

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“SISTEMA EXPERTO PARA DECISIONES DE RIEGO EN CULTIVOS DE CACAO”

INFORME DE TESINA DE SEMINARIO

Previa a la obtención del título de:

**INGENIERO EN CIENCIAS COMPUTACIONALES ESPECIALIZACIÓN SISTEMAS
TECNOLÓGICOS**

**INGENIERO EN CIENCIAS COMPUTACIONALES ESPECIALIZACIÓN SISTEMAS
TECNOLÓGICOS**

**INGENIERO EN CIENCIAS COMPUTACIONALES ESPECIALIZACIÓN SISTEMAS
MULTIMEDIA**

Presentada por:

ÁNGEL IVÁN BARRAGÁN ARÉVALO

NATHALI CARMEN CAJAMARCA MEJIA

DÉBORA Jael SALAZAR ARMIJO

Santiago de Guayaquil - Ecuador

Año: 2012

AGRADECIMIENTO

Agradezco sin duda alguna a Dios por estar conmigo en los buenos y malos momentos de mi vida.

A mi familia por ser quienes me levantaron en mis momentos más difíciles, en especial a mi madre, quien siempre estuvo pendiente de mis estudios.

A mis compañeros y amigos que estuvieron a mi lado gracias por su apoyo incondicional.

ÁNGEL BARRAGÁN A.

Agradezco a Dios por sus infinitas bendiciones, por brindarme sabiduría y fortaleza en los momentos difíciles y poner en mi camino a personas muy especiales y buenas.

A mis padres que son las personas más importantes de mi vida por siempre apoyarme y aconsejarme en cada uno de los pasos que doy cada día.

A mis compañeros de proyecto por su dedicación y responsabilidad, y a todas las personas que me brindaron su amistad y apoyo durante mi carrera universitaria.

NATHALI CAJAMARCA M.

Agradezco a Dios por su infinito amor, por darme las fuerzas y la inteligencia para poderme superar.

Agradezco a mis padres, por ser mi apoyo incondicional y por enseñarme que todas las metas se pueden lograr siendo constante.

También quiero agradecer a mis compañeros de tesis: Ángel y Nathali, por compartir conmigo este trabajo, que es el fin de nuestros estudios superiores y el comienzo de nuestra vida profesional.

Agradezco a todas las personas que me brindan sus consejos, los cuales siempre están en mi corazón, y de manera muy especial agradezco a todos mis profesores que compartieron desinteresadamente sus conocimientos conmigo.

DÉBORA SALAZAR A.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, mi padre Ángel Barragán López, mi madre Petita Arévalo Adrián, mi hermana Priscilla Barragán Arévalo por ser el pilar fundamental, por su sacrificio inagotable, por inculcarme siempre sus valores y enseñarme que con paciencia y perseverancia se alcanza el éxito.

ÁNGEL BARRAGÁN A.

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres el Ing. Rodolfo Cajamarca y a la Sra. Emperatriz Mejía por su sacrificio y comprensión ellos son mi ejemplo a seguir, a mis hermanas Gina y Carla, a las personas que formaron parte de este gran paso que acabo de dar.

NATHALI CAJAMARCA M.

Dedico este trabajo a mis padres y hermanos que forman parte de mi vida y que comparten conmigo este éxito logrado los cuales han sido mi apoyo para cumplir esta meta importante en mi vida.

A mis amigos, por compartir ideas y sueños y por hacerme sentir querida.

DÉBORA SALAZAR A.

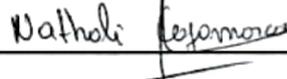
DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Trabajo de Graduación, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la **Escuela Superior Politécnica del Litoral**"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Ángel Iván Barragán A.



Nathali Carmen Cajamarca M.



Débora Jael Salazar A.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El Tribunal de Sustentación se conforma por los señores:

Ing. Indira Nolivos



Ing. Indira Nolivos

PROFESORA DE LA MATERIA DE GRADUACIÓN

El Tribunal de Sustentación se conforma por los señores:

Msc. Vanessa Cedeño



Msc. Vanessa Cedeño

PROFESORA DELEGADA POR EL DECANO DE LA FACULTAD

RESUMEN

El objetivo de este proyecto consiste en el desarrollo de una aplicación web que brinde soporte a los agricultores para llevar a cabo una administración adecuada del riego en plantaciones de cacao, con el propósito de identificar un manejo costo-efectivo.

La aplicación EXPCAC, hace uso de métodos de inteligencia artificial, como son los sistemas expertos para la construcción de un modelo experto que simula el impacto del riego en la producción de cacao utilizando reglas de inferencia.

EXPCAC provee al usuario de una interfaz gráfica de fácil acceso, y sirve como herramienta educativa y de concienciación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido

RESUMEN	I
ÍNDICE DE CONTENIDO	II
ABREVIATURAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABLAS	VI
INTRODUCCIÓN.....	VII
CAPÍTULO 1	1
1. ANÁLISIS CONTEXTUAL	1
Objetivo General.....	1
Objetivos Específicos	1
CAPÍTULO 2	2
2. MATERIALES y MÉTODOS	2
2.1 Herramientas de Desarrollo.....	2
2.1.1 Adobe CS3	3
2.1.2 Flex Builder.....	3
2.1.3 Netbeans	4
2.1.4 CLIPS Lenguaje para Sistemas de Producción Integrada	5
2.2 Sistemas Expertos	8
2.3 Sistema Experto para Toma de Decisiones de Riego en Cultivos de Cacao.....	13
2.3.1 Base de Hechos	14
2.3.2 Base de Conocimiento	17
2.3.3 Variables de Salida	21
2.3.4 Motor de Inferencia (mecanismo de inferencia, algoritmo).	21
2.3.5 Interfaz.....	22
CAPÍTULO 3	29
3. PRUEBAS Y RESULTADOS	29

3.1	Casos de Uso	30
3.1.1	Casos de Uso: Ingresar al Sistema.....	30
3.1.2	Casos de Uso: Modificar Datos.	31
3.1.3	Casos de Uso: Consultar Actividades.	32
3.1.4	Casos de Uso: Ingresar Datos.....	33
3.1.5	Casos de Uso: Seleccionar Datos.	34
3.1.6	Casos de Uso: Arrastrar y Soltar Objetos.....	36
3.1.7	Casos de Uso: Visualizar Animaciones	37
3.1.8	Casos de Uso: Visualizar Resultado.....	38
3.2	Pruebas del Sistema.....	39
3.3	Pruebas con el Experto	44

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

GLOSARIO

ANEXOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREVIATURAS

EXPCAC: Sistema Experto para toma de decisiones de riego en cultivos de cacao.

RIA: Aplicaciones de Internet Enriquecidas (del inglés Rich Internet Applications)

IDE: Entorno de Desarrollo Integrado (del inglés Integrated Development Environment)

API: Interfaz de Programación de Aplicaciones (del inglés Application Programming Interface)

JNI: Interfaz Nativa de Java (del inglés Java Native Interface).

GPL: Licencia pública general del proyecto GNU (del inglés GNU General Public License).

DLL: Biblioteca de Enlace Dinámico (del inglés Dynamic-link library).

COOL: Lenguaje de Cuarta Generación Orientado a Objetos (del inglés Cosmos Object Oriented Language).

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Sistema EXPCAC.....	2
Figura 2.2: Estructura General de CLIPS.....	7
Figura 2.3: Gráfico de Inferencia Modus Ponens.....	11
Figura 2.4: Estructura General del Sistema Experto EXPCAC.....	13
Figura 2.5: Mecanismo de Inferencia.....	22
Figura 2.6: Diseño general de la Interfaz de Usuario.....	23
Figura 2.7: Página Principal de EXPCAC.....	24
Figura 2.8: Acciones que el Usuario Realiza en la Página de Análisis del Sistema.....	26
Figura 2.9: Funcionamiento de la Página de Análisis de EXPCAC.....	27
Figura 2.10: Página de Aprendizaje del EXPCAC.....	28
Figura 3.1: Casos de Uso.....	29
Figura 3.2: Animación de la Primera Prueba.....	39
Figura 3.3: Resultado de la Primera Prueba.....	40
Figura 3.4: Animación de la Segunda Prueba.....	41
Figura 3.5: Resultado de la Segunda Prueba.....	42
Figura 3.6: Prueba con el Experto.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Reglas Básicas.....	18
Tabla 2.2: Reglas Compuestas.....	19
Tabla 3.1: Caso de uso Ingresar al Sistema	30
Tabla 3.2: Caso de uso Modificar datos	31
Tabla 3.3: Caso de uso Consultar Actividades.....	32
Tabla 3.4: Caso de uso Ingresar Datos.....	33
Tabla 3.5: Caso de uso Seleccionar Datos.....	34
Tabla 3.6: Caso de uso Arrastrar y Soltar Objetos.....	35
Tabla 3.7: Caso de uso Visualizar Animaciones.....	36
Tabla 3.8 Caso de uso Visualizar Resultados.....	37
Tabla 3.9: Datos Ingresados para la Primera Prueba.....	38
Tabla 3.10: Datos Ingresados para la Segunda Prueba.....	40
Tabla 3.11: Datos para Pruebas con el Experto.....	44
Tabla 3.12: Resultados de Pruebas con el Experto.....	44

INTRODUCCIÓN

El cacao CCN-51 es una variedad obtenida en el Ecuador. Se caracteriza por la gran productividad de los árboles que superan 4 veces el rendimiento de las variedades clásicas. A partir de él se obtienen chocolates muy finos. Presenta alta tolerancia a las enfermedades y posee un rendimiento de 50 a 60 quintales por hectárea.

El árbol de cacao es de pequeña talla y puede alcanzar 2.5 m de altura; produce aproximadamente 250 mazorcas y se puede realizar hasta dos cosechas al año.

El riego es una labor importante en el proceso productivo del cacao, el cual depende de las condiciones climáticas y de las propiedades físicas del suelo.

El cacao CCN-51 es una planta sensible a la escasez de agua, pero también su exceso asfixia las raíces causando la baja producción y su muerte en poco tiempo.

Muchos agricultores no saben cuándo y durante qué tiempo regar; esta incertidumbre causa que no se aproveche la producción total de un cultivo de cacao. El desarrollo de herramientas computacionales aplicadas a brindar soluciones en materia de agricultura, como las aplicaciones de la Inteligencia Artificial con modelos expertos, facilitan la toma de decisiones en los procesos involucrados en la agricultura.

Los sistemas expertos resuelven problemas complicados, cuya solución requiere de la experiencia humana. Para ello, se simula el proceso de razonamiento humano mediante la aplicación de conocimientos específicos. Estos sistemas expertos representan el conocimiento, la experiencia y las normas; al introducir datos en el ordenador los sistemas expertos interpretan los conocimientos introducidos para resolver problemas al igual que utilizar libros y manuales con la diferencia que estos requieren del ser humano para ser utilizados.

Se los utiliza con éxito en algunas ramas de la ciencia, como la medicina, la geología, la química, la agricultura, la economía, etc.

En la agricultura, las aplicaciones computacionales tienen ciertas limitaciones puesto que, al tener que trabajar con seres vivos, no es posible tener control de todas las variables involucradas: climáticas, ecológicas, etc.; lo que permitiría obtener resultados confiables, que ayuden a fortalecer estrategias y toma de decisiones oportunas para la obtención de productos agrícolas de mejor calidad.

Para desarrollar un sistema que permita tomar mejores decisiones en cuanto a los cultivos de cacao en suelo arcillo-arenoso y sugerir recomendaciones de las mejores prácticas de irrigación, el conocimiento necesario fue adquirido de un ingeniero agrónomo experto en cultivos de cacao, dueño de la granja donde se realizó el estudio, la cual está ubicada cerca de la ciudad de Milagro.

Una vez identificados los factores que intervienen, se procedió a analizarlos convirtiéndolos en variables que sirven como datos de ingreso del usuario para el sistema. Con esta información el sistema realiza el análisis correspondiente,

buscando en la base del conocimiento las reglas que apliquen a estos datos, para darle al usuario una respuesta.

El ambiente web se desarrolló en Netbeans 6.9, las animaciones se realizaron en Adobe Flash Cs3 y Flex Builder, como motor de inferencia se usó CLIPS.

Este documento está compuesto por tres capítulos en los cuales se describe el desarrollo del proyecto.

El capítulo uno contiene un breve resumen del problema a solucionar. Además se mencionan los objetivos principales y específicos del proyecto.

En el capítulo dos se describe los materiales y métodos usados para el desarrollo, el modelo experto del sistema EXPCAC y la descripción de cada uno de sus componentes, también se detallan las reglas que forman parte de la base del conocimiento del modelo y el mecanismo de inferencia usado.

Además se explica cada una de las páginas de la aplicación web y su uso.

En el capítulo tres se detallan las pruebas realizadas y los resultados obtenidos.

Todo esto con el propósito de cumplir con el objetivo general del sistema que es el de prevenir la baja producción y el fracaso del cultivo en la agricultura producido por la falta de agua en los cultivos.

CAPÍTULO 1

1. ANÁLISIS CONTEXTUAL

Objetivo General

El objetivo general del proyecto es desarrollar una aplicación que sea capaz de apoyar a los agricultores en el proceso de toma de decisiones para una irrigación adecuada del cultivo de cacao, que permita un manejo costo-efectivo de la plantación.

Objetivos Específicos

- Construir un modelo experto que sirva como base de conocimiento de la aplicación, para la administración del riego en plantaciones de cacao.
- Desarrollar una aplicación web que integre un sistema experto, el modelo experto y contenidos relacionados con el manejo de riego de plantaciones de cacao a través de una interfaz gráfica amigable al usuario.
- Desarrollar una herramienta de aprendizaje sobre el proceso de riego en los cultivos de cacao.

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES y MÉTODOS

Este capítulo muestra información general del desarrollo del sistema experto EXPCAC, que hace referencia al estudio de toma de decisiones de riego en cultivos de cacao para mejorar el manejo costo-efectivo de una granja.

También se detalla la solución a este estudio lo cual se muestra en la figura 2.1. Donde la entrada principal del sistema son los datos que el usuario ingresa, para luego ser tomados por el sistema experto y ser procesados para mostrar la salida en forma de una recomendación.



Figura 2.1: Sistema EXPCAC

2.1 Herramientas de Desarrollo

A continuación se detallan las herramientas de modelaje y programación empleadas para desarrollar EXPCAC.

La interfaz fue desarrollada en Flex Builder, las animaciones e imágenes se crearon con programas del paquete de Adobe CS3.

Una herramienta utilizada también fue CLIPS que integra las principales estructuras del sistema experto, y para la integración de todo se usó Netbeans.

2.1.1 Adobe CS3

Se aplica en el diseño estructural de productos multimedia, páginas web y también en el desarrollo de aplicaciones informáticas. Disponibles en versiones Mac y Windows.

Debemos mencionar que como el sistema es una página web con propósito de aprendizaje, decidimos usar algunos paquetes de ADOBE PROFESSIONAL CS3 como Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, Adobe FLASH para crear imágenes y animaciones propias del sitio web.

2.1.2 Flex Builder

Adobe Flex Builder 3¹ es una herramienta de desarrollo basada en Eclipse muy productiva que incorpora las siguientes funciones: códigos inteligentes, depuración interactiva estratificada, además del diseño visual del aspecto y comportamiento de la interfaz de usuario de las aplicaciones de Internet sofisticadas (RIA)

El objetivo de Flex es permitir a los desarrolladores de aplicaciones web construir rápida y fácilmente Ricas. En un modelo multi-capas.

¹ <http://www.dosideas.com/noticias/java/483-introduccion-a-flex-3.html>

Flex pone en relieve el desarrollo de Interfaces gráficas de usuario usando un lenguaje XML llamado MXML.

Flex tiene varios componentes y características que aportan funcionalidades tales como Servicios Web, objetos remotos, arrastrar y soltar, columnas ordenables, gráficas, efectos de animación y otras interacciones simples.

Se usó Flex para implementar las funcionalidades de arrastre de íconos en la página de análisis de la aplicación web.

2.1.3 Netbeans

Es un entorno libre de desarrollo integrado (IDE²), hecho principalmente para el lenguaje de programación Java. Existe además un número importante de módulos para extenderlo. Es un producto libre y gratuito sin restricciones de uso.

Esta plataforma permite que las aplicaciones sean desarrolladas a partir de un conjunto de componentes de software llamados módulos. Un módulo es un archivo Java que contiene clases de java escritas para interactuar con las APIs de NetBeans y un archivo especial (manifest file) que lo identifica como módulo. Las aplicaciones construidas a partir de módulos pueden ser extendidas agregándole

² <http://netbeans.org/>

nuevos módulos. Debido a que los módulos pueden ser desarrollados independientemente, las aplicaciones basadas en la plataforma NetBeans pueden ser extendidas fácilmente por otros desarrolladores de software.

En el proyecto Netbeans fue usado como IDE del proyecto debido a los conflictos de interacción que FLEX presentaba con CLIPS y Java fue el lenguaje de programación que se usó.

2.1.4 CLIPS Lenguaje para Sistemas de Producción Integrada

El lenguaje para sistemas de producción integrada (CLIPS) ³es un Shell de sistema experto que permite desarrollar una serie de sistemas especializados como también sistemas aplicativos o genéricos. Una de sus grandes ventajas es su gran portabilidad, debido a que fue desarrollado en el lenguaje C y es posible compilarlo en varias plataformas, incluido los sistemas operativos más utilizados que son LINUX y Windows.

³ <http://clipsrules.sourceforge.net/CLIPSJNIBeta.html>

CLIPS⁴ implementa el algoritmo Rete, que conjuntamente con su medio ambiente de desarrollo permite una gran flexibilidad de formas de interacción tal como se ilustra en la Figura 2.2. De acuerdo con dicha figura CLIPS es un intérprete de líneas de comando que puede ejecutar varios archivos en lote (aplicaciones previamente desarrolladas), o ser utilizado directamente (escribiendo las líneas de comando en el editor de comandos), permite exhibir una salida textual y también permite grabar diferentes archivos: un programa que se desarrolla de manera directa en el editor de pantalla (programa.clp) y/o una base de datos (memoria de trabajo en ese momento).

Cuenta con una sintaxis semejante a LISP, no siendo tan simples para un usuario sin conocimientos previos de programación, pero en cambio es bastante flexible y expansivo. Puede crearse nuevas plantillas, funciones y clases (si se requiere elementos para programación orientada a objetos).

⁴ CLIPS es una herramienta de libre acceso con licencias GPL (General Public License)

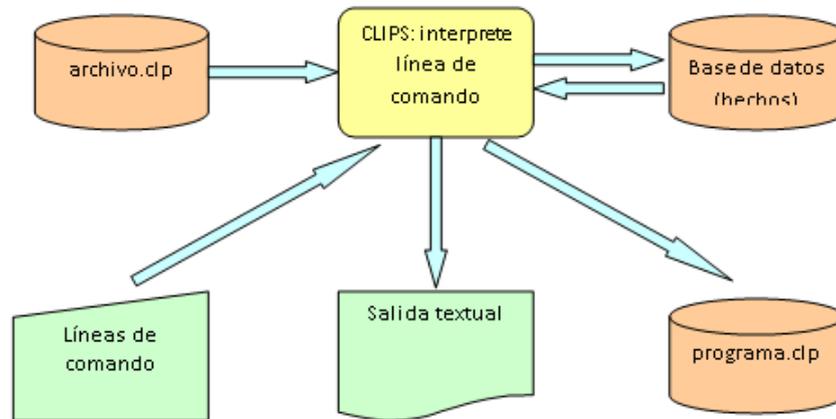


Figura 2.2: Estructura General de CLIPS

La documentación de CLIPS es extensa, didáctica y de excelente calidad, orientando a la construcción de sistemas especializados, también a la expansión de CLIPS y su integración con otras herramientas. No tiene costo de distribución, la descarga es gratuita a partir del sitio especializado y apenas debe realizarse un registro de uso en línea.

CLIPS es una abreviación de “C Language Integrated Production System”, es una herramienta para desarrollar sistemas expertos desarrollada por Software Technology Branch, NASA/Lyndon B. Johnson Space Center desde 1986. Es un sistema de producción con encadenamiento hacia adelante escrito en C/ANSI. La máquina de inferencia incluye un sistema de mantenimiento de verdad, adición dinámica de reglas, y diferentes estrategias de resolución de conflictos. Incluye un lenguaje orientado a objetos: COOL (Clips

Object-Oriented Language). Es fácilmente embebible en aplicaciones en C, ADA y FORTRAN, y está disponible en diversas plataformas (MS-DOS/Windows, Unix, Macintosh); también en Java (Jess). Cuenta al mismo tiempo con extensiones para Lógica Difusa (FuzzyCLIPS).

Arquitectura

Clips está estructurado de la siguiente manera:

- Base de Conocimiento.
- Base de Hechos.
- Motor de Inferencia.
- Interfaz Gráfica.

2.2 Sistemas Expertos

Es una aplicación que resuelve problemas que requieren experiencia humana, mediante el uso de representación del conocimiento y procedimientos de decisión para la ejecución de modelos expertos.

El sistema experto está conformado por:

- **Base del conocimiento:** Contiene el conocimiento proporcionado por el experto, almacenado a manera de reglas.
- **Base de hechos:** Contiene los hechos que son suministrados por el usuario, los cuales ingresan al sistema, para luego ser usados como instancia para el análisis.

- **Motor de Inferencia:** Permite controlar el proceso de razonamiento, tomando datos de la base de hechos y recorriendo la base del conocimiento haciendo inferencias que le permitan decidir cuales reglas satisfacen los hechos para obtener una solución la cual se ve reflejada en una recomendación.

El motor de inferencia usa tanto la base de hechos como la base de conocimiento para obtener nuevas conclusiones o hechos. Por ejemplo, si la premisa de una regla es cierta, entonces la conclusión de la regla debe ser también cierta. Los datos iniciales se incrementan incorporando las nuevas conclusiones. Por ello, tanto los hechos iniciales o datos de partida como las conclusiones derivadas de ellos forman parte de los hechos o datos de que se dispone en un instante dado.

- **Interfaz de usuario:** Permite que el usuario y el sistema experto se comuniquen facilitando la información entre ambas partes.

En si la interfaz de usuario:

- Permite al usuario ingresar datos los cuales sirven para el análisis.
- Facilita la interacción entre el usuario y el sistema experto.

Para el desarrollo del modelo experto se usó clips el cual trabaja con reglas y hechos.

Las reglas en CLIPS presentan la siguiente sintaxis:

(defrule <nombre-regla>

```

[<documentación opcional>
[(declare (salience <num>))]
(patrón 1)
(patrón 2)
...
(patrón N)
=>
(acción 1)
(acción 2)
...
(acción N)
)

```

Algunos hechos pueden hacer que una regla sea aplicable, lo que significa que esta regla se activa.

En principio las reglas y hechos se crean definiéndolos en un archivo de extensión .clp, ya que los ficheros en CLIPS utilizan esta extensión y se pueden crear con cualquier editor de ficheros de texto. Para nuestro caso lo llamamos cacao.clp. A continuación, se muestra la declaración de un hecho.

```

(deffacts edad
  (edad-planta (edad 14))
)

```

En el fragmento de código de arriba se ha definido un hecho, de que existe un objeto de la clase edad-planta con edad 14.

Mientras que en el fragmento de código siguiente se ha definido una regla.

```

(defrule Planta-joven

```

```

(edad-planta (edad ?e ))
(test (and (> ?e 8) (<= ?e 24)))
=>
(assert (Planta-joven ( pj ?e)))
)

```

Para todo objeto de la clase edad-planta con edad e, si e es mayor que 8 y menor o igual a 24, existe un objeto de la clase Planta-joven con edad e.

El tipo de regla de inferencia usado para implementar las reglas es modus ponens ("modo que afirma"), la cual se utiliza para obtener conclusiones simples. En ella, se examina la premisa de la regla, y si es cierta, la conclusión pasa a formar parte del conocimiento.

Como ilustración, supóngase que se tiene la regla, "Si A es cierto, entonces B es cierto" y que se sabe además que "A es cierto". La regla Modus Ponens concluye que "B es cierto."

Esto significa que a partir de una fórmula condicional y su antecedente, podemos pasar a su consecuente.

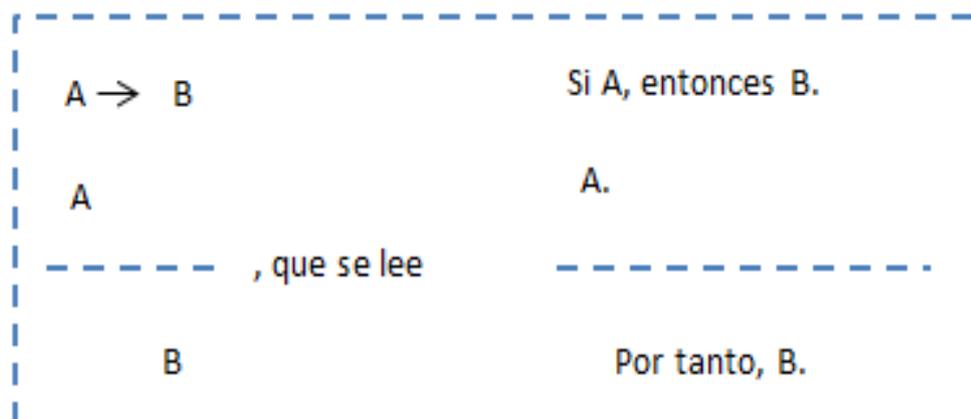


Figura 2.3: Gráfico Regla de Inferencia Modus Ponens

El rendimiento del motor de inferencia depende del conjunto de reglas en su base de conocimiento, pero los sistemas expertos usan estrategias de inferencia:

- Encadenamiento de reglas,
- Encadenamiento de reglas orientado a un objetivo,

Encadenamiento de Reglas, es la que se utilizó en el sistema ya que esta es una de las estrategias de inferencia más utilizadas para obtener conclusiones compuestas. Esta estrategia puede utilizarse cuando las premisas de ciertas reglas coinciden con las conclusiones de otras.

Cuando se encadenan las reglas, los hechos pueden utilizarse para dar lugar a nuevos hechos. Esto se repite sucesivamente hasta que no pueden obtenerse más conclusiones. El tiempo que consume este proceso hasta su terminación depende, por una parte, de los hechos conocidos y por otra, de las reglas que se activan.

Este algoritmo puede ser implementado de muchas formas. Una de ellas comienza con las reglas cuyas premisas tienen valores conocidos. Estas reglas deben concluir y sus conclusiones dan lugar a nuevos hechos. Estos nuevos hechos se añaden al conjunto de hechos conocidos, y el proceso continúa hasta que no pueden obtenerse nuevos hechos.

2.3 Sistema Experto para Toma de Decisiones de Riego en Cultivos de Cacao.

Este modelo maneja una estructura tradicional de un sistema experto para toma de decisiones, basada en reglas de inferencia.

Se puede resumir el modelo completo de esta solución como se muestra en la figura 2.4

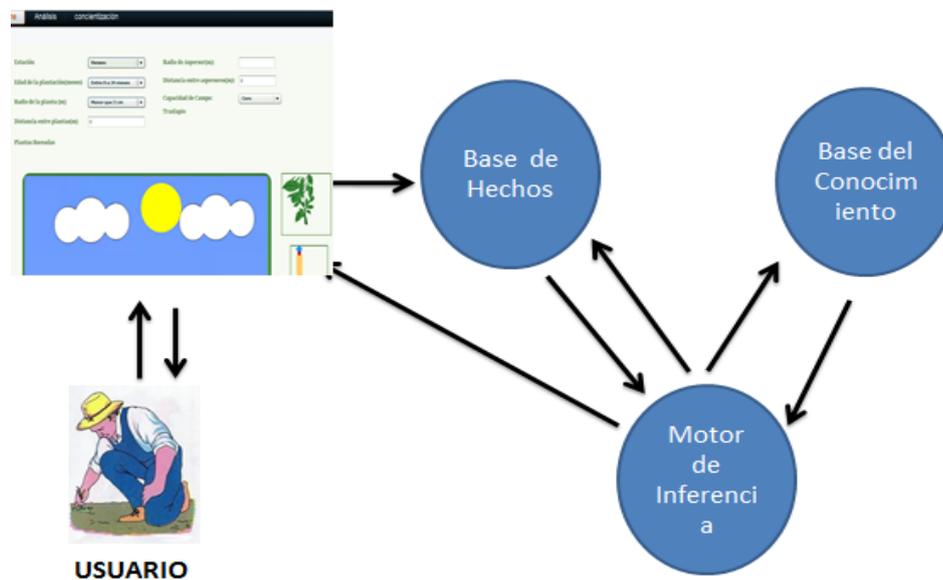


Figura 2.4: Estructura General del Sistema Experto EXPCAC

El usuario ingresa información de su cultivo a través de la interfaz, estos datos pasan a formar parte de la base de hechos o evidencias, para luego ser tomados por el motor de inferencia, el cual se encarga de verificar en la base del conocimiento si existen reglas que tengan relación con estos datos

para así procesar la información y mostrar el resultado al usuario a través de la interfaz.

Los principales componentes del SISTEMA EXPCAC son:

- Base de conocimiento.
- Base de Hecho o evidencias.
- Motor de inferencia.
- Interfaz gráfica.

2.3.1 Base de Hechos

Con la información obtenida del experto se pudo identificar constantes, variables de entrada y salida que utilizan para el sistema.

Constantes:

Tipo de suelo: El análisis se lo realiza en suelos areno arcillosos.

Método de riego: El análisis se lo realiza con el método de riego por aspersión, para los cultivos de cacao se utilizan otros métodos de riego como el riego por goteo, pero por causa de costos y mantenimiento, el método de aspersión es el método más utilizado por los agricultores.

Variables de entrada: Son nueve las variables de entrada que el usuario debe ingresar al sistema las cuales las se mencionan a continuación:

Estación: En esta variable se almacena la estación del año que puede ser invierno o verano. Las otras estaciones no se las consideran porque estas son las más relevantes en los cultivos de cacao. El valor de la variable puede ser tomado de un Combo Box que se muestra en la interfaz del sistema.

Edad de la plantación: Esta variable puede tomar dos valores. Cuando la edad de la planta está entre 5 y 24 meses, que es la edad desde que la planta es colocada en el suelo, luego de haber estado en el vivero, donde el agua no le debe faltar porque podría causarle la muerte.

El otro valor que puede tomar es que sea mayor a 24 meses, lo que significa que es una planta adulta y solo se le debe realizar mantenimiento para para su producción, la planta puede verse afectada por la falta de agua, pero no le podría causar la muerte.

Para seleccionar la edad de la planta, se realiza mediante un Combo Box, que muestra las dos opciones mencionadas anteriormente. Para facilitar la interacción con el usuario estas acciones se ven resaltadas con una imagen cada vez que se decide por una o por otra opción.

Radio de la planta: Esta variable representa el radio de cobertura de la planta de cacao. Que puede ser menor o mayor que tres metros. Un radio menor de tres metros se considera mejor porque la planta no necesitaría de poda.

Distancia entre plantas: El valor que esta variable puede tomar es de tipo numérico y corresponde a la distancia en que las plantas han sido sembradas.

En la interfaz se ve reflejado al momento que se arrastra las plantas a la tierra, pues en la parte de abajo se ve marcada la distancia entre ellas, este valor puede ser modificado arrastrando cualquier planta o a su vez directamente del cuadro de texto que se ve en la interfaz.

Distancia entre aspersores: Para ingresar esta variable el sistema le mostrara un aspersor que está colocado a un extremo del campo, el usuario debe arrastrar otro aspersor al campo y la distancia entre ellos se verá reflejado en su cuadro de texto correspondiente, que puede ser modificado arrastrando el aspersor que se colocó al inicio o directamente desde el cuadro de texto que le corresponde a esta variable.

Radio del aspersor: Esta variable representa el radio de riego del aspersor. Este es un valor de tipo numérico que esta dado en metros y debe ser ingresado por el usuario directamente, este radio se ve reflejado al momento que el usuario coloca el mouse sobre cualquier aspersor.

Profundidad de humedad del suelo: Esta variable representa la profundidad de humedad en el suelo respecto a la superficie, dada en centímetros, puede ser elegida desde un Combo Box que se muestra

en la interfaz. Los valores que se pueden elegir son: Cuando es cero, menor, igual, o mayor que 5 cm. Según el valor que se haya seleccionado se verá reflejado en la interfaz en la parte donde está el suelo.

Traslape: Esta variable da a conocer si una planta está cubierta parcialmente con agua.

Toma dos valores. Si, cuando hay traslape y No cuando no hay, es decir si existe un cruce de agua entre los aspersores y si la planta está cubierta.

El sistema mostrara el valor de esta variable cuando el usuario ingrese el radio de agua que cubre un aspersor y dependiendo de la distancia que hay entre aspersores.

Plantas Roseadas: Esta variable es de tipo cualitativa, si existe traslape las plantas están roseadas, pero si no hay traslape existe una gran posibilidad que algunas plantas no reciban agua del aspersor. En si esta variable representa si existe o no un cruce de agua provista por el aspersor.

2.3.2 Base de Conocimiento

Para crear la base del conocimiento de nuestro sistema experto fue necesario realizar varias entrevistas con nuestro experto, en la cual

extrajimos información mediante un dialogo directo con preguntas y respuestas. El experto también participo en la validación del modelo.

La información proveida por el experto se codifico en reglas de tipo: SI <causa> ENTONCES <efecto>, estas reglas almacenan y estructuran el conocimiento.

Con las variables identificadas en la base de hechos obtuvimos 21 reglas simples las cuales se muestran en la tabla 2.1, estas reglas están categorizadas de acuerdo a las variables del sistema.

Categoría	Reglas
Edad	1. Si edad_planta<=5meses Entonces Planta_vivero 2. Si edad_planta>=5meses & edad_planta<=24 meses Entonces Planta_joven 3. Si edad_planta>= 24 meses Entonces Planta_adulta 4. Si Planta_joven Entonces Planta_cuidado
Distancia	5. Si distancia_planta= 2,5m Entonces distancia_ideal 6. Si distancia_planta> 2,5m Entonces distancia_mayor 7. Si distancia_planta< 2,5m Entonces distancia_menor 8. Si distancia_ideal distancia_mayor Entonces distancia_riego_normal
	9. Si distancia_riego_normal &

Radio	<p>radio_planta\leq3 Entonces Planta_ok</p> <p>10. Si distancia_riego_normal & radio_planta$>$3 Entonces poda</p>
Traslape	<p>11. Si traslape=Verdadero Entonces no_hay_problema</p> <p>12. Si traslape=falso Entonces precaucion_planta</p> <p>13. Si no_hay_problema Entonces planta_bien_ubicada</p>
Prof. Humedad del suelo	<p>14. Si cc=0 Entonces Riego_urgente</p> <p>15. Si cc$>$0 && cc$<$5 Entonces Riego_parcial</p> <p>16. Si cc\geq5 Entonces Riego_nulo</p>
Producción	<p>17. si planta_adulta Entonces hay_produccion</p> <p>18. Si estacion=invierno & hay_produccion Entonces Produccion_baja</p> <p>19. si estacion=invierno Entonces control_plagas</p> <p>20. si hay_produccion & estacion=verano Entonces produccion_total.</p> <p>21. Si Planta_joven Entonces Planta_asociada</p>

Tabla 2.1: Reglas Básicas

Con las 21 reglas básicas, se crearon nuevas reglas donde las conclusiones de estas básicas son usadas como premisas y las respuestas son los diferentes casos que se detallan en la tabla 2.2.

Del caso 1 al caso 36 corresponde a las respuestas de las recomendaciones de la época seca y del caso 37 al 72 son para la época lluviosa.

Reglas	Respuesta	Reglas	Respuesta
4,13,14,9,21	Caso 1	4,13,14,9,19,21	Caso 37
4,13,15,9,21	Caso 2	4,13,15,9,21	Caso 38
4,12,14,9,21	Caso 3	4,12,14,9,19,21	Caso 39
4,12,15,9,21	Caso 4	4,12,15,9,19,21	Caso 40
3,13,14,9,20	Caso 5	3,13,14,9,18,19	Caso 41
3,13,15,9,20	Caso 6	3,13,15,9,18,19	Caso 42
3,12,14,9,18	Caso 7	3,12,14,9,18,19	Caso 43
3,12,15,9,18	Caso 8	3,12,15,9,18,19	Caso 44
4,14,7,21	Caso 9	4,14,7,19,21	Caso 45
4,15,7,21	Caso 10	4,15,7,19,21	Caso 46
4,12,14,7,21	Caso 11	4,12,14,7,19,21	Caso 47
4,12,15,7,21	Caso 12	4,12,15,7,19,21	Caso 48
3,14,7,20	Caso 13	3,14,7,18,19	Caso 49
3,15,7,20	Caso 14	3,15,7,18,19	Caso 50
3,12,14,7,18	Caso 15	3,12,14,7,18,19	Caso 51
3,12,15,7,18	Caso 16	3,12,15,7,18,19	Caso 52
4,13,14,10,21	Caso 17	4,13,14,10,19,21	Caso 53
4,13,15,10,21	Caso 18	4,13,15,10,19,21	Caso 54
4,12,14,10,21	Caso 19	4,12,14,10,19,21	Caso 55
4,12,15,10,21	Caso 20	4,12,15,10,19,21	Caso 56
3,13,14,10,20	Caso 21	3,13,14,10,18,19	Caso 57
3,13,15,10,20	Caso 22	3,13,15,10,18,19	Caso 58
3,12,14,10,18	Caso 23	3,12,14,10,18,19	Caso 59
3,12,15,10,18	Caso 24	3,12,15,10,18,19	Caso 60
4,13,16,9,21	Caso 25	4,13,16,9,19,21	Caso 61
4,12,16,9,21	Caso 26	4,12,16,9,19,21	Caso 62
3,13,16,9,18	Caso 27	3,13,16,9,18,19	Caso 63
3,12,16,9,18	Caso 28	3,12,16,9,18,19	Caso 64
4,13,16,7,21	Caso 29	4,13,16,7,19,21	Caso 65
4,12,16,7,21	Caso 30	4,12,16,7,19,21	Caso 66

3,13,16,7,20	Caso 31	3,13,16,7,18,19	Caso 67
3,12,16,7,18	Caso 32	3,12,16,7,18,19	Caso 68
4,13,16,10,21	Caso 33	4,13,16,10,19,21	Caso 69
4,12,16,10,21	Caso 34	4,12,16,10,19,21	Caso 70
3,13,16,10,20	Caso 35	3,13,16,10,18,19	Caso 71
3,12,16,10,18	Caso 36	3,12,16,10,18,19	Caso 72

Tabla 2.2: Reglas Compuestas

2.3.3 Variables de Salida

Para reflejar la salida del sistema la información es almacenada en dos variables, para luego con la ayuda del motor de inferencia que es el encargado de tomar los hechos o evidencias, realiza el respectivo análisis y así se pueda RECOMEDAR al agricultor lo que debe hacer.

Cantidad de agua: En esta variable se mostrará cuanto de agua se debe regar a los cultivos. Esto va a depender del análisis que se haga con el sistema experto.

Tiempo de riego: Esta variable representará el tiempo que se debe regar la plantación.

2.3.4 Motor de Inferencia (mecanismo de inferencia, algoritmo).

La Figura 2.5, detalla el proceso que realiza el mecanismo de inferencia, partiendo desde la clase principal.java, la cual envía los parámetros a la clase Motorinferencia.java, donde se invoca al archivo cacao.clp el cual contiene las reglas de inferencia. Este trabaja

directamente con Clips, para procesar y enviar una respuesta. La respuesta que obtiene el Motorinferencia.java lo envía a los archivos CacaoResources.properties que es donde se encuentran las descripciones de cada caso en forma de recomendación, la cual se muestra al usuario.

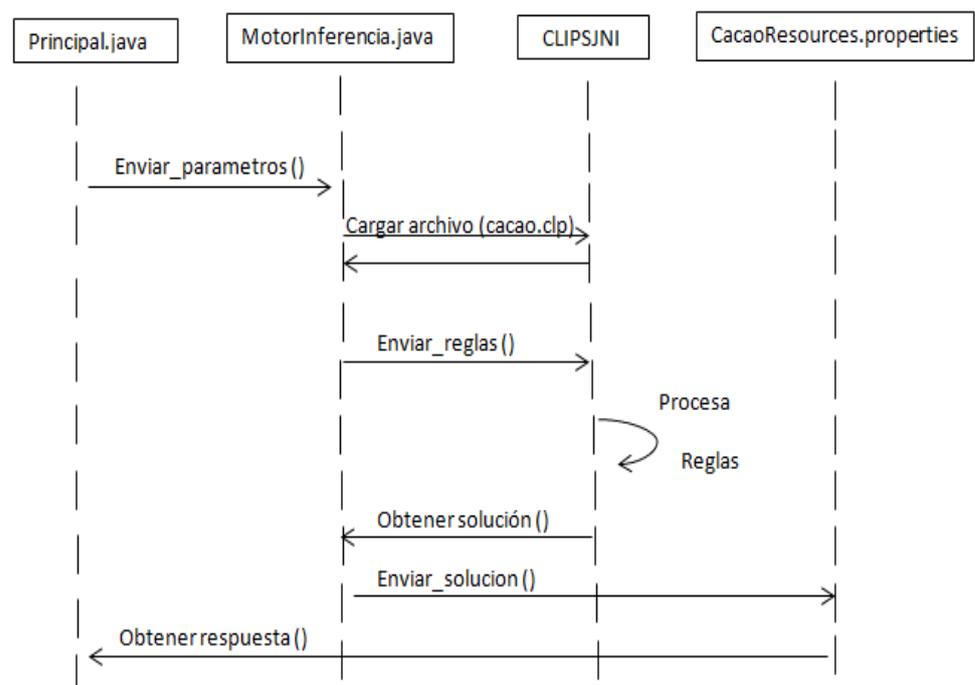


Figura 2.5: Mecanismo de Inferencia

2.3.5 Interfaz

El sistema está compuesto de las siguientes páginas como se ve en la figura 2.6.

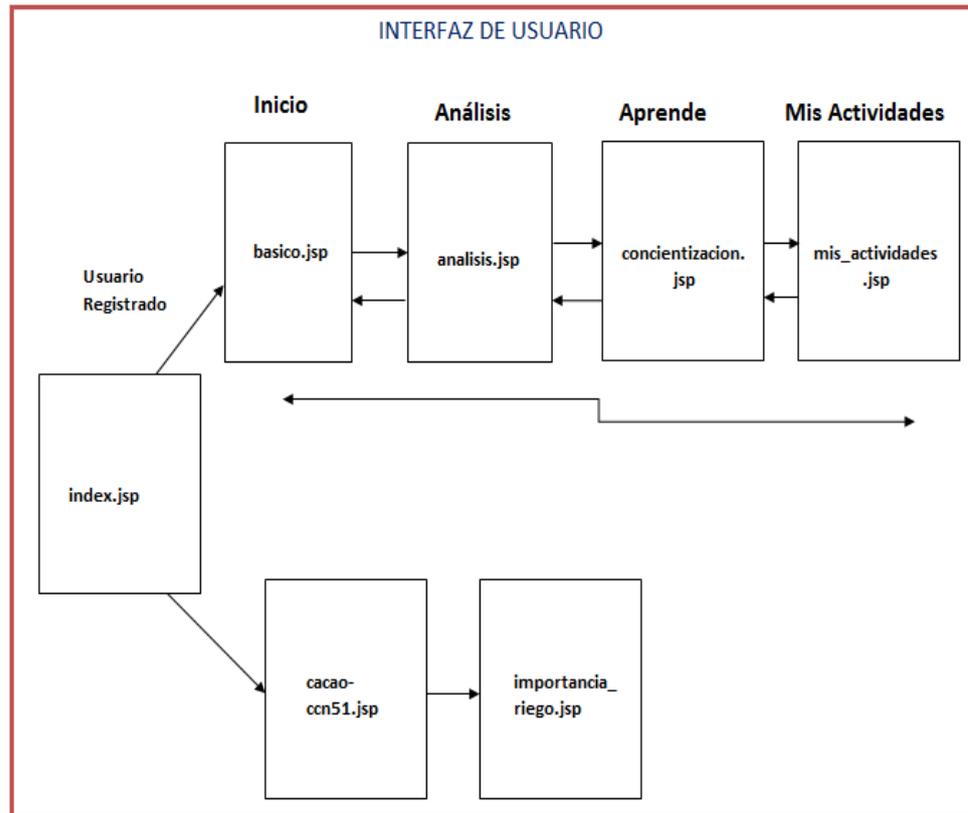


Figura 2.6: Diseño General de la Interfaz de Usuario

Página Inicio

Es la página principal de la aplicación, esta página representa la primera vista que el usuario va a tener del sistema.

Está compuesta por un menú con tres opciones: Inicio, Cacao CCn-51 y Riego por aspersion de las cuales las dos últimas poseen información representativa de cada página. También se muestra al usuario la opción de un login para acceder al sistema en caso de estar registrado, pero si no está puede hacerlo dando clic en el link registrarse, donde deberá ingresar los datos correspondientes para su registro.

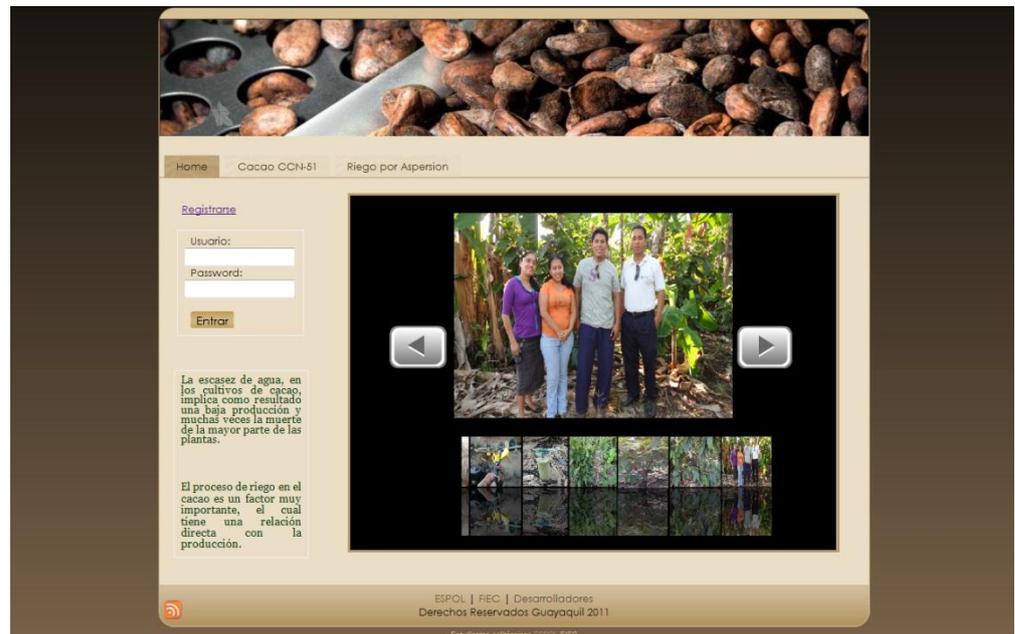


Figura 2.7: Página Principal de EXPCAC

Cuando el usuario ingresa al sistema automáticamente, tiene acceso a las opciones de: observar sus datos, consultar sus actividades, realizar análisis y aprender.

Página Análisis

En esta página se usó las herramientas Flex y Flash, para el evento de Arrastrar y Soltar plantas y aspersores, el formulario de información del cultivo que el usuario ingresa se hizo en Flex, las demás animaciones como la estación de año en Flash.

En esta página se muestra una animación de campo con un aspersor, donde primero se debe arrastrar un aspersor para indicar la distancia

que hay entre aspersores; luego deberá arrastrar las plantas e indicar cuál es la distancia entre ellas; debe ingresar si la época es lluviosa o seca y el sistema reflejará la animación respectiva; el radio que cubre el aspersor en metros, este radio se verá reflejado cuando el usuario pase el mouse por el aspersor según el valor de esta variable el sistema mostrara si existe traslape y si hay posibilidad que todas las plantas están roseadas por el aspersor; la edad de la plantación ;el radio que cubre una planta; la profundidad de humedad en el suelo respecto a la superficie que puede ser cero, menor que cinco, mayor o igual que cinco, esta humedad el sistema lo mostrará con una animación. Ver figura 2.8.

Para enviar datos del formulario hecho en Flex usamos la función `enviar_variables_js` este método llama una función `ExternalInterface.addCallback (String nombre_funcion,funcion)` para usar esta función importamos la librería `flash.external.ExternalInterface` permite acceder a los valores que retorna las funciones que se las envía como parámetro , y su implementación se la puede apreciar en el anexo 3.1.

Para poder extraer los datos desde el lenguaje Java primero se debe pegar el archivo `pagina.swf` de Flex en el proyecto Java Web Application en una carpeta `swf` y se lo presenta en la página `Analisis.jsp` y donde se le asigna un identificador, y con la función

getInfo() en javascript y se obtienen los datos del formulario Flex como se aprecia en el anexo 3.2,

Luego de ingresar todos los datos el usuario debe dar click en el botón **Como proceder**. El sistema después de analizar mostrará la recomendación para el cultivo de acuerdo a los datos que ingresó el usuario.

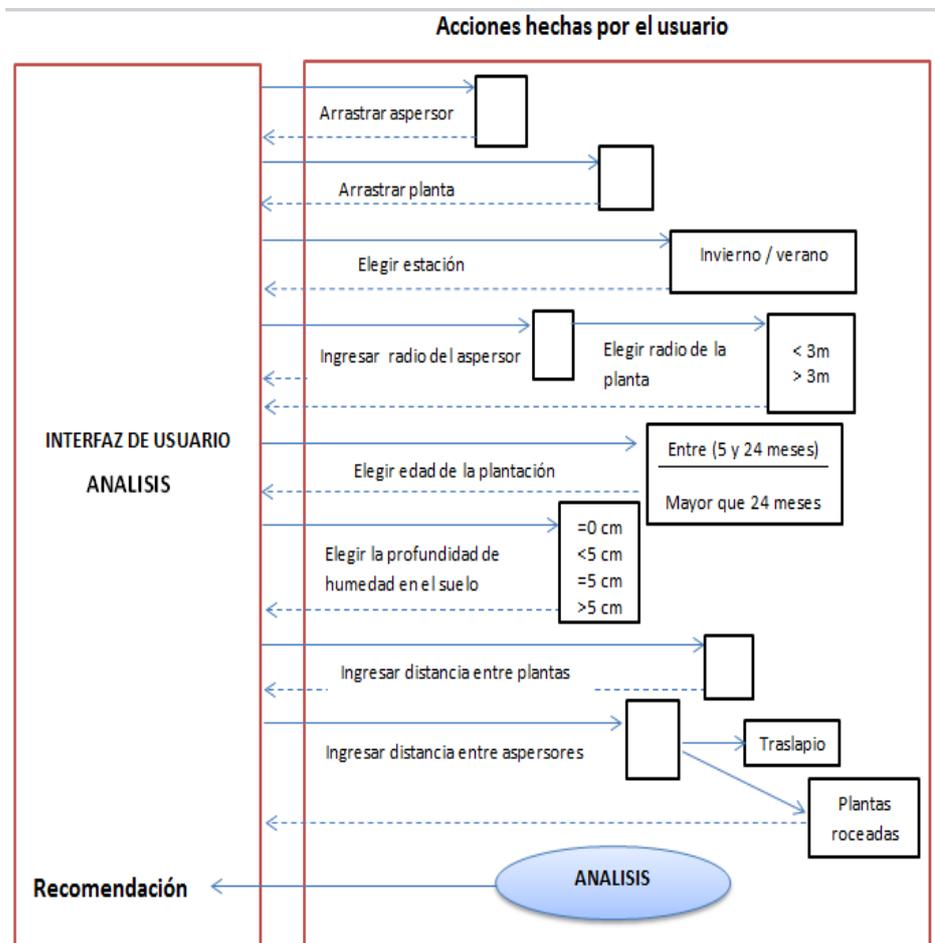


Figura 2.8: Acciones que el Usuario Realiza en la Página de Análisis del Sistema.

Para obtener el resultado con los datos del cultivo que ingresa el usuario el sistema lo se lo procesa como podemos observar en la figura 2.9.

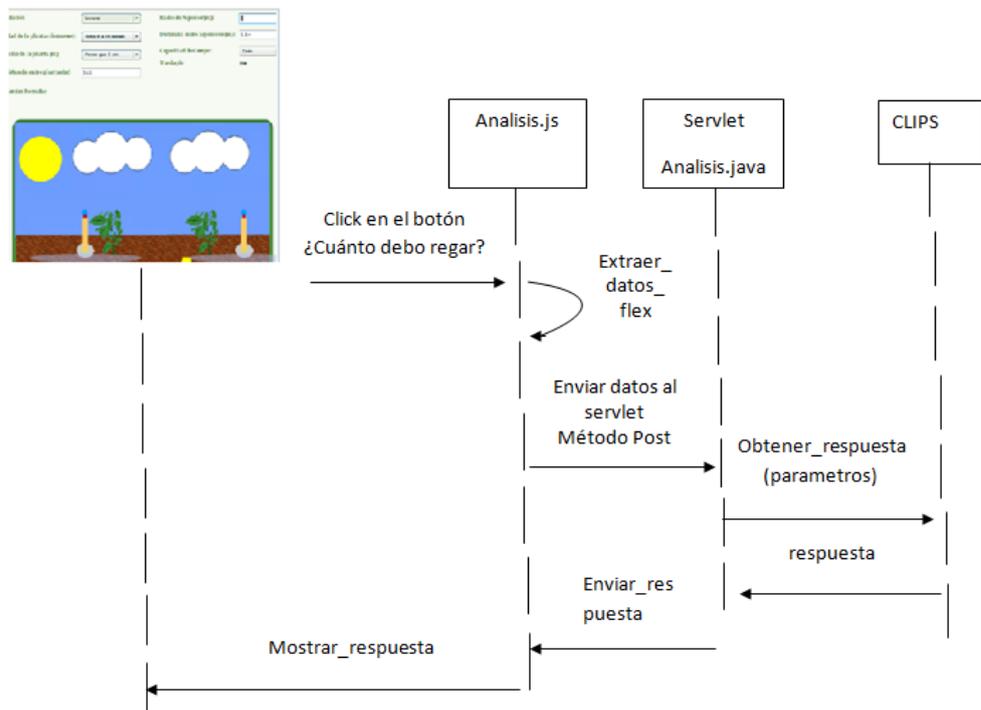


Figura 2.9: Funcionamiento de la Página de Análisis de EXPCAC

Cuando presionamos el botón **Como proceder**, se llama a la función de javascript getInfo() como se menciona anteriormente, esta función extrae los datos del archivo swf y envía los datos al servlet Principal.java, para que el motor de inferencia procese la información enviada y devuelva un resultado, ver anexo 2.3

Página Concientización.

Esta página sirve como objeto de aprendizaje en la cual se muestra la manera correcta e incorrecta de cuidar una plantación de cacao en los que se refiere al proceso de riego, además información actualizada sobre el cacao por medio de links a páginas relacionadas.

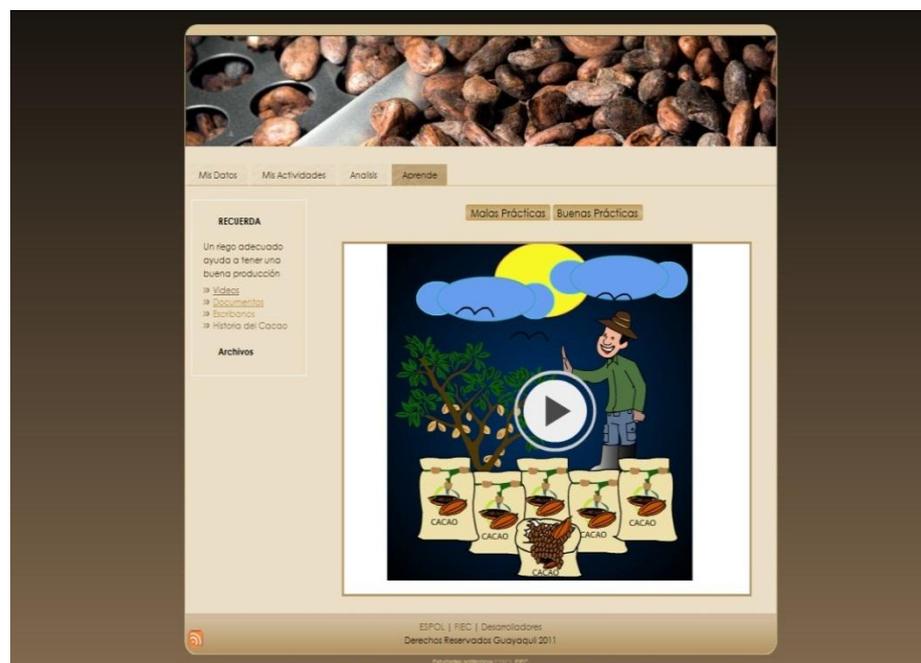


Figura 2.10: Página de Aprendizaje de EXPCAC

En esta página también se muestra dos animaciones: una que indica la mejor manera de cuidar un cultivo de cacao respecto al riego y otra que demuestra las acciones que pueden perjudicar la producción sino se realiza un buen riego.

CAPÍTULO 3

3. PRUEBAS Y RESULTADOS

Este capítulo muestra las pruebas realizadas a la aplicación y los resultados que se obtuvieron y de manera general lo que el usuario puede realizar al usar el sistema tal como lo muestra a figura 3.1.

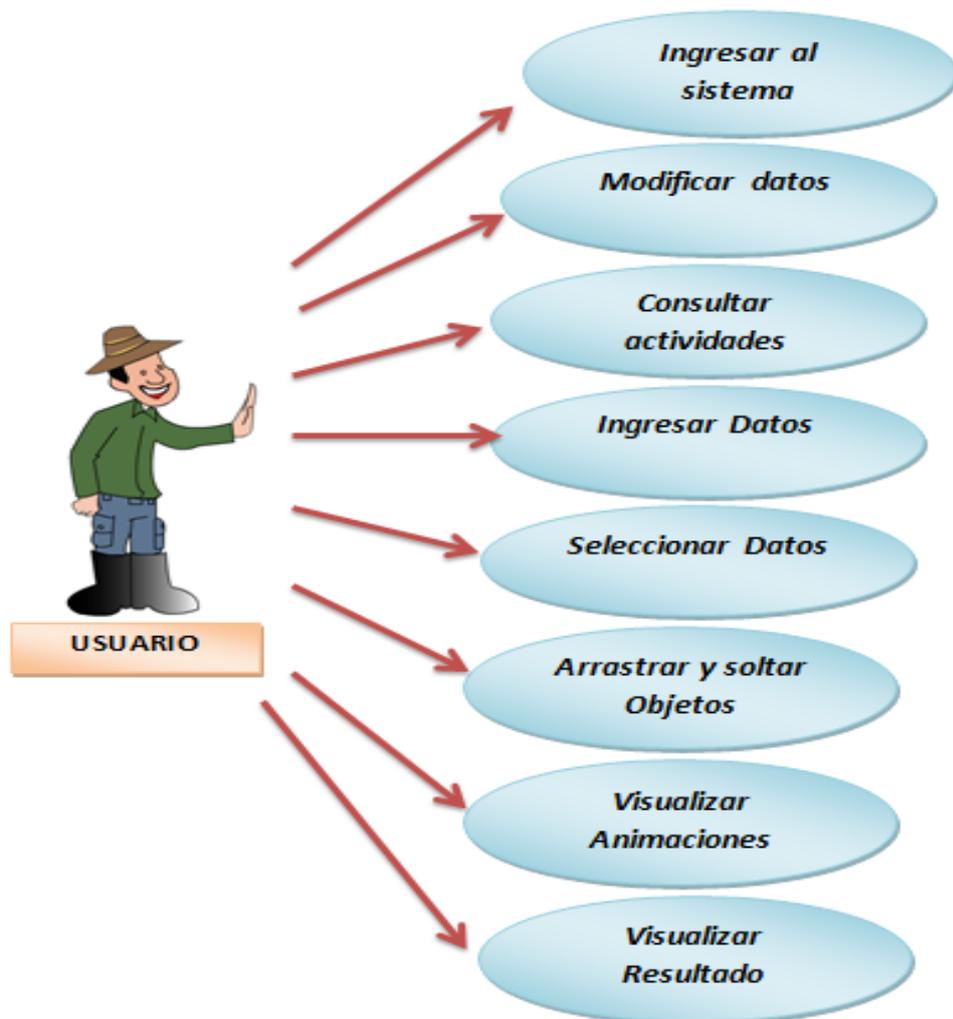


Figura 3.1: Casos de Uso

3.1 Casos de Uso

3.1.1 Casos de Uso: Ingresar al Sistema.

El usuario puede ingresar al sistema, ingresando su usuario y contraseña. En caso de no tener usuario y contraseña el sistema permite registrarse.

ID	EXPCAC001		
Nombre	Ingresar al sistema		
Descripción	<p>El usuario ingresa al sistema con la siguiente información:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Usuario ✓ Contraseña <p>En caso de no tener usuario y contraseña, el usuario podrá registrarse en el sistema.</p>		
Requisitos Asociados	NINGUNO		
Tipo	Funcional		
Dependencias	NINGUNA		
Observación	Si el usuario está registrado puede hacer uso del sistema.		
Nombre	Identificador	Tipo/dato	Longitud
Usuario	User	String	--
Contraseña	contra	String	--

Tabla 3.1: Caso de uso Ingresar al Sistema

3.1.2 Casos de Uso: Modificar Datos.

Este caso de uso, permite al usuario modificar sus datos personales (nombres, apellidos, correo electrónico), también le permite modificar su usuario y contraseña.

ID	EXPCAC002		
Nombre	Modificar datos		
Descripción	<p>El usuario puede modificar datos</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Nombres ✓ Apellidos ✓ Correo electrónico <p>También puede modificar su usuario y contraseña.</p>		
Requisitos Asociados	EXPCAC001		
Tipo	Funcional		
Dependencias	NINGUNA		
Observación			
Nombre	Identificador	Tipo/dato	Longitud
Nombres	nom	String	--
Apellidos	apell	String	--
Correo	correo	String	--

Tabla 3.2: Caso de uso Modificar Datos

3.1.3 Casos de Uso: Consultar Actividades.

En este caso se detalla las actividades que el usuario puede consultar, las cuales son: la fecha de cuando usó el sistema, información sobre la granja, la respuesta de riego, y su respectivo detalle.

ID	EXPCAC003		
Nombre	Consultar Actividades		
Descripción	El usuario puede Consultar las siguientes actividades en la aplicación ✓ Fecha ✓ Información de granja ✓ Respuesta de riego ✓ Detalle		
Requisitos Asociados	EXPCAC001		
Tipo	Funcional		
Dependencias	NINGUNA		
Observación			
Nombre	Identificador	Tipo/dato	Longitud
fecha	fecha	String	--
información	apell	String	--
Granja	infgranja	String	--
respuesta	detalle	String	--
detalle			

Tabla 3.3: Caso de uso Consultar Actividades

3.1.4 Casos de Uso: Ingresar Datos.

Este caso de uso describe los datos que el usuario debe ingresar en la aplicación de manera inicial, o los que puede ingresar cuando desea cambiar datos como es el caso de las distancia entre plantas o aspersores. El usuario puede ingresar el radio del aspersor y al momento de realizar esto se muestra si existe traslape y si las plantas son roceadas por el agua que sale del aspersor. Tabla 3.4

ID	EXPCAC004		
Nombre	Ingresar Datos		
Descripción	<p>El usuario puede ingresar datos al sistema. En las siguientes opciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Radio del aspersor ✓ Distancia entre plantas ✓ Distancia entre aspersores <p>En el caso de las distancias ingresará datos cuando decida corregir algún valor, el cual desee que sea exacto.</p>		
Requisitos Asociados	EXPCAC001		
Tipo	Funcional		
Dependencias	NINGUNA		
Observación	El usuario puede ingresar los datos que el considere sean adecuados. Cuando el usuario ingresa el radio del aspersor se calcula automáticamente si existe traslape y si las plantas son roceadas.		
Nombre	Identificador	Tipo/dato	Longitud

Radioaspersor r(m)			
Distancia entre plantas (m)	radio_aspersor	float	--
Distancia entre aspersores (m)	distancia_pl antas distancia_as persor	float float float	-- -- --

Tabla 3.4: Caso de uso Ingresar Datos

3.1.5 Casos de Uso: Seleccionar Datos.

En este caso se describe los datos que el usuario debe seleccionar de la página de Análisis de la aplicación, los cuales son: estación, edad de la planta, radio de la planta, profundidad de humedad en el suelo. Tabla 3.5

ID	EXPCAC005		
Nombre	Seleccionar Datos		
Descripción	<p>El usuario puede seleccionar datos del sistema. En las siguientes opciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Estación ✓ Edad de la planta ✓ Radio de la planta ✓ Profundidad de humedad en el suelo 		
Requisitos Asociados	EXPCAC001		
Tipo	Funcional		
Dependencias	NINGUNA		
Observación			
Nombre	Identificador	Tipo/dato	Longitud
Estación	Estación	String	--
Edad de la planta	edad	Integer	--
Radio de la planta	Radio_planta	Float	--
Prof. Humedad del suelo	cc	integer	--

Tabla 3.5: Caso de uso Seleccionar Datos

3.1.6 Casos de Uso: Arrastrar y Soltar Objetos

Este caso describe los objetos que el usuario puede arrastrar y soltar en la página de Análisis de la aplicación. Estos objetos son las plantas y los aspersores Tabla 3.6

ID	EXPCAC006		
Nombre	Arrastrar y soltar objetos		
Descripción	<p>El usuario puede arrastrar y soltar los siguientes objetos</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Imagen de planta ✓ Imagen de aspersor <p>El usuario arrastra el objeto al área de la aplicación donde se muestra la imagen de un suelo, también puede arrastrar a la posición que desee y soltar si así fuere el caso.</p>		
Requisitos Asociados	EXPCAC001		
Tipo	Funcional		
Dependencias	NINGUNA		
Observación	Al inicio en la página de análisis se muestra la imagen del suelo con una de un aspersor, entonces el usuario debe arrastrar el otro aspersor, y de allí las imágenes de la planta.		
Nombre	Identificador	Tipo/dato	Longitud
Imagen aspersor	planta	png	--
Imagen planta	aspersor	png	--

Tabla 3.6: Caso de uso Arrastrar y Soltar Objetos

3.1.7 Casos de Uso: Visualizar Animaciones

En este caso se describen las animaciones que el usuario puede observar como son: la animación de la estación del año (invierno y verano), la animación del correcto e incorrecto cuidado de un cultivo esto se muestra en las páginas de Análisis y Aprende de la aplicación respectivamente Tabla 3.7

ID	EXPCAC007		
Nombre	Visualizar animaciones		
Descripción	<p>El usuario puede Visualizar animaciones en las siguientes paginas</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Análisis ✓ Aprende <p>Dependiendo de la página que el usuario elija se procederá a mostrar las animaciones.</p>		
Requisitos Asociados	EXPCAC001		
Tipo	Funcional		
Dependencias	NINGUNA		
Observación			
Nombre	Identificador	Tipo/dato	Longitud
pagina	pagina	swf	--
Triste	Triste	swf	--
Feliz	feliz	swf	--

Tabla 3.7: Caso de uso Visualizar Animación

3.1.8 Casos de Uso: Visualizar Resultado

Este caso describe la opción donde el usuario puede visualizar el resultado lo cual se ve en la página de análisis después de haber ingresado y seleccionado todos los datos requeridos Tabla 3.8

ID	EXPCAC008		
Nombre	Visualizar resultado		
Descripción	<p>El usuario puede Visualizar el resultado del ingreso de los datos luego de haber presionado el botón</p> <p style="text-align: center;">✓ Como Proceder</p> <p>Y se mostrara el resultado a manera de una recomendación.</p>		
Requisitos Asociados	EXPCAC001		
Tipo	Funcional		
Dependencias	EXPCAC001, EXPCAC002, EXPCAC003		
Observación			
Nombre	Identificador	Tipo/dato	Longitud
Cuanto regar	btnAnalisis	btn	--

Tabla 3.8: Caso de uso Visualizar Resultado

3.2 Pruebas del Sistema

Prueba 1

Para realizar estas pruebas se ingresan los siguientes valores al sistema como se puede ver en la tabla 3.9

Variables	Datos
Estación	Verano
Edad de la plantación	Entre 8 y 24 meses
Radio de la planta	Mayor que 3 metros
Distancia entre plantas	2,5 metros
Plantas Roceadas	Si
Radio de Aspersor	6 metros
Distancia entre Aspersores	10,0 metros
Prof. Humedad en suelo	Cero
Traslape	Si

Tabla 3.9: Datos Ingresados para la Primera Prueba

El sistema automáticamente presenta, que si existe traslape, se puede observar en la figura 3.2 que es válido porque el agua de los aspersores se cruza, y las plantas si son roseadas por el agua que bota el aspersor.

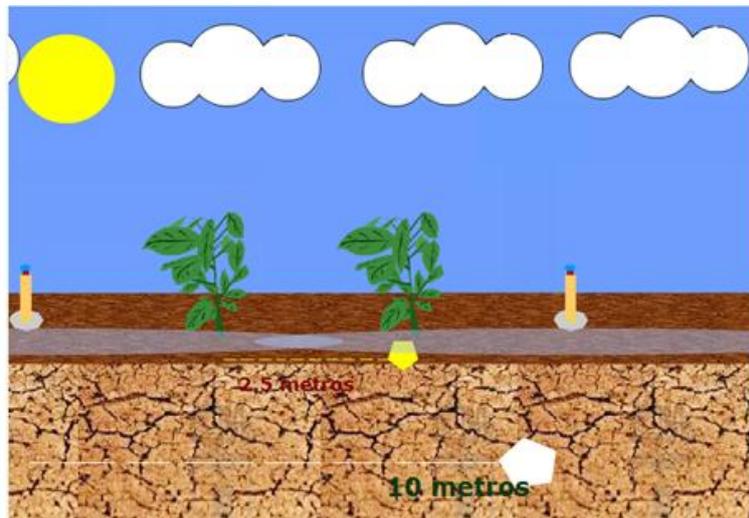


Figura 3.2: Animación de la Primera Prueba

Con estos datos ingresados, se disparan las siguientes reglas en el siguiente orden:

R2 -> R4 ->R5 ->R8 -> R9 -> R11 -> R13 -> R14 -> R21

Conclusión: El sistema da como resultado el caso 1, como se muestra en la figura 3.3

Caso1 Se recomienda regar urgentemente hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento.

Figura 3.3: Resultado de la Primera Prueba

Prueba 2

Se realizó otra prueba cambiando la variable estación y la edad de la plantación, como podemos observar en la tabla 3.10

Variables	Datos
Estación	Invierno
Edad de la plantación	Entre 8 y 24 meses
Radio de la planta	Mayor que 3 metros
Distancia entre plantas	2,5 metros
Plantas Roceadas	Si
Radio de Aspersor	6 metros

Distancia entre Aspersores	10,0 metros
Prof. Humedad en suelo	Cero
Traslape	Si

Tabla 3.10: Datos Ingresados para la Segunda Prueba

Con estos datos ingresados la animación se puede observar en la figura 3.4

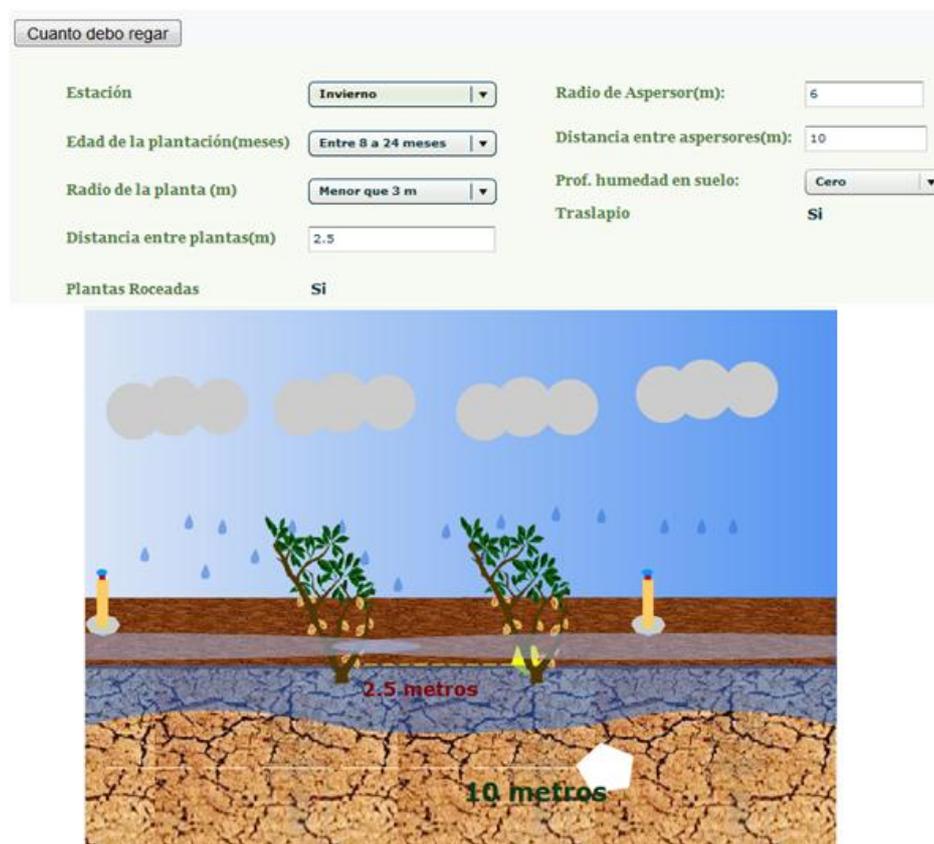


Figura 3.4: Animación de la Segunda Prueba

Con esta información se dispararon las siguientes reglas en el siguiente orden:

R3 -> R5 -> R8 -> R9 -> R11 -> R1 -> R15 -> R17 -> R18 -> R19

La combinación de estas reglas da como resultado el caso 46, como lo muestra la figura 3.5.

Caso46 Tenga cuidado con las plagas que abundan en invierno.(Monilla, Fitóptora,etc). Se recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm luego puede volver a regar despues de 7 o 10 dias durante 3 horas para que su produccion sea total. Por el momento no necesita podar su cultivo. Tenga en cuenta que la produccion en esta estación del anio sera menor a la producción que se da en verano.

Figura 3.5: Resultado de la Segunda Prueba

3.3 Pruebas con el Experto

Para validar el modelo experto, se realizó algunas pruebas con el experto.

A continuación se muestran las variables enumeradas de manera ascendente, para un mejor análisis.

V1. Estación

V2. Edad de la plantación

V3. Radio de la planta

V4. Radio de Aspersor

V5. Distancia entre plantas

V6. Distancia entre Aspersores

V7. Prof. Humedad en suelo

V8. Traslape

V9. Plantas Roceadas

La tabla 3.11, muestra los siguientes valores que pueden tomar las variables para las pruebas que realizamos con el experto.

# Prueba-valor	VARIABLES								
	V1	V2 (Meses)	V3 (m)	V4 (m)	V5 (m)	V6(m)	V7	V8	V9
1	Verano	Entre 8 y 24	< 3	5.5	2.5	10	cero	si	si
2	Inverno	Entre 8 y 24	< 3	5.5	2.5	10	cero	si	Si
3	Invierno	Entre 8 y 24	>3	5	5.4	10	cero	no	No
4	Invierno	Entre 8 y 24	>3	5	5.4	8	=5	si	Si
5	Verano	Entre 8 y 24	>3	5	3	10	<5	no	No
6	Verano	Mayor que 24	>3	3	3	9	>5	no	No
7	Verano	Mayor que 24	<3	6	3	12	cero	no	No
8	Verano	Mayor que 24	>3	6	2.27	10	<5	si	si
9	Invierno	Mayor que 24	>3	6	4.51	10	=5	si	Si
10	Verano	Mayor que 24	<3	5	3.2	10	<5	no	no

Tabla 3.11: Datos para Pruebas con el Experto

En la tabla 3.12, se muestra ordenadamente cuales reglas se disparan de acuerdo a cada valor que las variables toman para cada prueba realizada, como se indica en la tabla 3.11, también se muestra la respuesta correspondiente al conjunto de reglas disparadas.

# Prueba	Reglas	Respuesta
1	R2, R4, R5, R8, R9, R11, R13, R14, R21	Caso 1
2	R2, R4, R21, R6, R8, R9, R11, R13, R14, R19	Caso 37
3	R2, R4, R21, R6, R8, R10, R12, R14, R19	Caso 55
4	R2, R4, R21, R6, R8, R10, R11, R13, R16, R19	Caso 69
5	R2, R4, R21, R6, R8, R10, R12, R15	Caso 20
6	R3, R17, R6, R8, R10, R12, R16, R18	Caso 36
7	R3, R17, R6, R8, R9, R12, R14, R18	Caso 7
8	R3, R17, R6, R8, R10, R11,	Caso 22

	R13, R15, R20	
9	R3, R17, R6, R8, R10, R11, R13, R16, R18, R19	Caso 71
10	R3, R17, R6, R8, R9, R12, R15	Caso 8

Tabla 3.12: Resultados de Pruebas con el Experto

En cada una de las pruebas realizadas con el experto, se obtuvo una respuesta que demuestra que el sistema funciona correctamente y que el conocimiento proporcionado fue el necesario.

A continuación se detalla el resultado de una de estas pruebas:

En la prueba #4 el sistema da como resultado el caso 69, este procedimiento se desarrolla de la siguiente manera como se ve en la figura 3.6.

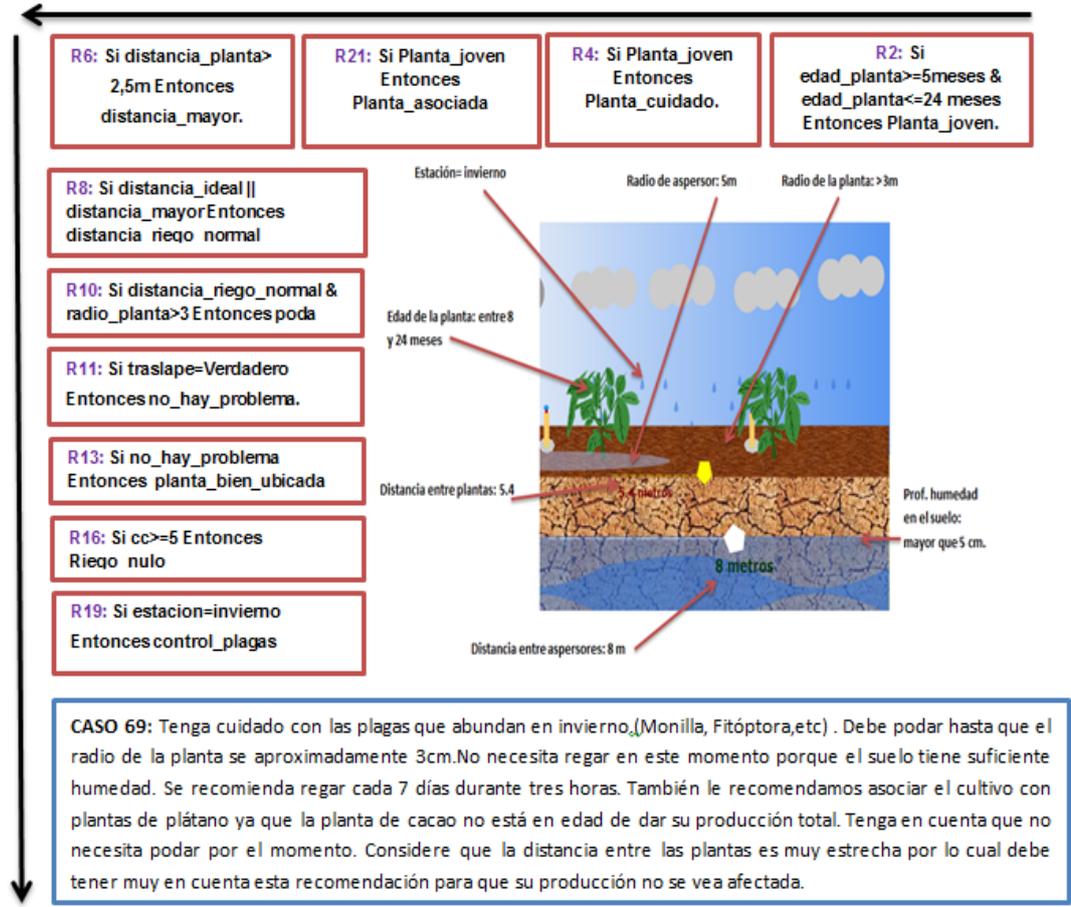


Figura 3.6: Prueba con el Experto

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. El uso de este sistema facilita la decisión respecto al riego para incrementar la producción, también sirve como herramienta de aprendizaje.
2. El modelo experto desarrollado, tiene limitaciones porque la información obtenida para construir la base del conocimiento y su validación fue proporcionada por un solo experto y además las restricciones son específicas: suelos arenos-arcillosos, tipo de riego por aspersión y condiciones climáticas.
3. La evaluación de EXPCAC fue realizada por el experto del dominio, dando resultados satisfactorios, con respuestas coherentes a las características de un cultivo de cacao, por esto las recomendaciones pueden ser aplicadas.
4. Fue fácil codificar el conocimiento por el método de reglas de inferencia de manera precisa y sin ambigüedades, dado que el método de solución no es complejo.
5. El uso de Clips como herramienta para el desarrollo de sistemas expertos, nos facilitó la implementación de EXPCAC, por su flexibilidad en la integración de herramientas de desarrollo computacional.
6. El paquete de herramientas de Adobe CS3 permitió el fácil desarrollo del

entorno interactivo de EXPCAC.

7. Netbeans permitió la integración del modelo experto con la interfaz gráfica y la comunicación entre ambos.
8. Se prueba que el uso de sistemas expertos son válidos para cumplir con los objetivos de este proyecto ya que el sistema sí es funcional y representativo del modelo de negocios de cultivos de cacao. En consecuencia se cumplió con los objetivos específicos de permitir la toma de decisiones de riego en los cultivos de cacao, satisfaciendo las necesidades principales del usuario.

Recomendaciones

1. El sistema de riego analizado es el de aspersión, pero podría ser expandido a otras decisiones de riego, como el de riego por goteo.
2. Se debe considerar el tipo de sistema operativo (32 y 64 bits) al momento de usar Clips como motor de inferencia.
3. El sistema solo encierra el cuidado del cultivo en el riego, pero a futuro se puede agregar otros procesos como fertilización, poda, etc.
4. En la interfaz del sistema solo se muestra dos plantas y dos aspersores como simulación de una hectárea de cacao, a futuro se podría ampliar esta visión, mostrando más plantas y aspersores, utilizando herramientas de desarrollo de interfaz gráfica que faciliten este desarrollo.

GLOSARIO

CLIPS

Es una herramienta que provee un entorno de desarrollo para la producción y ejecución de sistemas expertos.

DLL

Es el término con el que se refiere a los archivos con código ejecutable que se cargan bajo demanda de un programa por parte del sistema operativo. Esta denominación es exclusiva a los sistemas operativos Windows siendo ".dll" la extensión con la que se identifican estos ficheros, aunque el concepto existe en prácticamente todos los sistemas operativos modernos.

API

Es el conjunto de funciones y procedimientos o métodos, en la programación orientada a objetos) que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción.

IDE

Un IDE es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación, es decir, consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI).

LISP

Es una familia de lenguajes de programación de computadora de tipo multiparadigma con una larga historia y una sintaxis completamente entre paréntesis.

COOL

Lenguaje de cuarta generación orientada a objetos.

SWF

Inicialmente abreviación de Shockwave Flash y posteriormente retroacrónimo de Small Web Format -formato web pequeño- para evitar confusiones con

Shockwave del que deriva) es un formato de archivo de gráficos vectoriales creado por la empresa Macromedia (actualmente Adobe Systems).

Los archivos SWF pueden ser generados por diversidad de aplicaciones, aunque el programa original Adobe Flash utiliza un formato editable con extensión ".fla" con los que el usuario trabaja y que después compila y comprime en SWF.

RETE

El algoritmo Rete es un algoritmo de reconocimiento de patrones eficiente para implementar un sistema de producción de reglas.

SHELL

Hace referencia a un esqueleto de sistema experto, donde solamente es necesario incluir la base de conocimiento, la base de hechos, la interfaz de usuario y las reglas de inferencia

ANEXOS

Anexo 1: Casos-Respuestas

Recomendación

- Caso 1** Se recomienda regar urgentemente hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento.
- Caso 2** Se recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento.
- Caso 3** Tenga mucho cuidado con las plantas que no reciben agua del aspersor, existe la posibilidad que la plantas mueran sino reciben agua por lo cual tendría baja producción. Le sugerimos regar urgentemente hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento.
- Caso 4** Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento.

- Caso 5** Se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo está seco puede suceder que la producción se vea afectada. Por el momento no necesita podar su cultivo.
- Caso 6** Se recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm, luego puede volver a regar después de 7 o 10 días durante 3 horas.
- Caso 7** Tenga cuidado puede ser que algunas plantas no reciban agua del aspersor y se podrían secar, usted debería regarlas manualmente. Además, se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo está seco puede suceder que la producción se vea afectada. Por el momento no necesita podar su cultivo.
- Caso 8** Tenga cuidado puede ser que algunas plantas no reciban agua del aspersor y se podrían secar, usted debería regarlas manualmente. Además, se le recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm luego puede volver a regar después de 7 o 10 días durante 3 horas para que su producción sea total. Por el momento no necesita podar su cultivo.
- Caso 9** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. Se recomienda regar inmediatamente cada 7 días durante tres horas aproximadamente. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso 10** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. Se recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm, luego volver a regar después de 7 días durante 3 horas. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso 11** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. Se recomienda regar inmediatamente cada 7 días durante tres horas aproximadamente. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada. Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos que riegue manualmente estas plantas.

- Caso 12** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. Se recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm, luego volver a regar después de 7 días durante 3 horas. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada. Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos que riegue manualmente estas plantas.
- Caso 13** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. Se le recomienda regar urgentemente cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso 14** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. Se le recomienda regar hasta la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm aproximadamente. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso 15** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. Se le recomienda regar urgentemente cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada. Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos que riegue manualmente estas plantas.
- Caso 16** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. Se recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm, luego volver a regar después de 7 días durante 3 horas. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada. Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos que riegue manualmente estas plantas.
- Caso 17** Se recomienda regar urgentemente hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que debe podar hasta que el

radio de la planta se aproximadamente 3cm.

- Caso 18** Se recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.
- Caso 19** Tenga mucho cuidado con las plantas que no reciben agua del aspersor, existe la posibilidad que la plantas mueran sino reciben agua por lo cual tendría baja producción. Le sugerimos regar urgentemente hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.
- Caso 20** Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.
- Caso 21** Se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo está seco puede suceder que la producción se vea afectada. Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.
- Caso 22** Se recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm luego puede volver a regar después de 7 o 10 días durante 3 horas para que su producción sea total. Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.
- Caso 23** Tenga cuidado puede ser que algunas plantas no reciban agua del aspersor y se podrían secar, usted debería regarlas manualmente. Además, se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo esta seco puede suceder que la producción se vea afectada. Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.
- Caso** Tenga cuidado puede ser que algunas plantas no reciban agua del aspersor y se podrían

- 24** secar, usted debería regarlas manualmente. Además, se le recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm luego puede volver a regar después de 7 o 10 días durante 3 horas para que su producción sea total. Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.
- Caso 25** No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se recomienda regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento.
- Caso 26** Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos que no riegue en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se recomienda regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento.
- Caso 27** No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo está seco puede suceder que la producción se vea afectada. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento.
- Caso 28** Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera. No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo está seco puede suceder que la producción se vea afectada. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento.
- Caso 29** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se recomienda regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso 30** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos que no riegue en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se recomienda regar cada 7 días durante tres horas. También le

recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.

Caso 31 Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo está seco puede suceder que la producción se vea afectada. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.

Caso 32 Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera. No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo está seco puede suceder que la producción se vea afectada. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.

Caso 33 Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se recomienda regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.

Caso 34 Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos que no riegue en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se recomienda regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.

Caso Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente

- 35** 3cm.No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. SE le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo está seco puede suceder que la producción se vea afectada. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso 36** Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera. No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo esta seco puede suceder que la producción se vea afectada. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso 37** Tenga cuidado con las plagas que abundan en invierno. (Escoba de brujas,...., etc.).Se recomienda regar urgentemente hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Tenga en cuenta que la producción.
- Caso 38** Se recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento.
- Caso 39** Tenga mucho cuidado con las plantas que no reciben agua del aspersor, existe la posibilidad que la plantas mueran sino reciben agua por lo cual tendría baja producción. Le sugerimos regar urgentemente hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento.
- Caso 40** Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de

cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento.

- Caso 41** Se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo esta seco puede suceder que la producción se vea afectada. Por el momento no necesita podar su cultivo.
- Caso 42** Se recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm luego puede volver a regar después de 7 o 10 días durante 3 horas para que su producción sea total. Por el momento no necesita podar su cultivo.
- Caso 43** Tenga cuidado puede ser que algunas plantas no reciban agua del aspersor y se podrían secar, usted debería regarlas manualmente. Además, se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo está seco puede suceder que la producción se vea afectada. Por el momento no necesita podar su cultivo.
- Caso 44** Tenga cuidado puede ser que algunas plantas no reciban agua del aspersor y se podrían secar, usted debería regarlas manualmente. Además, se le recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm luego puede volver a regar después de 7 o 10 días durante 3 horas para que su producción sea total. Por el momento no necesita podar su cultivo.
- Caso 45** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. Se recomienda regar inmediatamente cada 7 días durante tres horas aproximadamente. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso 46** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. Se recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm, luego volver a regar después de 7 días durante 3 horas. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso 47** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. Se recomienda regar inmediatamente cada 7 días durante tres horas aproximadamente. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada. Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos que riegue manualmente estas plantas.
- Caso** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. Se recomienda

- 48** regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm, luego volver a regar después de 7 días durante 3 horas. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada. Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos que riegue manualmente estas plantas.
- Caso 49** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes .Se le recomienda regar urgentemente cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso 50** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes .Se le recomienda regar hasta la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm aproximadamente. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso 51** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes .Se le recomienda regar urgentemente cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada. Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos que riegue manualmente estas plantas
- Caso 52** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes .Se recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm, luego volver a regar después de 7 días durante 3 horas. .Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy encuentra esta recomendación para que su producción no se vea afectada. Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos que riegue manualmente estas plantas.
- Caso 53** Se recomienda regar urgentemente hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.
- Caso** Se recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos

- 54** asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.
- Caso 55** Tenga mucho cuidado con las plantas que no reciben agua del aspersor, existe la posibilidad que la plantas mueran sino reciben agua por lo cual tendría baja producción. Le sugerimos regar urgentemente hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.
- Caso 56** Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm y puede volver a regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no esta en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.
- Caso 57** Se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo esta seco puede suceder que la producción se vea afectada. Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.
- Caso 58** Se recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm luego puede volver a regar después de 7 o 10 días durante 3 horas para que su producción sea total. Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.
- Caso 59** Tenga cuidado puede ser que algunas plantas no reciban agua del aspersor y se podrían secar, usted debería regarlas manualmente. Además, se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo está seco puede suceder que la producción se vea afectada. Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.
- Caso 60** Tenga cuidado puede ser que algunas plantas no reciban agua del aspersor y se podrían secar, usted debería regarlas manualmente. Además, se le recomienda regar hasta que la profundidad de agua en el suelo sea aproximadamente 5cm luego puede volver a regar después de 7 o 10 días durante 3 horas para que su producción sea total. Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.

- Caso 61** No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se recomienda regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento.
- Caso 62** Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos que no riegue en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se recomienda regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento.
- Caso 63** No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo está seco puede suceder que la producción se vea afectada. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento.
- Caso 64** Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera. No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo esta seco puede suceder que la producción se vea afectada. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento.
- Caso 65** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se recomienda regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso 66** Se debe realizar una poda agresiva dejando como maximo tres esquejes.Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos que no riegue en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se recomienda regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. No necesita

- 67** regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo está seco puede suceder que la producción se vea afectada. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso 68** Se debe realizar una poda agresiva dejando como máximo tres esquejes. Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera. No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo esta seco puede suceder que la producción se vea afectada. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso 69** Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se recomienda regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso 70** Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera, le sugerimos que no riege en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se recomienda regar cada 7 días durante tres horas. También le recomendamos asociar el cultivo con plantas de plátano ya que la planta de cacao no está en edad de dar su producción total. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.
- Caso 71** Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm.No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo esta seco puede suceder que la producción se vea afectada. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta

recomendación para que su producción no se vea afectada.

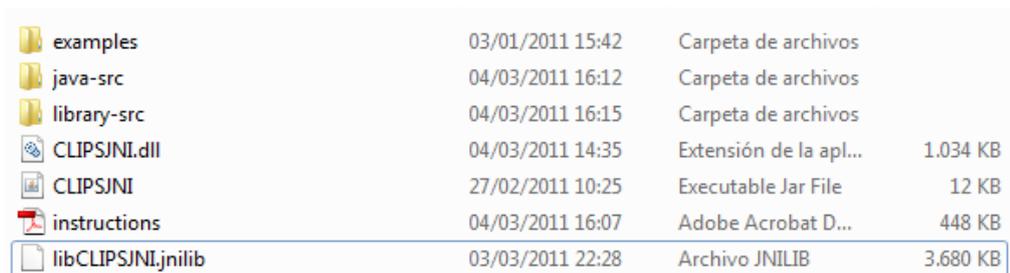
Caso 72

Tenga en cuenta que debe podar hasta que el radio de la planta se aproximadamente 3cm. Tenga mucho cuidado con la planta que no recibe agua del aspersor, existe la posibilidad que la planta muera. No necesita regar en este momento porque el suelo tiene suficiente humedad. Se le recomienda regar cada 7 o 10 días durante tres horas aproximadamente para que tenga una buena producción, porque si el suelo está seco puede suceder que la producción se vea afectada. Tenga en cuenta que no necesita podar por el momento. Considere que la distancia entre las plantas es muy estrecha por lo cual debe tener muy en cuenta esta recomendación para que su producción no se vea afectada.

Anexo 2: Instalación de clips

Para la instalación de Clips, se debe ingresar a la página de Clips donde se debe descargar la versión 0.3 Beta

Una vez terminada la descarga, se abre la carpeta con el mismo nombre, donde se encuentran los siguientes archivos:



examples	03/01/2011 15:42	Carpeta de archivos	
java-src	04/03/2011 16:12	Carpeta de archivos	
library-src	04/03/2011 16:15	Carpeta de archivos	
CLIPSJNI.dll	04/03/2011 14:35	Extensión de la apl...	1.034 KB
CLIPSJNI	27/02/2011 10:25	Executable Jar File	12 KB
instructions	04/03/2011 16:07	Adobe Acrobat D...	448 KB
libCLIPSJNI.jnilib	03/03/2011 22:28	Archivo JNILIB	3.680 KB

Figura 2.4: Gráfico del contenido de la descarga de la carpeta CLIPS

Después se debe crear un Proyecto Java Web Application en NetBeans y se debe usar los archivos de la carpeta java-src, que internamente contiene la carpeta CLIPSJNI (Java Native Interface), que es la que se añade Netbeans

como un paquete con el mismo nombre, porque esta es la que trabaja con el lenguaje de programación java y contiene las clases que permiten la comunicación entre CLIPS y la aplicación.

JAVA NATIVE INTERFACE.

Es una herramienta que permite desarrollar Sistemas Expertos Integrados con JAVA. Es un framework o una plataforma el cual permite que un programa escrito en Java, pueda interactuar con otros programas escritos en otros lenguajes como C, C++ y ensamblador. Está compuesta por: una librería y un archivo de extensión dll.

Dll es un archivo que contiene funciones que se pueden llamar desde aplicaciones u otras Dll. Las Dll no pueden ejecutarse directamente, es necesario llamarlas desde un código externo.

Si la carpeta de CLIPSJNI se coloca en el directorio de trabajo no habrá mayores problemas para trabajar y hacer uso de todas sus clases, como se muestra en la figura 2.5

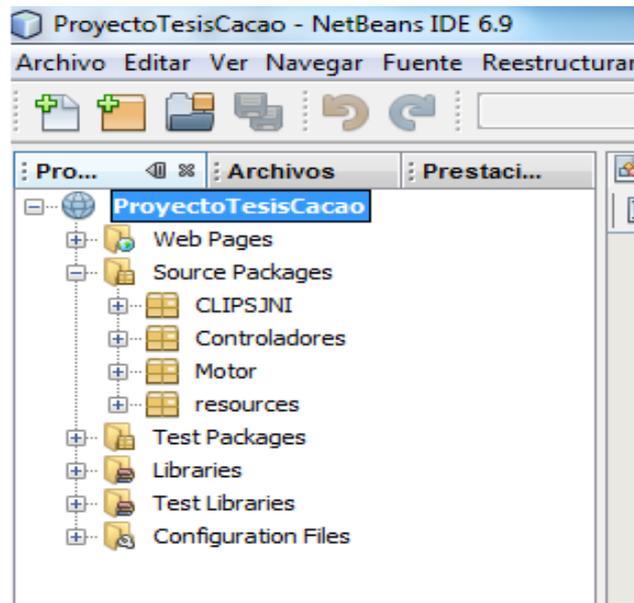


Figura 2.5: Ubicación de la carpeta CLIPSJNI en el proyecto de java en Netbeans.

El archivo CLIPSJNI.dll lo añadimos en la siguiente ruta: C:\Windows\System32 en el caso de ser el sistema operativo de 32 bits, caso contrario si el sistema operativo es de 64 bits se lo añadimos en la siguiente ruta: C:\Windows\SysWOW64.

Anexo 3: Funciones Principales

3.1 Función enviar_variables_js

Esta función envía datos del formulario hecho en Flex a Netbeans.

```
import flash.external.ExternalInterface;

private function enviar_variables_js():void{
    ExternalInterface.addCallback("getClima",getClima);
```

```
ExternalInterface.addCallback("getRadio_planta",getRadio_planta);
```

```
ExternalInterface.addCallback("getRadio_aspersor",getRadio_aspersor);
```

```
ExternalInterface.addCallback("getEdad",getEdad);
```

```
ExternalInterface.addCallback("getCapacidad_campo",getCapacidad_campo);
```

```
ExternalInterface.addCallback("getDistancia_planta",getDistancia_planta);
```

```
ExternalInterface.addCallback("getDistancia_aspersor",getDistancia_aspersor);
```

```
ExternalInterface.addCallback("getTraslapio",getTraslapio);
```

```
ExternalInterface.addCallback("getPlantas_roceadas",getPlantas_roceadas);
```

```
}
```

3.2 Función getInfo ()

Función para extraer datos del archivo pagina.swf y envía datos al controlador que llama al motor de inferencia.

```
function getInfo() {  
    var  
    radio_planta=document.getElementById("pagina").getRadio_planta();  
  
    if(parseFloat(radio_planta)==1)  
        radio_planta="MoreThanThree";  
  
    else  
        radio_planta="LessThanThree";  
}
```

```
var clima=document.getElementById("pagina").getClima();
if(clima=="Verano")
    clima="Summer";
else
    clima="Winter";

var
radio_aspersor=document.getElementById("pagina").getRadio_aspersor();

var edad=document.getElementById("pagina").getEdad();
if(parseInt(edad)==0)
    edad="Young";
else
    edad="Adult";

var
capacidad_campo=document.getElementById("pagina").getCapacidad_campo();

if(parseInt(capacidad_campo)==3)
    capacidad_campo="Low";
else{
    if(parseInt(capacidad_campo)==2)
        capacidad_campo="Partial";
    else
        capacidad_campo="High";
}

var
distancia_planta=document.getElementById("pagina").getDistancia_planta();

if(parseFloat(distancia_planta)==2.5)
    distancia_planta="Ideal";
```

```
else{
    if(parseFloat(distancia_planta)<2.5)
        distancia_planta="Less";
    else
        distancia_planta="High";
}

var
distancia_aspersor=document.getElementById("pagina").getDi
stancia_aspersor();

var
traslape=document.getElementById("pagina").getTraslapio();

if(traslape==true)
    traslape="Yes";
else
    traslape="No";

var
rociada=document.getElementById("pagina").getPlantas_roce
adas();

if(rociada==true)
    rociada="Yes";
else
    rociada="No";

var tid=document.getElementById("txt_id1").value;

var op='analisis';

var query =
"par="+tid+"&op="+op+"&radio_planta="+radio_planta+"&estac
ion="+clima+

"&edad="+edad+"&capacidad_campo="+capacidad_campo+"&
```

```
distancia_planta="+distancia_planta+"&traslapo="+traslape+"&
rociada="+rociada;
```

```
//alert(""+query);
```

```
var orequest=getXMLHttpRequest();
```

```
orequest.open("GET","Principal?"+query,true);
```

```
orequest.onreadystatechange=function(){
```

```
    recogerInfoAnalisis(orequest)
```

```
};
```

```
orequest.send(null);
```

```
}
```

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ing. Mg. Sc. Lorenzo Hurtado Leo, “Fundamentos de Riego”,
http://agricola-unl.com/pdf/Fundamentos_Riego.pdf, fecha de consulta: 13 junio 2011, Pág. 3 – 30.
- [2] Pignani Juan Manuel, “Sistemas Expertos”,
http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/orientadora/1/monograis/pignani-sistemasexpertos.pdf , fecha de consulta: 15 junio 2011, Pág. 4 -7.
- [3] BsC. En Ciencias de la Computación Jorge Valverde Rebaza, “Sistemas Inteligentes Artificiales y su aplicación en la Agro Tecnología”,
http://www.seccperu.org/eaec/slides/sistemas_Inteligentes_aplicacion_Agrotecnologia-Jorge_Valverde_Rebaza.pdf, Fecha de Consulta junio 2011, Pág. 6-12.
- [4] Flex Builder, “Desarrollo de Aplicaciones”,
<http://livedocs.adobe.com/flex/3/html/help.html>, fecha de consulta: julio 2011.
- [5] PHP-Nuke, “Como controlar películas Flash usando JavaScript”,
<http://www.webviva.com/biblioteca/modules.php?name=News&file=article&sid=49>, fecha de consulta: julio 2011.
- [6] Tutorial de Clips(i), “Trabajando con Clips” ,
<http://wwdi.ujaen.es/~dofer/ico/material/CLIPS-Tutorial-1.htm>, fecha de consulta: 20 julio 2011.

- [7] Tutorial de CLIPS: variables, y hechos complejos, "Hechos Persistentes", <http://wwdi.ujaen.es/~dofer/ico/material/CLIPS-Tutorial-2.html>, fecha de consulta 20 julio 2011.
- [8] Luis Daniel Hernández Moliner, "Tutorial de Clips", <http://xue.unalmed.edu.co/~fjarias/se/documentos/TUTORIAL%20DE%20CLIPS.pdf>, Fecha de Consulta: 26 julio 2011 ,Pág. 9 - 28 , 31 – 51.
- [9] C. Daniel Sánchez Ramírez, "Como Utilizar Clipsjni y Java", <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=como%20utilizar%20clipsjni%20y%20java%20pdf&source=web&cd=1&ved=0CCAQFjAA&url=https%3A%2F%2Fbitbucket.org%2FrunamoJAZZ%2Ftrash-it%2Fsrc%2Fc8ab210792e6%2Fdocs%2FComo%2520Utilizar%2520CPLISJNI.pdf&ei=j3bxToP9EMGngwfs58SwAg&usq=AFQjCNHRyleqGTDKWrv6lz6E0ywSBrT5GA&cad=rja>, Fecha de Consulta: julio 2011, Pág. 2 – 10.
- [10] Fernando Berzal, Sistemas Inteligentes de Gestión, "Encadenamiento hacia adelante", <http://elvex.ugr.es/decsai/intelligent/slides/ai/A1%20AI.pdf>, Fecha de Consulta: agosto 2011, Pág. 43 – 48.