de diagnósticos en el campo de las enfermedades infecciosas de la sangre. El sistema MYCIN, al ser consultado por el médico, solicita primero datos generales sobre el paciente: nombre, edad, síntomas, etc. Una vez conocida esta información por parte del sistema, el Sistema Experto plantea unas hipótesis. Para poder verificarlas comprueba primero la exactitud de las premisas de la regla. Esto se realiza mediante una búsqueda de enunciados correspondientes en la base de conocimientos. Estos pueden a su vez estar de nuevo en la parte de consulta de otra regla. También lo realiza mediante determinadas preguntas al usuario del tipo: ¿Se ha practicado en el paciente algún tipo de intervención quirúrgica?, con las respuestas que recibe, MYCIN verifica o rechaza las hipótesis planteadas [10].

XCON es un Sistema Experto para configuraciones de redes computacionales desarrollado por la Digital Equipment Corporation en 1994. Debido a que el abanico de productos que se ofrecen en el mercado es muy amplio, la configuración completa y correcta de un sistema de estas características es un problema de gran complejidad [31].

Es de gran importancia resaltar la existencia de proyectos anteriores como los son Amrapalika, Cpest y Citrus (*Véase en el Marco Teórico*), que son Sistemas Expertos utilizados como herramienta para ayudar al área de la agricultura, sin embargo en toda la información recopilada para realizar la presente tesis no se ha encontrado algún Sistema Experto que realice la detección de enfermedades en los Jitomates.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Existen diversos Sistemas Expertos que ayudan al área de la agricultura, sin embargo, en el apartado muy particular de ésta rama que son los Jitomates, no se ha localizado el uso de ésta tecnología de información como herramienta en la solución de problemas de enfermedades que pueda poseer el cultivo hidropónico.

Los invernaderos de Jitomate en México son de gran importancia, sobre todo en temporadas cuando la agricultura de forma natural o al aire por su propia naturaleza no goza del clima apropiado para realizar el proceso de cultivo, es entonces cuando se reflejan las ganancias en los invernaderos, especialmente por su forma de imitar un tipo de clima propicio para el cultivo y desarrollo de plantas que produzcan jitomate de alta calidad, sin embargo, éstas ganancias se pueden convertir en pérdidas para los dueños, ya que si existe alguna enfermedad asociada al cultivo y no es detectada a tiempo, la cosecha puede perderse en su totalidad.

Por lo anterior, es necesario realizar el análisis, diseño e implementación de un Sistema Experto utilizando una Base de Datos que contenga éstas enfermedades, sus medicamentos dosis y recomendaciones apropiadas para el tratamiento dado a partir del resultado obtenido por el mismo que debe ser diseñado para realizar inferencias de acuerdo a la sintomatología necesaria y obtener los resultados finales.

Posteriormente, para proveer un acceso sencillo, es importante diseñar una página Web que contenga información acerca del sistema y proporcione un hipervínculo que permita al usuario ingresar a la aplicación.

PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Se propone analizar, diseñar e implementar un Sistema Experto para la ayuda en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades del Jitomate en cultivo hidropónico, realizando un estudio del Estado del Arte en Sistemas Expertos de forma general y particular, para conocer su importancia en el ámbito agroindustrial. Posteriormente, se realizará el análisis y diseño de la Base de Datos utilizando diagramas UML, misma que contendrá información de las enfermedades, sus medicamentos, dosis y recomendaciones, al igual que los procesos de altas, bajas y consultas que necesitará el usuario. Enseguida se realizará la aplicación, utilizando el lenguaje Java, efectuando la conexión entre ésta y el Gestor de la Base de Datos MySQL con la ayuda del JDBC (Conector de Base de Datos para Java). Así, se podrá analizar y diseñar la Base de Reglas requerida para la elaboración del Sistema Experto, utilizando la herramienta de software Rule, que será de gran utilidad para consultarlo, aunque ésta deberá mejorarse y relacionarse con la Base de Datos, añadiéndole un botón denominado Tratamiento; de modo que al darle clic despliegue la información para atender la misma enfermedad que el Sistema Experto a diagnosticado.

Finalmente se diseñará y construirá la Página Web del Sistema apoyándose en un botón donde el usuario podrá tener acceso a través de un hipervínculo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar, diseñar e implementar un Sistema Experto para la ayuda en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades del Jitomate en cultivo hidropónico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio del Estado del Arte en Sistemas Expertos en general y en particular, aplicados a la agricultura
- Analizar y Diseñar la Base de Datos utilizando Diagramas UML
- Realizar la Aplicación de la Base de Datos utilizando el lenguaje Java
- Efectuar la conexión entre la Aplicación y el Gestor de la Base de Datos MySQL con la ayuda del JDBC (Conector de Base de Datos para Java)
- Analizar y Diseñar la Base de Reglas requerida para la elaboración del Sistema Experto utilizando la herramienta de software Rule
- Mejorar la aplicación Rule
- Crear una relación entre el Sistema Experto y la Base de Datos, de modo que al obtener la Enfermedad sea la misma a la que se le proporcione el tratamiento
- Diseñar y Construir la Página Web del Sistema
- Crear un botón en la página Web que realice un hipervínculo al Sistema

JUSTIFICACIÓN

El proyecto proporcionará un medio para detectar enfermedades del Jitomate, utilizando un Sistema Experto como su herramienta principal en la optimización del proceso de búsqueda y suministrará el tratamiento más conveniente para cada enfermedad detectada.

Debido a que la terminología puede prestarse a confusión, se ilustrará al usuario con imágenes sobre los diagnósticos para mayor entendimiento y comprensión; su uso es principalmente en el área agrícola, para evitar las variadas consecuencias de las posibles enfermedades que puedan presentar los Jitomates, reduciendo riesgos de contagio entre estos y así evitando pérdidas en la producción.

Los Sistemas Expertos otorgan ciertas ventajas en el cultivo hidropónico, algunas de las cuales se citan a continuación:

- La posible enfermedad en el cultivo es detectada de forma rápida de acuerdo a la sintomatología que presente la planta
- El Sistema Experto otorga al usuario la imagen referencial con la cual se comprueba de forma visual el diagnóstico dado anteriormente
- Posteriormente el usuario al comprobar la certeza del resultado, rectifica la información al Sistema Experto aceptando el diagnóstico dado para que proporcione el posible tratamiento a seguir
- El tratamiento provee de múltiples opciones sobre medicamentos y dosis de los mismos por cada enfermedad detectada
- Como información adicional al usuario, el sistema facilita las recomendaciones más apropiadas en caso de que el cultivo esté infectado
- Si hubiesen nuevos medicamentos, dosis y recomendaciones para las enfermedades, el sistema cuenta con la versatilidad de realizar los

procesos de altas, bajas y modificaciones, y así contar con un sistema lo más actualizado posible

El principal beneficio que aporta el sistema es la optimización del proceso de detección de las enfermedades para la obtención del tratamiento de forma rápida debido a que las distintas plagas que actúan sobre la planta se llegan a esparcir en periodos relativamente cortos, dado que si la enfermedad no es detectada a tiempo, puede haber pérdida total en el cultivo por no proveer al mismo de un tratamiento adecuado y de igual forma la relación costo-beneficio otorga ahorros no solo en tiempo, sino económicamente evitando el aumento en el costo de la producción.

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas Expertos son un paradigma de programación que imita el comportamiento de un experto humano en la solución de problemas.

Pueden almacenar conocimientos de personas especializadas en un campo determinado y solucionar un problema mediante deducción lógica de conclusiones.

También son uno de los puntos que componen las investigaciones en el campo de la Inteligencia Artificial [22].

Es por esto que en el presente proyecto se ha decidido utilizarlos como herramienta en la solución a problemas relacionados con las enfermedades del Jitomate en cultivo hidropónico.

Se pretende crear un Sistema Experto para facilitar el diagnóstico de alguna de las enfermedades posibles en los Jitomates y finalizando este proceso otorgará al usuario el mejor tratamiento para la enfermedad con la que cuenta su cosecha.

MARCO TEÓRICO

Se encontrará y desglosará de forma gradual el contenido documental relacionado al cultivo hidropónico, desde sus bases conceptuales y definiciones, hasta la explicación detallada y ejemplificación de la información. Así mismo, su relación con los Sistemas Expertos, los componentes y las fases de creación de su base de conocimientos, desarrollados en tres niveles; el Shell utilizado para su diseño denominado Rule y las clases que utiliza, al igual que el lenguaje de programación Java empleado en el desarrollo de la aplicación del Sistema Experto, la misma que interactúa con el gestor de la base de datos MySQL y, finalmente, una breve muestra de trabajos relacionados que emplean este tipo de herramientas.

CULTIVO HIDROPÓNICO

La hidroponía es el arte de cultivar las plantas en el agua. La palabra viene del griego "hydro = agua" y "ponos = trabajo". El concepto ha sido "reinventado" en la universidad de Berkeley, en California en 1930, por el Dr. W. E. Gericke [3].

Pero este método de cultivo existe desde la noche de los tiempos. Todos hemos oído hablar de los jardines colgantes de Babilonia, pero también aquellos pueblos que viven al borde de lagos de altas montañas como el "Titicaca" en Perú o el "Inle" en Myanmar, que cultivan sus huertos en paja sobre la superficie del agua, las colonias de jacintos de agua, o cualquier otro substrato local.

En el cultivo hidropónico, como en los lagos de montaña, las plantas viven por encima del agua y sus raíces están bañadas por una corriente dinámica de

solución nutritiva. Las plantas se pueden desarrollar en el agua, pero las condiciones son importantes: es necesario que ésta sea "viva".

Hay que saber que, sea cual fuera el medio en el que se encuentren, tierra, aire o agua, las plantas absorben su alimento bajo forma de iones disueltos en presencia de oxígeno. En el agua, a medida que el alimento y el oxígeno se consumen, es necesario reemplazarlos; ésta es la misión de la hidroponía, que es un sistema de cultivo fuera de la tierra, estimulando el crecimiento de la planta controlando la calidad del agua, los minerales y sobre todo el oxígeno disuelto en la solución nutritiva.

El concepto básico es muy simple: cuando las raíces de una planta están suspendidas en agua en movimiento, absorben el oxígeno rápidamente, si el contenido de oxígeno es insuficiente, el crecimiento de la planta será más lento, pero si la solución está saturada, el crecimiento de la planta se acelerará (véase en la figura 1).

La misión del cultivador es coordinar la aportación de agua, abono y oxígeno con las necesidades de la planta en forma optimizada para obtener un rendimiento excelente y productos de la mejor calidad.

Por ello se deben tener en cuenta algunos factores esenciales como los citados en [3], temperatura, el grado de humedad, la intensidad de la luz, el nivel de dióxido de carbono, la ventilación, la genética de la planta, etc., tal como lo haría cualquier jardinero atento.

El cultivo hidropónico atrae a un público muy amplio: los "simples" enamorados, los coleccionistas privados o dueños de viveros, los cultivadores en pequeños, medianos o grandes invernaderos. A éstos se suman los centros de investigación más diversos, escuelas y asociaciones.



Figura 1 Comparación del Crecimiento en hidroponía y tierra.
(Plantas del mismo origen cultivadas simultáneamente)

Sus aplicaciones son múltiples y sus ventajas también:

- Uso óptimo del potencial genético de una variedad
- Mejor control de la nutrición de la planta
- Evidente mejora en el rendimiento de la calidad
- Reducción significativa del ciclo vegetativo - producción para ciertas especies
- Utilización más eficaz del espacio
- Excelente tasa de logros en expansión
- Importante economía de abono y sobre todo de agua
- El vigor y la duración de vida excepcionales de las plantas que comienzan en cultivo hidropónico y son transplantadas más tarde a la tierra abren unas perspectivas comerciales enormes, sobre todo en el sector de la planta en tiesto
- El cultivo hidropónico ha permitido enormes adelantos en el conocimiento de las plantas, particularmente en lo que se refiere a su

nutrición. Después de 50 años, éste método es utilizado en todos los grandes centros de investigación por su fiabilidad, su precisión y la diversidad de sus aplicaciones

Como todas las cosas, el cultivo hidropónico puede tener resultados buenos o malos, según quien lo ponga en práctica y los fines que persiga.

- Puede servir para el cultivo en masa y producir Jitomates sin sabor, pero también puede dar productos de la mejor calidad nutritiva, perfumados y plenos de sabor
- Puede ser un factor de contaminación, pero también puede ser aplicado con respeto a la naturaleza y del medio ambiente, alimentar una gran parte del planeta y permitir a países en vías de desarrollo producir sus propios cultivos, aunque su suelo no sea fértil y su agua escasa

Otra pregunta se refiere a la etiqueta de los productos cultivados, si son biológicos o no lo son. *Una homologación "bio" no es factible pues se trata de un cultivo "fuera de la tierra" [3]*. En lo que concierne al abono no existen aún, verdaderos abonos "biológicos" para hidroponía. Pero lo que es cierto, es que existen en el mercado abonos hidropónicos cuya formulación está tan exactamente dosificada, que no dejan en la planta ni residuos tóxicos ni metales pesados.

Hoy en día las variantes de nuestra tecnología son numerosas: **NFT, Drip System, Ebb & Flow, Aero-hidroponia**. Ellas son aplicadas cada vez más en los países industrializados.

En muchos países del tercer mundo hay equipos de ayuda para núcleos poblados que construyen sus propios sistemas de cultivo hidropónico con productos y abonos de recuperación doméstica. Cualquiera que sean los métodos aplicados, la tecnología se utiliza hoy en forma industrial y está unida esencialmente a la producción en invernadero. En Australia, por lo menos el 90% de las lechugas y Jitomates son producidos siguiendo este método. Los australianos invaden actualmente el mercado superpoblado del sur de Asia con una enorme cantidad de frutas y legumbres hidropónicas [15].

Es verdad que ciertas técnicas no pueden ser aplicadas por cualquier persona, un error común es creer que, ya que las plantas disponen de una reserva de agua, se las puede dejar sin cuidados durante largo tiempo. De hecho, su metabolismo acelerado requiere una cierta atención. Estos métodos no optimizarán tiempo en el mantenimiento de sus plantas, pero permitirán maximizar los resultados.

Sin embargo, para optimizar tiempo en el mantenimiento de las plantas, y a su vez en la detección de enfermedades, una buena opción es el uso de los **Sistemas Expertos** que comenzaron a aparecer en la década de 1960. Dichos sistemas se basan en la simulación del razonamiento humano, el cual tiene, para ellos un doble interés: por una parte, el del análisis del razonamiento que seguiría un experto humano en la materia a fin de poder codificarlo mediante el empleo de un determinado lenguaje informático; por otra parte, la síntesis artificial, de tipo mecánico, de los razonamientos de manera que éstos sean semejantes a los empleados por el especialista en la resolución de la cuestión planteada.

SISTEMAS EXPERTOS

Los Sistemas Expertos trabajan con Inteligencia Artificial simbólica, es decir, a nivel de símbolos; como ideas, imágenes, conceptos, etc. aunque debido a su naturaleza algorítmica se usen internamente estructuras de datos e instrucciones. Pueden ser definidos como *una herramienta que tiene la capacidad para entender el conocimiento de un problema específico y utilizar el conocimiento de un dominio inteligentemente para sugerir un camino alternativo de acción [27]*.

Para poder realizar un Sistema Experto es necesario contar con dos personas: el Experto del Dominio y un Ingeniero de Conocimiento (Programador), ya que ambos van a almacenar en la base de conocimientos sus experiencias y es mediante una interfaz con la que el usuario se comunica al motor de inferencia.

COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

En los Sistemas Expertos se diferencian tres componentes principales: **la base de conocimientos, la base de hechos y el motor de inferencia**, dentro de este último componente podemos encontrar la interfaz de usuario y de adquisición, dichos componentes se describen en [4], (véase en la figura 2) y se explican a continuación:

a) Base de Conocimientos

En la base de conocimientos se aloja la totalidad de la información específica relativa al campo deseado. La información se representa, en general, mediante reglas de producción que son llamadas también implicaciones lógicas, su estructura es la siguiente: para unas ciertas causas, unos efectos; o, para determinadas condiciones, ciertas consecuencias.

c) Base de Hechos

En la base de hechos se albergan los datos propios correspondientes a los problemas que se desean tratar con la ayuda del sistema. Al principio del periodo del trabajo, la base de hechos dispone únicamente de los datos que le ha introducido el usuario pero, a medida que va actuando el motor de inferencia, contiene las cadenas de inducciones y deducciones que el sistema forma al aplicar las reglas para obtener las conclusiones.

c) Motor de Inferencia

El motor de inferencia es un programa que, mediante el empleo de los conocimientos puede resolver el problema que está especificado, solucionándolo gracias a los datos que contiene la base de hechos del Sistema Experto. La tarea que lleva a cabo el motor de inferencia es la de seleccionar, validar y activar algunas reglas que permiten obtener finalmente la solución correspondiente al problema planteado.

Este motor dirige y controla la implementación del conocimiento, además permite decidir qué tipo de técnicas se usarán durante el diseño del Sistema Experto.

- **Interfaz de Usuario**

Es la parte que permite la comunicación con el usuario, en forma bidireccional (ambos lados). Mediante la Interfaz el Motor de Inferencia reconoce la pregunta y extrae datos de la Base de Conocimientos otorgando la respuesta.

- **Interfaz de Adquisición**

Esta interfaz permite la adquisición del conocimiento del dominio, puede incluir mecanismos para facilitar su adquisición y depuramiento interactivo, automatizando la adquisición (aprendizaje).

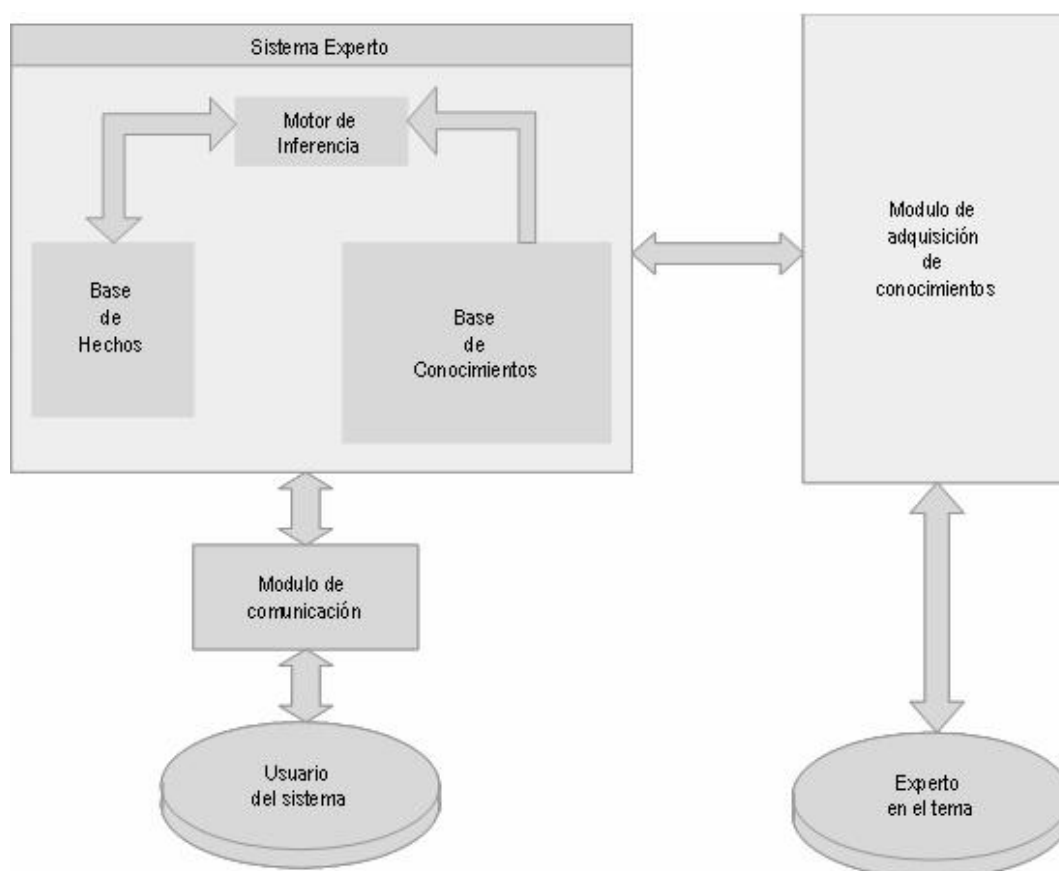


Figura 2 Componentes principales de un Sistema Experto

ESQUEMA DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

Dentro de los Sistemas Expertos no existe una metodología aún aceptada, aunque se admite por regla general un esquema que consta de **tres fases**.

En la primera fase, la discusión con los expertos humanos en el cual se intenta, por un lado, delimitar el problema a resolver y, por otro, los modelos de razonamiento que se emplearán para la solución.

La segunda fase, comprende el desglose del formalismo de expresión del conocimiento y la determinación del motor de inferencia adecuado a dicho formalismo.

La tercera fase, corresponde a la creación de la base de conocimientos, así como a la comprobación y ajuste del funcionamiento del Sistema Experto mediante ejemplos [14].

NIVELES DE CONOCIMIENTO PARA LA CONCEPCIÓN DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

A pesar de que no se dispone de un modelo general, existen **tres niveles de conocimiento** aceptados y citados en [14], a los que corresponden tres fases diferentes de estudio y sobre los que se basa la concepción de un Sistema Experto y son:

a) Nivel de estructuración: define el mecanismo que genera la certeza y varía según el campo al que se aplique el Sistema Experto, ya que las evidencias asociadas a cada campo no son idénticas. La determinación del nivel de estructuración permite definir un formalismo de representación del conocimiento así como un mecanismo adecuado de deducción.

b) Nivel conceptual: este nivel determina el conjunto de los conceptos que emplea el experto humano en la materia. Se le asocia un descriptor que se experimenta con el formalismo correspondiente al nivel de estructuración.

c) **Nivel cognoscitivo:** corresponde al conjunto de conocimientos que el experto humano pone en práctica para la resolución del problema planteado. Este conjunto de conocimientos debe poder traducirse al lenguaje definido mediante el formalismo de representación del conocimiento adoptado.

HERRAMIENTA PARA EL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS EXPERTOS (RULE)

Varios Sistemas Expertos son desarrollados usando una *herramienta de software* o *Shell* el cual proporciona facilidades de ayuda en el desarrollo de un Sistema Experto. Las shells contienen dos módulos básicos: un constructor de reglas y un motor de inferencia, independiente de las bases de hechos y de conocimiento. El programador se limita a traducir dichas bases a un lenguaje preparado a tal efecto, pudiendo enlazarse con otros lenguajes para el desarrollo de funciones adicionales.

Un Shell muy práctico es la **aplicación Rule**, que es desarrollada en Java [4].

PRINCIPALES CLASES DE LA APLICACIÓN RULE

Las clases principales de la aplicación Rule son la clase **Aplicación de Reglas**, que contiene el main () y la clase **Figura de Reglas** el cual implementa la ventana principal. El código de la clase **Aplicación de Reglas** invoca a la clase **Figura de Reglas**. Esto es una visión general de lo que realizan las clases Aplicación de Reglas y Figura de Reglas. En las figuras 3 y 4 se muestran las clases contenidas en el paquete Rule que se describen a detalle posteriormente.



Figura 3 Diagrama UML del paquete Rule

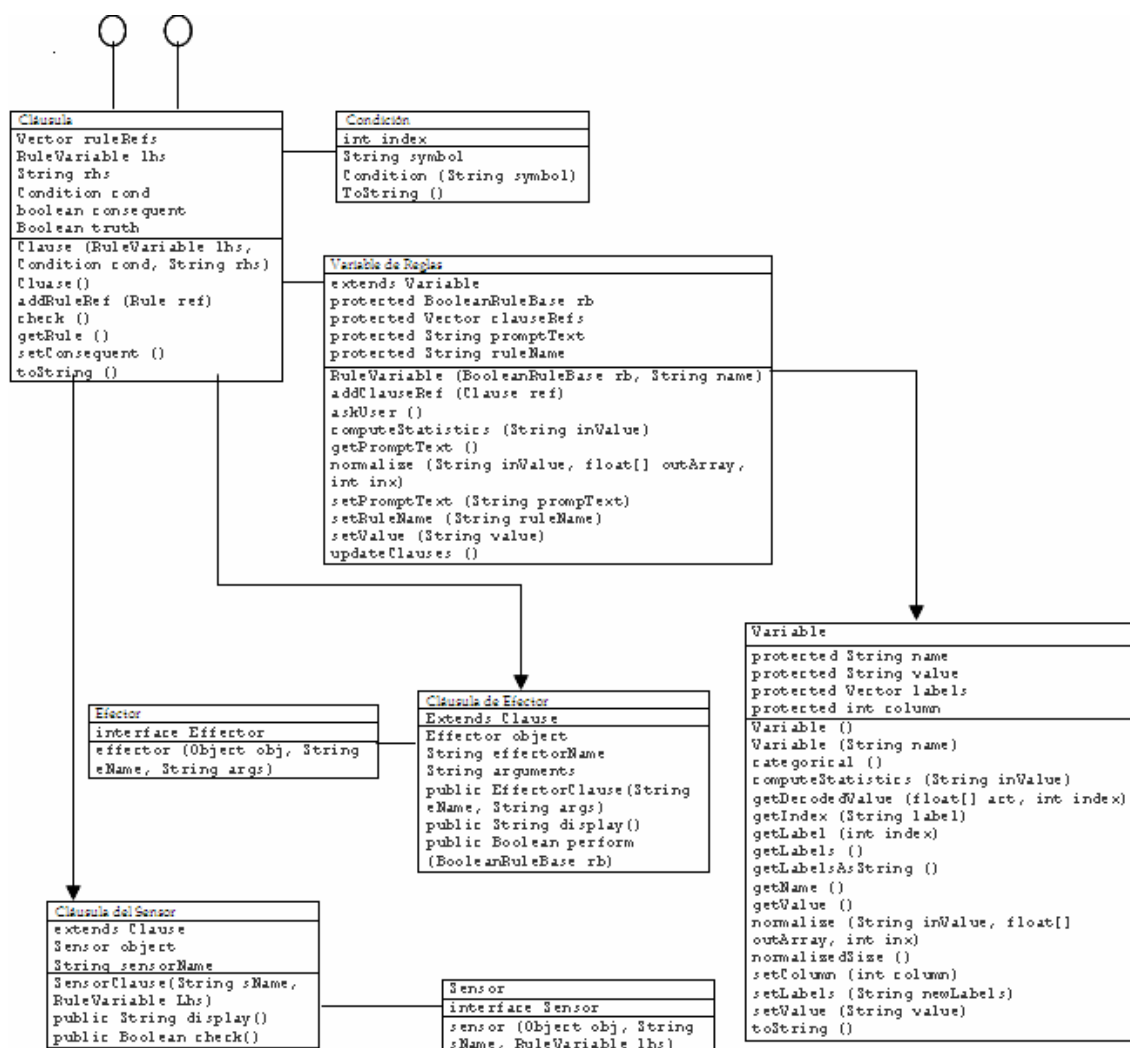


Figura 4 Diagrama de Clases del paquete Rule

COMPONENTES CONTENIDOS EN EL PAQUETE RULE

A continuación se describe cada uno de los componentes contenidos en el paquete Rule que se muestran en [14].

a) Clases

La clase **Rule** se utiliza para definir una simple regla y también contiene métodos los cuales soportan el proceso de inferencia y cada una tiene un dato miembro (*nombre*), una referencia al objeto de la clase **Base de Reglas Booleanas**, un arreglo de Cláusulas antecedentes y una simple Cláusula consecuente. El valor verdadero de la clase Rule esta almacenado en la clase

Booleana *verdadera*. Esta variable nos permite usar un valor nulo para indicar cuando la regla es verdadera no puede ser determinada. El miembro booleano *disparado* indica si ésta tiene que ser disparada o no.

Hay varios constructores **Rule**, cada uno requiriendo una referencia a la clase **Base Booleana de Reglas**, el nombre **Regla** tiene uno o mas antecedentes o cláusulas LHS (lado de la mano izquierda) y el simple consecuente o cláusula RHS (lado de la mano derecha). Cada constructor asigna el número correcto de entradas en el arreglo *antecedentes*, también se registra con los objetos **Cláusula**, adicionándolas a sus datos miembro. La *verdad* es inicializada a nulo, significado indefinido o no conocido y la **Regla** se registra con la **Base Booleana de Reglas**.

b) Cláusulas

Las **Cláusulas** son usadas tanto en el antecedente como en el consecuente de ambas partes de una **Regla**. Una **Cláusula** esta hecha usualmente arriba de una **Variable de Reglas** en el lado de la mano izquierda; una **Condición**, que prueba igualdad, más grande que o más pequeño que; y el lado de la mano derecha, que en la implementación es un valor **Consecuencia** (simbólico o numérico). Tomando un ejemplo vemos la siguiente regla:

Tizon_Temprano

```
IF CE = Hongos
  AND Rango_Humedad=90-100
  AND Rango_Temperatura=28-30
  AND Localizacion del Sintoma1=Tallo
  AND Localizacion del Sintoma2=Hojas
  AND Localizacion del Sintoma3=Frutos
  AND Caracteristica Especifica1=Inicia_en_las_hojas_inferiores_(viejas)
  AND Caracteristica Especifica2=Lesiones_con_hundimiento_en_Tallos_y_Frutos
  AND Caracteristica Especifica3=Necrosamientos_en_Anillos_concentricos
  AND Caracteristica Especifica4=Halo_Amarillento_Circundando_los_anillos
THEN Tipo de Enfermedad=Tizon Temprano
```

Comprende once cláusulas. La primera cláusula antecedente esta hecha de la **RuleVariable CE**, la **Condition “=”** y el **String Hongos**. Las otras cláusulas están compuestas de manera similar. Una **Cláusula** también contiene un **Vector** en las **Reglas** que incluyen estas **Cláusulas**; un *consecuente*

Booleano que indica si la cláusula aparece en el antecedente o en el consecuente de la regla; y una *verdad Booleana* que indica si la cláusula es verdadera, falsa o no conocida (nula).

La **Cláusula** se registra con la **Variable de Reglas** así cada vez que la variable es valorada al mismo tiempo es cambiada, entonces la **Cláusula** puede ser automáticamente reiniciada. El *consecuente Booleano* es establecido inicialmente como falso, por que la mayoría de las cláusulas son antecedentes. La clase **Cláusula** contiene cuatro métodos. El método *agregar referencia de reglas()* es usado por el constructor **Reglas** para registrar la **Regla** con la **Cláusula**. El método *chechar()* realiza una prueba de la cláusula que si es usada como consecuente, entonces prueba que su valor verdadero no tiene ningún sentido, y retorna un valor nulo. Si la variable en el lado de la mano izquierda es ilimitada, retorna un valor nulo, porque no puede ser determinado un valor verdadero. Si la variable es limitada, se utiliza la declaración del interruptor para probar la condición lógica especificada y regresa el valor verdadero resultante. El método *Sistema Consecuente()* establece el *consecuente Booleano* a verdadero y el método *Obtener Regla()* regresa una referencia a la instancia **Rule**.

La clase **Condición**, es una clase de ayuda para la **Cláusula**, toma una representación **Secuencia** de una prueba condicional y lo convierte en un código para usar en la declaración *interruptor* en el método *Checar Cláusula()*.

c) Variables

La clase **Variable** tiene un miembro *nombre* para identificar la variable y un miembro **Secuencia de valor**. El miembro *etiqueta* es usado para llevar símbolos discretos para variables categóricas. La *columna* es usada para especificar la posición de la variable en un archivo de datos. Hay un constructor predeterminado, así como uno donde el nombre esta especificado. Dos métodos de acceso son proporcionados para establecer el *valor* y consiguen el *valor* de la **Variable**. El método *Etiqueta de Sistema()* define el valor simbólico valido para variables categóricas. El método *Etiqueta de Sistema()* regresa el valor simbólico para el índice especificado y el método inverso *Obtener Índice()* regresa el índice teniendo un valor simbólico.

d) Variables de Regla

La clase **Variable de Reglas**, proporciona el soporte necesario para variables usadas en la inferencia. El constructor toma el *nombre* de la variable como el único parámetro. La **Variable de Reglas** hereda el comportamiento simbólico distinto de la clase base **Variable**. Otro dato miembro es el **Vector referencia de cláusula**, que tiene referencias para todas las **Cláusulas** que llaman a esta variable. Las instancias de la **Cláusula** se registran ellas mismas llamando al método *agregar referencia de cláusula()*. El método *Valor de Sistema()* no solo establece el *valor* de la variable, también llama al método *actualizar cláusulas()*, que se repite a través de cada **Cláusula** la cuál refiere a esta **Variable de Reglas** y comprueba su valor *verdadero* vía método *chechar()*.

El *aviso de secuencia* lleva el texto el cual es mostrado cuando el usuario es incitado para proporcionar un valor para esta variable durante el encadenamiento hacia atrás. El *Nombre de Reglas* lleva el nombre de la regla que establece este valor de la **Variable de Reglas**. Cuando la regla es disparada, llama al método *Sistema de Nombres de Reglas()*. El método *Solicitar Usuario()* instancia una **Variable de Diálogo de Regla** para incitar al usuario a suministrar un valor. El dialogo es modal, así controlaría solo regresar después de que el usuario responda a la **Variable de Diálogo de Regla**. La respuesta es pasada como valor, la **Variable de reglas** llama al método *Valor de Sistema()* éste método, en turno, actualiza todas las cláusulas quienes referencian a esta **Variable de Reglas**, método usado únicamente por el algoritmo de encadenamiento hacia atrás.

e) Base de Reglas Booleana

La clase **Base de Reglas Booleana**, define un conjunto de **Variables de Reglas** y **Reglas**, junto con los métodos de alto nivel para encadenamiento hacia delante y hacia atrás. La primera tiene un *nombre*, una *Lista de variables* la cual contiene todo acerca de la **Variable de Reglas** referenciada por las mismas, y la *Lista de Reglas*, que contiene todo de ellas, los métodos *Encadenamiento hacia adelante* y *encadenamiento hacia atrás*, así como otros

datos miembro **Base de Reglas Booleanas** los cuales son usados por los algoritmos de inferencia.

La clase **Base de Reglas Booleanas** implementa la interfaz **Base de Reglas**. Definiendo un conjunto de métodos orientados GUI tal como *Mostrar Sistemak()*, *Mostrar Variables()*, *Mostrar Reglas()* y *Obtener Resultados de Variables()*, así como un conjunto de métodos de procesamiento común que incluyen *reinicializar()*, *Encadenamiento Hacia Atrás()* y *Encadenamiento Hacia Delante()*.

- **Implementación de Encadenamiento hacia Delante**

El método *Encadenamiento Hacia Delante()* en la clase **Base de Reglas Booleanas** contiene el control lógico principal para el encadenamiento hacia atrás. El primer método asignado es el vector *Sistema de Conflictos de Reglas*. El método *compatibilizar()* es llamado con un parámetro booleano verdadero para forzar una prueba inicial de todas las reglas en la base de reglas. Este regresa con el *Sistema de Conflictos de Reglas* un **Vector** de las reglas quienes son desencadenados y podrían ser disparadas. Entonces ingresa un hilo *mientras()*, que corre hasta tener un *Sistema de Conflictos de Reglas* vacío. Dentro del hilo, primero se llama al método *Seleccionar Reglas()*, pasando al *Sistema de Conflictos de Reglas* como un parámetro. El método *Seleccionar Reglas()* representa la estrategia de resolución de conflicto y regresa con una simple regla para disparar. Se llama el método *fuego()* de la **Regla** para representar la utilización de la cláusula consecuente y volver a probar todas las **Cláusulas** y **Reglas** que refiere a la **Variable** de actualización. Mientras no sea una implementación *Rete*, este enfoque limita la cantidad de cláusulas probando la que necesita ser interpretada. Con la *Lista de Variables* actualizada, se llama al método *compatibilizar()* otra vez, para entonces se aprueba un parámetro de valor booleano falso. Es entonces como *compatibilizar()* solamente mira la regla de valor verdadero y no prueba cada regla.

- **Implementación de Encadenamiento hacia Atrás**

El método *Encadenamiento Hacia Atrás()* en la **Base de Reglas Booleana** toma un simple parámetro, una **Secuencia** que es el nombre de la variable meta y es usado para recuperar la instancia de la **Variable de Reglas** meta. Todas las cláusulas que refieren a la variable meta son enumeradas y un bucle *mientras()* es usado para procesar cada objeto **Cláusula**. Si no es una cláusula consecuente, es ignorada y continúa a través del bucle para examinar la siguiente *Resultado de Cláusula*. Si es una cláusula consecuente, se empuja encima del *Resultado de Cláusula Apilada*. Entonces recibimos una referencia en la **Rule** la cual contiene esta cláusula como su consecuente. Se llama al *Encadenamiento Hacia Atrás()* en la regla para ver si es verdadera o no. Si el valor de verdad de la regla es nulo, no podemos determinar si la corriente *Resultado de Cláusula* es verdadero o no. O la regla base es incompleta, o el usuario proporcionó un valor inválido cuando apunto para proporcionar uno.

- Si la regla fue demostrada verdadera, se dispara la regla ubicando la variable resultado para el valor en el lado de la mano derecha del *Resultado de Cláusula*; se le adiciona una referencia para decir que regla produjo este valor, se introduce la clase a la derecha del *Resultado de Cláusula Apilada* y muestra un mensaje de éxito. Si el *Resultado de Cláusula Apilada* esta vacía, se hace encadenamiento hacia atrás, así se muestra un mensaje de victoria y comienzo del bucle.
- Si la regla fue falsa, se muestra la *Resultado de Cláusula* para el *Resultado de Cláusula Apilada*, mostrando un mensaje de fracaso y continua a través del bucle *mientras()* para procesar la siguiente *Cláusula de Resultado*.

El método *Encadenamiento Hacia Atrás()* de **Reglas** intentaría probar una regla verdadera o falsa en llamadas recursivas del Encadenamiento Hacia Atrás() de la **Base de Reglas Booleanas** hasta que el valor verdadero puede ser determinado. El método consiste de un bucle *para()* en el que cada cláusula antecedente en turno es evaluada. Si la variable en una cláusula antecedente

es indefinida, entonces el método *Encadenamiento Hacia Atrás()* en **Base de Reglas Booleanas** es llamado para determinar su valor. Si un valor no puede deducido, el usuario introduce un valor usando el método *Solicitar Usuario()* de **Variable de Reglas**. Una vez que los usuarios proporcionan un valor, la cláusula es probada usando el método *chechar()* de **Cláusula**. Si la cláusula es verdadera, se continúa a través del bucle para evaluar la siguiente. Si es falsa, sale del bucle, reportando que la regla tiene un valor falso por que una de las cláusulas antecedentes es falsa. Si se tiene a través de todo el bucle, entonces todas de las cláusulas antecedentes son verdaderas, así se establece y regresa verdadero como el valor de las **Reglas**.

INTEGRACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO A JAVA

Existen diversos lenguajes de programación en el desarrollo de Sistemas Expertos, sin embargo, no es arriesgado afirmar que Java supone un significativo avance en el mundo de los entornos software, y esto viene avalado por tres elementos claves mencionados en [4] que diferencian a este lenguaje desde un punto de vista tecnológico:

- Es un lenguaje de programación que ofrece la potencia del diseño orientado a objetos con una sintaxis fácilmente accesible y un entorno robusto y agradable.
- Proporciona un conjunto de clases potente y flexible.
- Pone al alcance de cualquiera la utilización de aplicaciones que se pueden incluir directamente en páginas Web (aplicaciones denominadas *applets*).

Java aporta a la Web una interactividad que se había buscado durante mucho tiempo entre usuario y aplicación, entonces, **¿Porqué elegir Java y que plataformas utiliza?**

El lenguaje de programación Java ha sido totalmente mejorado, ampliado y probado por una comunidad activa de unos cuatro millones de desarrolladores de software.

La tecnología Java, es madura, extremadamente eficaz y sorprendentemente versátil, se ha convertido en un recurso inestimable ya que permite:

- Desarrollar software en una plataforma y ejecutarlo en cualquier otra
- Crear programas para que funcionen en un navegador y servicios Web
- Desarrollar aplicaciones para servidores como foros en línea, tiendas, encuestas, procesamiento de formularios HTML, etc.
- Combinar utilidades o servicios basados en la tecnología Java para crear servicios totalmente personalizados
- Desarrollar potentes y eficientes aplicaciones para teléfonos móviles, procesadores remotos, productos de consumo de bajo costo y prácticamente cualquier dispositivo digital

Muchos de los Sistemas Expertos utilizan Bases de Datos que les ayudan a trabajar de forma inteligente, obteniendo datos a partir de inferencias.

Otra de las ventajas que ofrece el lenguaje Java es que la aplicación Rule que utiliza el Sistema Experto se encuentra desarrollada en el mismo lenguaje y para mayor compatibilidad y versatilidad se utilizó en toda la programación del Sistema.

INTEGRACIÓN DEL GESTOR DE BASE DE DATOS MYSQL AL SISTEMA EXPERTO

El gestor de Base de Datos MySQL posee algunas características que lo hacen ser muy útil en la administración de los datos, las cuales se citan en [11] y son las siguientes:

1. Aprovecha la potencia de sistemas multiprocesador, gracias a su implementación multihilo
2. Soporta gran cantidad de tipos de datos para las columnas
3. Dispone de API's en gran cantidad de lenguajes (C, C++, Java, PHP, etc.).
4. Gran portabilidad entre sistemas
5. Soporta hasta 32 índices por tabla
6. Gestión de usuarios y claves, manteniendo un muy buen nivel de seguridad en los datos

MySQL surgió cómo una necesidad de un grupo de personas sobre un gestor de bases de datos rápido, por lo que sus desarrolladores fueron

implementando únicamente lo que precisaban, haciéndolo funcionar de forma óptima. Es por ello que, aunque MySQL se incluye en el grupo de sistemas de bases de datos relacionales, carece de algunas de sus principales características:

1. Subconsultas: tal vez ésta sea una de las características que no hacen demasiada falta, aunque gran parte de las veces que se necesitan, es posible reescribirlas de manera que no sean necesarias
2. SELECCIONAR DENTRO DE LA TABLA: Esta característica propia de Oracle, todavía no está implementada
3. Disparadores y Procedimientos: Se tiene pensado incluir el uso de procedimientos almacenados en la base de datos, pero no el de disparadores, ya que reducen de forma significativa el rendimiento de la base de datos, incluso en aquellas consultas que no los activan
4. Transacciones: a partir de las últimas versiones ya hay soporte, aunque no por defecto (se ha de activar un modo especial)
5. Integridad referencial: aunque sí que admite la declaración de claves ajenas en la creación tablas, internamente no las trata de forma diferente al resto de campos.

Los desarrolladores comentan en la documentación que todas estas carencias no les resultaba un problema, ya que era lo que ellos necesitaban. De hecho, MySQL fue diseñada con estas características, debido a que lo que buscaban era un gestor de bases de datos con una gran rapidez de respuesta. Pero ha sido con la distribución de MySQL por Internet, cuando más y más gente les está pidiendo estas funcionalidades, por lo que serán incluidas en futuras versiones del gestor. Por las ventajas que ofrece MySQL es utilizado en el desarrollo de la presente Tesis.

TRABAJOS RELACIONADOS

Entre los proyectos similares a la presente Tesis se encuentran los que a continuación se describen:

AMRAPALIKA

Sistema Experto para el diagnóstico de plagas y enfermedades en el mango hindú.

Este documento acentúa el uso del Sistema Experto en fruticultura hindú y describe su desarrollo basado en reglas, para la diagnosis de las enfermedades más comunes que ocurren en el mango hindú. El objetivo es proporcionar la ayuda computarizada para los especialistas o los granjeros agrícolas. El Sistema Experto propuesto da diagnósticos en base a respuestas del usuario comparándolas con las preguntas relacionadas con los síntomas particulares de la enfermedad. La base de conocimientos del sistema contiene información sobre síntomas y remedios de 14 enfermedades del árbol de mango hindú que aparece durante la estación fructífera y no-fructífera. La base del cuadro del sistema contiene los cuadros relacionados con los síntomas de la enfermedad y se exhibe junto con la pregunta del sistema. El resultado dado por el sistema se ha encontrado para ser óptimo [28].

CPEST

Sistema experto para la detección y control de parásitos y enfermedades en la industria jamaicana del café.

En los últimos años, las preocupaciones ambientales han conducido a la aparición del manejo integral de plagas y pesticidas (IMPP) como nueva manera de combatir las plagas y los pesticidas en la agricultura. Aunque las ventajas ambientales y económicas del IMPP están más allá de duda, su uso se ha limitado. Una razón es la cantidad de conocimiento requerida de las cosas tales como el clima, la topografía, el tipo del suelo de la granja, las prácticas agronómicas, la fenología de la cosecha, la biología y el potencial de daños de las plagas. Desafortunadamente, tal conocimiento reside típicamente dentro de algunos expertos y no está fácilmente disponible para los granjeros. Para hacer este conocimiento extensamente disponible, se desarrolló CPEST, un Sistema Experto para el manejo de plagas y enfermedades del café en un país en vías de desarrollo [17].

CITRUS

Sistema computarizado experto en el diagnóstico nutricional del naranjo.

Se elaboró un sistema experto computarizado especializado en el diagnóstico del estado nutricional de naranjos, llamado CITRUS, para lo cual se utilizó el ambiente de construcción "ARIES". Se empleó información sistematizada de especialistas, referencias bibliográficas, fórmulas elaboradas para la interpretación del análisis foliar y fotografías de deficiencias. CITRUS permite diagnosticar deficiencias cuando el usuario introduce la sintomatología visual a través de preguntas y respuestas mientras interacciona amigablemente con el sistema. También se construyó un módulo anexo llamado DIAGFOL programado con el lenguaje "Visual Basic". DIAGFOL complementa el diagnóstico nutricional de datos de análisis foliar, utilizando los índices de balance de Kenworthy, fotografías y textos. Se presenta un resumen de una sesión típica con el sistema y las estadísticas de su base de conocimientos. CITRUS y DIAGFOL funcionan en computadoras personales [9].

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utiliza una aplicación desarrollada en el lenguaje Java para el Sistema Experto utilizando una metodología basada en reglas de producción. Esta aplicación contiene un paquete de clases llamado *Rule* el cual implementa los mecanismos de encadenamiento hacia delante y hacia atrás, que proporcionan la inferencia del Sistema Experto.

La programación de la aplicación es Orientada a Objetos y ésta misma se basa en la estructura de los Sistemas Expertos, logrando así la composición de la Base de Conocimientos para su fácil utilización.

El Lenguaje de Programación utilizado para la realización de la Interfaz con el usuario es Java, y como gestor de la Base de Datos se utiliza MySQL, dichas herramientas son explicadas en el Marco Teórico.

La presente Tesis se encuentra organizada empezando con la explicación de forma detallada al lector acerca de las Enfermedades del Jitomate en Cultivo Hidropónico, seguido de un análisis del Sistema con su estructuración completa, para la implementación y ejecución del mismo, finalizando con las Conclusiones y Perspectivas de lo anteriormente expuesto.

Se anexa un CD que contiene la documentación, la base de datos denominada invernaderos, el sistema completo y las aplicaciones necesarias para la ejecución del mismo.

CAPÍTULO 1

ENFERMEDADES DEL JITOMATE EN CULTIVO HIDROPÓNICO

Se sabe que el cultivo hidropónico ha tenido un aumento de su aceptación a nivel del mercado mundial, por sus características orgánicas y a que es uno de los cultivos más rentables debido al valor del producto, en este caso el Jitomate. Las ventajas de cultivar el Jitomate hidropónico en un ambiente controlado entre otras es la capacidad de modificar todos los factores relacionados con su desarrollo de forma minuciosa, evitar las pérdidas de agua por evaporación, control de la temperatura, riego más efectivo, control de los efectos de la intemperie y la capacidad de "aislarlo" de las posibles plagas, la ventaja es poder aislarlo del suelo que puede aportar salinidad, concentraciones inadecuadas de nitratos y otros minerales, humedad inadecuada, oxigenación pobre de las raíces y enfermedades, de las cuales aún en condiciones que parecieran adecuadas pueden resultar venéreas para las plantas [9].

Algunas de las Enfermedades en los Jitomates poseen sintomatología parecida sobretodo porque son causadas principalmente por:

- Hongos
- Bacterias
- Nemátodos

1.1 ENFERMEDADES EN EL JITOMATE Y SUS CAUSAS

1.1.1 INDUCCIÓN DE ENFERMEDADES POR HONGOS

Este tipo de Enfermedades se pueden encontrar de acuerdo a la fórmula en donde se involucra la Temperatura y Humedad del invernadero, misma que determina la variable VPD (*Déficit de depresión de vapor [51]*) la cual debe ser menor a 0.25, detectando así la Causa de la Enfermedad, en este caso por Hongos.

Tizón Temprano (*Alternaria solani*)

La figura 1.1 muestra la Enfermedad Tizón Temprano que es causada por hongos; su nombre científico es *Alternaria Solani* y puede ser detectada por medio de la siguiente sintomatología:

- Necrosamientos en anillos concéntricos (*mancha de color marrón que aparece a causa de la bacteria en forma de círculos [17]*)
- Halo amarillento circundando los anillos (*círculo de color amarillo que rodea los anillos concéntricos con necrosamientos [11]*)
- Presente en tallo (*órgano aparato vegetativo de las plantas que crece en sentido contrario al de la raíz y sirve de sustentáculo a las hojas, flores y frutos [5]*), hojas (*estructura u órgano de las plantas especializado para la fotosíntesis [3]*) y frutos (*proviene del ovario de la flor tras ser fecundados. La pared del ovario se transforma en pared del fruto y se denomina pericarpio [17]*)
- Inicia en la parte inferior u hojas viejas de la planta (*aquellas hojas de color azul o verde azulado reducidas de tamaño por falta de fósforo y potasio [15]*)
- En tallos y frutos hay lesiones con hundimiento
- Se presenta con temperatura de 28 a 30 grados centígrados y humedad relativa alta (*cociente entre la humedad absoluta y la cantidad máxima de agua que admite el aire por unidad de volumen [13]*), generalmente en lluvias frecuentes.



Figura 1.1 Tizón Temprano

El tratamiento utilizado al detectar esta enfermedad es el siguiente:

- Uso de variedades tolerantes: Floradel, Manalucie e Inmokalee (*aquellas variedades que presentan resistencia a las enfermedades típicas del jitomate [25]*)
- Químicos preventivos: Maneb, Zineb, Mancozeb, Captafol, Folpate 80, Curzate M8, Cupravit Mix, Dyrene, Daconil, Bravo 720, Bravo CM, Retador o Bala y Rovral. (*químicos que proporcionan un efecto preventivo y de resistencia hacia las enfermedades que atacan a los cultivos de jitomate [3]*)
- Rotación de Cultivos por tres años (*es una evaluación que se realiza en un periodo de tres años para obtener conclusiones válidas en distintos cultivos y poder evaluar el impacto de los tratamientos [3]*)
- Desinfección de invernaderos (*lugares preparados artificialmente para cultivar las plantas fuera de su ambiente y clima habituales [26]*)

Tizón Tardío (*Phytophthora infestans*)

La figura 1.2 muestra la Enfermedad Tizón Tardío que es causada por hongos; su nombre científico es *Phytophthora infestans* y puede ser detectada por medio de la siguiente sintomatología:

Mancha café o ligeramente amarilla (*mancha que aparece por el hongo y afecta la superficie del jitomate [2]*)

- Afecta toda la planta excepto a la raíz
- Afecta todo el fruto provocando hundimiento
- Germinación de esporas (*es el proceso en el cual el crecimiento de la espora emerge desde un estado de reposo [18]*), temperatura de 3 a 26 grados centígrados y cerca del 100% de humedad relativa, días lluviosos continuos.



Figura 1.2 Tizón Tardío

El tratamiento utilizado al detectar esta enfermedad es el siguiente:

- Consume el 60% de agroquímicos a nivel mundial (*denominación que reciben pesticidas y fertilizantes químicos, sustancias líquidas, gaseosas o en polvo, artificiales, usadas para proporcionar nutrientes (fertilizantes), eliminar malezas (herbicidas), eliminar hongos y algunas algas (fungicidas), matar insectos y microorganismos (insecticidas), matar nematodos y gusanos del suelo (nematicidas), eliminar roedores (rodenticidas), entre otros [18]*)
- Fungicida de contacto: Mancozeb, Clorotalonil, Folpet, Difolatan, Captan, Zineb, y derivados del cobre (*los fungicidas reducen una capa, en la superficie de los órganos de la planta, que actúa de barrera ante la germinación de los esporangios y las zoosporas [7]*)
- Fungicidas sistémicos: Ridomil Bravo, Ricoil, Aliette, Curzate (*comúnmente los fungicidas sistémicos tienen un espectro reducido de efectividad, con una capacidad de acción sobre uno o dos patógenos.*)

En tales casos, puede ser necesario la combinación de un sistémico y un preventivo [7])

Moho Blanco (*Sclerotinia esclerotiorum*)

La figura 1.3 muestra la Enfermedad Moho Blanco que es causada por hongos; su nombre científico es *Sclerotinia esclerotiorum* y puede ser detectada por medio de la siguiente sintomatología:

- Pudrición suave y algodonosa en tallos, hojas, ramas y frutos rápidamente (*generalmente las pudriciones y lesiones de la superficie son ocasionadas por hongos fitopatógenos [24]*)
- Flacidez de tejidos, aspecto húmedo y color claro
- Crecimiento micelial blanco algodonoso (*crecimiento y formación de estructuras con esporas en la superficie [32]*) que posteriormente forma esclerocios negros (*masa dura de forma irregular, compuesta por unidades multinucleadas de tipo celular y tamaño variable. Es resistente a las condiciones desfavorables y germina para regenerar el plasmodio [32]*)
- Temperatura de 20 a 25 grados centígrados, alta humedad relativa y del suelo



Figura 1.3 Moho Blanco

El tratamiento utilizado al detectar esta enfermedad es el siguiente:

- Rotación de cultivos con gramíneas (*familia de plantas herbáceas o muy raramente leñosas del orden poales [32]*)
- Eliminar residuos de cosecha
- Evitar excesos de humedad y plantaciones muy densas
- Fungicidas: PCNB (*pentacloronitrobenzeno*) al suelo y al follaje, Captan, Rovral, Ronilan, Botran y Shogun (*Los fungicidas son pesticidas utilizados para destruir o evitar el desarrollo de los hongos y son altamente tóxicos [9]*)

Moho Gris (*Botrytis cinerea*)

La figura 1.4 muestra la Enfermedad Moho Gris que es causada por hongos; su nombre científico es *Botrytis Cinerea* y puede ser detectada por medio de la siguiente sintomatología:

- Ataca solo a pedúnculos (*raballo que sujeta una flor o un fruto al tallo [18]*), sépalos (*envuelven a las otras hojas en las primeras fases de desarrollo, cuando la flor es sólo un capullo. También evitan en las especies entomófilas, que los insectos accedan al néctar sin pasar por los estambres y estigmas [18]*), corolas (*verticilo interno de las flores que tienen perianto heteroclamídeo. Se compone de pétalos [18]*) y frutos
- Esporulación de color café a negrusca (*la esporulación es tanto un tipo de reproducción mediante esporas, como el término utilizado para designar la formación (esporogénesis) y liberación de esporas [6]*)
- Ataca severamente en postcosecha
- Temperatura de 18 a 23 grados centígrados y humedad relativa alrededor del 80%



Figura 1.4 Moho Gris

El tratamiento utilizado al detectar esta enfermedad es el siguiente:

- Recolección y destrucción de plantas y residuos infectados
- Uso de bodegas con ventilación y baja humedad
- Químicos: Difolatan, Dyrene, Maneb, Clorotalonil, Rovral, Folicur, Botran, Ronilan, Captan y Folpate

Cenicilla del Jitomate (*Leveillula taurica*)

La figura 1.5 muestra la Enfermedad Cenicilla del Jitomate que es causada por hongos; su nombre científico es *Leveillula taurica* y puede ser detectada por medio de la siguiente sintomatología:

- El daño inicia en el envés (*cara inferior de la lámina o limbo de la hoja de una planta [32]*) con vellosidades blancas
- En el haz (*cara superior del limbo de una hoja [18]*), hay manchas verde amarillentas casi circulares cuyo centro se deshidrata y se torna café
- Se reduce el área fotosintética (*en donde se realiza la fotosíntesis de la planta [18]*)
- Quemaduras de fruto por sol
- Temperatura de 26 grados centígrados y Humedad Relativa de 52 a 75%



Figura 1.5 Cenicilla del Jitomate

El tratamiento utilizado al detectar esta enfermedad es el siguiente:

- Ventilar invernaderos (*la ventilación es muy importante, tanto para expulsar el aire caliente como para hacer que circule dentro del recinto, a la hora de evitar plagas y enfermedades [3]*)
- Espaciamiento adecuado de plantas
- Sublimar azufre agrícola (preventivo), (*sublimar es pasar un cuerpo directamente del estado sólido al estado de vapor [32]*)
- Productos a base de azufre (preventivo)
- Bayleton, Tebuconazol (curativos)

Marchitez del Jitomate (*Fusarium oxysporum*)

La figura 1.6 muestra la Enfermedad Marchitez del Jitomate que es causada por hongos; su nombre científico es *Fusarium oxysporum* y puede ser detectada por medio de la siguiente sintomatología:

- Amarillamiento con marchitez
- Inicia en hojas inferiores
- Las hojas mueren adheridas al tallo y posteriormente caen
- Coloración café oscura del tejido vascular (*tejido conductor interno que se encarga de transportar agua, minerales y nutrientes [18]*) en la base del tallo

- Temperatura mayor a 28 grados centígrados en suelos pobres
- Temperatura del aire entre 21 y 33 grados centígrados
- Las plantas mueren de 2 a 4 semanas tras haberse infectado



Figura 1.6 Marchitez del Jitomate

El tratamiento utilizado al detectar esta enfermedad es el siguiente:

- Tratar semilla por 20 minutos a 50 grados centígrados
- Riegos ligeros y frecuentes (evitar exceso de humedad)
- Usar semilla sana y tratada
- Rotación de cultivos
- Esterilización de sustratos (*promueve que las plantas crezcan sanas por erradicación de enfermedades, plagas del suelo, semillas de malas hierbas, sin dañar a las bacterias beneficiosas [28]*)
- Uso de variedades resistentes (*consiste en la incorporación de uno o más genes que otorgan resistencia o tolerancia. Esta técnica es ampliamente utilizada para el control de plagas [18]*)

Pudriciones Radiculares y Ahogamiento (*Pythium Rhizoctonia*)

La figura 1.7 muestra la Enfermedad Pudriciones Radiculares y Ahogamiento que es causada por hongos; su nombre científico es *Pythium Rhizoctonia* y puede ser detectada por medio de la siguiente sintomatología:

- Fallas en germinación
- Marchitez por pudrición de tejidos del cuello (ahogamiento)
- Muerte temprana de plántulas
- Temperaturas de 12 a 17 grados centígrados

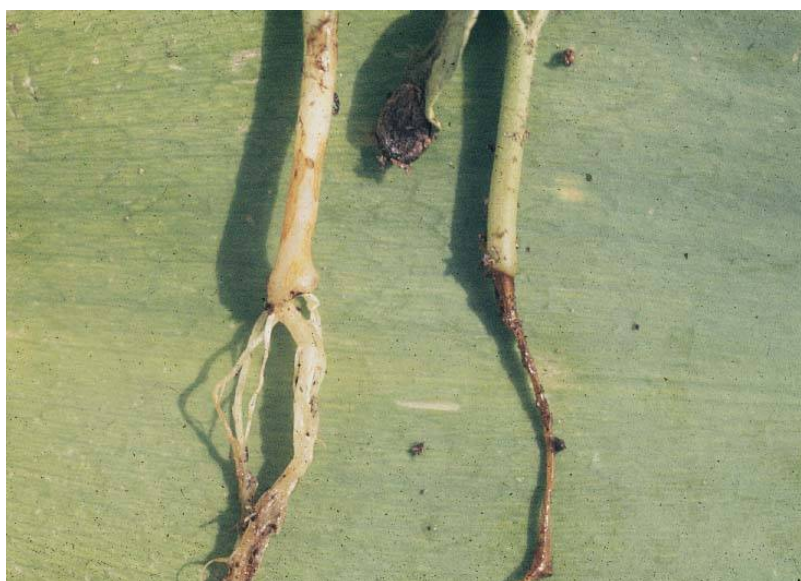


Figura 1.7 Pudriciones Radiculares y Ahogamiento

El tratamiento utilizado al detectar esta enfermedad es el siguiente:

- Fumigar sustrato en charolas de siembra con formol al 5%, Vapam y vapor
- Tratar semilla con protectantes (*fungicida sistémico para el control de enfermedades en tratamiento foliar o de semilla [30]*) como Apron, Daconil, Arasan 75, Terrasan 75, Rizilex, Shogun o Captan
- Riegos ligeros y buen drenaje
- Fertilización baja en nitrógeno

1.1.2 INDUCCIÓN DE ENFERMEDADES POR BACTERIAS

Este tipo de Enfermedades se pueden encontrar de acuerdo a la sintomatología característica de las bacterias y es la presencia de manchas de diferentes tamaños en el fruto y en las hojas, además como característica principal de la enfermedad, es que se transmite a través de semillas, detectándose así la Causa de la Enfermedad, en este caso por Bacterias.

Xantonomas Vesicatoria

La figura 1.8 muestra la Enfermedad Xantonomas Vesicatoria que es causada por bacterias y puede ser detectada por medio de la siguiente sintomatología:

- Afecta tanto tallos, frutos como follaje (*conjunto de hojas de árboles y otras plantas [18]*), con puntos protuberantes (*acumulación celulosa exagerada en alguna parte de la superficie de la planta a causa de un agente patógeno [30]*)
- Manchas iguales a 2 milímetros
- En hojas, mancha clorótica (*mancha en la base de la hoja de forma irregular con diferentes vértices debido a un virus que contamina el manzano [30]*) alrededor del punto
- Se transmite por semilla
- Temperatura de 28 a 35 grados centígrados



Figura 1.8 Xantonomas Vesicatoria

El tratamiento utilizado al detectar esta enfermedad es el siguiente:

- Tratar semilla a 50 grados centígrados por una hora
- Usar productos curativos a base de cobre: Cupravit, Sulfocop y Agrymicin
- Antibióticos en caso de infecciones severas

Pseudomonas Syringae

La figura 1.9 muestra la Enfermedad Pseudomonas Syringae que es causada por bacterias y puede ser detectada por medio de la siguiente sintomatología:

- Afecta tanto tallos, frutos como follaje, con puntos hundidos
- Sin manchas
- En hojas, mancha clorótica alrededor del punto (*menos que en Xantomonas*)
- Se transmite por semilla
- Temperatura de 20 a 25 grados centígrados



Figura 1.9 Pseudomonas Syringae

El tratamiento utilizado al detectar esta enfermedad es el siguiente:

- Tratar semilla a 50 grados centígrados por una hora y media
- Usar productos curativos a base de cobre: Cupravit, Sulfocop y Agrymicin

Clavibacter Michiganensis

La figura 1.10 muestra la Enfermedad Clavibacter Michiganensis que es causada por bacterias y puede ser detectada por medio de la siguiente sintomatología:

- Muy agresiva (en dos semanas acaba con el cultivo)
- Manchas pequeñas iguales a 1 milímetro
- Se transmite por semilla
- Marchitez sin amarillamiento
- En sus inicios se presentan enrollamientos de hojas hacia el haz
- Requiere temperaturas de 28 a 35 grados centígrados



Figura 1.10 Clavibacter Michiganensis

El tratamiento utilizado al detectar esta enfermedad es el siguiente:

Aplicación de antibióticos (*se utilizan para tratar una infección bacteriana en plantas , y que por su efecto, mata o impide el crecimiento de ciertas clases de bacterias, pero que normalmente es inofensivo para el huésped, aunque ocasionalmente puede producirse una reacción adversa a medicamento o puede afectar a la flora bacteriana normal del organismo [16]*) como estreptomicinas (*grupo de antibióticos de acción bactericida, siendo el más importante la estreptomicina, constituido por la kanamicina, la neomicina, la paramonociclina y la gentamicina [30]*)

1.1.3 INDUCCIÓN DE ENFERMEDADES POR NEMÁTODOS

Este tipo de Enfermedades se pueden encontrar mediante la presencia de gusanos en las raíces de las plantas, detectándose así la Causa de la Enfermedad, en este caso por Nemátodos.

Meloidogyne y Jicamilla (*Nacobbus aberrans*)

La figura 1.11 y 1.12 muestran las Enfermedades Meloidogyne y Jicamilla ó *Nacobbus aberrans* el cuál es su nombre científico, causadas por nemátodos y pueden ser detectadas por medio de los siguientes síntomas:

- Agallas (*excrecencia redonda que se forma en algunos árboles por la acción parásita de ciertos insectos [16]*) en raíces (irregulares en *Meloidogyne* y en forma de rosario en *Nacobbus*)
- *Meloidogyne* no requiere lesiones para entrar
- *Nacobbus* se alimenta en todas las etapas, *Meloidogyne* en “juvenil 2”



Figura 1.11 Meloidogyne



Figura 1.12 Jicamilla

El tratamiento utilizado al detectar estas enfermedades es el siguiente:

- Trichodermas (*hongo que habita en el interior de las raíces colonizándolas, ofrece protección contra patógenos, estimula el crecimiento de raíces, no aporta nutriente directamente a la planta, sino que favorece la descomposición de materia orgánica en los alrededores*)

de la raíz para que ésta la aproveche pero no llega a suministrarlo directamente a la misma [32]) del tipo microparásitos

- Gallinaza (mezcla de los excrementos de las gallinas con los materiales que se usan para cama en los gallineros los cuales son ricos en nitrógeno y muchos otros nutrientes [18]), estiércol (es el nombre con el que se denominan los excrementos animales que se utilizan para fertilizar los cultivos. En ocasiones el estiércol está constituido por excrementos de animales y restos de las camas, como sucede con la paja [18]) e incorporación de brasicas y gramíneas reduce poblaciones
- Desinfectantes: Vapam y Basamyd (elimina todo)
- Tratamiento con nematicidas (agente químico destructivo para los nemátodos [32]), Namacur, Biostat, Counter, Ditera, Furadan, Mocap y Rugby. Tener especial cuidado los primeros 40 días
- A continuación se presenta en la tabla 2.1 el resumen de las Enfermedades anteriormente descritas para su mejor comprensión y entendimiento, debido a que para poder realizar pruebas con el Sistema Experto es necesario conocer la sintomatología que poseen las Enfermedades del Jitomate, al no contar con un problema real.

Tabla 1.1 Enfermedades, Sintomatologías y Tratamientos

Nombre de la Enfermedad	Causa de la Enfermedad	Sintomatología	Tratamiento
TIZÓN TEMPRANO (<i>Alternaria solani</i>)	HONGOS	*Necrosamientos en anillos concéntricos *Halo amarillento circundando los anillos *Presente en tallo, hojas y frutos *Inicia en la parte inferior (hojas viejas) *En tallos y frutos hay lesiones con hundimiento *Se presenta con temperatura de 28 a 30 grados centígrados y humedad relativa alta, días lluviosos	*Uso de variedades tolerantes: Floradel, Manalucie e Inmokalee *Químicos preventivos: Maneb, Zineb, Mancozeb, Captafol, Folpate 80, Curzate M8, Cupravit Mix, Dyrene, Daconil, Bravo 720, Bravo CM, Retador o Bala y Rovral *Rotación de Cultivos por tres años *Desinfección de invernaderos o almácigos
TIZÓN TARDÍO (<i>Phytophthora infestans</i>)	HONGOS	*Mancha café o ligeramente amarilla *Afecta toda la planta excepto raíz *Afecta todo el fruto provocando hundimiento *Germinación de esporas con temperatura de 3 a 26 grados centígrados y cerca del 100% de humedad relativa, días lluviosos	*Consume el 60% de agroquímicos a nivel mundial *Fungicidas de contacto: Mancozeb, Clorotalonil, Folpet, Difolatan, Captan, Zineb, y derivados del Cobre *Fungicidas sistémicos: Ridomil Bravo, Ricoil, Aliette, Curzate

MOHO BLANCO <i>(Sclerotinia esclerotiorum)</i>	HONGOS	<p>*Putridión suave y algodonosa en tallos, hojas, ramas y frutos rápidamente</p> <p>*Flacidez de tejidos, aspecto húmedo y color claro</p> <p>*Crecimiento micelial blanco algodonoso que posteriormente forma esclerocios negros</p> <p>*Temperatura de 20 a 25 grados centígrados y alta humedad relativa y del suelo</p>	<p>*Rotación de cultivos con gramíneas</p> <p>*Eliminar residuos de cosecha</p> <p>*Evitar excesos de humedad y plantaciones muy densas</p> <p>*Fungicidas: PCNB (al suelo) y al follaje, Captan, Rovral, Ronilan, Botran y Shogun</p>
MOHO GRIS <i>(Botrytis cinerea)</i>	HONGOS	<p>*Ataca solo a pedúnculos, sépalos, corolas y frutos</p> <p>*Esporulación de color café a negrusca</p> <p>*Ataca severamente en postcosecha</p> <p>*Temperatura de 18 a 23 grados centígrados y humedad relativa alrededor del 80%</p>	<p>*Recolección y destrucción de plantas y residuos infectados</p> <p>*Uso de bodegas con ventilación y baja humedad</p> <p>*Químicos: Difolatan, Dyrene, Maneb, Clorotalonil, Rovral, Folcur, Botran, Ronilan, Captan y Folpate</p>
CENICILLA DEL JITOMATE <i>(Leveillula taurica)</i>	HONGOS	<p>*El daño inicia en el envés con vellosidades blancas</p> <p>*En el haz, hay manchas verde amarillentas casi circulares cuyo centro se deshidrata y se torna café</p> <p>*Se reduce el área fotosintética</p> <p>*Quemaduras de fruto por sol</p> <p>*Temperatura de 26 grados centígrados y humedad relativa alta de 52 a 75 %</p>	<p>*Ventilar invernaderos</p> <p>*Espaciamiento adecuado de plantas</p> <p>*Sublimar azufre agrícola (preventivo)</p> <p>*Productos a base de azufre (preventivo)</p> <p>*Bayleton, Tebuconazol (curativos)</p>
MARCHITEZ DEL JITOMATE <i>(Fusarium oxysporum)</i>	HONGOS	<p>*Amarillamiento con marchitez</p> <p>*Inicia en hojas inferiores</p> <p>*Las hojas mueren adheridas al tallo y posteriormente caen</p> <p>*Coloración café oscura del tejido vascular en la base del tallo</p> <p>*Temperatura del suelo mayor a 28 grados centígrados en suelos pobres</p> <p>*Temperatura del aire entre 21 y 33 grados centígrados</p> <p>*Las plantas mueren de 2 a 4 semanas de la infección</p>	<p>*Tratar semilla por 20 minutos a 50 grados centígrados</p> <p>*Riegos ligeros y frecuentes (evitar exceso de humedad)</p> <p>*Usar semilla sana y tratada</p> <p>*Rotación de cultivos</p> <p>*Esterilización de sustratos</p> <p>*Uso de variedades resistentes</p>
PUDRICIONES RADICULARES Y AHOGAMIENTO <i>(Pythium Rhizoctonia)</i>	HONGOS	<p>*Fallas en germinación</p> <p>*Marchitez por pudrición de tejidos del cuello (ahogamiento)</p> <p>*Muerte temprana de plántulas</p> <p>*Temperaturas de 12 a 17 grados centígrados</p>	<p>*Fumigar sustrato charolas de siembra con formol al 5 %, Vapam y vapor</p> <p>*Tratar semilla con protectantes como Apron, Daconil, Arasan 75, Terrasan 75, Rizilex, Shogun o Captan</p> <p>*Riegos ligeros y buen drenaje</p> <p>*Fertilización baja en nitrógeno</p>

<p>XANTOMONAS VESICATORIA</p>	<p>BACTERIAS</p>	<p>*Afecta tanto tallos, frutos como follaje, con puntos protuberantes *Manchas grandes iguales a 2 milímetros *En hojas, mancha clorótica alrededor del punto y temperatura de 28 a 35 grados centígrados *Se transmite por semilla</p>	<p>*Tratar semilla a 50 grados centígrados por una hora *Usar productos curativos a base de cobre: Cupravit, Sulfocop y Agrimiqu *Antibióticos en caso de infecciones severas</p>
<p>PSEUDOMONAS SYRINGAE</p>	<p>BACTERIAS</p>	<p>*Afecta tanto tallos, frutos como follaje, con puntos hundidos *Sin manchas *En hojas, mancha clorótica alrededor del punto (menos que en <i>Xantomonas</i>) *Se transmite por semilla *Temperatura de 20 a 25 grados centígrados</p>	<p>*Tratar semilla a 50 grados centígrados por una hora y media *Usar productos curativos a base de cobre: Cupravit, Sulfocop y Agrymicin</p>
<p>CLAVIBACTER MICHIGANENSIS</p>	<p>BACTERIAS</p>	<p>*Muy agresiva (en dos semanas acaba con el cultivo) * Manchas pequeñas iguales a 1 milímetro *Se transmite por semilla *Marchitez sin amarillamiento *En sus inicios se presentan enrollamientos de hojas hacia el haz *Requiere temperaturas de 28 a 35 grados centígrados</p>	<p>*Aplicación de antibióticos: estreptomycinas</p>
<p>MELOIDOGYNE y JICAMILLA (<i>Nacobbus aberrans</i>)</p>	<p>NEMÁTODOS</p>	<p>*Agallas en raíces (irregulares en <i>Meloidogyne</i> y en forma de rosario en <i>Nacobbus</i>) *<i>Meloidogyne</i> no requiere lesiones para entrar *<i>Nacobbus</i> se alimenta en todas las etapas, <i>Meloidogyne</i> solo en "juvenil 2"</p>	<p>*<i>Trichodermas</i> del tipo micoparasitos *Gallinaza, estiércol e incorporación de brasicas y gramíneas reduce poblaciones *Desinfectantes: Vapam y Basamyd (elimina todo) *Tratamiento con nematicidas: Nemacur, Biostat, Counter, Ditera, Furan, Mocap y Rugby. Tener especial cuidado los primeros 40 días</p>

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS Y DESARROLLO DEL SISTEMA

La obtención de la información acerca del cultivo hidropónico de Jitomates, las posibles enfermedades que se puedan presentar en el mismo y los tratamientos convenientes para combatirlos, se basaron en entrevistas a los expertos en agricultura, libros y revistas acerca del tema entre otros documentos que en resumen han contribuido en la extensión del sistema.

Todo lo anterior surge por la necesidad de la creación de un sistema capaz de detectar las enfermedades en los Jitomates utilizando como forma de cultivo la hidroponía, ya que la planta se encuentra expuesta a distintas enfermedades que pueden ser fatales para la misma, tomando en cuenta que el tiempo es corto para poder dar tratamiento al cultivo, es necesario realizar el sistema, obteniendo la información recurriendo a los expertos en el tema y a los diversos libros que nos brindan una combinación de conocimientos científicos y experiencias que hacen que se obtenga un criterio adecuado para la realización de la base de conocimientos y de datos (con la ayuda de los distintos diagramas UML para su estructuración de forma óptima), las cuales dan salida a la constitución del Sistema.

2.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La arquitectura lleva consigo la del Sistema Experto ya descrita anteriormente (véase en el Marco Teórico), como núcleo del sistema, añadiéndole una Base de Datos que interactúa con el mismo y a su vez con el usuario, incluyendo una Página Web como lo muestra la figura 2.1.

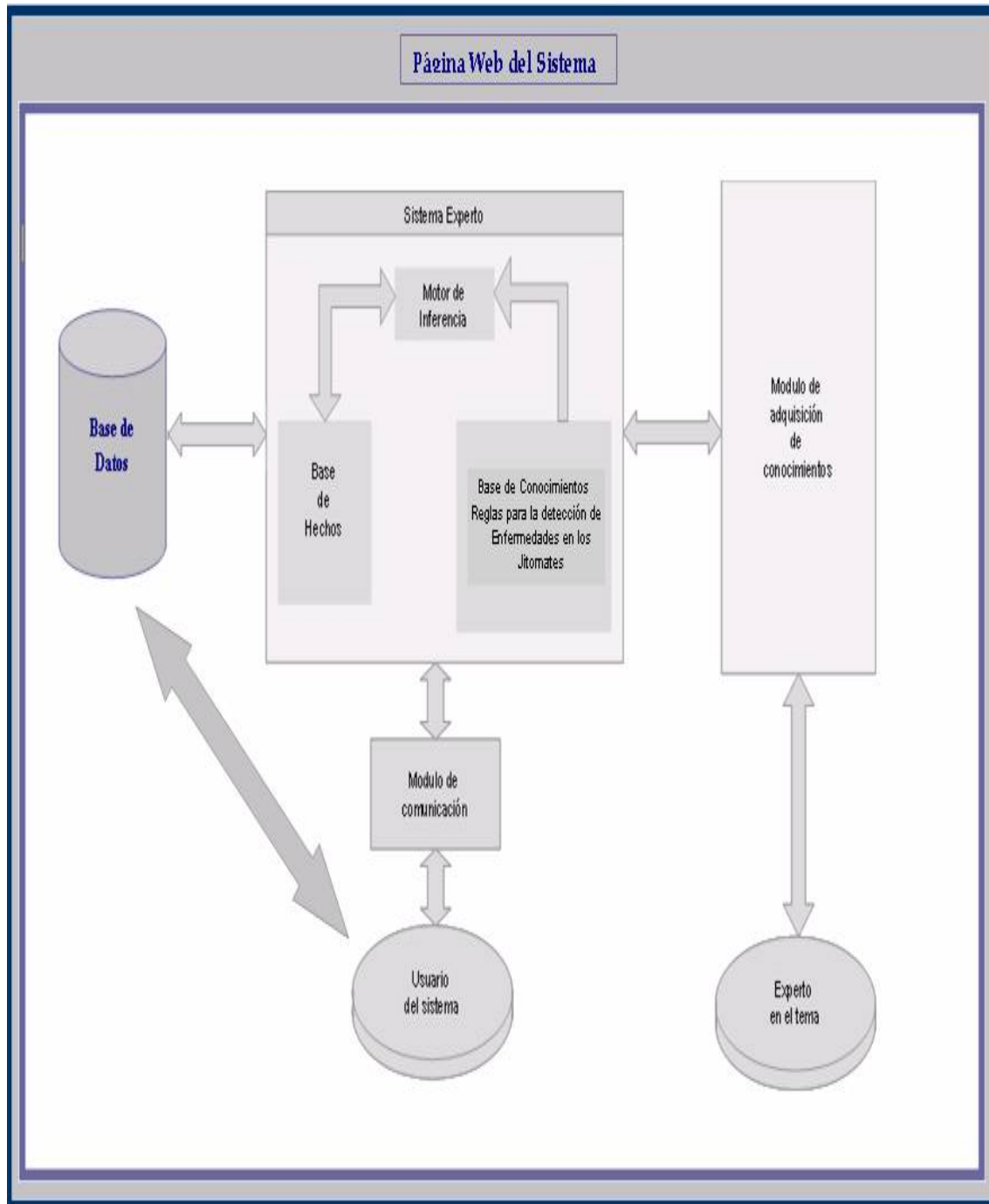


Figura 2.1 Arquitectura del Sistema

2.2 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS

2.2.1 PROBLEMA

El Sistema Experto requiere que se dé un tratamiento de acuerdo a la enfermedad obtenida por el mismo.

El Tratamiento que se debe dar lleva datos tales como los que se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Datos del Tratamiento

Campos	Descripción
Enfermedad	Enfermedad obtenida por el Sistema Experto
Medicamento	Medicamentos correspondientes a la Enfermedad
Dosis	La Dosis establecida por Medicamento
Recomendaciones	Las Recomendaciones que se hacen para la planta de acuerdo a la enfermedad

2.2.2 REGLAS DE NEGOCIO

- El Sistema Experto obtiene la Enfermedad de acuerdo a su Inferencia, se debe habilitar un botón para relacionar el Sistema Experto con la Base de Datos
- Debe existir la opción para que el usuario interactúe con la Base de Datos, en donde se registren las enfermedades, los medicamentos con sus respectivas dosis y por último las recomendaciones necesarias para cada enfermedad, además se deben registrar las relaciones entre las enfermedades con los medicamentos y las recomendaciones.

El Tratamiento que se dé a la enfermedad obtenida por el Sistema Experto contendrá:

- El Nombre de la Enfermedad diagnosticada
- Los Medicamentos que puede utilizar esa Enfermedad
- La dosis de los Medicamentos
- Las Recomendaciones para esa Enfermedad

2.3 DIAGRAMAS UML

Los diagramas que se exponen a continuación, forman parte de la base para la construcción del Sistema, los cuales representan el funcionamiento de los componentes del mismo y son los siguientes: i) Diagrama de Casos de Uso, ii) Diagrama Entidad Relación, iii) Diagrama de Secuencias, iv) Diagrama de Clases. El diagrama de Casos de Uso explica el funcionamiento global del sistema, mientras el resto, el de la base de datos.

2.3.1 DIAGRAMA DE CASOS DE USO

Los diagramas de caso de uso son uno de los cinco tipos de diagramas en UML para modelar aspectos dinámicos de sistemas. Estos son importantes para modelar el comportamiento de un sistema, un subsistema o una clase. Cada uno muestra un conjunto de casos de uso, actores y sus relaciones.

Los Diagramas de Caso de Uso describen la funcionalidad propuesta del nuevo sistema, representando de forma discreta la interacción entre un usuario y el sistema. Cada caso de uso tiene una descripción del funcionamiento que será construido en el sistema.

El diagrama de casos de uso representa la forma en como un cliente (actor) opera con el sistema en desarrollo, además de la forma, tipo y orden en como los elementos interactúan [35].

A continuación se describe en la figura 2.2 el Diagrama de Casos de Uso del Sistema.

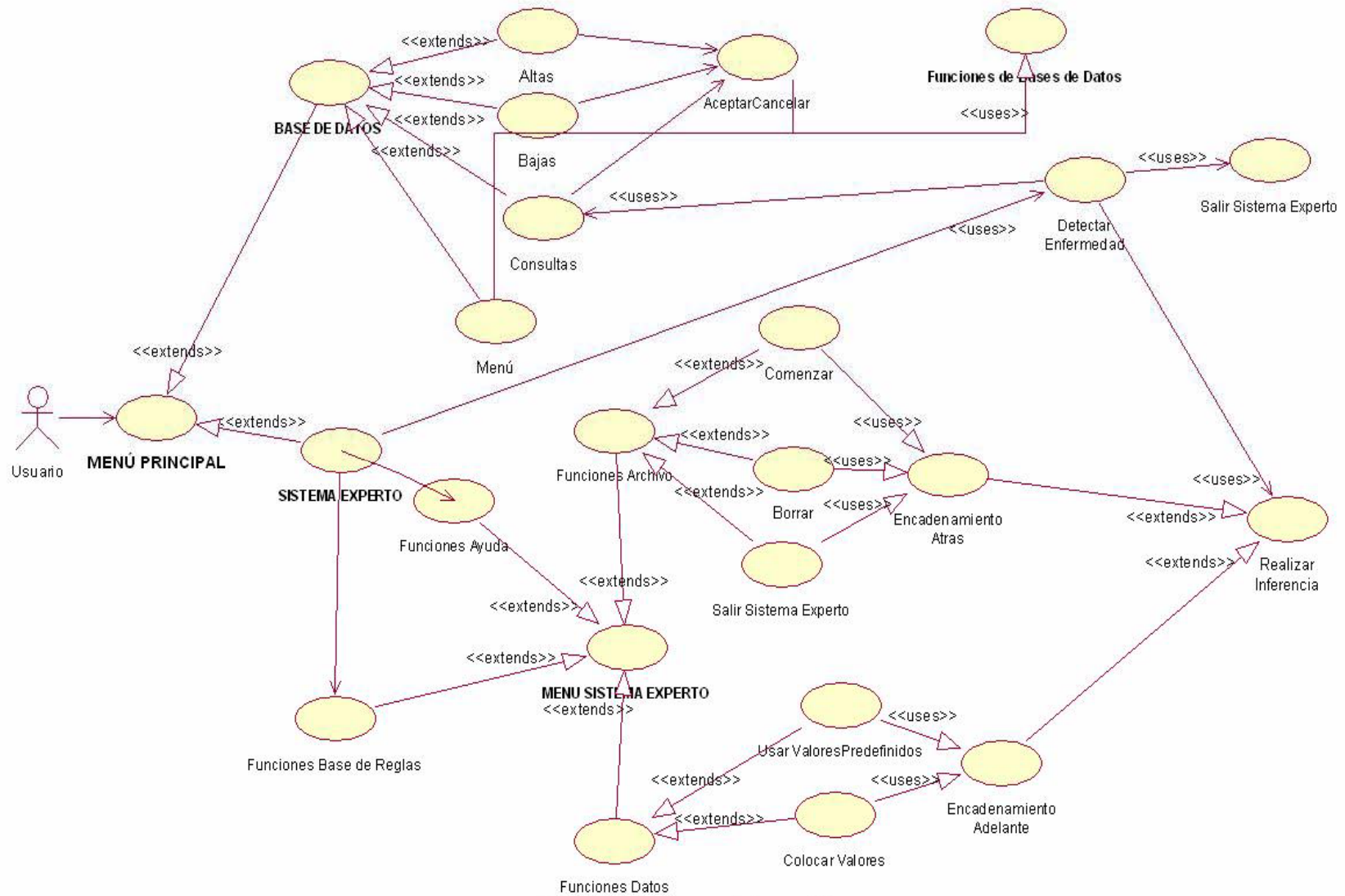


Figura 2.2 Diagrama de Casos de Uso

A continuación se explican los Casos de Uso de la figura 2.2 de forma más detallada:

Tabla 2.2 Caso de Uso Menú Principal

Caso de Uso:	Menú Principal
Actores:	Usuario Sistema
Propósito:	Ingresar a la opción que el usuario necesite
Resumen:	La pantalla del Menú Principal que se muestra en la figura 2.3, consta de dos botones principales, que son: <ul style="list-style-type: none"> • Base de Datos • Sistema Experto Dichos botones con su hipervínculo a la pantalla que les corresponde

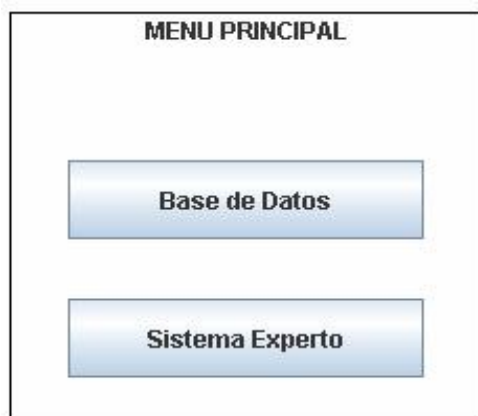


Figura 2.3 Pantalla Menú Principal

Tabla 2.3 Caso de Uso Base de Datos

Caso de Uso:	Base de Datos
Actores:	Usuario Base de Datos
Propósito:	Manipular Información de la Base de Datos
Resumen:	Al hacer clic en el botón “Base de Datos” dentro del Menú Principal, aparecerá la pantalla como la que se muestra en la figura 2.4, donde se encontrarán los botones que realizarán determinada función de la base de datos que se necesite para manipular la siguiente información: <ul style="list-style-type: none"> • Enfermedades • Medicamentos y sus Dosis • Recomendaciones • Relaciones entre las Enfermedades y los Medicamentos • Relaciones entre las Enfermedades y las Recomendaciones
Referencias Cruzadas:	Realizar Caso de Uso Funciones de Base de Datos

Figura 2.4 Pantalla Registro en la Base de Datos

Caso de Uso: Funciones de Base de Datos

Tabla 2.4 Área Altas

área:	Altas
Actores:	Usuario Base de Datos
Propósito:	Crear Nuevos registros en el Sistema
Resumen:	<p>*El usuario solicita al sistema crear un nuevo registro pulsando el botón Altas</p> <p>*El usuario puede introducir o escoger los datos necesarios para llenar el registro</p> <p>*Cuando el usuario llena los campos del registro y vuelve a presionar el botón Altas puede aceptar o no aceptar</p> <p style="padding-left: 40px;">Si Acepta...El sistema guarda el Registro</p> <p style="padding-left: 40px;">Si Cancela...El sistema no guarda el Registro</p> <p>Véase pantallas en la figura 2.5</p>
Referencias Cruzadas:	Realizar área Aceptar/Cancelar



Figura 2.5 Pantalla Altas

Tabla 2.5 Área Bajas

área:	Bajas
Actores:	Usuario Base de Datos
Propósito:	Eliminar Registros del Sistema
Resumen:	<p>*El usuario solicita eliminar del sistema un registro pulsando el botón Bajas</p> <p>*El sistema solicita al usuario determinar que registro es el que desea eliminar, dando a conocer la lista de los que se encuentran guardados en la base de datos</p> <p>*El usuario decide el registro a eliminar y lo señala al sistema</p> <p>*El sistema asegura que el registro a eliminar es el correcto solicitando al usuario confirmar la eliminación permanente del registro</p> <p>*El usuario puede aceptar, o no aceptar</p> <p style="padding-left: 40px;">Si Acepta... El Sistema elimina el Registro</p> <p style="padding-left: 40px;">Si Cancela... El Sistema no elimina el Registro</p> <p>Véase pantalla en la figura 2.6</p>
Referencias Cruzadas:	Realizar área Aceptar/Cancelar

The screenshot shows a web-based interface for a consultation system. On the left, there are four labels in blue: ENFERMEDAD, MEDICAMENTO, RECOMENDACION, and DOSIS. To the right of each label is a dropdown menu. The first dropdown (ENFERMEDAD) shows 'Tizon_Temprano'. The second (MEDICAMENTO) shows 'Floradel'. The third (RECOMENDACION) shows a list with 'Inmokaltee' selected. The fourth (DOSIS) shows '12ml'. Below these dropdowns are three large blue buttons labeled 'ALTAS', 'BAJAS', and 'CONSULTAS'. At the bottom right, there is a smaller blue button labeled 'MENU'.

Tabla 2.6 Área Consultas

área:	Consultas
Actores:	Usuario Base de Datos Sistema Experto
Propósito:	Obtener Información del Sistema
Resumen:	<p>*El usuario realiza una petición de búsqueda de información al Sistema a través del botón Consultas</p> <p>*El sistema realiza la búsqueda de información solicitada por el usuario</p> <p>*El sistema muestra el resultado al usuario</p> <p>Véase pantalla en la figura 2.7</p> <p>Nota: Las Consultas a la Base de Datos también las hace el Sistema Experto, al obtener el tratamiento después del resultado de la Inferencia, y se muestra en la figura 2.12</p>

IdRegistro	Nombre del Registro

Figura 2.7 Pantalla Consultas

Tabla 2.7 Área Aceptar Cancelar

área:	Aceptar , Cancelar
Actores:	Usuario Base de Datos
Propósito:	Aceptar o Cancelar la operación
Resumen:	*El sistema pide al usuario que decida si quiere aceptar realizar la operación o cancelar la operación y como opción adicional, cerrar la ventana, como lo muestra la figura 2.8

¿Está seguro de que desea realizar ésta operación?

Aceptar

Cancelar

Cerrar

Figura 2.8 Pantalla Aceptar Cancelar

Tabla 2.8 Área Menú

área:	Menú
Actores:	Usuario Base de Datos
Propósito:	Volver al Menú Principal
Resumen:	*Al dar clic en el botón menú de la pantalla que se muestra en la figura 2.9, se regresa a la ventana Menú Principal del Sistema

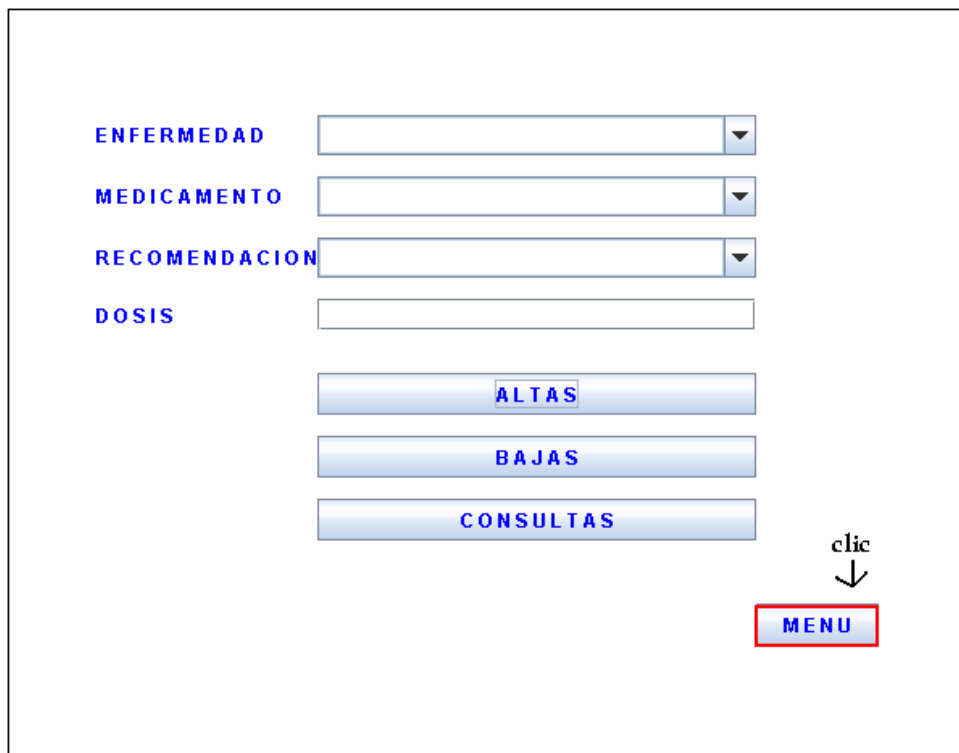


Figura 2.9 Pantalla Menú

Tabla 2.9 Sistema Experto

Caso de Uso:	Sistema Experto
Actores:	Usuario Sistema Experto
Propósito:	Detectar Enfermedad
Resumen:	Al hacer clic en el botón “Sistema Experto” dentro del Menú Principal, aparecerá la pantalla de la aplicación rule que se muestra en la figura 2.10, en donde se realiza la Inferencia para detectar las enfermedades
Referencias Cruzadas:	Realizar Casos de Uso Funciones de Base de Datos, Realizar Inferencia

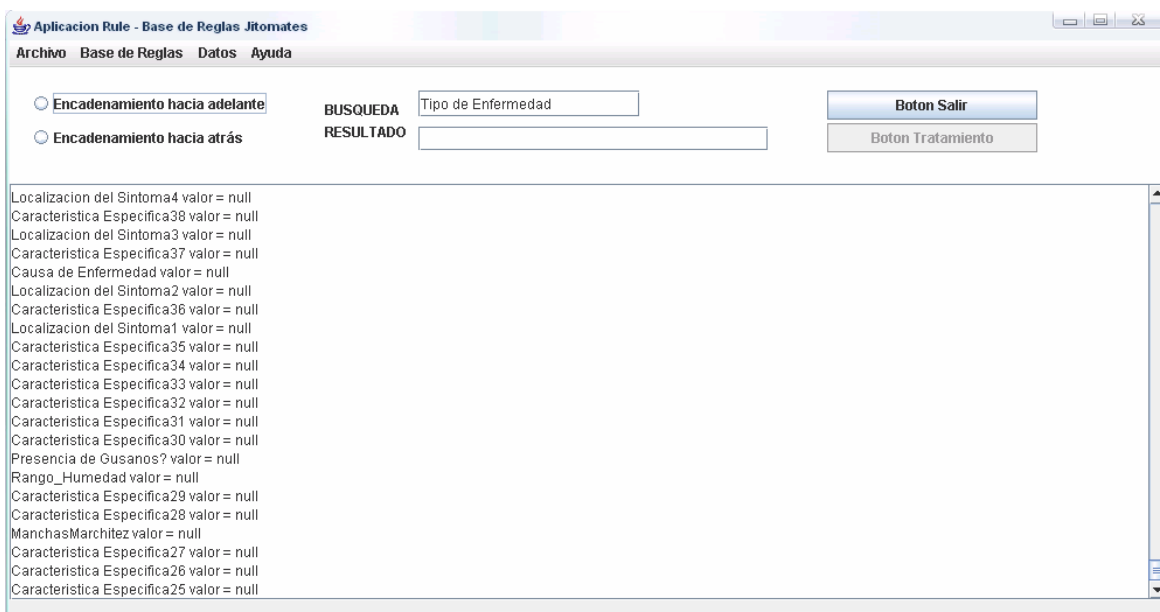


Figura 2.10 Pantalla Sistema Experto

Tabla 2.10 Menú Sistema Experto

Caso de Uso:	Menú Sistema Experto
Actores:	Usuario Sistema Experto
Propósito:	Elegir entre distintas opciones
Resumen:	El Menú del Sistema Experto tiene como opciones distintas funciones como son: Ayuda Información del Sistema Base de Reglas Donde se incluyen las reglas Archivo <i>Explicación en caso de uso realizar inferencia</i> Datos <i>Explicación en caso de uso realizar inferencia</i> Nota: La Pantalla donde se observa el Menú del Sistema Experto es la mostrada en la figura 2.10
Referencias Cruzadas:	Caso de Uso Realizar Inferencia

A continuación la Figura 2.11 se explica con un Diagrama de Actividades el Caso de Uso **Realizar Inferencia**.

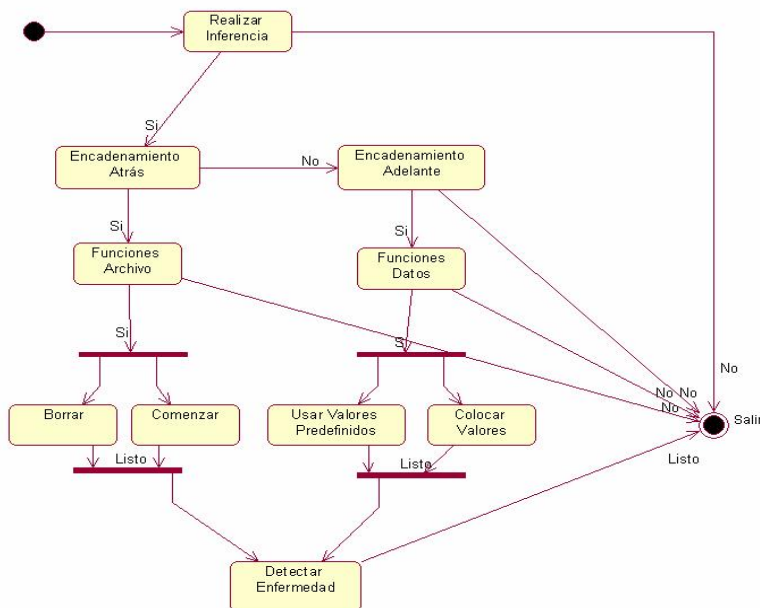


Figura 2.11 Diagrama de Actividad del Caso de Uso Realizar Inferencia

Al detectar la Enfermedad el Sistema Experto tiene como opción para el usuario la de consultar el tratamiento, que a continuación se explica en el siguiente Caso de Uso:

Tabla 2.11 Tratamiento

Caso de Uso:	Tratamiento
Actores:	Sistema Experto
Propósito:	Dar a Conocer la información necesaria acerca del Tratamiento
Resumen:	<p>*Al pulsar el Botón de Tratamiento habilitado en el Sistema Experto: El Sistema va a recabar los datos que serán registrados y no los podrá modificar el usuario. Esos datos son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enfermedad (Dada por el Sistema Experto) • Los Medicamentos y Dosis de estos por la Enfermedad obtenida por el Sistema Experto • Las Recomendaciones de acuerdo a la enfermedad obtenida por el Sistema Experto <p>Véase pantalla en la figura 2.12</p>
Referencias Cruzadas:	Realizar Caso de Uso Funciones de Base de Datos en el área de consultas

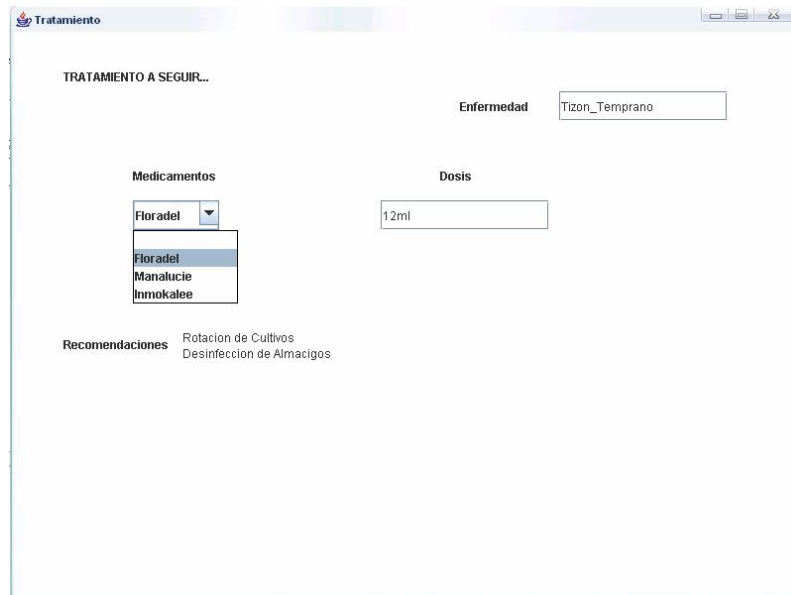


Figura 2.12 Pantalla Tratamiento

2.3.2 DIAGRAMA ENTIDAD RELACIÓN

El Diagrama Entidad Relación, está basado en una percepción del mundo real según [35] y consta de:

- Entidades: Conjunto de eventos (objetos o acciones) básicos
- Conjuntos de Relaciones entre las entidades

A continuación se describe en la figura 2.13 el Diagrama Entidad Relación del Sistema.

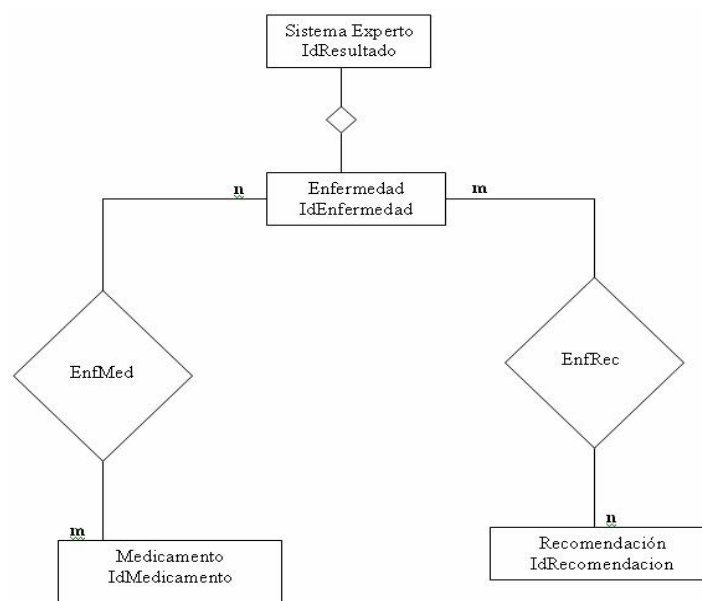


Figura 2.13 Diagrama Entidad Relación

En el **Diagrama Entidad Relación** encontramos las Entidades con sus respectivas llaves primarias mostradas en la tabla 2.12:

Tabla 2.12 Entidades y sus llaves primarias

<u>ENTIDADES</u>	<u>LLAVES PRIMARIAS</u>
Enfermedad	IdEnfermedad
Medicamento	IdMedicamento
Recomendación	IdRecomendación

La entidad Enfermedad cuenta con dos relaciones la primera que es de $n \rightarrow m$ elementos con la entidad Medicamento y se denomina EnfMed y la segunda que es de $m \rightarrow n$ elementos con la entidad Recomendación y se denomina EnfRec.

2.3.3 DIAGRAMA DE SECUENCIAS

El Diagrama de Secuencias contribuye a la descripción de la interacción entre distintos objetos del Sistema, generalmente de distintas clases. Esta interacción se lleva a cabo a través de mensajes, que en el mundo de la orientación a objetos no significan lo mismo que en los protocolos de comunicación; un mensaje generalmente se implementa mediante la invocación de una operación desde el objeto “fuente” en el objeto “destino” [35].

A continuación se describe en la figura 2.14 el Diagrama de Secuencias del Sistema.

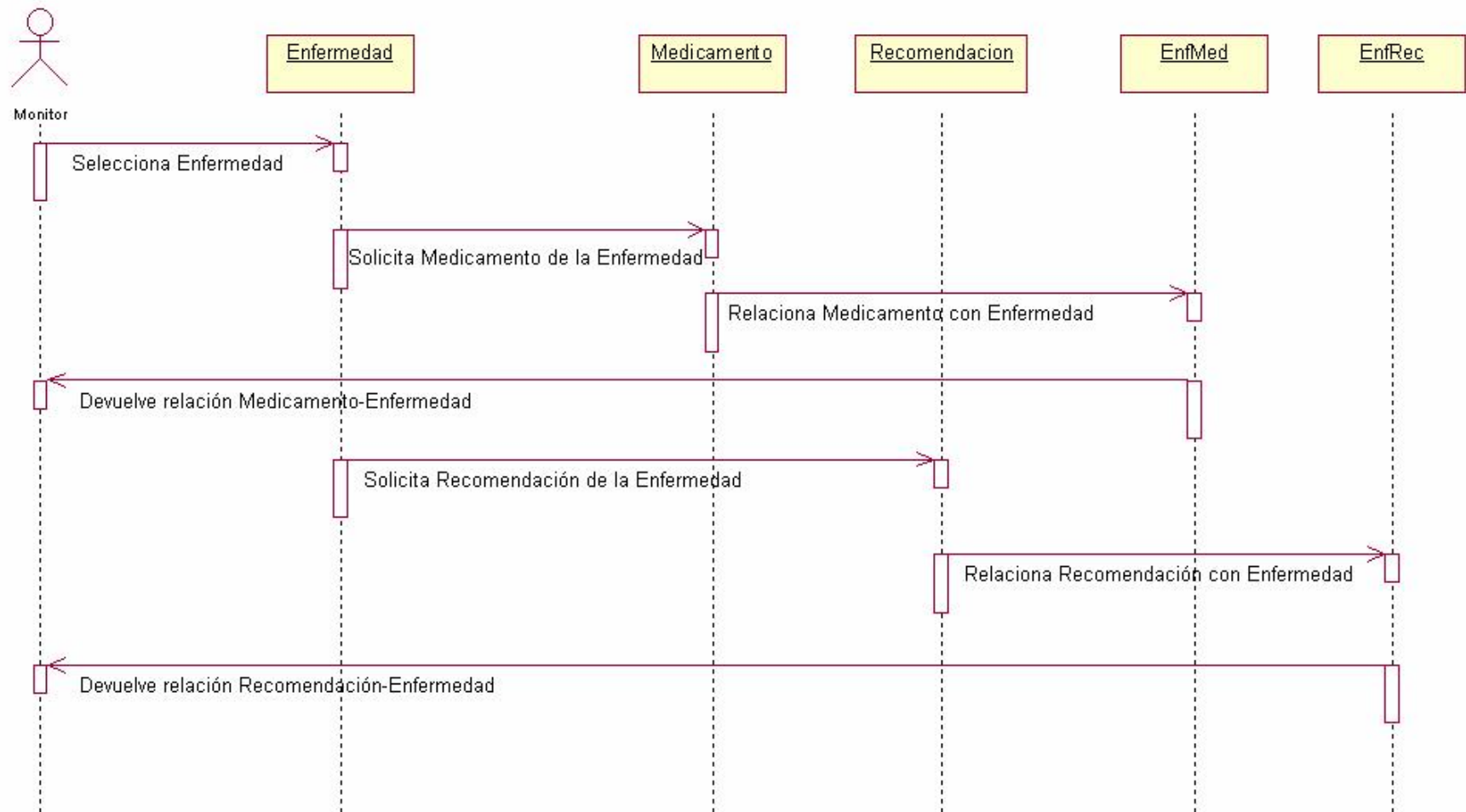


Figura 2.14 Diagrama de Secuencias

Comienza la secuencia desde que el monitor solicita la Enfermedad entonces se requieren su medicamento y recomendaciones correspondientes, EnfMed y EnfRec, devolverán las relaciones entre la enfermedad, sus medicamentos y sus recomendaciones.

2.3.4 DIAGRAMA DE CLASES

Un Diagrama de Clases es una colección de elementos (estáticos) declarativos de un modelo, tales como, clases, interfaces, y sus relaciones, conectados como un grafo entre si y con sus contenidos [35].

A continuación se describe en la figura 2.15 el Diagrama de Clases del Sistema.

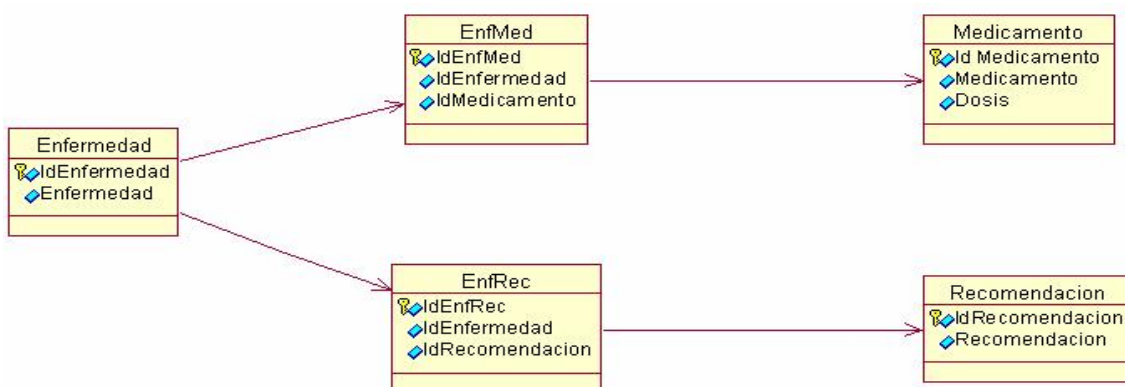


Figura 2.15 Diagrama de Clases

El diagrama de clases nos muestra la siguiente relación de clases y sus llaves principales en la tabla 2.13:

Tabla 2.13 Clases

<u>CLASES</u>	<u>LLAVES PRIMARIAS</u>
Enfermedad	IdEnfermedad
Medicamento	IdMedicamento
Recomendación	IdRecomendación
EnfMed	IdEnfMed
EnfRec	IdEnfRec

Donde la clase Enfermedad relaciona las clases Medicamento y Recomendación mediante las clases EnfRec y EnfMed respectivamente.

2.4 VARIABLES DEL SISTEMA EXPERTO

Después de un análisis de las características más utilizadas se realizó una síntesis de las variables para ser utilizadas en el Sistema Experto y son:

Para detectar la Causa de la Enfermedad (CE)

VPD

Presencia_de_Gusanos

ManchasMarchitez

Para detectar cual es la posible Enfermedad

Rango_Humedad

Rango_Temperatura

TamañoMancha

Localizacion_del_Sintoma(i) donde $i=1 \rightarrow 14$

Forma_de_las_Agallas

Para proporcionar el diagnóstico exacto

Caracteristica_Especificas (i) donde $i=1 \rightarrow 38$

Para concluir el diagnóstico

Tipo_de_Enfermedad

2.5 DISEÑO DE LA BASE DE REGLAS

SI VPD<.25

ENTONCES Causa de Enfermedad=**Hongos**

SI Presencia_de_Gusanos?=Si

ENTONCES Causa de Enfermedad=**Nematodos**

SI ManchasMarchitez=Si

ENTONCES Causa de Enfermedad=**Bacterias**

SI Causa_de_Enfermedad=Hongos

Y Rango_Humedad=90-100

Y Rango_Temperatura=28-30

Y Localizacion_del_Sintoma1=Tallo

Y Localizacion_del_Sintoma 2=Hojas

Y Localizacion_del_Sintoma 3=Frutos

Y Caracteristica_Especificas1=Inicia_en_las_hojas_inferiores_(viejas)

Y Caracteristica_Especificas2=Lesiones_con_hundimiento_en_Tallos y_Frutos

Y Caracteristica_Especificas3=Necrosamientos_en_Anillos concentricos

Y Caracteristica_Especificas4=Halo_Amarillento_Circundando los_anillos

ENTONCES Tipo_de_Enfermedad=**Tizon Temprano**

SI Causa_de_Enfermedad =Hongos

Y Rango_Humedad=90-100

Y Rango_Temperatura=20-26

Y Localizacion_del_Sintoma1=Tallo

Y Localizacion_del_Sintoma2=Hojas

Y Localizacion_del_Sintoma3=Frutos

Y Localizacion_del_Sintoma4=Ramas

Y Localizacion_del_Sintoma5=Pedunculos

Y Localizacion_del_Sintoma6=Sepalos

Y Localizacion_del_Sintoma7=Corolas

Y Localizacion_del_Sintoma8=Enves

Y Localizacion_del_Sintoma9=Haz

Y Localizacion_del_Sintoma10=Area_Fotosinteca

Y Localizacion_del_Sintoma13=Plantulas

Y Caracteristica_Especificas5=Mancha_cafe_o_ligeramente_amarilla

Y Caracteristica_Especificas6=Hundimiento_en_Frutos

Y Caracteristica_Especificas7=Germinacion_de_Esporas

ENTONCES Tipo de Enfermedad=**Tizon Tardio**

SI Causa_de_Enfermedad =Hongos

Y Rango_Humedad=90-100

Y Rango_Temperatura=20-25

Y Localizacion_del_Sintoma1=Tallo

Y Localizacion_del_Sintoma2=Hojas

Y Localizacion_del_Sintoma3=Frutos

Y Localizacion_del_Sintoma4=Ramas

Y Caracteristica_Especificas8=Putrefaccion_suave_y_algodonosa

Y Caracteristica_Especificas9=Flacidez_de_Tejidos

Y Caracteristica_Especificas10=Aspecto_húmedo_y_Color_Claro

Y Caracteristica_Especificas11=Crecimiento_Micelial_Blanco_Algodonoso

Y Caracteristica_Especificas12=Esclerocios_Negros_Posteriores

ENTONCES Tipo_de_Enfermedad =**Moho Blanco**

SI Causa_de_Enfermedad =Hongos

Y Rango_Humedad=76-89

Y Rango_Temperatura=18-23

Y Localizacion_del_Sintoma3=Frutos

Y Localizacion_del_Sintoma5=Pedunculos

Y Localizacion_del_Sintoma6=Sepalos

Y Localizacion_del_Sintoma7=Corolas

Y Caracteristica_Especificas13=Esporulacion_de_color_cafe_a_negrusca

Y Caracteristica_Especificas14=Ataca_severamente_en_postcosecha

ENTONCES Tipo_de_Enfermedad =**Moho Gris**

SI Causa_de_Enfermedad =Hongos

Y Rango_Humedad=50-75

Y Rango_Temperatura=20-26

Y Localizacion_del_Sintoma3=Frutos

Y Localizacion_del_Sintoma8=Enves

Y Localizacion_del_Sintoma9=Haz

Y Localizacion_del_Sintoma10=Area_Fotosinteca

Y Caracteristica_Especificas15=Inicia_en_el_Enves_con_vellosidades Blancas

Y Caracteristica_Especificas16=En_el_haz_hay_manchas_verde amarillentas

Y Caracteristica_Especificas17=Reduccion_del_area_fotosinteca

Y Caracteristica_Especificas18=Quemaduras_del_fruto_por_sol

ENTONCES Tipo_de_Enfermedad =**Cenicilla del Jitomate**

SI Causa_de_Enfermedad =Hongos

Y Rango_Humedad=90-100

Y Rango_Temperatura=21-33

Y Localizacion_del_Sintoma1=Tallo

Y Localizacion_del_Sintoma2=Hojas

Y Localizacion_del_Sintoma1=Inicia_en_las_hojas_inferiores_(viejas)

Y Caracteristica_Especific19=Las_hojas_mueren_adheridas_al_tallo

Y Caracteristica_Especific20=Caida_posterior_de_hojas

Y Caracteristica_Especific21=Amarillamiento_por_marchitez

Y Caracteristica_Especific22=Coloracion_cafe_obsкуро_del_tejido vascular_en_la_base_del_tallo

Y Caracteristica_Especific23=Las_plantas_mueren_de_2_4 semanas_una_vez_contraida_la_infeccion

ENTONCES Tipo_de_Enfermedad =**Marchitez del Jitomate**

SI Causa_de_Enfermedad =Hongos

Y Rango_Humedad=90-100

Y Rango_Temperatura=12-17

Y Localizacion_del_Sintoma11=Germinacion

Y Localizacion_del_Sintoma12=Tejidos_del_Cuello

Y Localizacion_del_Sintoma13=Plantulas

Y Caracteristica_Especific24=Fallas_en_Germinacion

Y Caracteristica_Especific25=Marchitez_por_pudricion_de_Tejidos_del_Cuello

Y Caracteristica_Especific26=Muerte_Temprana_de_plantulas

ENTONCES Tipo_de_Enfermedad =**Pudriciones Radiculares yAhogamiento**

SI Causa_de_Enfermedad =Bacterias

Y Rango_Temperatura=28-35

Y Tamaño de la Mancha=2

Y Localizacion_del_Sintoma1=Tallo

Y Localizacion_del_Sintoma2=Hojas

Y Localizacion_del_Sintoma3=Frutos

Y Caracteristica_Especific27=Puntos_Protuberantes

Y Caracteristica_Especific28=En_hojas

Mancha_clorotica_alrededor_del_punto

ENTONCES Tipo_de_Enfermedad =**Xantonomas Vesicatoria**

SI Causa_de_Enfermedad =Bacterias

Y Rango_Temperatura=20-25

Y Tamaño de la Mancha=0

Y Localizacion_del_Sintoma1=Tallo

Y Localizacion_del_Sintoma2=Hojas

Y Localizacion_del_Sintoma3=Frutos

Y Caracteristica_Especificas29=Puntos_Hundidos

Y Caracteristica_Especificas28=En_hojas-_Mancha_clorotica_alrededor_del_punto

ENTONCES Tipo_de_Enfermedad =**Pseudomonas Syringae**

SI Causa_de_Enfermedad =Bacterias

Y Rango_Temperatura=28-35

Y Tamaño de la Mancha=1

Y Localizacion_del_Sintoma2=Hojas

Y Localizacion_del_Sintoma9=Haz

Y Caracteristica_Especificas30=Marchitez_sin_Amarillamiento

Y Caracteristica_Especificas31=Inicia_con_errollamientos_de_hojas_hacia_el_haz

Y Caracteristica_Especificas32=Muy_agresiva_en_dos_semanas_acaba_con_el_cultivo

ENTONCES Tipo_de_Enfermedad =**Clavibacter Michiganensis**

Jicamilla: SI Causa_de_Enfermedad =Nematodos

Y Localizacion_del_Sintoma14=Raiz

Y Forma_de_las_Agallas=Irregulares

Y Caracteristica_Especificas34=No_requiere_de_lesiones_para_entrar

Y Caracteristica_Especificas35=Se_alimenta_en_la_Etapa_Juvenil_2

ENTONCES Tipo_de_Enfermedad =**Jicamilla**

SI Causa_de_Enfermedad =Nematodos

Y Localizacion_del_Sintoma14=Raiz

Y Forma_de_las_Agallas=Rosario

Y Caracteristica_Especificas37=Requiere_de_lesiones_para_entrar

Y Caracteristica_Especificas38=Se_alimenta_en_todas_las_etapas

ENTONCES Tipo_de_Enfermedad =**Meloidogyne**

CAPÍTULO 3

IMPLEMENTACIÓN Y EJECUCIÓN DEL SISTEMA

Es importante conocer el buen funcionamiento del Sistema, por lo que a continuación en éste capítulo se muestran las diferentes pantallas que simulan la forma en que es utilizado por el usuario, además de explicar las principales instrucciones para realizar ciertas actividades de gran importancia en la construcción de la aplicación. Dichas instrucciones, pueden ser utilizadas en la mejora del sistema, comenzando con el manejo de la página Web posteriormente el de la base de datos y finalizando con el del Sistema Experto, por lo cual se añade un ejemplo del proceso de inferencia dando un resultado final.

3.1 ACCESANDO A LA PÁGINA WEB

La forma en que se utiliza la página Web comienza desde que el usuario realiza una visita a la pantalla de Bienvenida, es entonces cuando se despliegan una serie de pantallas que contienen información acerca del Sistema y finalmente aparece la pantalla que realiza la función de dirigir al usuario a consultar al Sistema.

A continuación de forma breve y más específica se explica lo anteriormente mencionado.

En la figura 3.1 se muestra la pantalla de Bienvenida de la página Web, donde en el botón “INICIO” se describe información general acerca del Sistema.

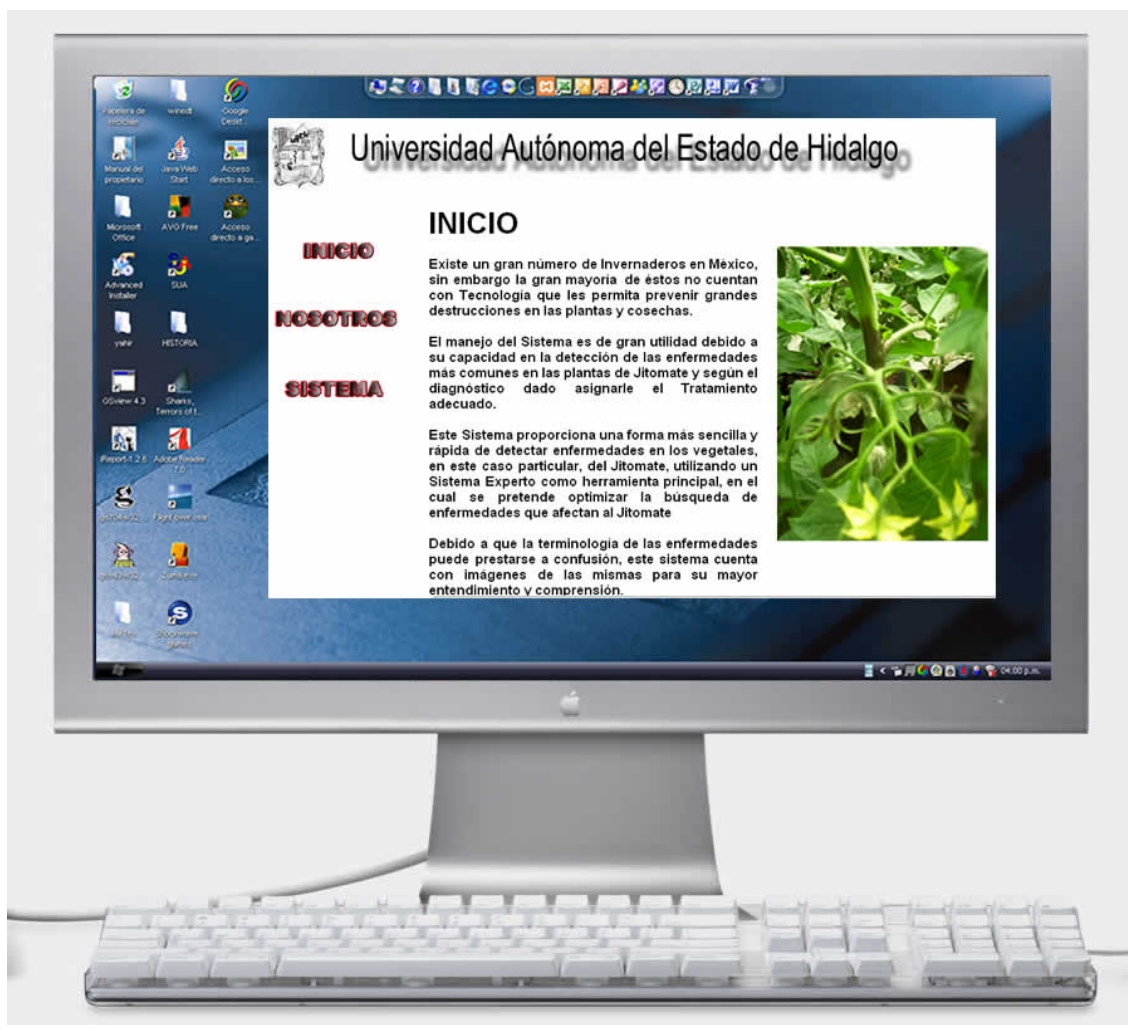


Figura 3.1 Página de Bienvenida

En la figura 3.2 se muestra la pantalla de la acción de dar clic al botón “NOSOTROS”, donde se describe información acerca de la visión, misión y objetivos sobre el Sistema.



Figura 3.2 Página Nosotros

En la figura 3.3 se muestra la pantalla de la acción de dar clic al botón “SISTEMA”, desde donde se accesa al Sistema.

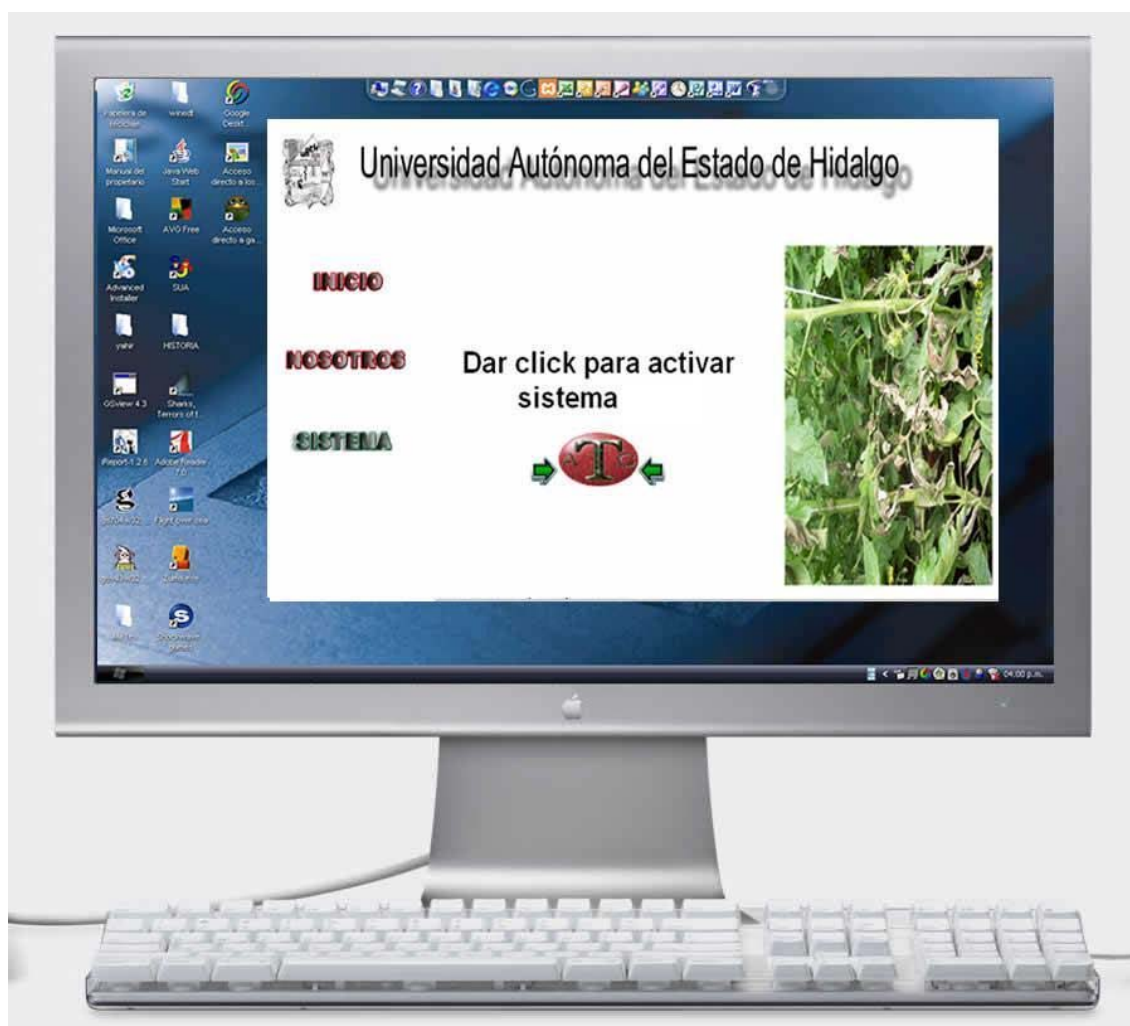


Figura 3.3 Página Sistema

En la figura 3.4 se muestra la pantalla del Menú Principal del Sistema, donde el usuario tiene acceso a dos opciones Base de Datos y Sistema Experto.

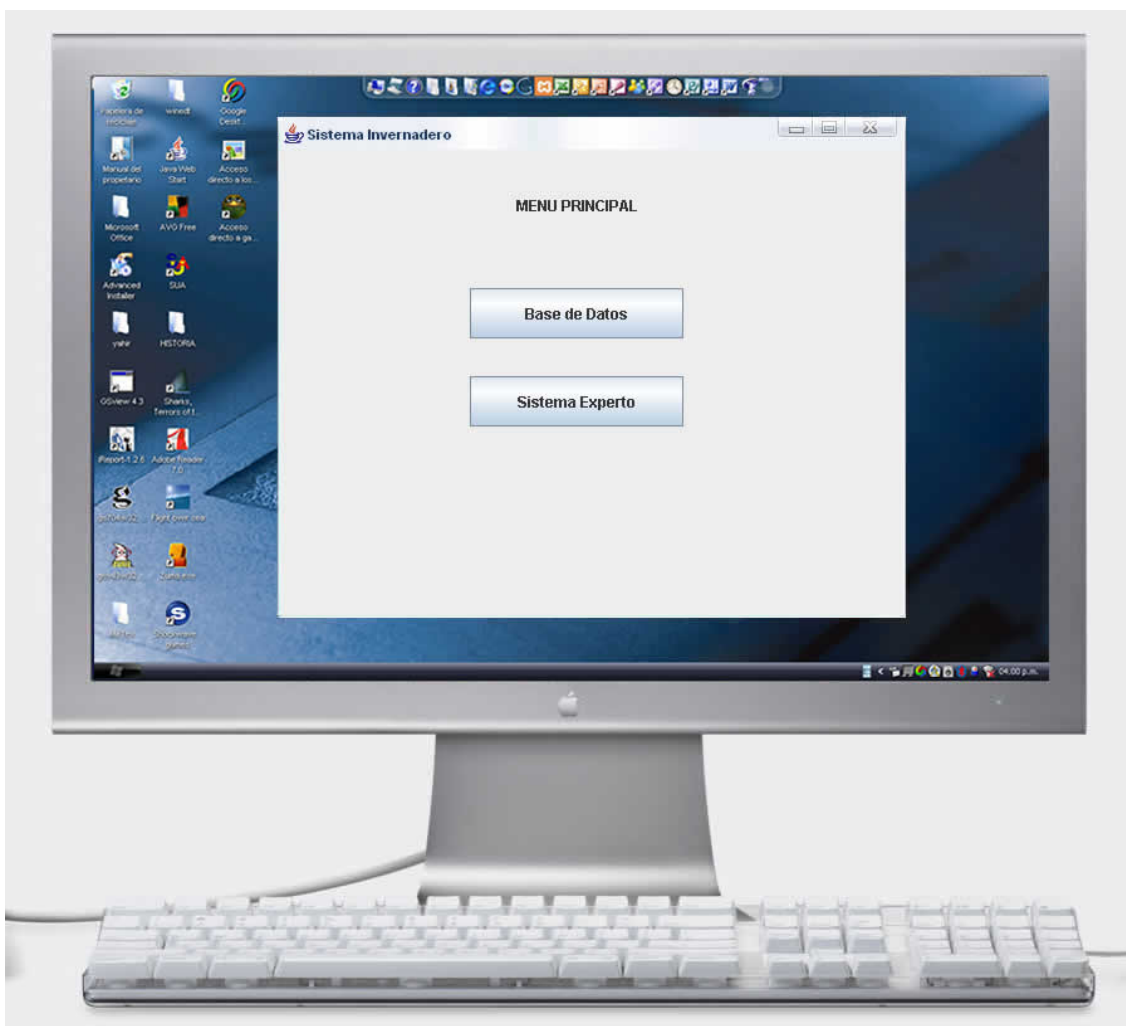


Figura 3.4 Menú Principal.

Para la anterior pantalla se utilizaron las siguientes instrucciones básicas en la declaración de los botones:

```
JButton BotonRegistrarCatalogo = new JButton( "Base de Datos" );  
JButton BotonSistemaExperto = new JButton( "Sistema Experto" );  
JLabel EtiquetaMenu = new JLabel("MENU PRINCIPAL",JLabel.CENTER);
```

3.2 MANEJO Y USO DE LA BASE DE DATOS

La forma en que se utiliza la Base de Datos comienza desde que el usuario da clic en el botón Base de Datos en la pantalla de la figura 3.4, es entonces cuando éste puede realizar los distintos procesos de la Base de Datos como son altas, bajas, consultas y a la vez confirmar dichos procesos.

A continuación de forma breve y más específica se explica lo anteriormente mencionado.

Si el usuario decidió elegir la opción **Base de Datos**, entonces la pantalla que aparece es la mostrada en la figura 3.5, donde el usuario puede elegir entre los procesos de altas, bajas y consultas sobre los datos del Sistema.



Figura 3.5 Registro

Las instrucciones básicas que se utilizaron en la elaboración de la pantalla de la figura 3.5 son las siguientes:

```
JButton Altas = new JButton("A L T A S");
JButton Bajas = new JButton("B A J A S");
JButton Consultas = new JButton("C O N S U L T A S");
JButton RegresarMenuCatalogos = new JButton("M E N U");

static JComboBox CampoEnfermedad = new JComboBox();
JLabel EtiquetaEnfermedad = new JLabel("E N F E R M E D A D");
static JComboBox CampoMedicamento = new JComboBox();
JLabel EtiquetaMedicamento = new JLabel("M E D I C A M E N T O");
static JComboBox CampoRecomendacion = new JComboBox();
JLabel EtiquetaRecomendacion = new JLabel("R E C O M E N D A C I O N");
JTextField CampoDosis = new JTextField(10);
JLabel EtiquetaDosis = new JLabel("D O S I S");
```

La figura 3.6 muestra que en la pantalla “registro” se pueden realizar consultas directamente de cada una de las enfermedades eligiendo alguna enfermedad, esto para realizar el proceso bajas explicado más adelante.

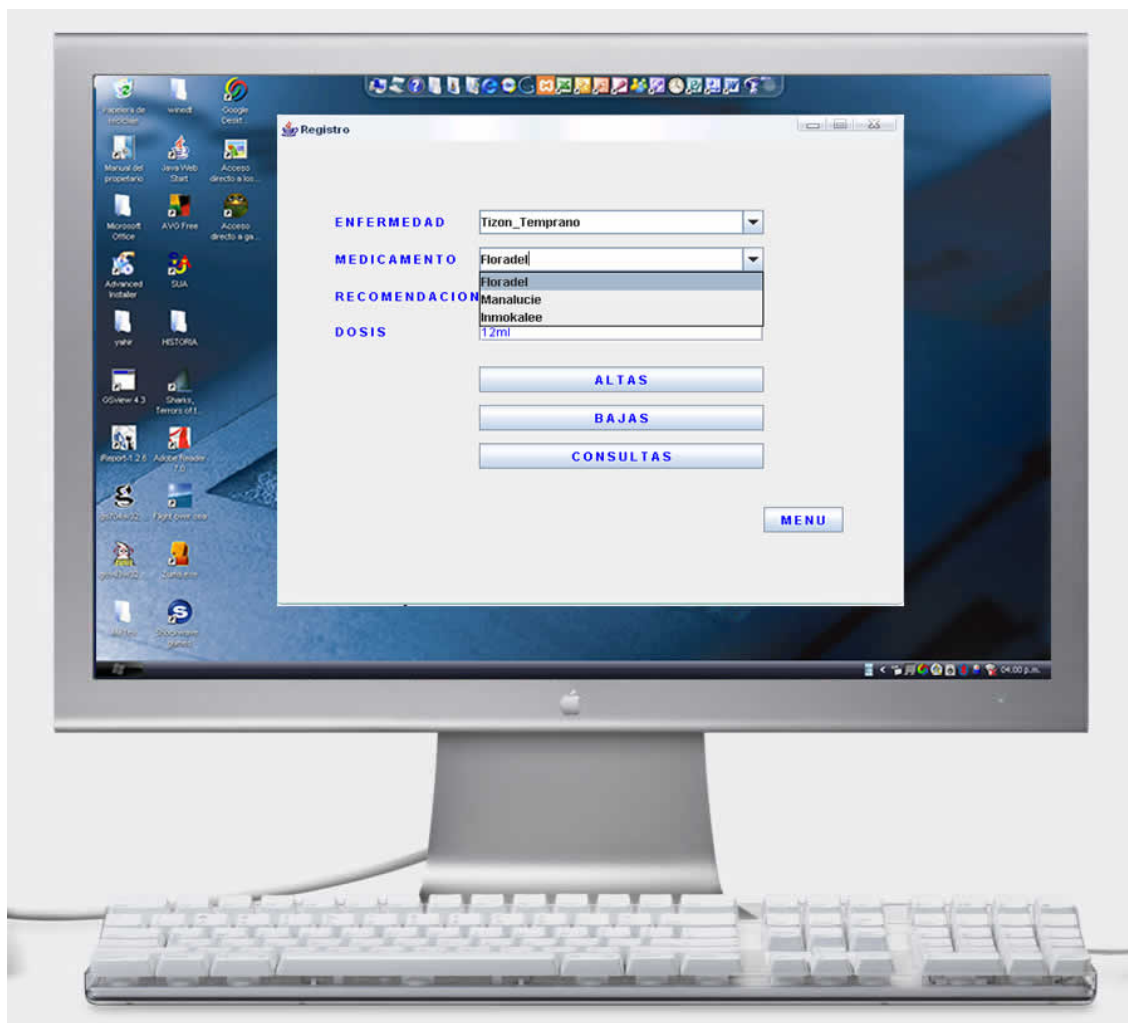


Figura 3.6 Consultas Directas

Si el usuario en la pantalla anterior eligió el proceso “ALTAS”, entonces la primera pantalla correspondiente a este proceso se muestra en la figura 3.7, en donde aparecen como opciones de entrada de datos, la Enfermedad de la planta, el Medicamento, la Recomendación y las Dosis utilizadas por el Medicamento.

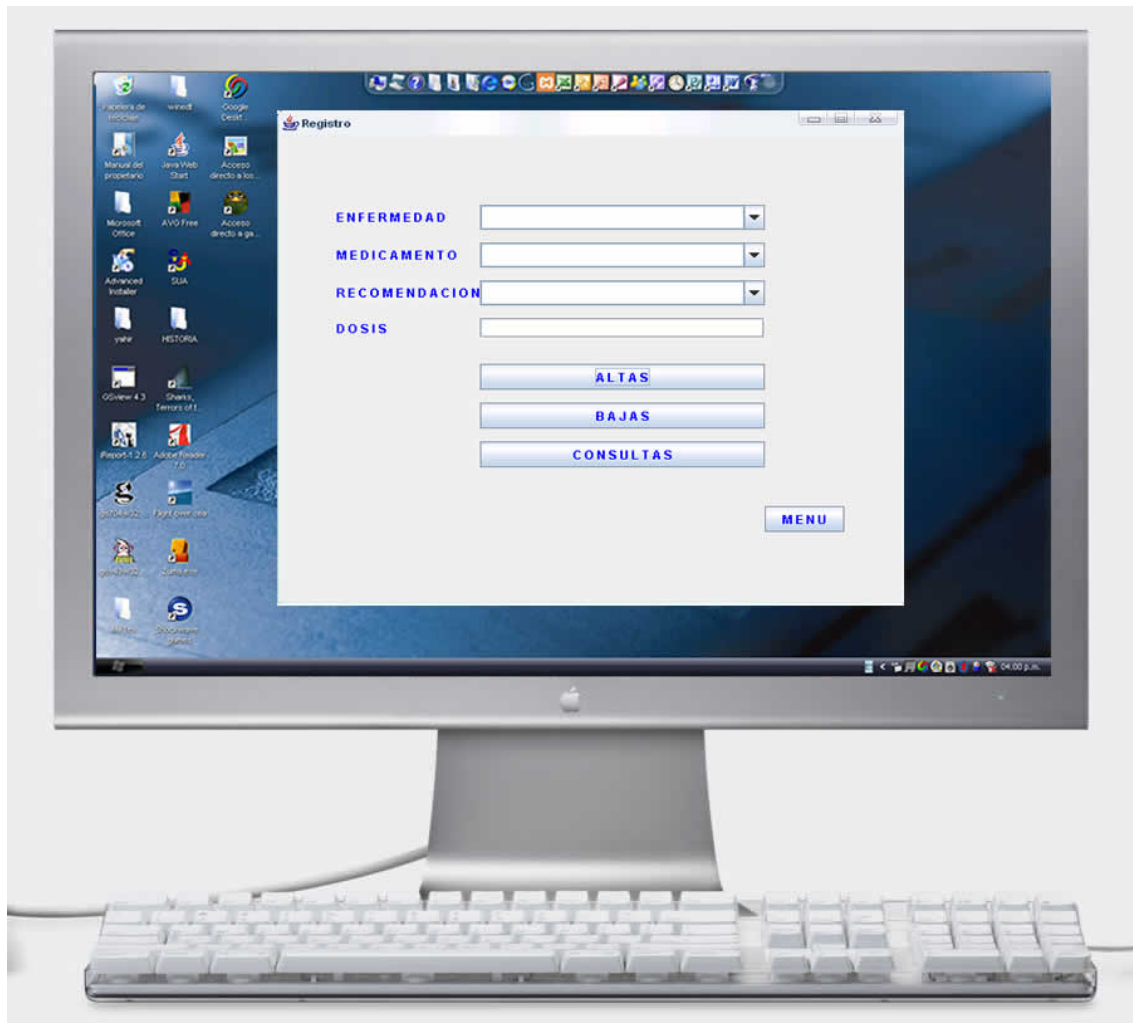


Figura 3.7 Primera Pantalla del proceso “ALTAS”

La figura 3.8 muestra el proceso de elección del usuario entre las distintas opciones de entrada de datos al Sistema.

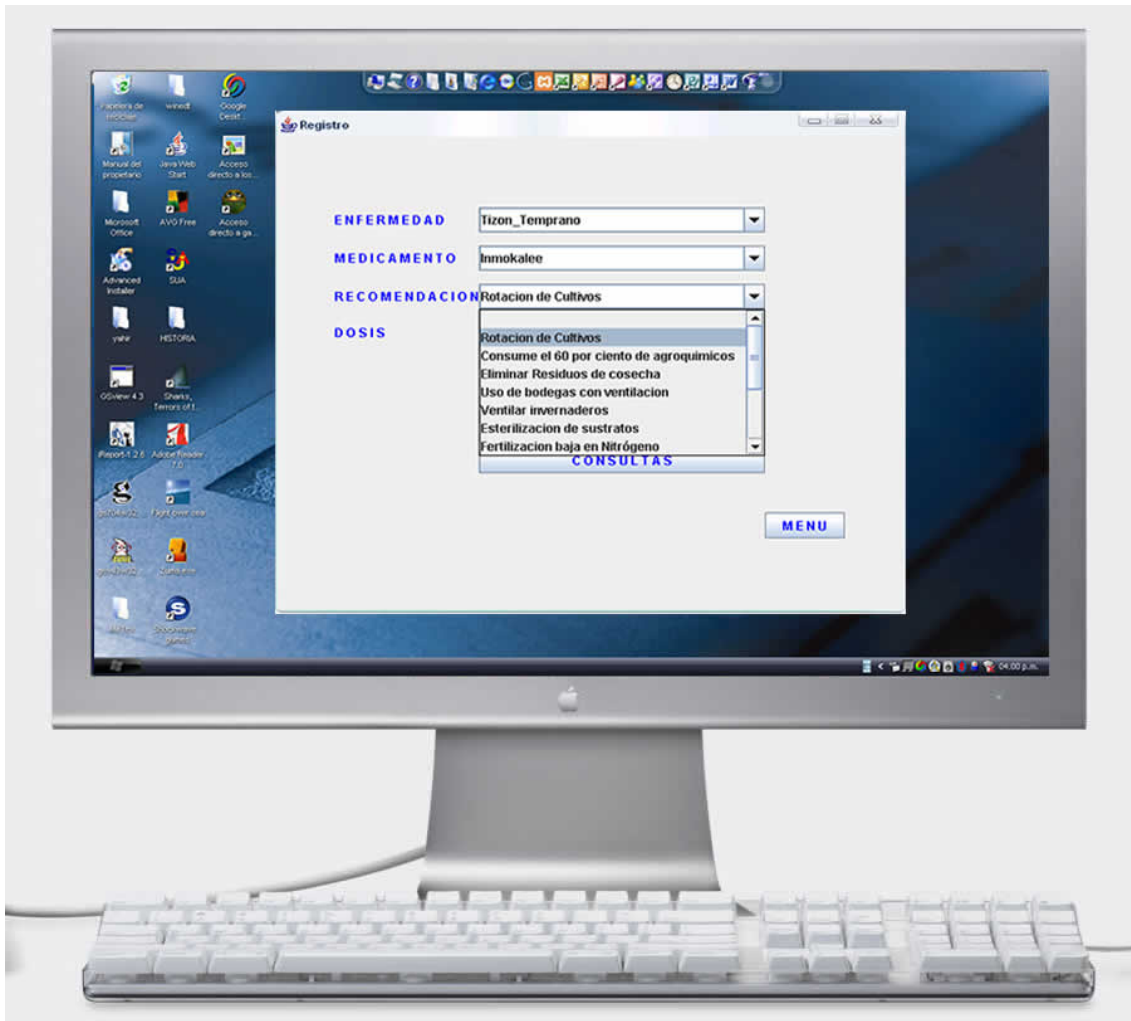


Figura 3.8 Proceso de elección del usuario

Al finalizar el proceso de elección el usuario continúa dando clic al botón de altas, es entonces cuando el sistema detecta que la Enfermedad ha sido registrada anteriormente debido a que no es una nueva Enfermedad registrada en el sistema como se muestra en la figura 3.9.



Figura 3.9 Mensaje Enfermedad

Posteriormente en la figura 3.10 se muestra otro mensaje indicándole al usuario que el Medicamento ha sido registrado anteriormente debido a que no es un nuevo Medicamento registrado en el sistema.

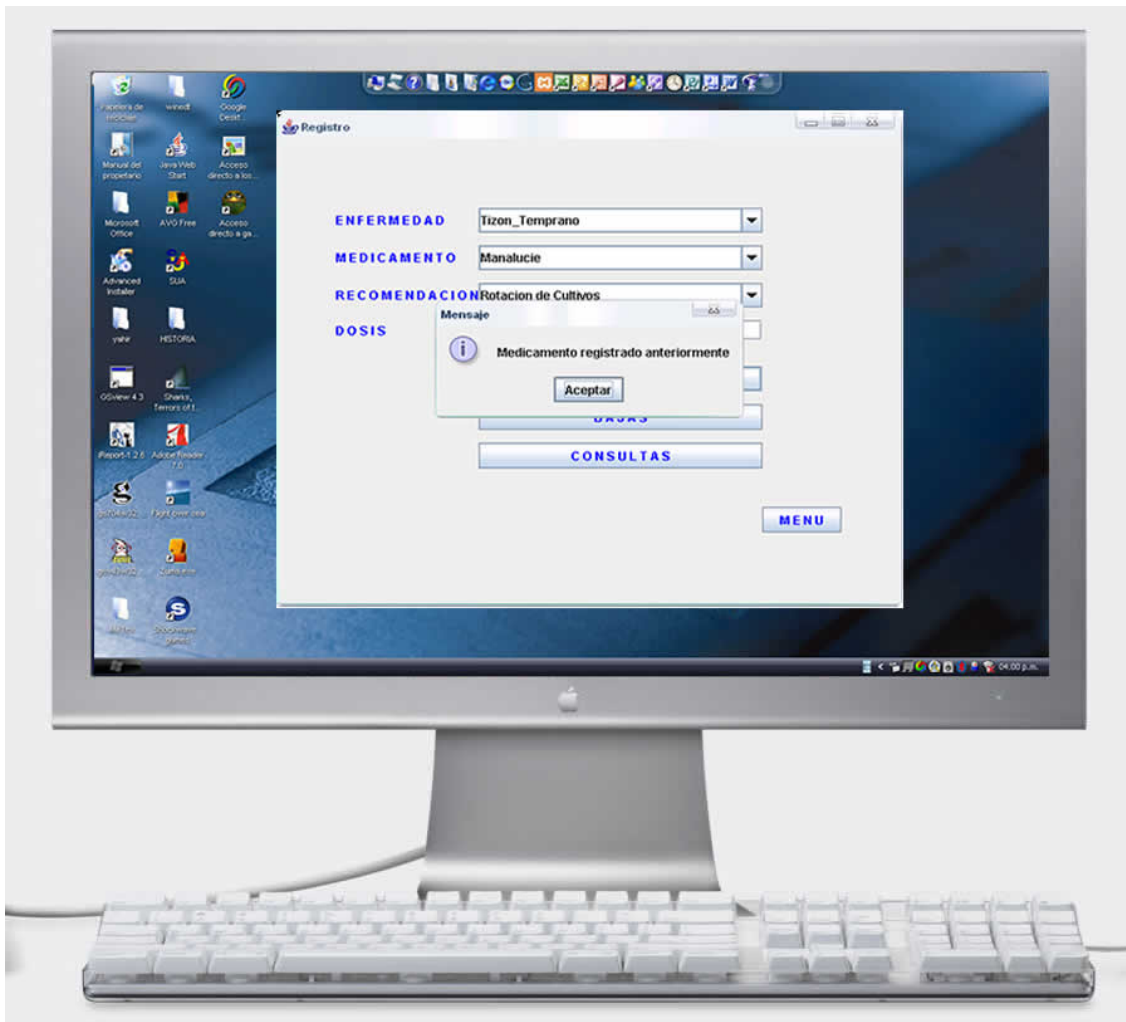


Figura 3.10 Mensaje Medicamento

A continuación la figura 3.11 muestra otro mensaje indicándole al usuario que la Recomendación ha sido registrada anteriormente debido a que no es una nueva Recomendación registrada en el Sistema.

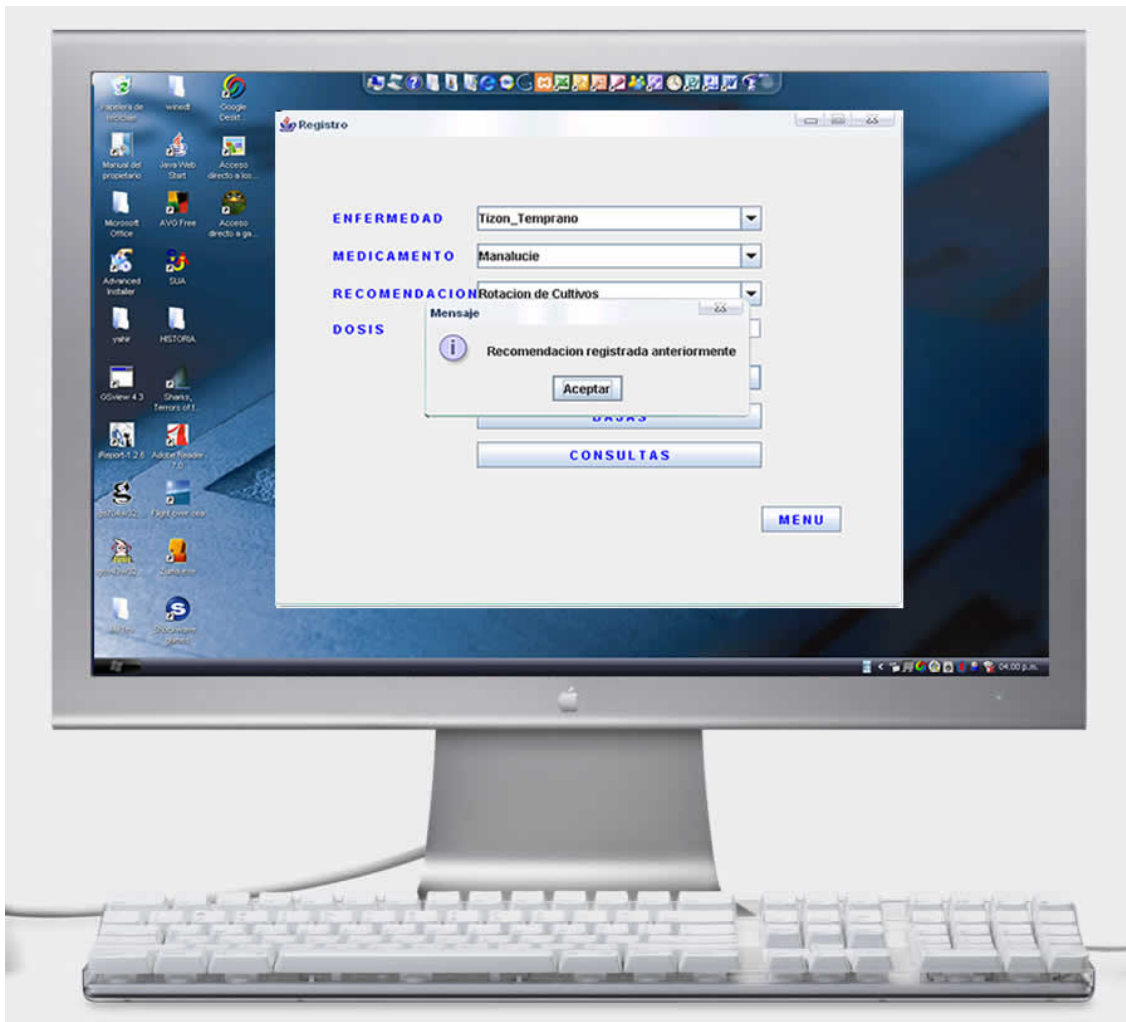


Figura 3.11 Mensaje Recomendación

Finalizando el proceso de “ALTAS” la figura 3.12 muestra el cuadro de confirmación al usuario para asegurar la realización del proceso.

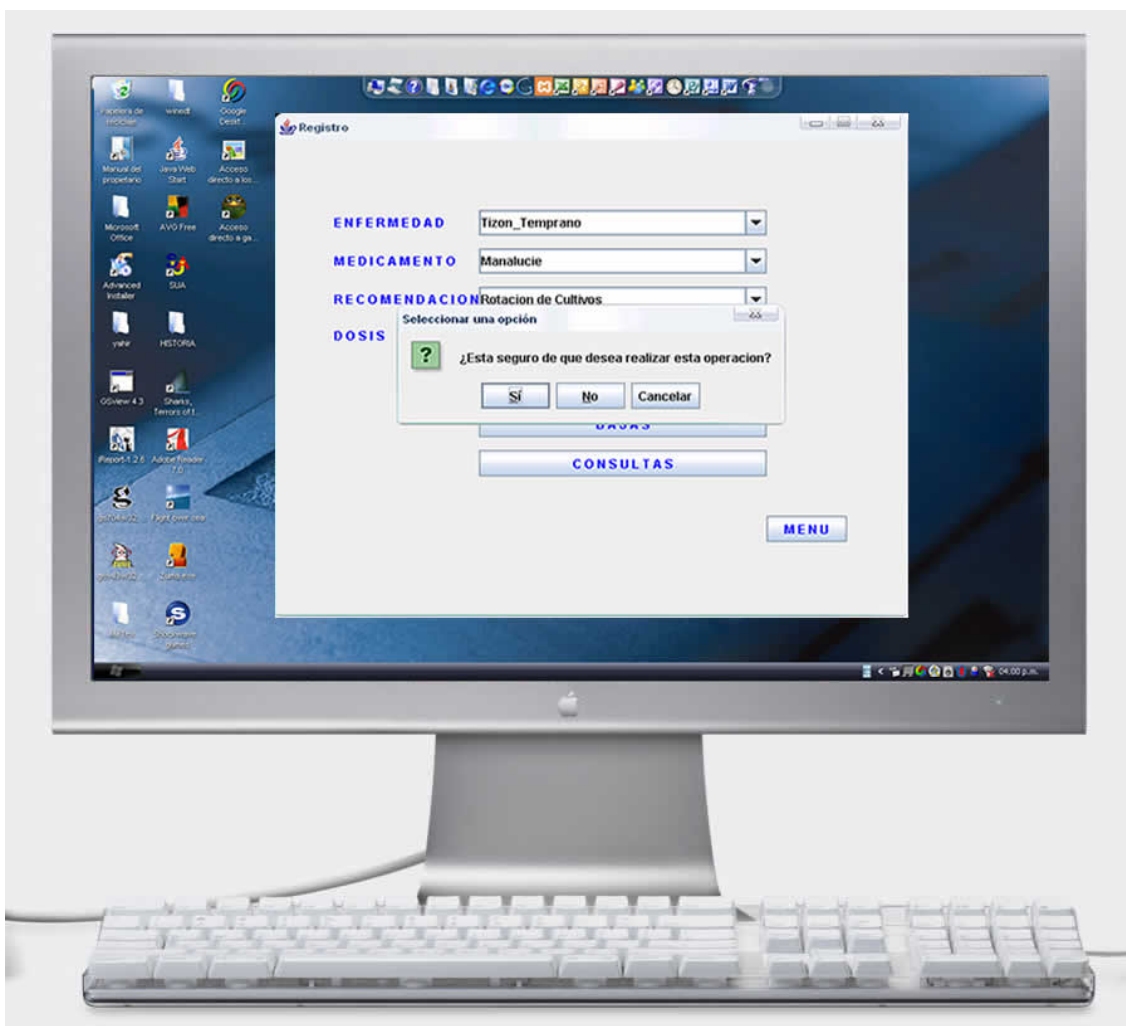


Figura 3.12 Cuadro de Confirmación

Las principales instrucciones que se utilizaron para la elaboración del proceso “ALTAS” son las siguientes:

```

Altas.addActionListener(new ActionListener()
{
public void actionPerformed(ActionEvent e)
{
String Enfermedad = (String) CampoEnfermedad.getSelectedItem();
String Medicamento = (String) CampoMedicamento.getSelectedItem();
String Recomendacion = (String) CampoRecomendacion.getSelectedItem();
String Dosis = CampoDosis.getText();
if(!DarAltas)
{
DarAltas=true;
buscarCoincidencias();
return;
}
Vector[] IdEnfermedad, IdMedicamento, IdRecomendacion;
Invernadero.bdinvernadero.Query("SELECT IdEnfermedad FROM enfermedad WHERE
Enfermedad='"+Enfermedad+"'");
if(!Invernadero.bdinvernadero.esNull())
{
IdEnfermedad = Invernadero.bdinvernadero.getdatos();
JOptionPane.showMessageDialog(null, "Enfermedad Registrada Anteriormente");
}
else
{
Invernadero.bdinvernadero.Insertar("enfermedad","Enfermedad",""+Enfermedad+"");
Invernadero.bdinvernadero.Query("SELECT IdEnfermedad FROM enfermedad WHERE
Enfermedad='"+Enfermedad+"'");
IdEnfermedad = Invernadero.bdinvernadero.getdatos();
CampoEnfermedad.addItem(Enfermedad);
JOptionPane.showMessageDialog(null, "Nueva Enfermedad");
}
Invernadero.bdinvernadero.Query("SELECT IdMedicamento FROM medicamento
WHERE Medicamento='"+Medicamento+"'");
if(!Invernadero.bdinvernadero.esNull())
{
IdMedicamento = Invernadero.bdinvernadero.getdatos();
JOptionPane.showMessageDialog(null, "Medicamento registrado anteriormente");
}
else
{
Invernadero.bdinvernadero.Insertar("medicamento","Medicamento,Dosis",""+Medicamento+" "+Dosis+"");
Invernadero.bdinvernadero.Query("SELECT IdMedicamento FROM medicamento WHERE
Medicamento='"+Medicamento+"'");
IdMedicamento = Invernadero.bdinvernadero.getdatos();
CampoMedicamento.addItem(Medicamento);
JOptionPane.showMessageDialog(null, "Nuevo Medicamento");
}
Invernadero.bdinvernadero.Query("SELECT IdRecomendacion FROM recomendacion WHERE
Recomendacion='"+Recomendacion+"'");
if(!Invernadero.bdinvernadero.esNull())
{
IdRecomendacion = Invernadero.bdinvernadero.getdatos();
JOptionPane.showMessageDialog(null, "Recomendacion registrada anteriormente");
}
else
{
Invernadero.bdinvernadero.Insertar("recomendacion","Recomendacion",""+Recomendacion+"");
Invernadero.bdinvernadero.Query("SELECT IdRecomendacion FROM recomendacion WHERE
Recomendacion='"+Recomendacion+"'");
IdRecomendacion = Invernadero.bdinvernadero.getdatos();
CampoRecomendacion.addItem(Recomendacion);
JOptionPane.showMessageDialog(null, "Nueva Recomendacion");
}
Invernadero.bdinvernadero.Insertar("enfrec","IdEnfermedad,IdRecomendacion",""+IdEnfermedad[0].elementAt(0)+" "+IdRecomendacion[0].elementAt(0));
Invernadero.bdinvernadero.Insertar("enfmed","IdEnfermedad,IdMedicamento",""+IdEnfermedad[0].elementAt(0)+" "+IdMedicamento[0].elementAt(0));
DarAltas = false;
Guardado = true;
}
});

```

Si el usuario elige en la pantalla de la figura 3.4 el proceso “BAJAS”, no es necesario dar clic al botón “BAJAS” por lo mencionado anteriormente en la figura 3.6, entonces el usuario desde la pantalla de registro selecciona la Enfermedad que desea dar de baja junto con sus relaciones (mostrándose éste procedimiento en la figura 3.13) y posteriormente se da clic en el botón “BAJAS”.



Figura 3.13 Proceso “BAJAS”

La figura 3.14 muestra el cuadro de confirmación que procede a la acción de dar clic en el botón “BAJAS”, donde el usuario asegura la eliminación de la Enfermedad seleccionada.

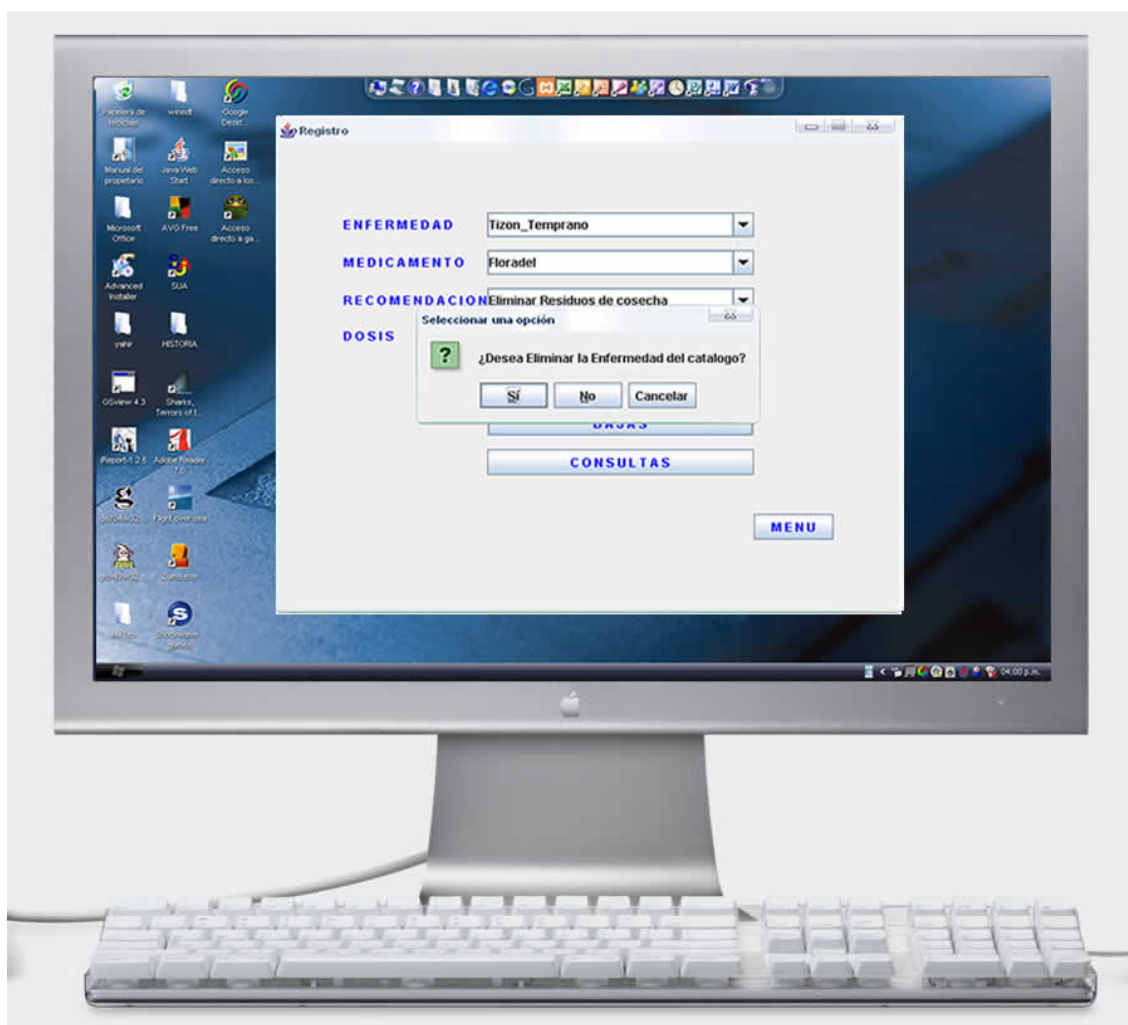


Figura 3.14 Cuadro de confirmación para la eliminación de la Enfermedad

Posteriormente en la figura 3.15 se muestra otro cuadro de confirmación donde el usuario asegura la eliminación del Medicamento seleccionado.

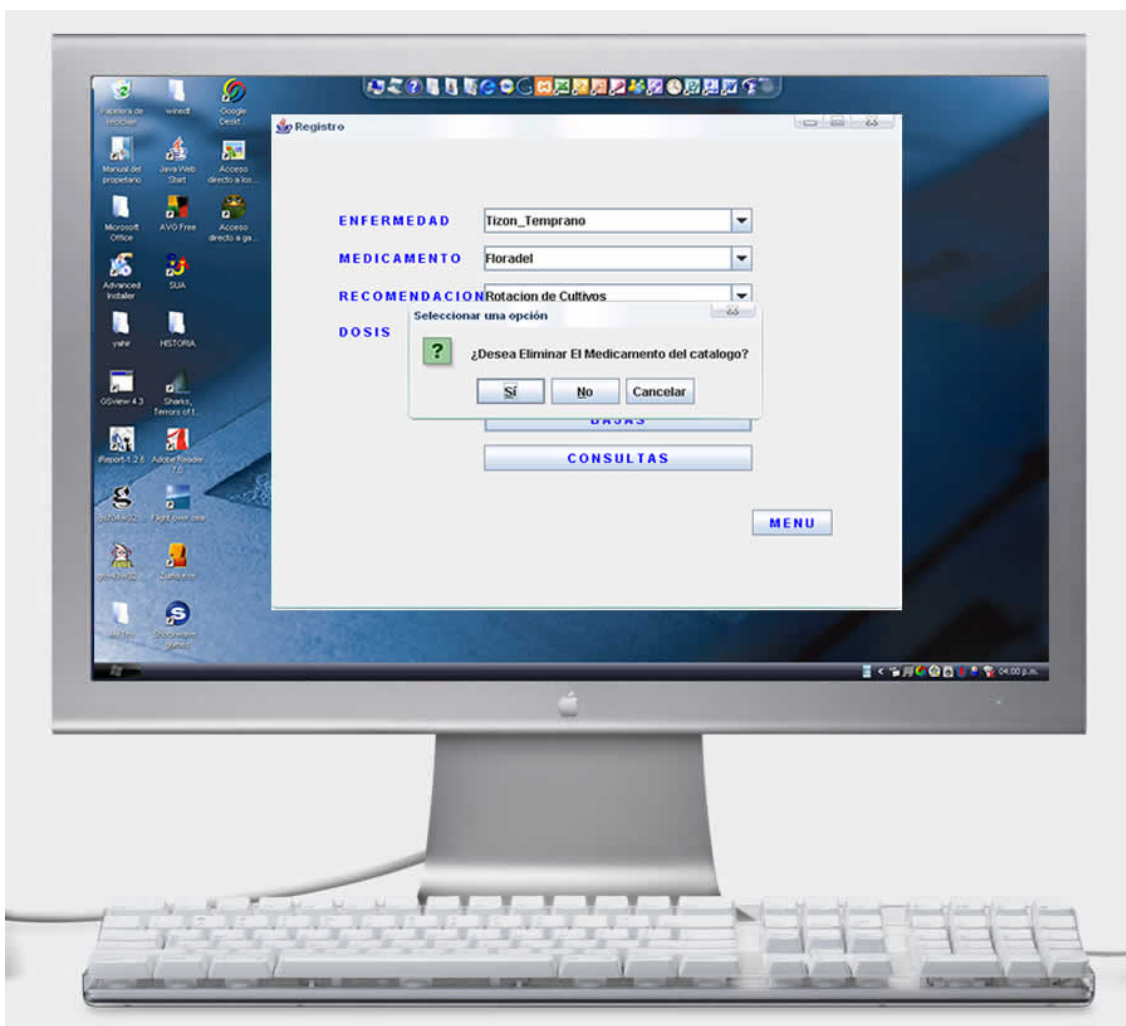


Figura 3.15 Cuadro de confirmación para la eliminación del Medicamento.

A continuación la figura 3.16 muestra otro cuadro de confirmación donde el usuario asegura la eliminación de la Recomendación seleccionada.

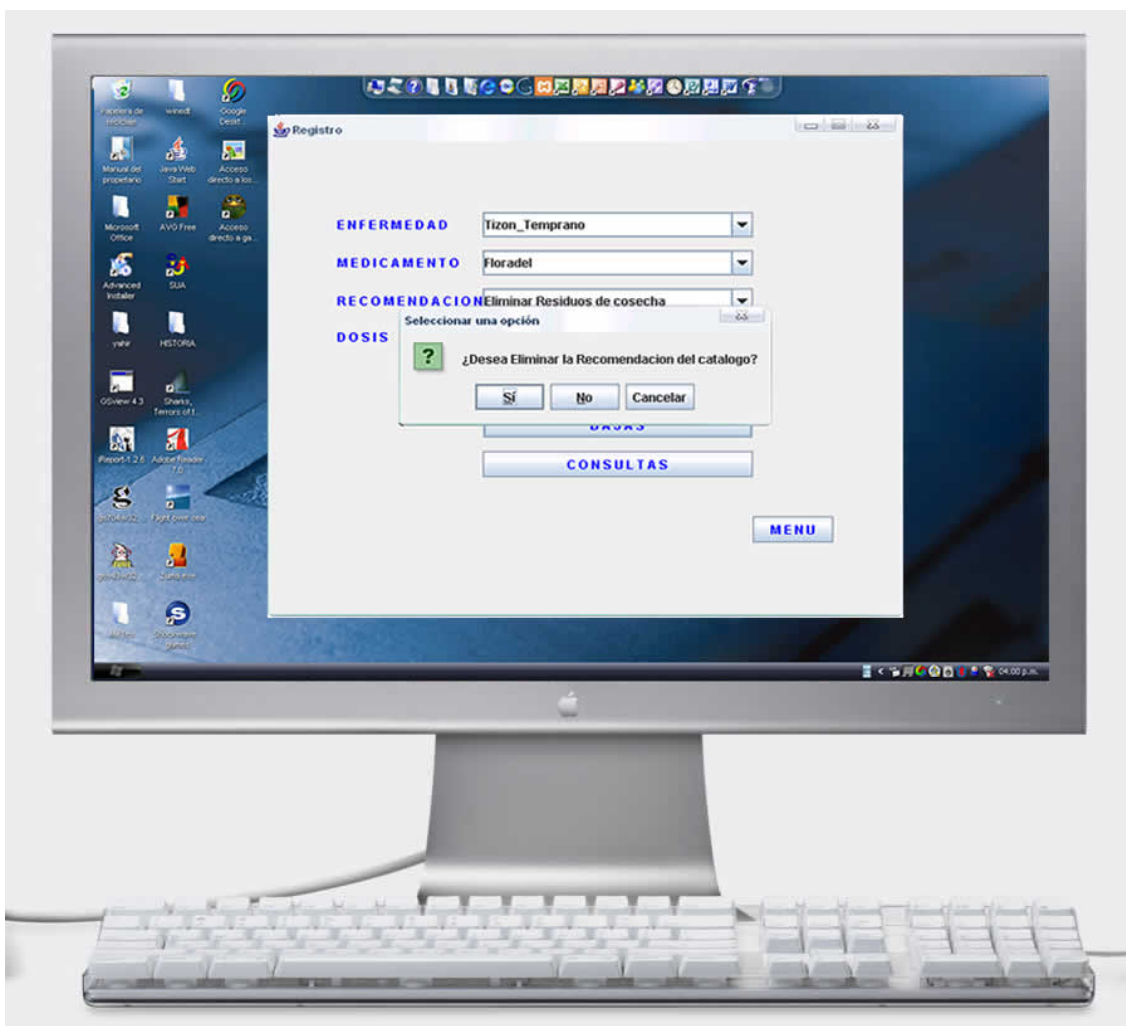


Figura 3.16 Cuadro de confirmación para la eliminación de la Recomendación.

Finalmente la figura 3.17 muestra al usuario el mensaje donde se indica que se ha realizado la eliminación de la relación de las opciones seleccionadas anteriormente por el usuario.

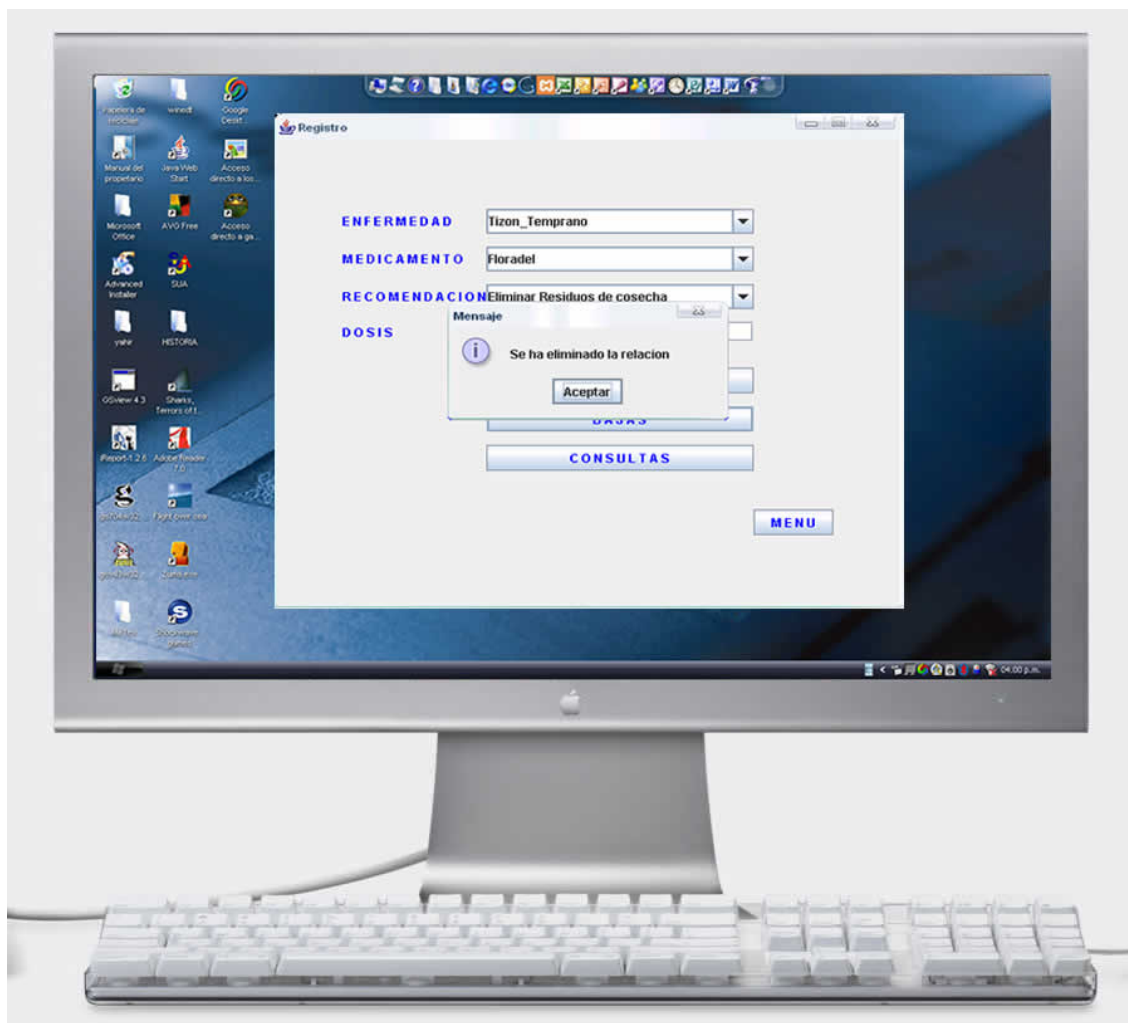


Figura 3.17 Mensaje de eliminación de la relación.

Las principales instrucciones que se utilizaron para la elaboración del proceso “BAJAS” son las siguientes:

```

Bajas.addActionListener(new ActionListener()
{
    public void actionPerformed(ActionEvent evt)
    {
        String Enfermedad = (String) Campo Enfermedad.getSelectedItem();
        if(Enfermedad!=null && !Enfermedad.equals(""))
        {
            String Medicamento =
($String)Campo Medicamento.getSelectedItem();
            String Recomendacion = (String) Campo Recomendacion.getSelectedItem();
            Inve madero.b dinve madero.Query("SELECT Id Enfermedad FROM enfermedad WHERE
Enfermedad="" + Enfermedad + """);
            Vector IdEnfermedad[] = Inve madero.b dinve madero.getdatos();

            if(JOptionPane.showConfirmDialog(null,"¿Desea Eliminar la Enfermedad del
catalogo?")==0)
            Inve madero.b dinve madero.Eliminar("enfermedad","Enfermedad",""" + Enfermedad + """);
            if(JOptionPane.showConfirmDialog(null,"¿Desea Eliminar El Medicamento del
catalogo?")==0)
            Inve madero.b dinve madero.Eliminar("medicamento","Medicamento",""" + Medicamento + """);
            if(JOptionPane.showConfirmDialog(null,"¿Desea Eliminar la Recomendacion del
catalogo?")==0)
            Inve madero.b dinve madero.Eliminar("recomendacion","Recomendacion",""" + Recomendaci
on + """);
            Inve madero.b dinve madero.Eliminar("enfrec","IdEnfermedad",String.valueOf(Long)IdEnf
ermedad[0].elementAt(0));
            Inve madero.b dinve madero.Eliminar("enfmed","IdEnfermedad",String.valueOf(Long)IdEn
fermedad[0].elementAt(0));
            JOptionPane.showMessageDialog(null,"Se ha eliminado la relacion");
        }
    }
});

```

Si el usuario eligió el proceso “CONSULTAS”, entonces se muestran 3 tipos de consultas la primera es la que a continuación se muestra en la figura 3.18, en donde se presentan el Identificador de la Enfermedad (IdEnfermedad) y el Nombre de la Enfermedad (Enfermedad) registradas en el Sistema.



Figura 3.18 Consultas Enfermedades.

La segunda es la que a continuación se muestra en la figura 3.19, en donde se presentan el Identificador del Medicamento (IdMedicamento), el Nombre del Medicamento (Medicamento) y la Dosis por Medicamento (Dosis) registradas en el Sistema.



Figura 3.19 Consultas Medicamentos y Dosis.

Finalmente la tercera es la que a continuación se muestra en la figura 3.20, en donde se presentan el Identificador de la Recomendación (IdRecomendación) y la Recomendación para la Enfermedad (Recomendación) registradas en el Sistema.

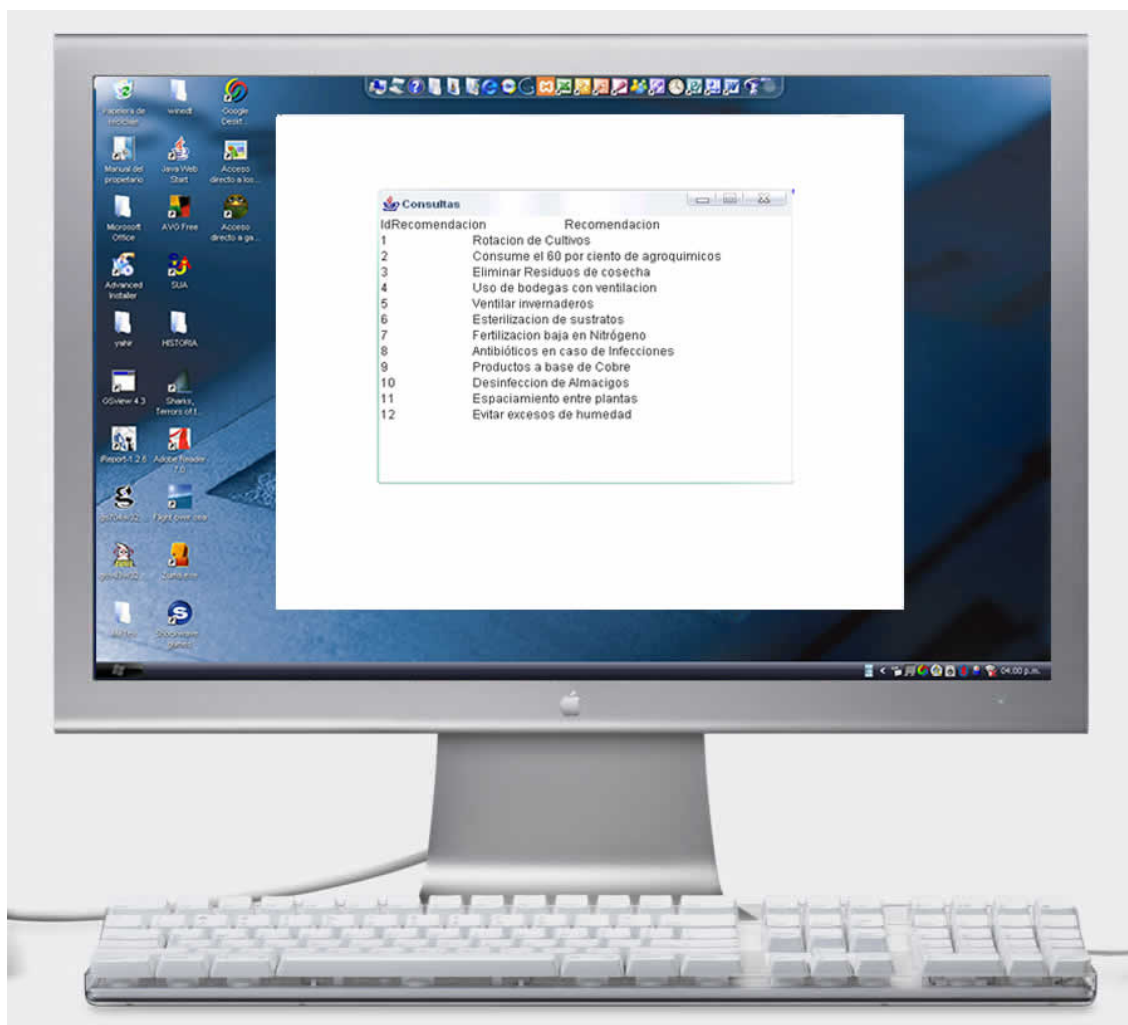


Figura 3.20 Consultas Recomendaciones

Las principales instrucciones que se utilizaron para la elaboración del proceso “CONSULTAS” son las siguientes:

```
Consultas.addActionListener(new ActionListener()
{
    public void actionPerformed(ActionEvent evt)
    {
        Invernadero.bdinvernadero.Consultar("enfermedad");
        Invernadero.bdinvernadero.Consultar("medicamento");
        Invernadero.bdinvernadero.Consultar("recomendacion");
    }
});
```

3.3 CONSULTAS AL SISTEMA EXPERTO

La forma en que se utiliza el Sistema Experto comienza desde que el usuario da clic en Sistema Experto en la pantalla de la figura 3.4, es entonces cuando el Sistema Experto realiza la inferencia y obtiene el resultado con una imagen ilustrativa del mismo para que después el usuario tenga acceso a la opción de obtener el tratamiento de acuerdo al diagnóstico resultante.

A continuación de forma breve y más específica se explica lo anteriormente mencionado.

Si el usuario decidió elegir la opción **Sistema Experto** en el **Menú Principal**, entonces la pantalla que aparece es la mostrada en la figura 3.21.



Figura 3.21 Pantalla Principal Sistema Experto

Para la anterior pantalla se utilizaron las siguientes instrucciones básicas:

```
BorderLayout BorderLayout1 = new BorderLayout();
JMenuBar jMenuBar1 = new JMenuBar();
JMenu FileMenu = new JMenu();
JMenuItem StartMenuItem = new JMenuItem();
JMenuItem ResetMenuItem = new JMenuItem();
JMenuItem ExitMenuItem = new JMenuItem();
JMenu DataMenu = new JMenu();
JMenuItem DefaultsMenuItem = new JMenuItem();
JMenuItem SetValuesMenuItem = new JMenuItem();
JPanel jPanel1 = new JPanel();
JPanel jPanel2 = new JPanel();
JPanel jPanel3 = new JPanel();
JScrollPane jScrollPane1 = new JScrollPane();
JTextArea traceTextArea = new JTextArea();
JRadioButton forwardChainRadioButton = new JRadioButton();
JRadioButton backChainRadioButton = new JRadioButton();
ButtonGroup buttonGroup = new ButtonGroup();
JLabel jLabel1 = new JLabel();
JLabel jLabel2 = new JLabel();
JTextField resultTextField = new JTextField();
FlowLayout flowLayout1 = new FlowLayout();
BorderLayout BorderLayout2 = new BorderLayout();
JMenu HelpMenu = new JMenu();
JMenuItem AboutMenuItem = new JMenuItem();
JMenu RuleBaseMenu = new JMenu();
JRadioButtonMenuItem TomatoesRadioButtonMenuItem = new JRadioButtonMenuItem();
ButtonGroup ruleBaseButtonGroup = new ButtonGroup();
JTextField Meta = new JTextField();
JButton Tratamiento = new JButton();
JButton Salir = new JButton();
Object lameta;
```

La opción que debe elegir como método es Encadenamiento hacia atrás como se muestra en la figura 3.22.

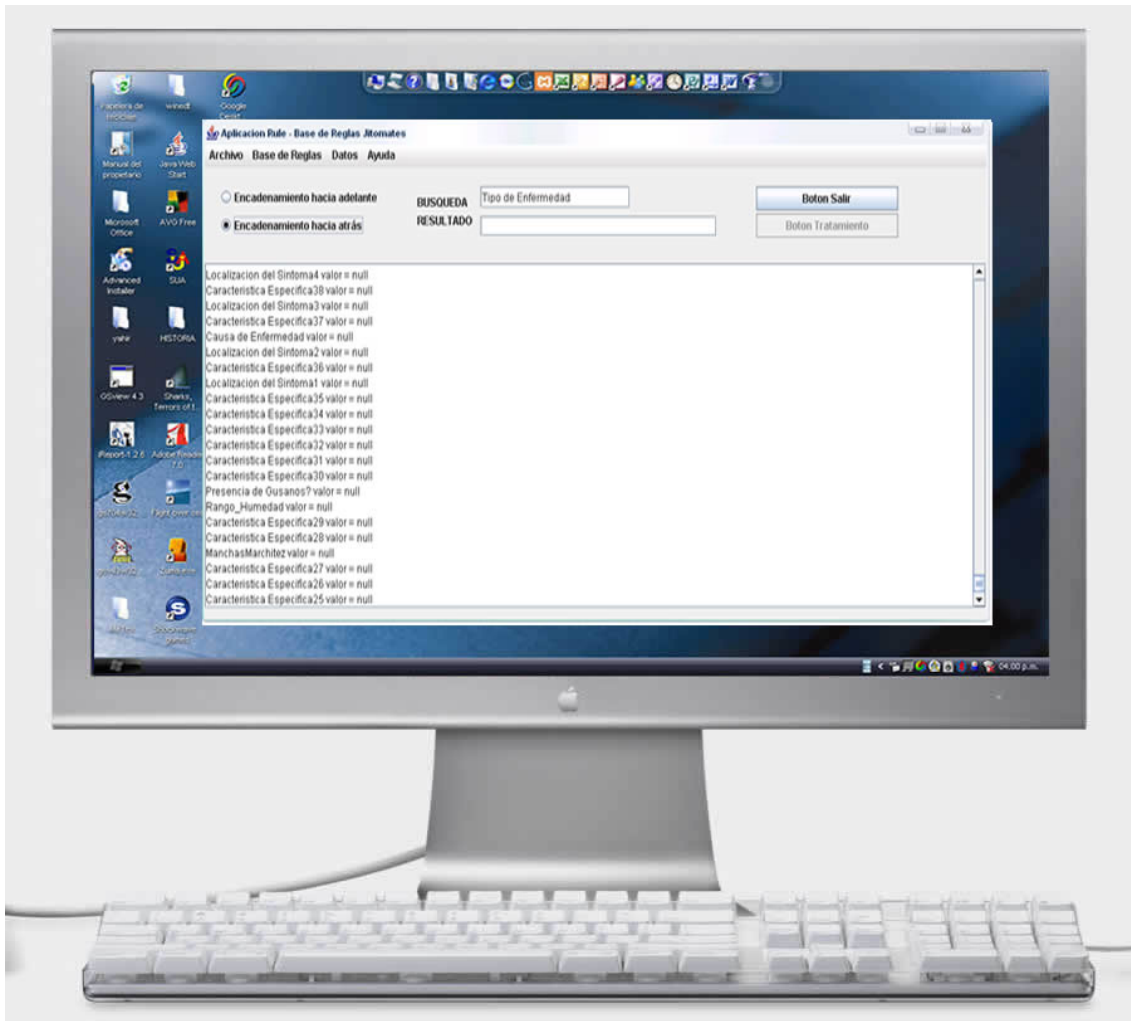


Figura 3.22 Encadenamiento hacia Atrás

Las principales instrucciones que se utilizaron para la elaboración del método “Encadenamiento hacia Atrás” son las siguientes:

```
if (backChainRadioButton.isSelected() == true)
{
    if (currentRuleBase instanceof BooleanRuleBase)
    {
        if (goalVar == null) {
            traceTextArea.append("Goal variable is not defined!"); // give warning
        }
        else
        {
            goal = goalVar.getName();
        }
    }
    currentRuleBase.backwardChain(goal);
}
```

Posteriormente en el menú se selecciona la opción Archivo y después Borrar como se muestra en la figura 3.23.

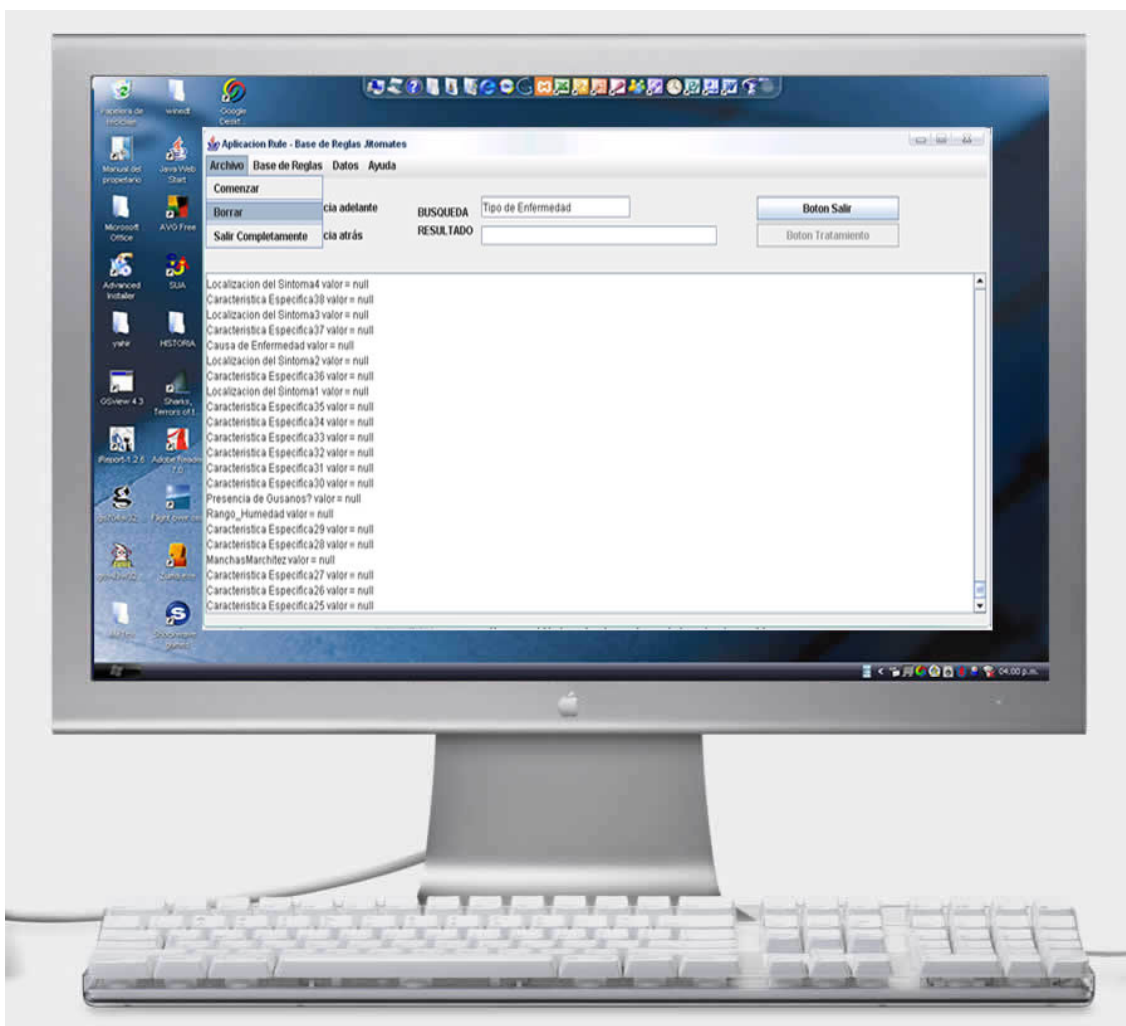


Figura 3.23 Menú-Archivo

Las principales instrucciones que se utilizaron para la elaboración del procedimiento “Archivo-Borrar” son las siguientes:

```
FileMenu.setText(" Archivo");
ResetMenuItem.setText("Borrar");
ResetMenuItem.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener()
{
    public void actionPerformed(ActionEvent e)
    {
        ResetMenuItem_actionPerformed(e);
    }
});
```

En seguida se vuelve a elegir la opción Archivo y se selecciona Comenzar como se muestra en la figura 3.24.



Figura 3.24 Menú-Borrar

Las principales instrucciones que se utilizaron para la elaboración del procedimiento “Archivo-Comenzar” son las siguientes:

```
FileMenu.setText(" Archivo");
StartMenuItem.setText("Comenzar");
StartMenuItem.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener()
{
    public void actionPerformed(ActionEvent e)
    {
        StartMenuItem_actionPerformed(e);
    }
});
```

A continuación se muestra un ejemplo de cómo realiza la inferencia el Sistema Experto dando como resultado la Enfermedad Tizón Temprano.

La figura 3.25 muestra la pantalla del primer valor que se introduce para la inferencia, donde se pregunta al usuario si el VPD es menor a .25 y este elige si como respuesta.

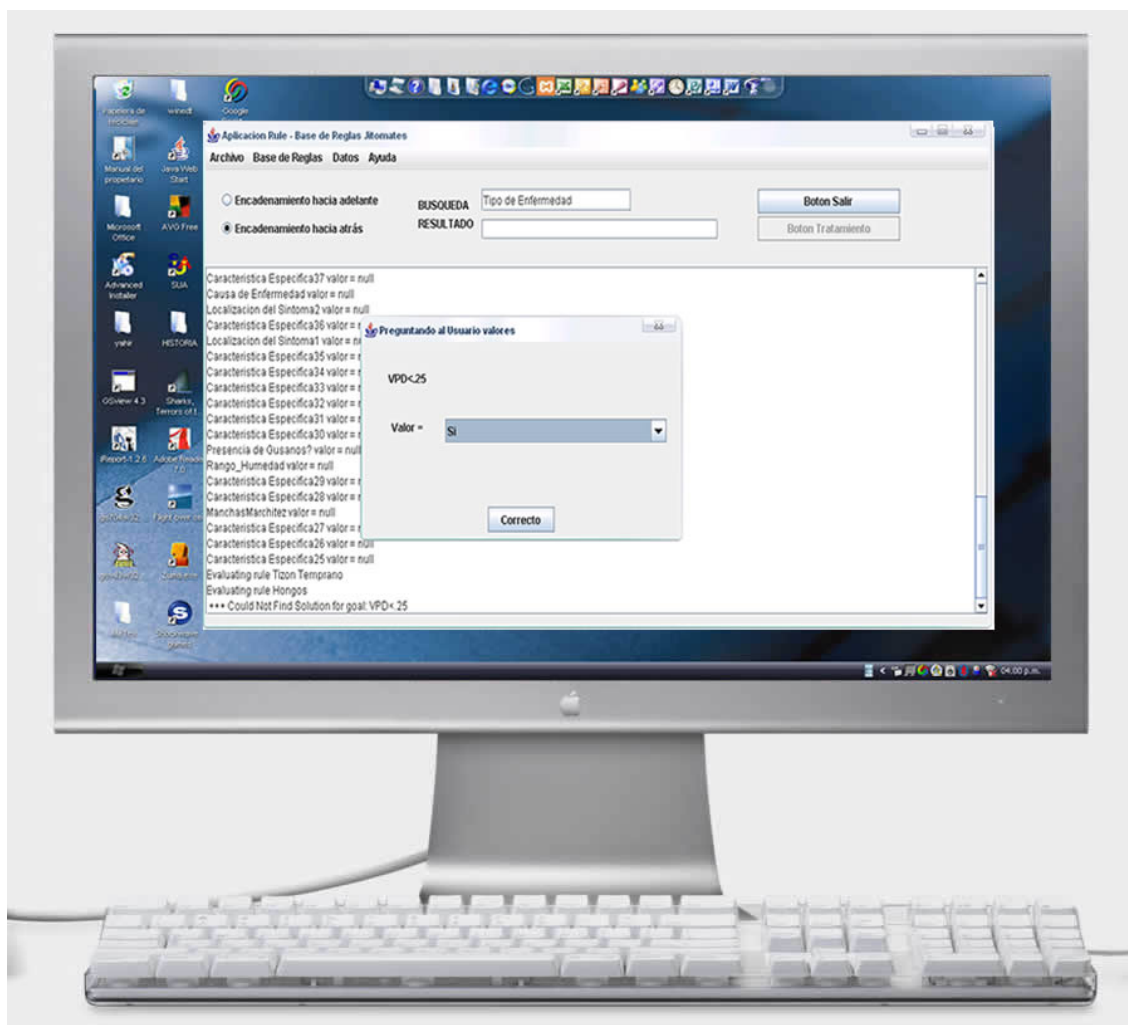


Figura 3.25 Primer valor para la inferencia

La figura 3.26 muestra la pantalla del segundo valor que se introduce para la inferencia, donde se pregunta al usuario si la planta presenta gusanos y éste elige no como respuesta.

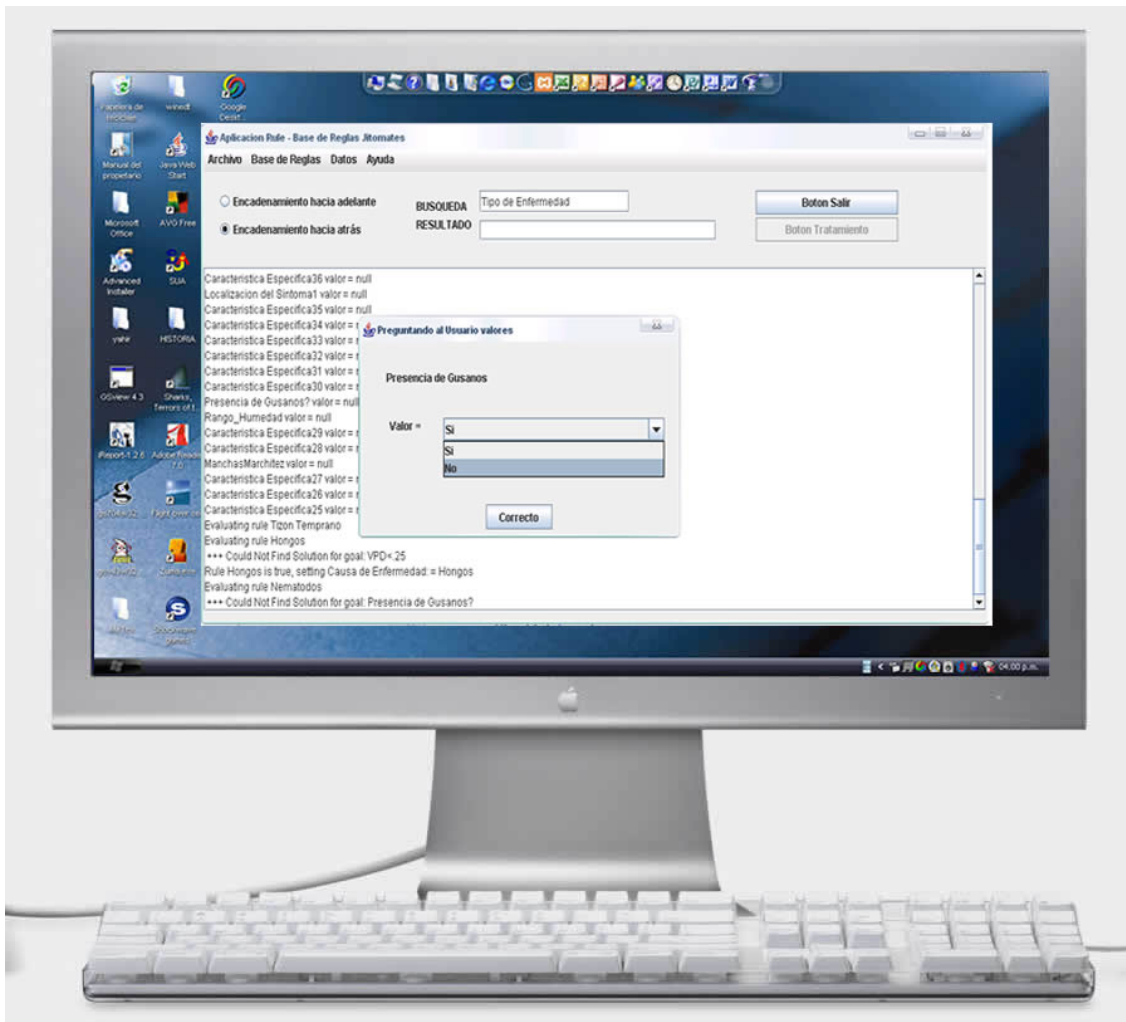


Figura 3.26 Segundo valor para la inferencia

La figura 3.27 muestra la pantalla del tercer valor que se introduce para la inferencia, donde se pregunta al usuario si la planta presenta manchas o marchitez y éste elige no como respuesta.

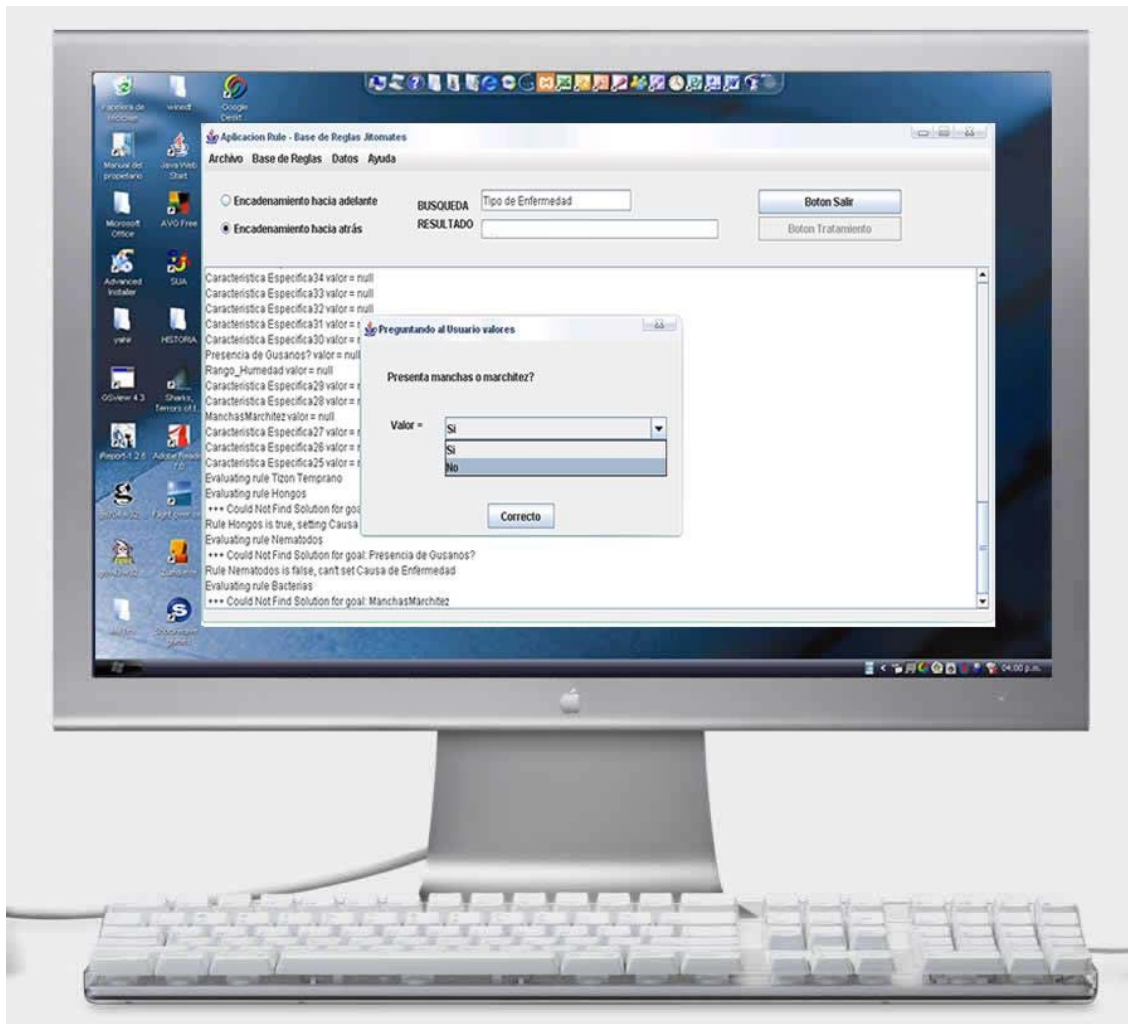


Figura 3.27 Tercer valor para la inferencia

La figura 3.28 muestra la pantalla del cuarto valor que se introduce para la inferencia, donde se pregunta al usuario el rango de Humedad y éste elige 90–100 como respuesta.

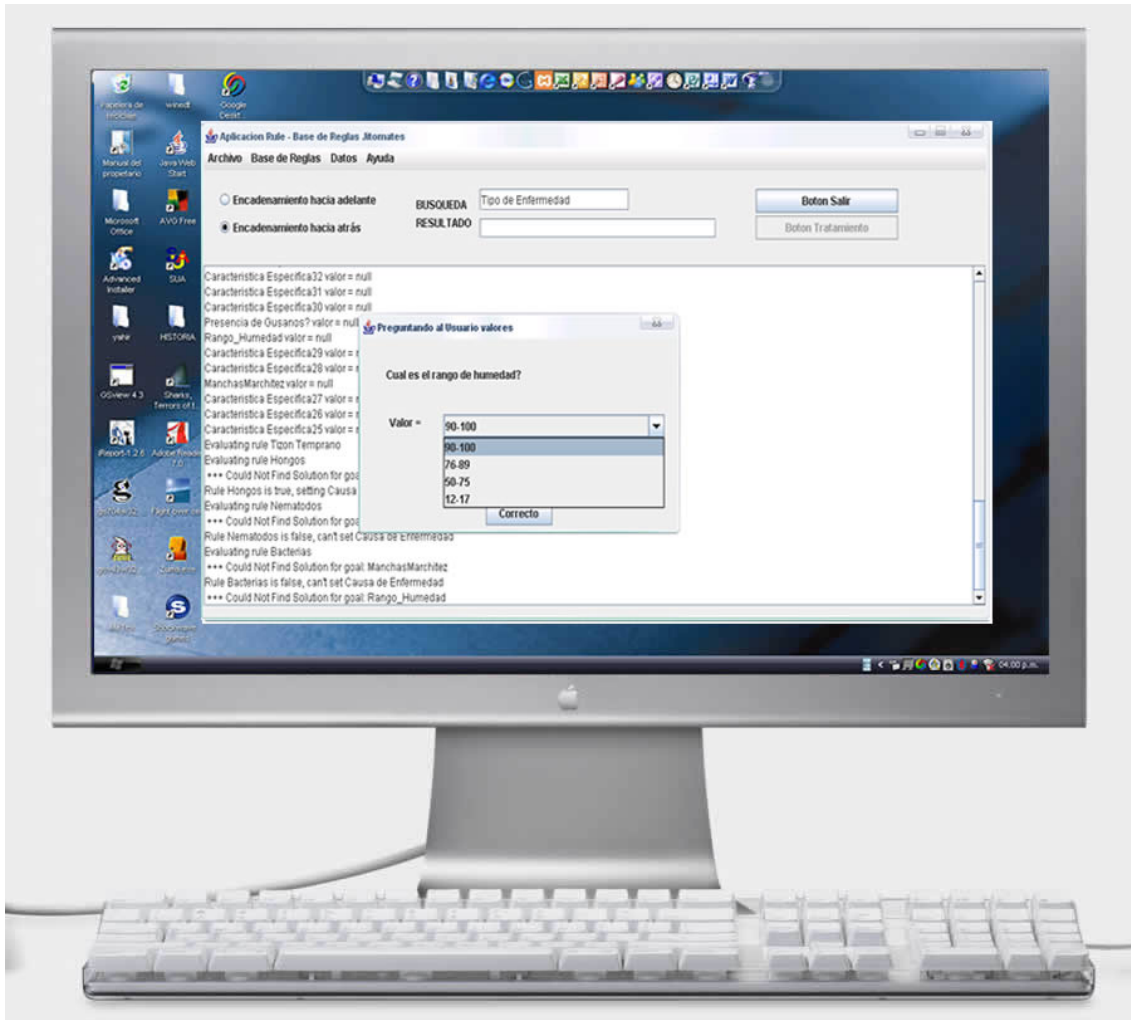


Figura 3.28 Cuarto valor para la inferencia

La figura 3.29 muestra la pantalla del quinto valor que se introduce para la inferencia, donde se pregunta al usuario el rango de Temperatura y éste elige 28–30 como respuesta.

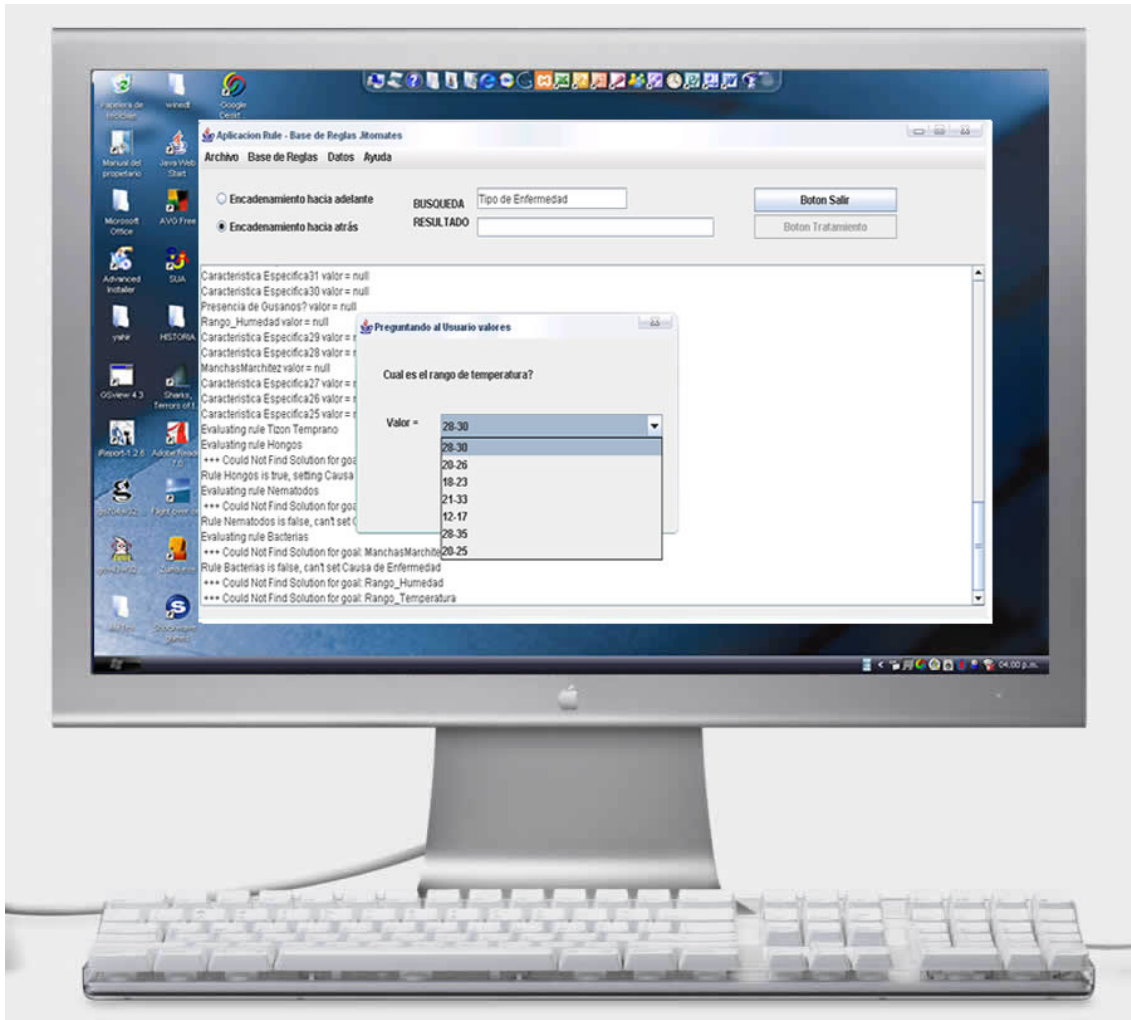


Figura 3.29 Quinto valor para la inferencia

La figura 3.30 muestra la pantalla del sexto valor que se introduce para la inferencia, donde se pregunta al usuario la localización del Síntoma 1 y éste elige Tallo como respuesta.

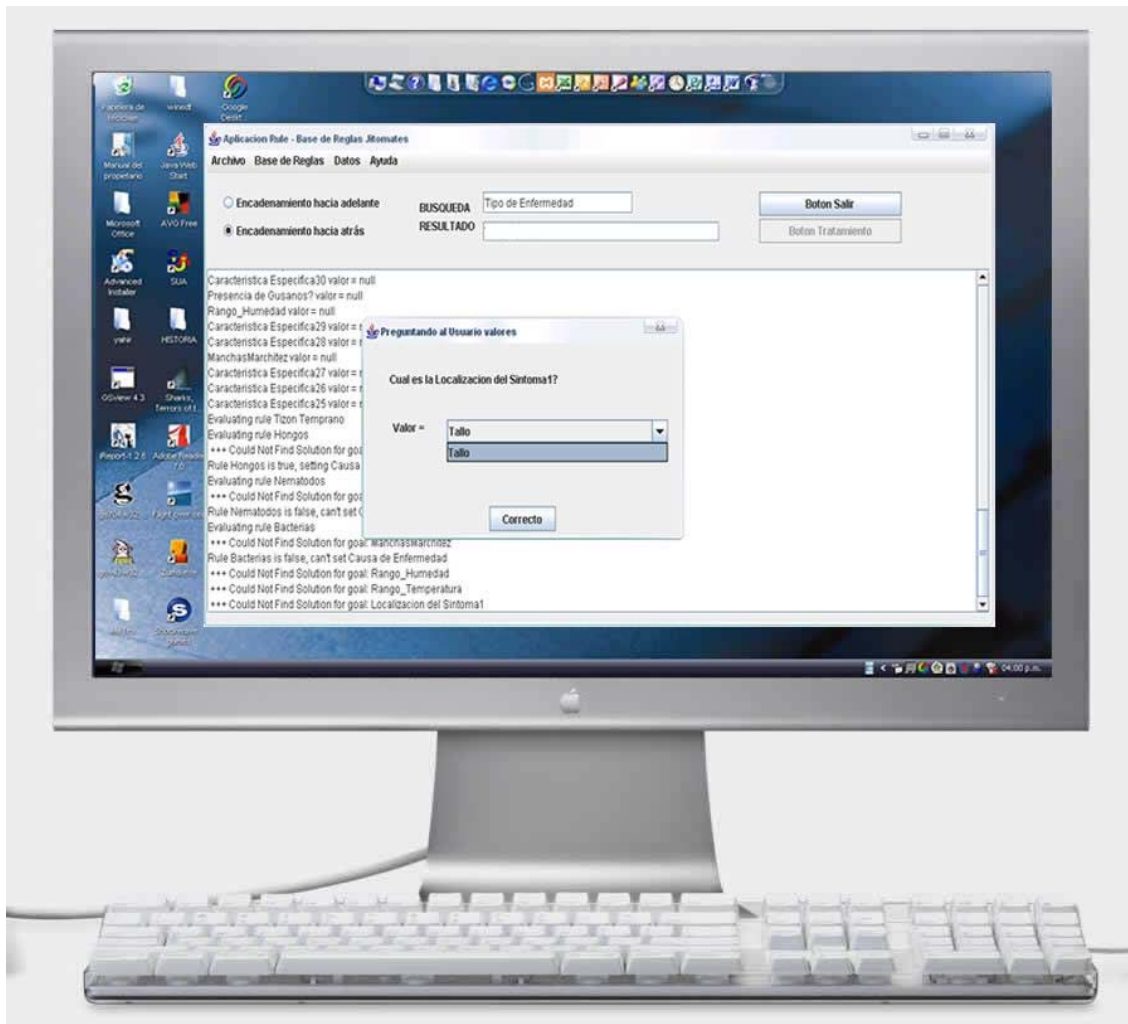


Figura 3.30 Sexto valor para la inferencia

La figura 3.31 muestra la pantalla del séptimo valor que se introduce para la inferencia, donde se pregunta al usuario la localización del Síntoma 2 y éste elige Hojas como respuesta.

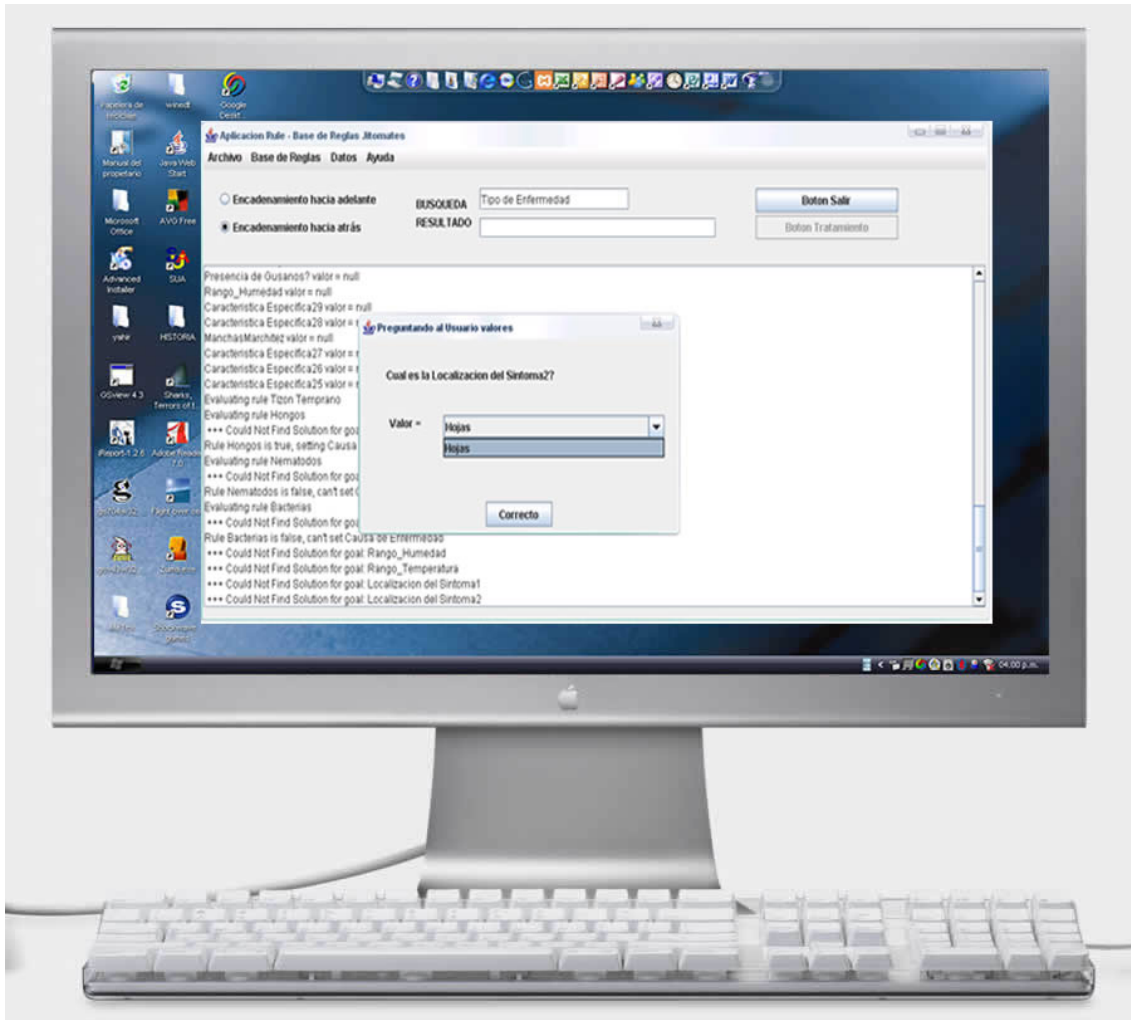


Figura 3.31 Séptimo valor para la inferencia

La figura 3.32 muestra la pantalla del octavo valor que se introduce para la inferencia, donde se pregunta al usuario la localización del Síntoma 3 y éste elige Frutos como respuesta.

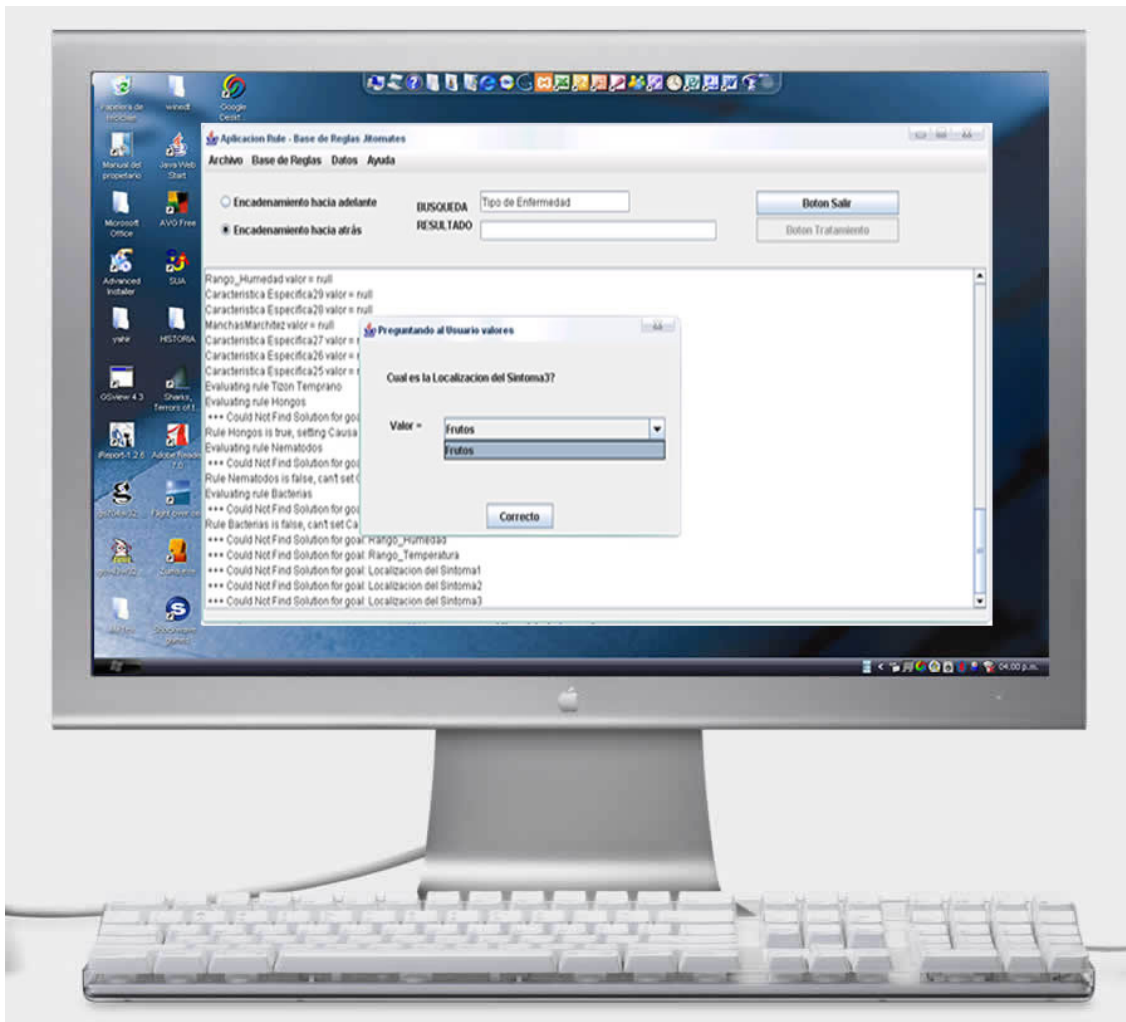


Figura 3.32 Octavo valor para la inferencia

La figura 3.33 muestra la pantalla del noveno valor que se introduce para la inferencia, donde se pregunta al usuario la característica específica 1 y éste elige Inicia en las hojas inferiores (viejas) como respuesta.

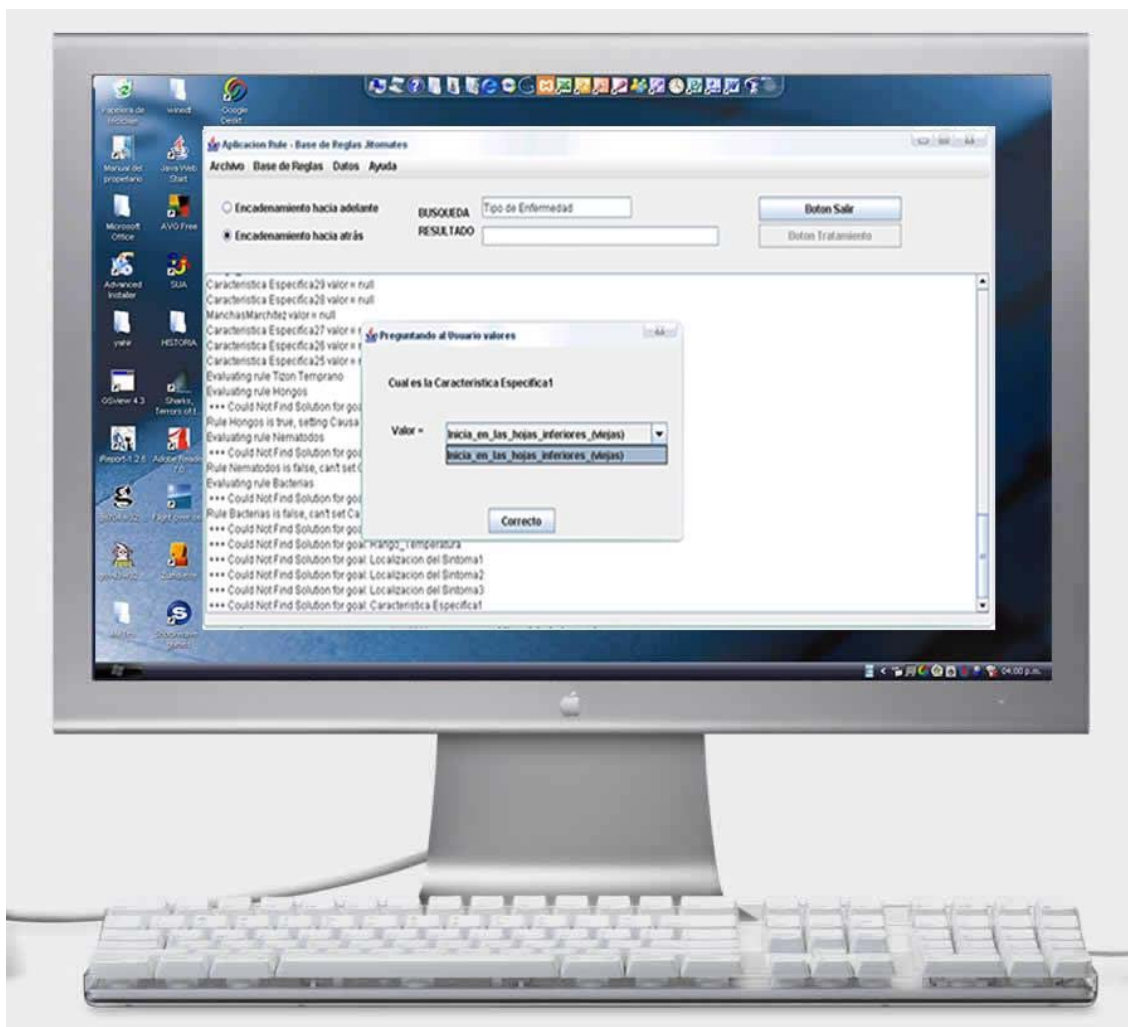


Figura 3.33 Noveno valor para la inferencia

La figura 3.34 muestra la pantalla del décimo valor que se introduce para la inferencia, donde se pregunta al usuario la característica específica 2 y éste elige Lesiones con hundimiento en tallos y frutos como respuesta.

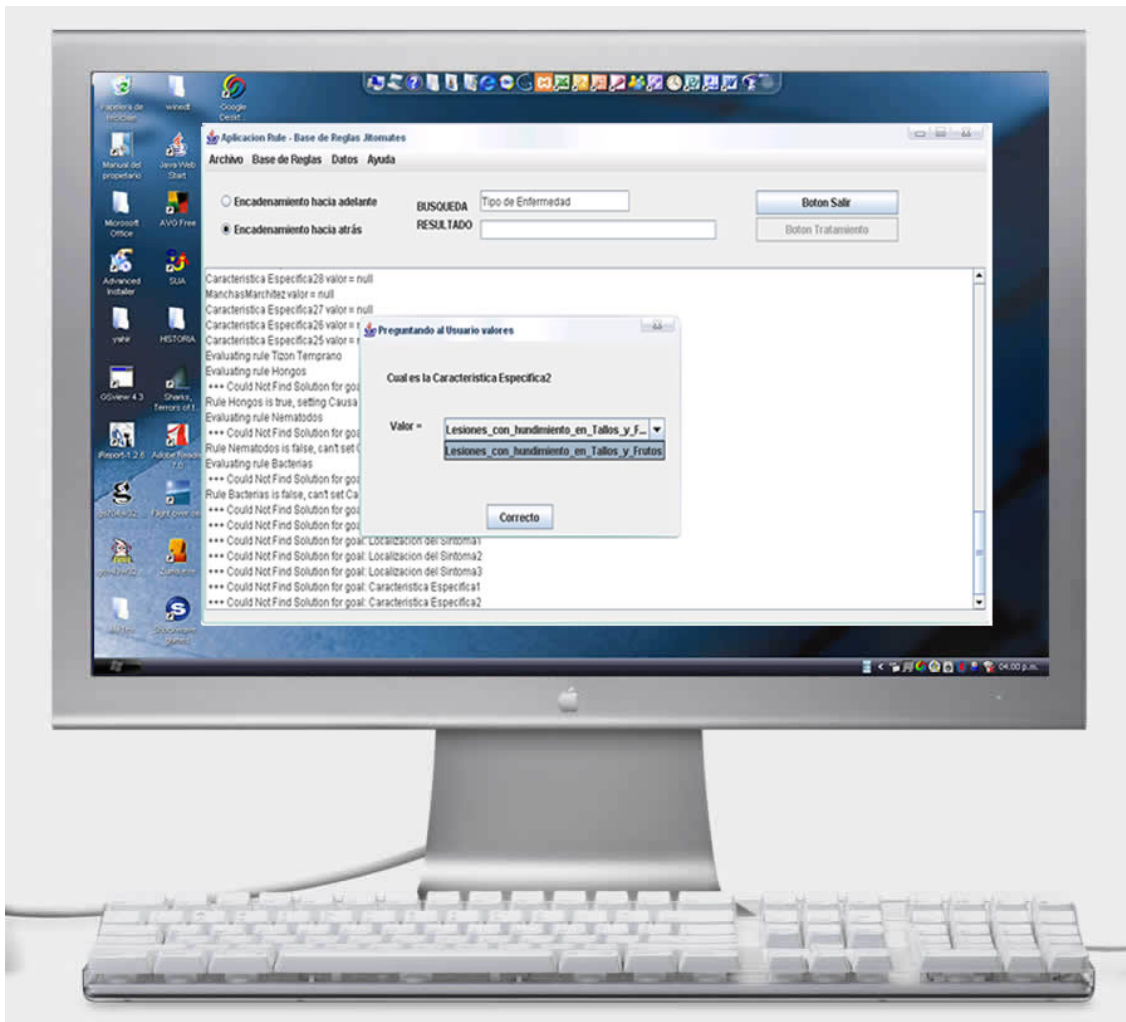


Figura 3.34 Décimo valor para la inferencia

La figura 3.35 muestra la pantalla del decimoprimer valor que se introduce para la inferencia, donde se pregunta al usuario la característica específica 3 y éste elige Necrosamientos en anillos concéntricos como respuesta.

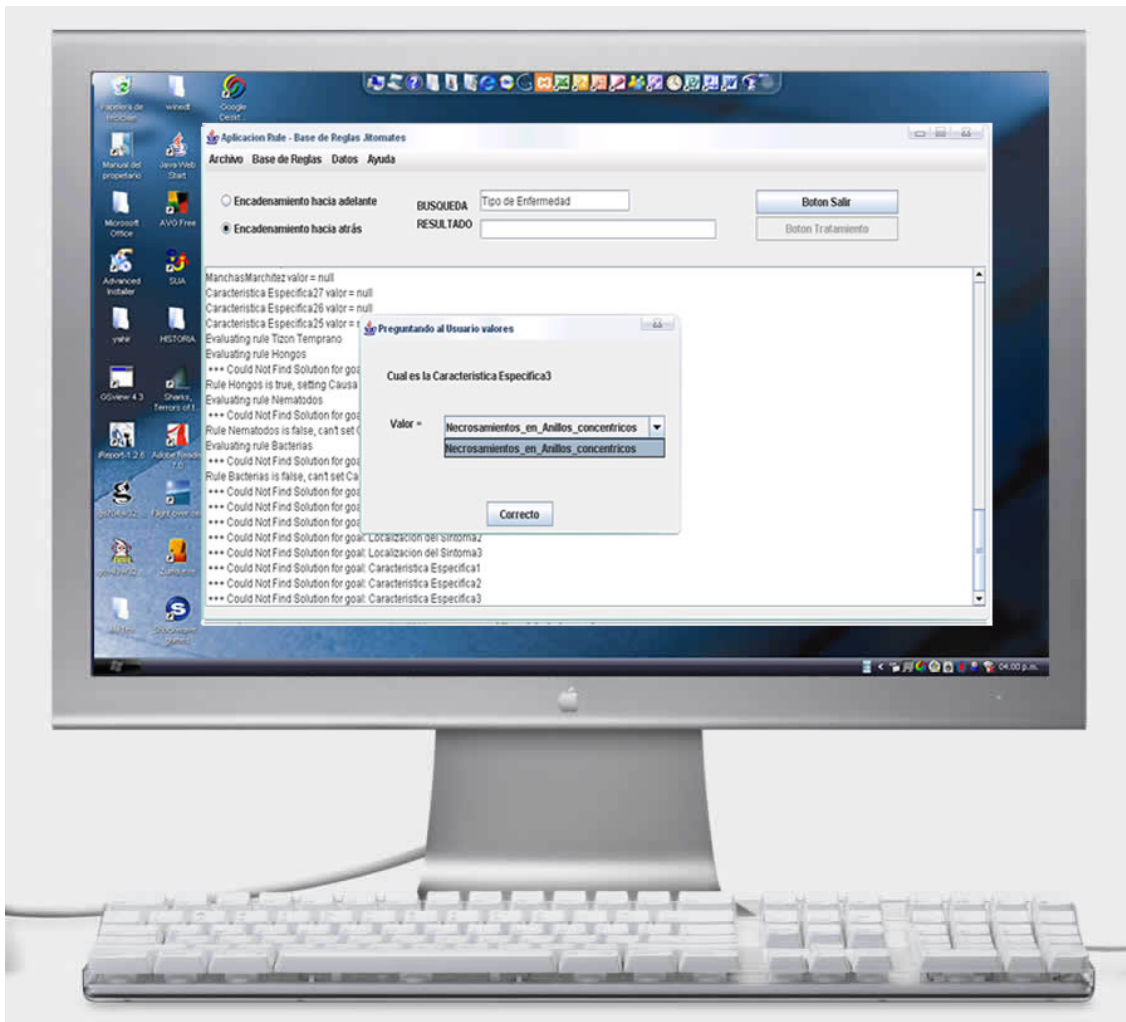


Figura 3.35 DécimoPrimer valor para la inferencia

La figura 3.36 muestra la pantalla del decimosegundo valor que se introduce para la inferencia, donde se pregunta al usuario la característica específica 4 y éste elige Halo amarillento circundando los anillos como respuesta.

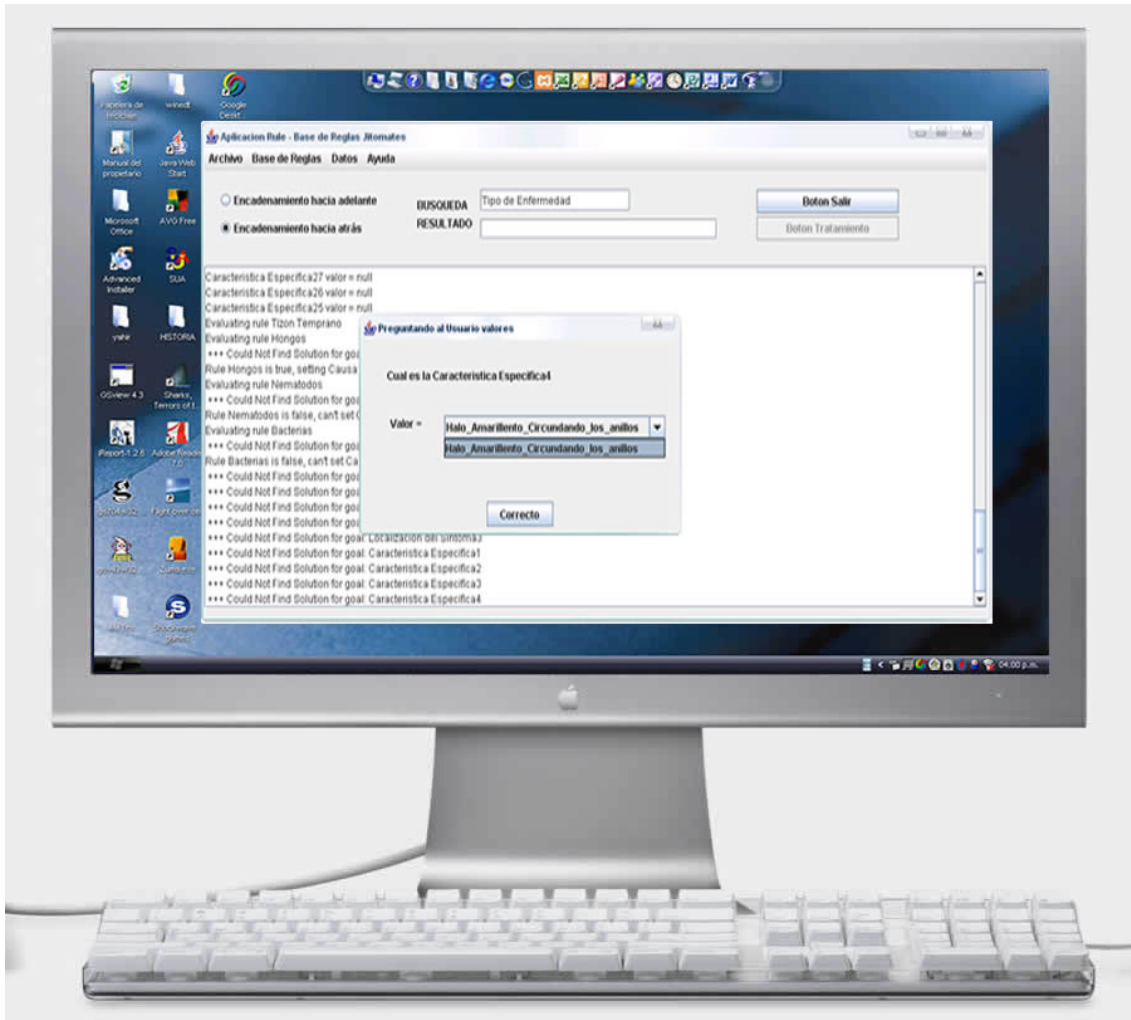


Figura 3.36 DécimoSegundo valor para la inferencia

Las principales instrucciones que se utilizaron para la elaboración de las reglas de la base de conocimientos, para el ejemplo anteriormente expuesto acerca de la Enfermedad “Tizon Temprano son las siguientes:

```
Rule Tizon_Temprano = new Rule(rb, "Tizon Temprano", new Clause[]
{
    new Clause(CE, Igual, "Hongos"),
    new Clause(Rango_Humedad, Igual, "90-100"),
    new Clause(Rango_Temperatura, Igual, "28-30"),
    new Clause(LocSin1, Igual, "Tallo"),
    new Clause(LocSin2, Igual, "Hojas"),
    new Clause(LocSin3, Igual, "Frutos"),
    new Clause(CharacterEsp1, Igual, "Inicia en las hojas inferiores (viejas)"),
    new Clause(CharacterEsp2, Igual, "Lesiones con hundimiento en Tallos y Frutos"),
    new Clause(CharacterEsp3, Igual, "Necrosamientos en Anillos concentricos"),
    new Clause(CharacterEsp4, Igual, "Halo Amarillento Circundando los anillos")
},
new Clause(Tipo_Enf, Igual, "Tizon_Temprano"));
```


La Figura 3.37 muestra el resultado dado por la inferencia realizada por el Sistema Experto, que se ilustra con la imagen de la Enfermedad resultante.



Figura 3.37 Imagen de la Enfermedad resultante

La principal instrucción que se utilizó para generar la imagen del resultado dado por el Sistema (“Tizon Temprano”) es la siguiente:

```
Imagen = Toolkit.getDefaultToolkit().getImage("C:/Temas/"+conclusion+".jpg");
```

La figura 3.38 muestra como al dar clic en el botón aceptar de la imagen anterior se habilita el Botón Tratamiento, desde donde se obtienen los datos guardados pertenecientes a la Enfermedad resultante.

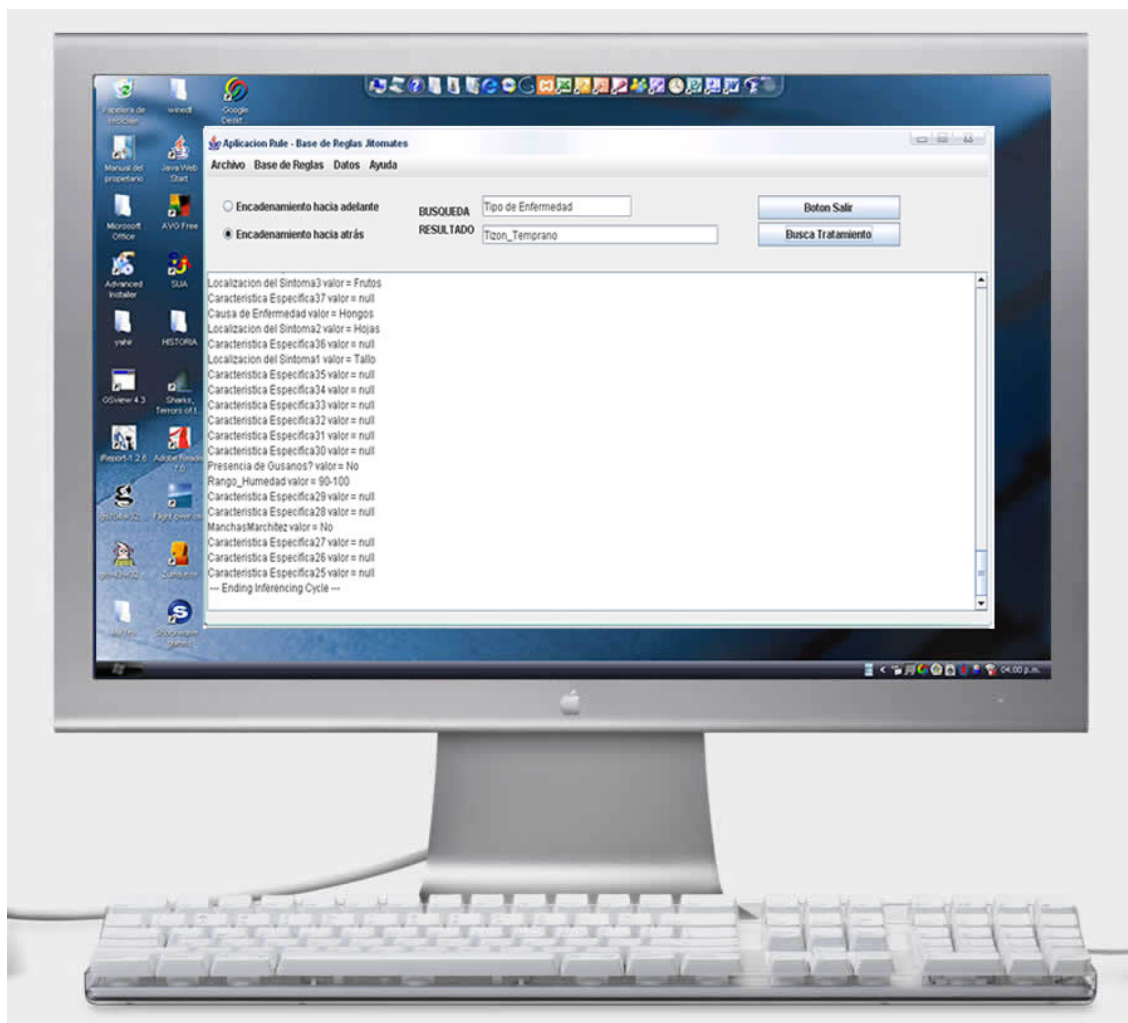


Figura 3.38 Botón Tratamiento habilitado

Las principales instrucciones que se utilizaron para habilitar el “Botón Tratamiento” son las siguientes:

```

if (buttonName=="Aceptar")
{
    System.out.println("Aceptar");
    Tratamiento.setEnabled( true );
    Tratamiento.setText("Busca Tratamiento");
    removeFrame();
}

```

La figura 3.39 muestra la pantalla que se despliega al dar clic al Botón Tratamiento ilustrado en la pantalla anterior, misma que cuenta con el Nombre de la Enfermedad, los Medicamentos y las Dosis con que ésta es tratada y por último las diferentes Recomendaciones que se necesiten para combatir la Enfermedad.

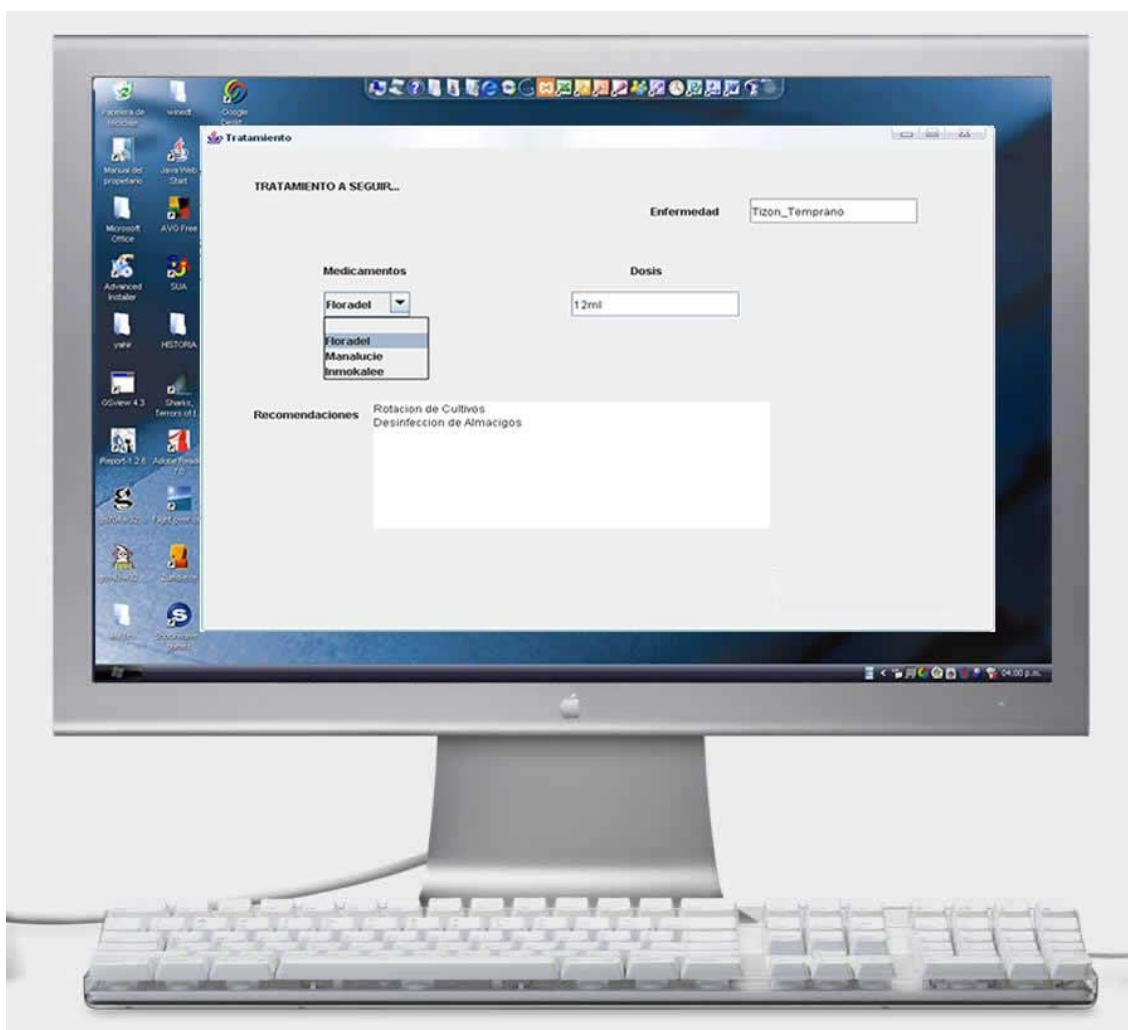


Figura 3.39 Tratamiento a seguir

Las principales instrucciones que se utilizaron para la elaboración del proceso de consulta para la realización de la pantalla anterior son las siguientes:

```

public CatalogoEnfMedRec(String conclusion)
{
    String datos [][]= Invernadero.bdinvernadero.ConsultarTratamiento(conclusion);
    CampoMedicamento.addItem("");
    for(int i=0;i<datos[0].length;i++)
        if(datos[0][i]!=null)
            CampoMedicamento.addItem(datos[0][i]);

    for(int i=0;i<datos[1].length;i++)
        if(datos[1][i]!=null)
            CampoRecomendacion.append(datos[1][i]+"n");

    CampoMedicamento.setSelectedItem(0);

    CampoEnfermedad.setText(conclusion);

    CampoMedicamento.addItemListener(new ItemListener()
    {
        public void itemStateChanged(ItemEvent i)
        {
            if(CampoMedicamento.getSelectedItem()!=null &&
            !(CampoMedicamento.getSelectedItem().equals(""))
            {
                Invernadero.bdinvernadero.Query("SELECT Dosis FROM medicamento WHERE
                Medicamento="+CampoMedicamento.getSelectedItem()+"");

                if(!Invernadero.bdinvernadero.isNull())

                CampoDosis.setText((String)(Invernadero.bdinvernadero.getdatos()[0].elementAt(0)));
                else

                CampoDosis.setText("");
            }
        }
    });
}

```

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

4.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados al inicio se concluye que al realizar el estudio del Estado del Arte en Sistemas Expertos en general y en particular, aplicados a la agricultura, el análisis, el diseño y la implementación de un Sistema Experto para la ayuda en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades del Jitomate en cultivo hidropónico es de gran utilidad debido a la optimización de procesos de consulta necesarios para evitar riesgos de contagio o pérdidas en las cosechas de los agricultores, así como el beneficio del ahorro económico que representan los tratamientos a tiempo.

Al conocer la importancia de los Sistemas Expertos se analizó la Base de Datos utilizando los Diagramas UML como herramienta principal en dicho proceso debido a la gran utilidad que tienen en la creación de escenarios, secuencias entre otros usos que aportan un mayor entendimiento del caso de estudio, obteniendo lo más importante y descartando lo innecesario, al finalizar la etapa de análisis de la Base de Datos se prosiguió al diseño dando pauta a la realización de su aplicación utilizando el lenguaje java por su eficiencia y sencillez en el diseño de aplicaciones, además por su gran flexibilidad al ser utilizado en plataformas distintas y principalmente para estandarizarlo porque después del análisis y diseño de la Base de Reglas requerida para la elaboración del Sistema Experto se utilizó la herramienta de software Rule que es diseñada con el mismo lenguaje; sin embargo, fue necesario mejorarla debido al idioma inglés en que fue diseñada inicialmente haciéndola versátil y adaptable al idioma español colocándole un botón como relación entre el

Sistema Experto y la Base de Datos, tal que al obtener la Enfermedad sea la misma a la que se le proporcione el tratamiento.

Para facilitar el acceso se recurrió al diseño y construcción de una página Web que además de contener información acerca del sistema proporciona un hipervínculo que permite que el usuario ingrese a la aplicación.

4.2 PROPUESTAS DE TRABAJO FUTURO

- **Mejorar Página**
 - De acuerdo a imágenes presentadas en la página poder acceder a las consultas de tratamientos
 - Inicializar el sistema en la página sin necesidad de recurrir al software de origen, utilizando programación jsp
 - Optimización de los efectos visuales para su fácil accesibilidad y rapidez en la carga de los mismos
 - Adecuar la página para que la utilización del sistema sea solo para procesos de consulta, así el usuario tendrá acceso a los distintos procesos de la base de datos que contiene los diversos tratamientos para las enfermedades
- **Reingeniería de la base de reglas**
 - Debido a que el usuario utiliza lógica difusa en la selección de algunas de sus respuestas de acuerdo a la sintomatología del cultivo es necesario implementar variables lingüísticas usando una combinación de la lógica difusa y la booleana existente en el sistema; para esto, la reingeniería de la base de reglas es una opción óptima
- **Implementación de reconocimiento de patrones**
 - Para comodidad y optimización de procesos la implementación de reconocimiento de patrones es una gran opción, porque la entrada de datos dados por distintos dispositivos puede alertar al personal del invernadero de la existencia de factores que pueden dañar el cultivo o bien, de acuerdo a esos datos realizar los procesos convenientes.

- **Mejora de la aplicación**

- La aplicación fue diseñada en el lenguaje java, el cual ofrece grandes ventajas a nivel diseño visual y de programación, sin embargo es necesario realizar un ambiente mucho más amigable para el usuario mejorando la aplicación existente

El Principal resultado del Proyecto fue la creación de un Sistema capaz de realizar el análisis sintomatológico necesario para la detección de la posible Enfermedad en el cultivo, así como el diagnóstico y tratamiento otorgado al mismo. Una página Web cuya función es la de difundir información del Sistema a través de un medio que garantiza la accesibilidad las 24hrs del día desde cualquier parte del mundo donde exista el servicio de Internet, desde el momento en que se hospede.

4.3 LIMITACIONES DEL SISTEMA

Las limitaciones del Sistema son las siguientes:

- El Sistema solo se utiliza para cultivos de Jitomate Saladette y bola
- Dado que surgen muy pocas enfermedades del Jitomate en largos periodos, la integración de reglas es directamente desde el código del sistema, sin embargo, para comodidad del usuario la forma de introducir las nuevas reglas desde la aplicación sería un apoyo extra al mismo
- La base de datos del Sistema cuenta con doce de las Enfermedades que existen sobre el cultivo de Jitomates
- La página Web es solo para la consulta de la información y desde un botón de acceso se puede ingresar al Sistema, así que no se encuentra funcionalmente aplicable dentro de la estructura de la página ni hospedada dentro de la red, o registrada con algún dominio

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

ABONO: Sustancia con que se abona la tierra.

APLICACIÓN: Un programa informático que lleva a cabo una función con el objeto de ayudar a un usuario a realizar una determinada actividad.

AMRAPALIKA: Un Sistema Experto para la diagnosis de plagas y enfermedades en el mango hindú.

B

BASE DE CONOCIMIENTOS: Se aloja la totalidad de la información específica relativa al campo deseado, se representa, en general, mediante reglas de producción.

BASE DE DATOS: Conjunto de registros cuantitativos y/o cualitativos interrelacionados que se almacenan con objeto de satisfacer las necesidades del proceso de información en una organización. El término implica más de un archivo integrado, utilizado para muchas aplicaciones de procesamiento. La base de datos permite incluir información nueva o modificar la existente, eliminando toda posibilidad de redundancia e inconsistencias, además de que posibilita compartir la información y mejorar los controles sobre la misma.

C

CLASE: Grupo de elementos de un conjunto que tiene características comunes.

CPEST: Un sistema experto para la detección y control de parásitos y enfermedades en la industria jamaicana del café.

CLASE RULE: La clase **Rule** se utiliza para definir una simple regla y también contiene métodos los cuales soportan el proceso de inferencia.

CONOCIMIENTO: El Conocimiento se considera como un artículo que puede ser transferido entre personas y sistemas en vez de una propiedad inherente como lo es la inteligencia. El conocimiento es la Información acerca del mundo la cual permite a un SE tomar decisiones.

D

DIAGNÓSTICO: Proceso que se realiza en un objeto determinado, generalmente para solucionar un problema.

DIAGRAMA DE CASOS DE USO: Los diagramas de caso de uso son uno de los cinco tipos de diagramas en UML para modelar aspectos dinámicos de sistemas, describen la funcionalidad propuesta del nuevo sistema, representando de forma discreta la interacción entre un usuario y el sistema.

DIAGRAMA DE CLASES: Un Diagrama de Clases es una colección de elementos (estáticos) declarativos de un modelo, tales como, clases, interfaces, y sus relaciones, conectados como un grafo entre si y con sus contenidos.

DIAGRAMA DE SECUENCIAS: Contribuye a la descripción de la interacción entre distintos objetos de un Sistema, generalmente de distintas clases.

E

ENFERMEDAD EN PLANTAS: Alteración en la fisiología de las plantas.

ESTRUCTURACIÓN: Articular, distribuir, ordenar las partes de un conjunto.

ESPECTRO REDUCIDO: Antimicrobianos que se utilizan para tratar infecciones de forma limitada.

ESPORANGIOS: Estructura formadora de esporas, de origen sexual o asexual.

F

FRUTO: En las plantas angiospermas, el **fruto** proviene del ovario de la flor tras ser fecundado. La pared del ovario se transforma en pared del fruto y se denomina pericarpio. La función del pericarpio es proteger a la semilla.

FUNGICIDA: Sustancia que destruye los hongos.

H

HAUSTORIO: Proyección de una célula o tejido que actúa como dispositivo de penetración y absorción.

HERBICIDA: Producto químico que combate las malezas.

HERRAMIENTA DE SOFTWARE: Es un paquete de software el cual proporciona facilidades de ayuda en el desarrollo de un sistema experto.

HIDROPONÍA: La hidroponía es el arte de cultivar las plantas en el agua. La palabra viene del griego "hydro = agua" y "ponos = trabajo".

HOJAS: Es una estructura o un órgano de las plantas especializado para la fotosíntesis.

HOMOLOGACIÓN: Acción y efecto de equiparar, registrar y poner en relación de igualdad objetos, hechos, organismos, etc., a través de una autoridad y con arreglo a ciertas normas o características.

I

INTERFAZ DE USUARIO: Es la parte que permite la comunicación con el usuario, en forma bidireccional (ambos lados).

INTERFAZ DE ADQUISICIÓN: Esta interfaz permite la adquisición del conocimiento del dominio.

INVERNADERO: Lugar cubierto donde se cultivan plantas delicadas para protegerlas del frío y la intemperie.

J

JITOMATE: (*Solanum lycopersicum*) es una fruta, fruto de la tomatara, una planta de la familia de las solanáceas.

L

LENGUAJE JAVA: Es un lenguaje de programación que ofrece la potencia del diseño orientado a objetos con una sintaxis fácilmente accesible y un entorno robusto y agradable.

M

MENÚ: Lista de funciones opcionales dentro de un determinado programa que aparecen en la pantalla de una computadora.

MÉTODO: Proceso o camino sistemático establecido para realizar una tarea o trabajo con el fin de alcanzar un objetivo predeterminado.

MOTOR DE INFERENCIA: Es un programa que, mediante el empleo de los conocimientos puede resolver el problema que está especificado, resolviéndolo gracias a los datos que contiene la base de hechos del sistema experto.

N

NECROSAMIENTO: Reacción donde una planta se torna color marrón debido a una infección causada por un virus.

NIVEL DE ESTRUCTURACIÓN: Este mecanismo varía según el campo al que se aplique el sistema experto, ya que las evidencias asociadas a cada campo no son idénticas.

NIVEL CONCEPTUAL: nivel que determina el conjunto de los conceptos que emplea el experto humano en la materia.

NIVEL COGNOSCITIVO: corresponde al conjunto de conocimientos que el experto humano pone en práctica para la resolución del problema planteado.

O

ORDEN POALES: Son un orden de flores monocotiledóneas, que incluyen pastos y sus parientes.

P

PATOGENO: Cualquier microorganismo capaz de producir una enfermedad infecciosa.

PLANTAS HERBÁREAS: Plantas que prefieren suelos poco calizos.

R

REGLA: Principio, ley, base. Método de hacer una operación matemática.

RESULTADO: Efecto, consecuencia de un hecho.

S

SISTEMA: Conjunto de procesos o elementos interrelacionados con un medio para formar una totalidad encauzada hacia un objetivo común.

SISTEMA EXPERTO: Una herramienta que tiene la capacidad para entender el conocimiento de un problema específico y utilizar el conocimiento de un dominio inteligentemente para sugerir un camino alternativo de acción.

T

TALLO: El tallo es el órgano aparato vegetativo de las plantas cormofitas que crece en sentido contrario al de la raíz y sirve de sustentáculo a las hojas, flores y frutos.

TÉCNICA: Conjunto de procedimientos o recursos de que se sirve una ciencia o arte.

TRATAMIENTO: Procedimiento empleado en la elaboración de un producto o la solución de determinada situación.

U

USUARIO: Que habitualmente utiliza algo (en este caso, computadoras).

V

VARIABLE: Son "espacios" de memoria en la que se almacena un valor. Se usarán para guardar en memoria los valores numéricos o de cadena de caracteres que nuestro programa necesite.

VARIABLE DE REGLAS: proporciona el soporte necesario para variables usadas en la inferencia.

VENTILAR INVERNADERO: La ventilación es muy importante, tanto para expulsar el aire caliente como para hacer que circule dentro del recinto, a la hora de evitar plagas y enfermedades.

REFERENCIAS

- [1] Alexander, P. 1992. Biología. Prentice Hall. New Jersey.
- [2] Anderlini, Roberto. 1989. El cultivo del tomate. Guías de agricultura y ganadería. Ediciones Creac, Barcelona.
- [3] Baker, J. y Allen, G. 1972. Biología e investigación científica, México, Fondo Educativo Interamericano.
- [4] Bigus. 2002. Construyendo Agentes Inteligentes utilizando Java. Wiley Computer Publishing (Segunda Edición).
- [5] Contreras de Velásquez, N., G.E. Trujillo y Hernández N.A. Moreno. 1987. Bacteriosis en ocumo. Seminario Nacional de Fitopatología.
- [6] Enciclopedia Terranova. 1988. Hidroponía. Terranova Editores.
- [7] G.O.Huterwal. 1996. Hidroponia ¿Cultivo de plantas sin tierra? Ed. Albatros.
- [8] González A. y B. Recio A. 1996. Aplicación de los sistemas expertos en agricultura. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- [9] Gutiérrez, I. 1991. Avances del desarrollo de un sistema para nutrición de cítricos en Cuba. La Habana, Cuba.
- [10] Haugeland, J. 1988. La inteligencia artificial. Siglo Veintiuno, México.
- [11] <http://dev.mysql.com/doc/refman/5.0/en/>
- [12] Huett, D.O. y G. Rose. 1988. Diagnóstico de concentraciones de nitrógeno para el cultivo de Jitomates en la cultura de arena. Ed. Prentice Hall.
- [13] Iglesias, Pilar 1988. El libro del tomate. Alianza Editorial. Madrid.
- [14] Jackson, P. 1990. Introducción a los Sistemas Expertos. Addison-Wesley (2a. edición).
- [15] Kimball, J. 1986. Biología. Addison-Wesley Iberoamericana.
- [16] López, A.G.F. 1978. Técnicas de uso común en el manejo de hongos fitopatógenos. Tesis Profesional. E.N.A. Chapingo. México.

-
- [17] Mansingh, Reichgelt, Muata y Bryson. 2007. CPEST: Un Sistema Experto para el manejo de pestes y enfermedades en la industria del café Jamaicano. Págs. 184–192.
- [18] Maroto, J. 1990. Elementos de Horticultura General. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- [19] Martínez, V., J.M. Núñez, A. Ortiz y A. Cerda. 1994. Cambios en aminoácidos y compuestos de ácidos orgánicos en el Jitomate Ed. Mc-Graw-Hill.
- [20] Marzo 30 y 31 Abril 1. 2006. 5to Curso y Congreso Internacional de Hidroponía. Asociación Mexicana de Hidroponía. Toluca. México.
- [21] Moreno, N.P. 1984. Glosario Botánico Ilustrado. CECOSA. México.
- [22] Newell A., Rosenbloom P. S. Laird J. E., McCarl R. 1991. Un análisis preliminar de la arquitectura SOAR como una base para la inteligencia General. Pág. 47.
- [23] N. Adriana León Quintanar, Julio A. León Quintanar y Sergio A. Romero León. 2000. Enciclopedia Autodidáctica Estudiantil, Editorial Thema, Barcelona España.
- [24] Novara, Juan. 1994. Integración Económica, Comercio Internacional y Medio Ambiente. Argentina.
- [25] Overmire, T. 1992. Biología. Trillas. México.
- [26] Parker, R. 2000. La ciencia de las plantas. Ed. Paraninfo. México.
- [27] Pople H. 1984. Un Sistema Experto experimental para el diagnóstico médico (eds.), The AI Business, MIT Press, Cambridge/Boston/London.
- [28] Prasad, Ranjan y Sinha. 2006. AMRAPALIKA: Un Sistema Experto para el diagnóstico de pestes, enfermedades y desórdenes en el mango Hindú. Págs. 9-21.
- [29] Rodríguez N. 1999. Abonos orgánicos. Formación de sustancias humicas mineralización del nitrógeno. Sección de microbiología, Montecillo. Edo. De México.
- [30] Sánchez, C. 1980. Enfermedades del tomate. Cultivo del tomate para consumo en fresco en el valle de Culiacán. León. INIA-SARH. México.
- [31] Sánchez y Beltrán, J.P. 1990. Sistemas Expertos. Una metodología de programación. Macrobit, México.

- [32] Villaseñor R., J.L. y Espinoza G., F. J. 1998. Catálogo de Malezas de México. Ediciones Científicas Universitarias. México.
- [33] Winston, P. 1992. Inteligencia Artificial. Addison-Wesley (Tercera Edición).
- [34] Z.Guichard, C. Gary, J.J. Loguensee, C.Leonardi. 2006. Tercer taller Internacional en modelos para el crecimiento de plantas y control de lanzamiento en ambientes propicios de invernaderos. Bruselas Bélgica.
- [35] Zendón Gallón Álvaro. 2000. El Lenguaje Unificado de Modelado (UML). Universidad del Cauca. Popayán Colombia.

APÉNDICE A.

MANUAL DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA

1. Instalar la aplicación J2SE Development Kit 5.0 que se encuentra en la carpeta “Aplicaciones” dentro del CD adjunto a la Tesis, siguiendo la metodología de instalación utilizada por Sun Microsystems
 2. Instalar la aplicación MySQL Tools for 5.0 Setup Wizard que se encuentra en la carpeta “Aplicaciones” dentro del CD adjunto a la Tesis
 3. Instalar la aplicación XAMPP 1.5.3a que se encuentra en la carpeta “Aplicaciones” dentro del CD adjunto a la Tesis
 4. Instalar JCreator
 5. Opción del menú de Jcreator (seleccionar)
 - a. Configure
 - b. Options
 - c. JDKProfiles
 - d. Seleccionar JDK versión 1.5.0_07
 - e. Seleccionar Edit
 - f. Ventana JDK Profile
 - g. Add
 - h. Add Archive
 - i. Ruta Archivos de Programa/MySQL/ MySQL Tools for 5.0/Java/lib/mysql-connector-java-3.1.11^a-bin-jar
 6. Copiar carpeta Invernaderos a la carpeta con la siguiente ruta, Archivos de Programa/Xampp/mysql/data
- Copiar conector MySQL a la carpeta con la ruta `java/jre_07/lib/ext`

Especificaciones Técnicas de Instalación (Hardware de Soporte):

- Procesador Intel Pentium III en adelante
- 256 MB en RAM
- Espacio en Disco Duro Disponible: 2 GB
- Windows 2000 Server en Adelante, Red Hat Linux en adelante etc.(Multiplataforma)

Requerimientos Recomendados:

- Procesador Intel Pentium IV a 2.66 Ghz o Core Solo a 1.6 GHz
- 1 GB en RAM
- Windows Xp Professional
- Espacio en Disco Duro Disponible: 4 GB
- Suse Linux 9.0

APÉNDICE B.

MODIFICACIÓN E INCORPORACIÓN DE REGLAS

La manera de llevar a cabo el proceso de modificación e incorporación de reglas es a nivel de programación del sistema, debido a que el usuario que lo utiliza no se dedica a realizar este tipo de procesos, ya que las reglas que se encuentran establecidas en el sistema son generales y con un mínimo grado de error, además las posibles reglas que se pudieran incorporar al año no se presentan en cantidades considerables.

La declaración de las variables que ocupa el sistema se describe a continuación:

```
Rule Variable = new Rule Variable(rb, "Presencia de gusanos?");  
Gusanos.setLabels("Si No");  
Gusanos.setPromptText("Presencia de Gusanos");
```

Se declara la variable de Tipo RuleVariable, se le asignan etiquetas y el texto que va a desplegar en la pantalla de la aplicación para la obtención de los valores necesarios en el funcionamiento del Sistema.

La base de conocimientos se compone de todas las reglas las cuales están constituidas de la siguiente forma:

```
Rule Tizon_Temprano = new Rule(rb, "Tizon Temprano", new Clause[]
{ new Clause(CE, Igual, "Hongos"),
  new Clause(Rango_Humedad, Igual, "90-100"),

  new Clause(Rango_Temperatura, Igual, "28-30"),
  new Clause(LocSint1, Igual, "Tallo"),
  new Clause(LocSint2, Igual, "Hojas"),
  new Clause(LocSint3, Igual, "Frutos"),
  new Clause(CaractEsp1, Igual, "Inicia_en_las_hojas_inferiores_(viejas)"),
  new Clause(CaractEsp2, Igual, "Lesiones_con_hundimiento_en_Tallos_y_Frutos"),
  new Clause(CaractEsp3, Igual, "Necrosamientos_en_Anillos_concentricos"),
  new Clause(CaractEsp4, Igual, "Halo_Amarillento_Circundando_los_anillos")
},
  new Clause(TipoEnf, Igual, "Tizon_Temprano"));
```

A la variable Tizon_Temprano que es de tipo RuleVariable, se le asigna un conjunto de cláusulas con la instrucción new clause [] y las cláusulas son encontradas dentro de las llaves estando constituidas por las palabras reservadas new Clause que se refiere a la nueva clase que se va a agregar a la base de conocimientos para esa enfermedad, seguida por las variables del Sistema Experto y los valores correspondientes a las mismas.